



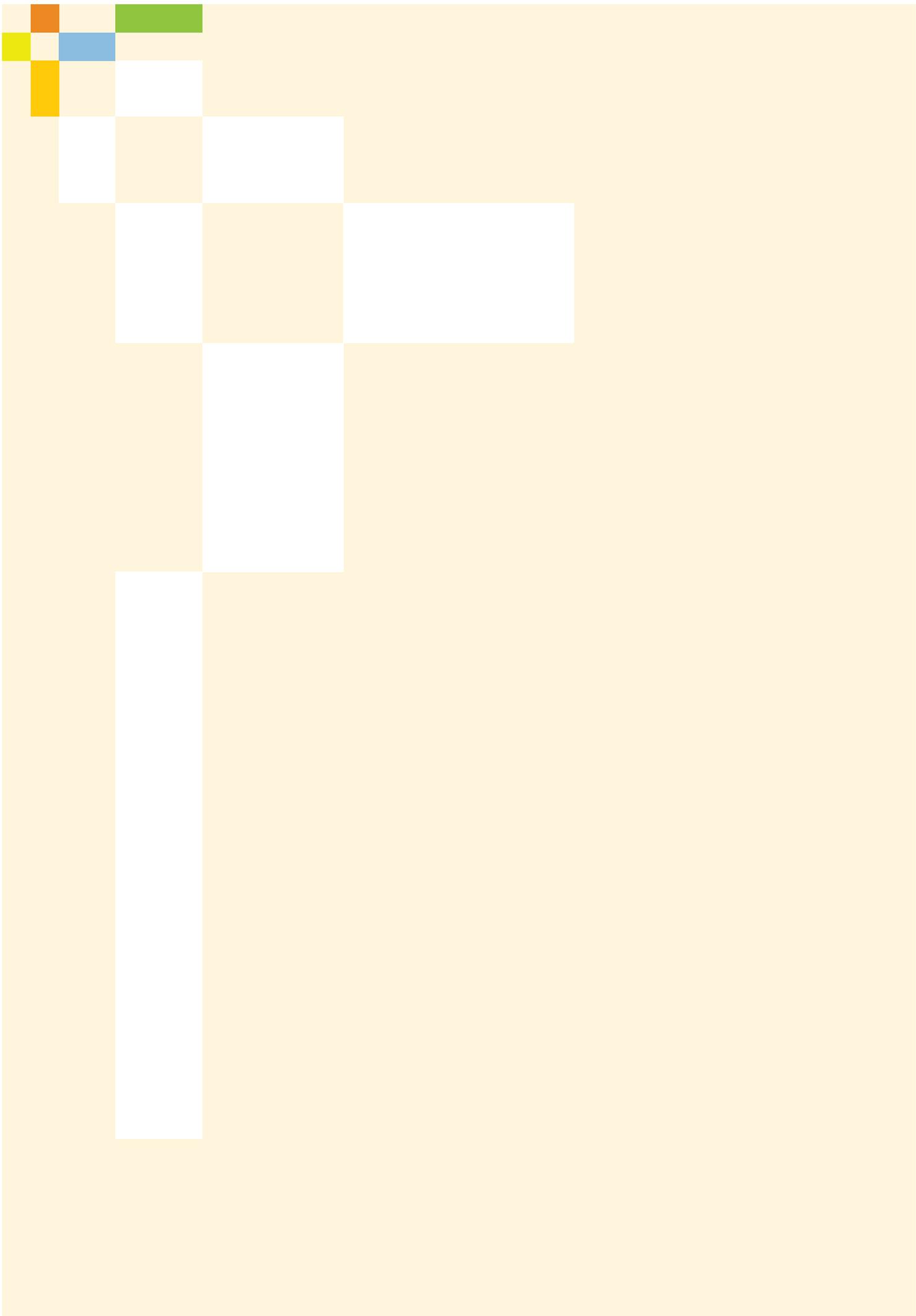
acatech IMPULS

Innovationen für einen europäischen Green Deal

Martin Brudermüller, Reiner Hoffmann,
Henning Kagermann, Reimund Neugebauer,
Günther Schuh (Hrsg.)

 acatech

DEUTSCHE AKADEMIE DER
TECHNIKWISSENSCHAFTEN



acatech IMPULS

Innovationen für einen europäischen Green Deal

Martin Brudermüller, Reiner Hoffmann,
Henning Kagermann, Reimund Neugebauer,
Günther Schuh (Hrsg.)



Die Reihe acatech IMPULS

In dieser Reihe erscheinen Debattenbeiträge und Denkanstöße zu technikk-
wissenschaftlichen und technologiepolitischen Zukunftsfragen. Sie erörtern
Handlungsoptionen, richten sich an Politik, Wissenschaft und Wirtschaft
sowie die interessierte Öffentlichkeit. Impulse liegen in der inhaltlichen Ver-
antwortung der jeweiligen Autorinnen und Autoren.

Alle bisher erschienenen acatech Publikationen stehen unter
www.acatech.de/publikationen zur Verfügung.

Inhalt

Vorwort	5
Zusammenfassung	6
Interviewpartnerinnen und Interviewpartner	9
Mitwirkende	15
1 Die Herausforderung: ein schneller und zugleich nachhaltiger Neustart der europäischen Wirtschaft	16
2 Ansätze für mehr Nachhaltigkeit in der Industrie	22
2.1 Elektrifizierung/Wasserstoff – Nachhaltige Energiequellen der Zukunft	23
2.2 Digitale Transformation – Virtuelle Optimierung von Wertschöpfungsketten	28
2.3 Circular Economy – Wirtschaftsleistung von Ressourcenverbrauch und Emissionen entkoppeln	32
2.4 Biologische Transformation – Biologisch inspirierte Nachhaltigkeit in der Wirtschaft	37
2.5 Ausblick: Wertschöpfungsnetzwerke resilient gestalten	40
3 Grundstoffindustrien nachhaltiger gestalten am Beispiel der Kunststoffindustrie	42
3.1 Industrielle Wertschöpfungsnetzwerke – Kernelemente der deutschen Wirtschaft	42
3.2 Szenario: Ein sinnvoller Platz für Kunststoffe in einer nachhaltigen Zukunft	44
3.3 Transformationspfade für Kunststoffwertschöpfungsnetzwerke	44
3.4 Politische Handlungsfelder	53
4 Instrumente für mehr Nachhaltigkeit bei Investitionen und unternehmerischem Handeln	57
4.1 EU-Taxonomie	57
4.2 Sustainable Finance-Strategie der Bundesregierung	60
4.3 Transparenz bei der Bewertung der Nachhaltigkeit von Finanzprodukten	61
4.4 Reportingstandards	64



5 Ein koordiniertes europäisches Vorgehen für Nachhaltigkeit durch Innovation	68
5.1 Europäische Instrumente und Institutionen zur Finanzierung innovativer Vorhaben	68
5.2 Starke europäische Forschungsbasis und verbesserter Transfer	71
Anhang	74
Anhang A: Kernelemente des Green Deal in seiner 2019 vorgestellten Form	74
Anhang B: Carbon Capture and Utilization/Carbon Capture and Storage (CCU/CCS)	76
Anhang C: Wertschöpfungsnetzwerke der Kunststoffindustrie nachhaltiger gestalten	77
Anhang D: Kunststoff heute und in Zukunft	78
Anhang E: Kreisläufe mitdenken und schädliche Eigenschaften vermeiden – Kunststoffe besser designen	81
Anhang F: Sekundäre und erneuerbare Rohstoffe nutzen – Kunststoffproduktion von fossilen Quellen entkoppeln	84
Anhang G: Effizienz steigern und Produktion modularisieren – Kunststoffe nachhaltiger produzieren	88
Anhang H: Nutzungsdauer und Ressourcenproduktivität erhöhen – Kunststoffe wiederverwenden	93
Anhang I: Kreisläufe schließen – Recycling von Kunststoffen ausbauen	95
Anhang J: Überblick über weitere Reportingstandards	106
Anhang K: Abbildungsverzeichnis	107
Literatur	108

Vorwort

„Handle stets so, dass die Anzahl der Wahlmöglichkeiten größer wird!“ – Europas Antwort auf die dreifache Herausforderung seiner Freiheit und Handlungsfähigkeit durch den Klimawandel, die Pandemie und die sich global verschärfenden Handelskonflikte muss sich an diesem vom Philosophen und Physiker Heinz von Foerster formulierten Imperativ orientieren.

In der Praxis bedeutet dies, dass die Maßnahmen zur wirtschaftlichen Erholung von den Folgen der Pandemie klar darauf ausgerichtet sein müssen, gangbare und tragfähige Transformationspfade hin zu einer nachhaltigen industriellen Wirtschaftsbasis Europas zu bahnen. Der europäische Green Deal ist hierfür eine unbedingt weiterzuverfolgende Blaupause.

Für eine erfolgreiche Umsetzung des Green Deal wird es – gerade in Zeiten enger werdender finanzieller Spielräume und aufgrund des umfassenden Charakters einer auf Nachhaltigkeit ausgerichteten Transformation der Wertschöpfung – darauf ankommen, die breite Zustimmung in der Bevölkerung und der Unternehmen aufrechtzuerhalten. Dies wird nur durch ein umfassendes Nachhaltigkeitsverständnis gelingen, das ökologische, ökonomische und soziale Dimensionen umfasst. Neben dem Klimaschutz und dem Erhalt der Biodiversität müssen auch eine gestärkte internationale Wettbewerbsfähigkeit Europas und ein Strukturwandel von Branchen und Regionen, der Beschäftigte einbezieht und ihnen neue Perspektiven eröffnet, zu den Gestaltungszielen zählen.

Dieser acatech IMPULS zeigt, dass in Europa viele kluge Köpfe mit zukunftsweisenden Ideen nur darauf warten, diese Generationenaufgabe in Angriff zu nehmen. Es ist jetzt die Aufgabe der Politik, diese Hebel durch klare Zielvorgaben, planbare Rahmenbedingungen – beispielsweise bei der CO₂-Bepreisung – und gemeinsame Initiativen mit Wissenschaft und Wirtschaft

in Bewegung zu setzen und Europa zu einem attraktiven Standort für Investitionen in Nachhaltigkeit zu machen.

Europa sollte nicht nur der erste klimaneutrale Kontinent werden. Der europäische Anspruch sollte vielmehr sein, internationale Märkte mit nachhaltigen Technologien zu bedienen. Statt einer krisenbedingten Pause der Innovationspolitik gilt es für politische Entscheidungsträgerinnen und -träger daher gerade jetzt, nicht nur mit guten Argumenten, sondern auch leidenschaftlich für wegweisende europäische Projekte und die Mobilisierung der notwendigen öffentlichen und privaten Investitionssummen zu werben.

Die vorliegende Studie ist die überarbeitete Fassung eines Papiers, das im Sommer 2020 mit Mitgliedern der Bundesregierung diskutiert wurde.

acatech und die Herausgeber danken allen Mitwirkenden für ihr besonderes Engagement bei der Erstellung.

Dr. Martin Brudermüller

Vorsitzender des Vorstands der BASF SE

Reiner Hoffmann

Vorsitzender des Deutschen Gewerkschaftsbundes

Prof. Dr. Henning Kagermann

Vorsitzender des acatech Kuratoriums

Prof. Dr.-Ing. Reimund Neugebauer

Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft

Prof. Dr.-Ing. Günther Schuh

Lehrstuhl für Produktionssystematik an der RWTH Aachen



Zusammenfassung

Im Zuge des durch die SARS-CoV-2-Pandemie ausgelösten Wirtschaftsschocks wurden Forderungen geäußert, die Umsetzung des europäischen Green Deal als zentrales Vorhaben der Europäischen Kommission unter Ursula von der Leyen hintenanzustellen. Die für den vorliegenden Impuls befragten Expertinnen und Experten weisen diese Forderungen einheitlich und klar zurück. Sie raten der Bundesregierung vielmehr dazu, auf eine auf **Nachhaltigkeit und Resilienz ausgerichtete Recovery** hinzuwirken – gerade auch, um die zahlreichen bereits vor der Krise begonnenen Transformationsbemühungen zu stärken.

Die gegenwärtige Krise darf nicht dazu führen, dass **notwendige Transformationsanstrengungen** hin zu einer nachhaltigen Wirtschaft und damit einer langfristigen **Absicherung von Wertschöpfung und Beschäftigung** in Europa unterlassen oder verlangsamt werden. Die SARS-CoV-2-Pandemie bedeutet gerade **keine Pause für die Innovationspolitik**.

Die folgenden **zehn Kernthesen** fassen die zentralen Erkenntnisse der geführten Hintergrundgespräche und Analysen zusammen. Sie geben erstens einen strategischen Rahmen vor, um auch auf Basis der in der Pandemie gemachten Erfahrungen eine effektive und langfristig **nachhaltige Erholung und perspektivische Stärkung** Europas zu gestalten. Zweitens benennen sie die vielversprechendsten **innovationspolitischen Hebel und Initiativen**, die zu diesem Zweck eingesetzt werden können.

1. **Innovation** muss zur **Leitidee** des nachhaltigen **Neustarts** der deutschen und europäischen Wirtschaft werden. Dieser muss sektorübergreifend auf **technologische, soziale und Geschäftsmodellinnovationen** setzen.
2. **Nachhaltigkeit** ist dabei als gleichberechtigtes Zusammenspiel ihrer **ökologischen, ökonomischen und sozialen** Dimensionen zu verstehen. Ebenso sehr wie einer konsequenten Verfolgung der Klimaziele bedarf es gangbarer Umstellungen der Geschäftsmodelle und einer vorausschauenden Ausgestaltung sozialer Übergänge. Zielkonflikte sind frühzeitig zu identifizieren und zu adressieren.
3. Das Ziel muss eine nachhaltige **soziale Marktwirtschaft** mit einer gesteigerten **Resilienz** sein, die technologisch souverän, flexibler und stabiler auf unvorhergesehene Erschütterungen reagieren kann und **international wettbewerbsfähig** ist.
4. Die **Ziele des Green Deal** müssen weiterhin ein integraler Bestandteil der **Ausgestaltung und konkreten Umsetzung der mittel- und langfristigen Wirtschaftsprogramme** bleiben. Insbesondere seine Innovations- und Investitionsbestandteile können hierfür in angepasster Form eine Rolle spielen.
5. Mit **Wasserstoff und Elektrifizierung** aus erneuerbaren Energien, **digitaler und biologischer Transformation** und der **Circular Economy** stehen vielversprechende **Hebel** für die nachhaltige **Transformation der Industrie** zur Verfügung, bei denen zudem auf eine **starke Forschungsbasis** in Deutschland und Europa aufgebaut werden kann.
6. Die dafür notwendigen **privaten Investitionen** werden nur erfolgen, wenn das Regulierungsumfeld innovationsfördernd ausgerichtet wird und die aktuell noch fehlende **Erwartungssicherheit**, insbesondere hinsichtlich der **CO₂-Bepreisung**, politisch hergestellt wird. Erfolgen diese Investitionen, hat Deutschland eine Chance, auch im Bereich klimafreundlicher und nachhaltiger Technologien ein wichtiger **Ausrüster der Welt** zu werden.
7. An der **Kunststoffindustrie** lässt sich exemplarisch zeigen, dass Nachhaltigkeit nicht durch die punktuelle Substitution einzelner Produkte erreicht wird, sondern durch eine umfassende **Transformation von Wertschöpfungsnetzwerken**. Die Politik kann diese durch die Förderung des vorwettbewerblichen Austauschs der relevanten Akteure, zum Beispiel in **Reallaboren**, erleichtern und dabei selbst Impulse für eine **vorausschauende Regulierung** erhalten.
8. Ein **transparentes und vergleichbares Reporting** von Nachhaltigkeitskennziffern muss zu einer **belastbaren Grundlage für Entscheidungen** der Unternehmen selbst, der Investoren und auch staatlicher Regulierung ausgebaut werden.
9. **Deutschland** muss im Bereich **Sustainable Finance** Vordenker bleiben, aber **Alleingänge vermeiden**. Stattdessen sollte es innerhalb Europas auf Standardisierungen hinwirken und dabei einbringen, dass von Unternehmen beschlossene Transformationspfade hin zur Klimaneutralität berücksichtigt werden, anstatt den Fokus allein auf den Ist-Zustand zu legen.
10. Die **themenoffene Förderung exzellenter Forschung** darf auch in Krisenzeiten nicht vernachlässigt werden, um die Basis für zukünftige Innovationen nicht zu gefährden. Die Förderung muss stattdessen durch **verbesserte Transfer- und Innovationsprogramme**, zum Beispiel unter dem Dach des

European Innovation Council (EIC), ergänzt werden, die wiederum eng mit nationalen Förderinstrumenten wie der Agentur für Sprunginnovationen vernetzt werden können.

Diese **Richtungsentscheidungen** müssen bald getroffen werden. Gerade auch weil durch die Krise finanzielle Spielräume von Staaten und Unternehmen deutlich kleiner geworden sind, muss eine **Priorisierung zentraler Innovationsvorhaben** erfolgen. Diese Vorhaben müssen geeignet sein, zum Aufschwung beizutragen und zugleich eine erfolgreiche, auf Nachhaltigkeit ausgerichtete **Transformation wichtiger Industrien und Branchen** voranzutreiben, die **Akzeptanz** in der Bevölkerung findet und soziale Übergänge für die **Beschäftigten** vorausschauend ausgestaltet.

Der vorliegende Impuls unterbreitet daher zuerst **Vorschläge für Initiativen**, die Deutschland und die EU strategisch nutzen können, um die identifizierten Hebel für eine Transformation einzusetzen (siehe Kapitel 2). Ihre Anwendung kann zudem zur Steigerung der Resilienz der Wirtschaft beitragen (siehe Kapitel 2.5). Die Umsetzung der Initiativen muss dabei über **lernende, adaptive Strategien** erfolgen, die sich an die dynamische Entwicklung der Wirtschaft und der Technologiefelder anpassen können.

Dazu zählt ein ambitionierter Aufbau von **Infrastrukturen** für eine **europäische Wasserstoffwirtschaft** (siehe Kapitel 2.1). Deutschland würde von gesicherten umwelt- und klimafreundlichen **Energieimporten** und durch **Exporte von Anlagentechnik** profitieren, südlichen EU-Mitgliedstaaten könnten – auch unterstützt durch deutsche Investitionen – Wertschöpfungsperspektiven vor Ort eröffnet werden. Mit einer schnellen Umsetzung würde sich Europa eine gute Ausgangsposition im **internationalen Wettbewerb** um eine entscheidende Zukunftstechnologie verschaffen und zugleich eine **innovationsgeleitete Kohäsionspolitik** verfolgen.

Die Pandemie hat Versäumnisse bei der **digitalen Transformation** schonungslos offengelegt, aber auch zu einem Digitalisierungsschub geführt, den es als Sprungbrett für ein **zügiges Nachholen** zu nutzen gilt (siehe Kapitel 2.2). Neben Infrastrukturen für einen geteilten **europäischen Datenraum** und Quantencomputing-Hardware sehen die Befragten die Rolle des Staats vor allem auch darin, mit einer ambitionierten Roadmap zur digitalen Transformation seiner Strukturen, vor allem **behördlicher Dienstleistungen** und der **Schulen und Universitäten**, als Vorbild voranzugehen.

Neben technischen Innovationen hängt die Verwirklichung einer **Circular Economy** (siehe Kapitel 2.3) entscheidend von **neuen Geschäftsmodellen** und der **Umstellung von Wertschöpfungsnetzwerken** ab. Zusätzlich zur besseren Information und Vernetzung relevanter Akteure können auch die Einführung **digitaler Produktpässe** sowie regulatorische Anreize auf Basis von **Lebenszyklusanalysen** und Erfahrungen in Reallaboren einen wichtigen Schub geben.

Die **biologische Transformation** (siehe Kapitel 2.4) kann in Kombination mit digitalen Ansätzen neue Innovationspotenziale in vielen Branchen erschließen. In der Medizin hat die Biotechnologie im Verbund mit der Bioinformatik bereits Design und Produktion revolutioniert (siehe Kasten 5). Initiativen wie **Reallabore für die Materialwende** (siehe Kasten 6) könnten Ähnliches in weiteren Industrien und Branchen, die für eine nachhaltige Transformation der Wirtschaft essenziell sind, anstoßen. Mit der **Agenda „Von der Biologie zur Innovation“** sollte hierfür ein entscheidendes politisches Signal gesetzt werden.

Das **Beispiel der Kunststoffindustrie** (siehe Kapitel 3) zeigt, dass eine **Transformation von Industrien** hin zu einem Wirtschaften in Kreisläufen nicht nur an einzelnen Gliedern des Wertschöpfungsnetzwerks ansetzen darf. Nötig sind sowohl **systemische Ansätze** als auch eine politische **Adressierung von Zielkonflikten**, die nicht technologisch aufgelöst werden können.

Für den Kunststoffbereich könnte dies etwa durch ein **Reallabor für chemisches Recycling** (siehe Kasten 7) erfolgen, das sowohl alle relevanten Akteure des Ressourcenkreislaufs zusammenbringt als auch eine Wissensbasis für eine innovationsfreundliche Regulierung, beispielsweise hinsichtlich eines synergistischen **Zusammenspiels neuer und etablierter Recyclingverfahren** für den verstärkten Einsatz von Kunststoffzyklat, schaffen kann.

All diese Vorhaben und die Nutzung der Transformationshebel setzen hohe Investitionen der öffentlichen Hand, vor allem aber auch die **Mobilisierung privaten Kapitals** voraus. Aus diesem Grund liegt der zweite Schwerpunkt der vorliegenden Studie auf politischen Ansatzpunkten zur Schaffung eines **transparenten und handhabbaren Instrumentariums** zur Bewertung von Nachhaltigkeit (siehe Kapitel 4), das neben **zentralen Marktsignalen** wie einer CO₂-Bepreisung von den Befragten als entscheidende Voraussetzung für entsprechende Investitionstätigkeiten gewertet wird.



Die große Vielfalt an Ansätzen zur **ESG-Bewertung** von Finanzprodukten und für das **Nachhaltigkeitsberichtswesen** von Unternehmen resultiert gegenwärtig in **Unübersichtlichkeit** und mangelnder Vergleichbarkeit auf den Märkten. Im Rahmen der Erarbeitung der EU-Taxonomie (siehe Kapitel 4.1), der deutschen Sustainable Finance-Strategie (Kapitel 4.2) und hinsichtlich auf Nachhaltigkeit bezogener Reportingstandards (siehe Kapitel 4.4) sollte die Politik daher auf einheitliche und **vergleichbare Kernindikatoren** hinwirken. Diese können dann als belastbare **Basis für unternehmerische und politische Entscheidungen** dienen. Dabei ist eine Überforderung von Unternehmen, insbesondere KMU, ebenso zu vermeiden wie eine Beschädigung des europäischen Binnenmarkts durch deutsche Alleingänge.

Nicht nur bei der langfristigen **Absicherung** der bestehenden **Stärke des europäischen Forschungsraums** raten die befragten

Expertinnen und Experten zu einer engen europäischen Kooperation (siehe Kapitel 5). Gerade auch Instrumente wie **IPCEIs** (beispielsweise für Wasserstoff), Institutionen wie die **Europäische Investitionsbank** oder auch die europäischen Erfahrungen mit regionalen Innovations- und Transformationsstrategien bieten Ansatzpunkte für Nachhaltigkeitsimpulse hoher Strahlkraft. Gerade im Zuge von Konjunktur- und Wirtschaftsprogrammen können zudem über eine **nachhaltige öffentliche Beschaffung** deutliche Marktimpulse gesetzt werden.

Ambitionierte Initiativen und ein **plausibles Nachhaltigkeitsnarrativ** werden entscheidend sein, um der Wirtschaft, den Beschäftigten und allen Bürgerinnen und Bürgern **Perspektiven nachhaltiger Wertschöpfung und nachhaltigen Wohlstands** aufzuzeigen und sie so besser zu **befähigen**, die dafür nötigen **Transformationspfade erfolgreich zu beschreiten**.

Interviewpartnerinnen und Interviewpartner

Danksagung

In Ergänzung zur Auswertung von Fachliteratur und anderen Studien haben die Mitarbeitenden der acatech Geschäftsstelle mit 75 Vertreterinnen und Vertretern aus Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Gesellschaft explorative Experteninterviews durchgeführt. Ziel war es, ein Stimmungsbild hinsichtlich der Verfolgung von Nachhaltigkeitszielen einzufangen und vielversprechende Ansätze zu identifizieren, um die dafür nötigen Transformationspfade in der Wirtschaft erfolgreich beschreiten und finanzieren zu können.

Die Gespräche wurden im Zeitraum von März bis Mai 2020 telefonisch oder persönlich geführt und dauerten im Schnitt

eine Stunde. Um den explorativen Charakter der Befragungen zu unterstützen und auch die „leisen Töne“ einzufangen, wurde auf eine offene Gesprächsführung gesetzt. In der vorliegenden Studie wird ein Überblick über die zentralen in den Interviews geäußerten Einschätzungen gegeben, womit aber nicht ausgeschlossen werden soll, dass einzelne Interviewpartnerinnen und -partner zu bestimmten Fragen andere Standpunkte vertreten.

Die genannten Funktionen der Interviewpartnerinnen und -partner beziehen sich auf den Zeitpunkt des jeweiligen Gesprächs. Zur Illustration einiger ausgewählter Kerngedanken der Befragten werden im Text hin und wieder den Interviews entnommene anonymisierte Zitate aufgeführt.

Die acatech Geschäftsstelle dankt im Namen des acatech Präsidiums allen Beteiligten sehr herzlich für ihre Bereitschaft zur Teilnahme an den Interviews!

Dr.-Ing. Reinhold Achatz

Thyssen Krupp AG
CTO – Head of Corporate Function Technology, Innovation & Sustainability

Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA
Institutsleiter

Bernd Biervert

Europäische Kommission
Generaldirektion Forschung und Innovation
Head of Unit Ecological and Social Transitions

Dr. Urs Bitterling

Allianz SE
Head of Corporate Responsibility

Jocelyn Blériot

Ellen MacArthur Foundation
Executive Lead, Institutions, Governments & Cities

Götz Brandau

Lidl Stiftung & Co. KG
Public Affairs – Leiter Büro Brüssel

Dr. Philipp-Bastian Brutscher

Europäische Investitionsbank
Berater des Präsidenten

Ralph Büchele

Roland Berger GmbH
Partner

Dr. Christine Bunte

BASF SE
Senior Manager Industry Advocacy



Dr. Peter Dröll	Europäische Kommission Generaldirektion Forschung und Innovation <i>Acting Director, Prosperity</i>
Prof. Dr.-Ing. Welf-Guntram Drossel	Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU <i>Institutsleiter</i>
Prof. Dr. Sebastian Dullien	Hans-Böckler-Stiftung Institut für Makroökonomie und Konjunkturforschung <i>Wissenschaftlicher Direktor</i>
	Hochschule Technik und Wirtschaft Berlin – University of Applied Sciences <i>Professor für Allgemeine Volkswirtschaftslehre, insb. internationale Wirtschaft</i>
Prof. Dr. Ottmar Edenhofer	Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung <i>Direktor</i>
Ramona Eitzenhöffer	GreenCycle Umweltmanagement GmbH <i>Kommunikation</i>
Kathrin Falk	ExxonMobil Central Europe Holding GmbH <i>Leiterin Büro Berlin</i>
Prof. Dr.-Ing. Manfred Fishedick	Wuppertal Institut <i>Wissenschaftlicher Geschäftsführer</i>
Prof. Dr. Magnus Fröhling	TU München <i>Chair for Circular Economy</i>
Dr. Marion Früchtl	Fraunhofer-Institut für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik IGCV <i>Leitung Stabsstelle Biologische Transformation</i>
Michael Funcke-Bartz	Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) <i>Senior-Fachplaner Kompetenzzentrum „Umwelt“</i>
Dr. Lena Grimm	Zentrale der Fraunhofer-Gesellschaft <i>Forschungskordinatorin „Materials, Life Sciences“</i>
Dr. Jens Hamprecht	BASF SE <i>Head of Market Development Biopolymers</i>
Prof. Dr. Gerald Haug	Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina – Nationale Akademie der Wissenschaften <i>Präsident</i>
Christian Heller	value balancing alliance e. V. <i>Chief Executive Officer</i>

Dr. Patrick Herhold	Boston Consulting Group GmbH <i>Managing Director & Partner</i>
Prof. Dr.-Ing. Christoph Herrmann	Technische Universität Braunschweig Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik (IWF) <i>Institutsleitung/Nachhaltige Produktion & Life Cycle Engineering</i> Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST <i>Institutsleiter</i>
Christoph Heuer	Goldman Sachs International <i>Managing Director Investment Banking Division Head of Equity Capital Markets Germany & Austria</i>
Alexander Holst	Accenture Strategy <i>Managing Director – Sustainability & Utility Strategy</i>
Christian Holzleitner	Europäische Kommission Generaldirektion Klimaschutz <i>Head of Unit for Land Use and Finance for Innovation</i>
Dr. Werner Hoyer	Europäische Investitionsbank <i>Präsident</i>
Brigitte Irsfeld	Ständige Vertretung der Bundesrepublik Deutschland bei der Europäischen Union <i>Beratung für wirtschaftliche Angelegenheiten</i>
Dr. Marion Jung	ChromoTek GmbH <i>Chief Executive Officer</i>
Prof. Dr. Henning Kagermann	acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften <i>Vorsitzender des acatech Kuratoriums/acatech Senator</i>
Dr. Gernot Kalkoffen	ExxonMobil Central Europe Holding GmbH <i>Vorsitzender des Aufsichtsrats</i>
Dr. Andreas Kicherer	BASF SE <i>Senior Expert Sustainability</i>
Frederike Krebs	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) Europabüro Brüssel <i>Referentin Technik, Umwelt und Nachhaltigkeit</i>
Prof. Dr. Klaus Kümmerer	Leuphana Universität Lüneburg <i>Professur für Nachhaltige Chemie und Stoffliche Ressourcen</i>



Thomas Kyriakis	Schwarz Gruppe GmbH <i>Vorstand Schwarz Zentrale Dienste KG</i>
Christian Lach	BASF SE <i>Project Lead ChemCycling</i>
Peter Lacy	Accenture Strategy <i>Senior Managing Director – European Strategy Lead & Global Sustainability Lead</i>
Ulrike Linnig	EIT Climate-KIC <i>Innovation Lead Germany</i>
Gernot Löschenkohl	Munich Re AG <i>Head of Alternative Investments</i>
Dr. Michael Menhart	Munich Re AG <i>Global Chief Economist</i>
Dr. Gunnar Muent	Europäische Investitionsbank <i>Stellvertretender Direktor mit Generalvollmacht in der Direktion Projekte</i>
Prof. Karsten Neuhoff, Ph. D.	Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) <i>Abteilungsleiter Klimapolitik</i>
	Technische Universität Berlin <i>Professor am Institut für Volkswirtschaftslehre und Wirtschaftsrecht</i>
Lars Oestling	Europäische Investitionsbank <i>Abteilungsleiter Institutionelle Strategie</i>
Dr. Thomas Ogilvie	Deutsche Post AG <i>Vorstand Personal</i>
Dr. Stefan Oschmann	Merck KGaA <i>Chief Executive Officer</i>
Jean-Eric Paquet	Europäische Kommission Generaldirektion Forschung und Innovation <i>Director-General</i>
Prof. Dr. Karen Pittel	ifo Institut – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung an der Universität München e. V. <i>Leiterin des ifo Zentrums für Energie, Klima und Ressourcen</i>
	Ludwig-Maximilians-Universität München <i>Professorin für Volkswirtschaftslehre, insbesondere Energie, Klima und erschöpfbare natürliche Ressourcen</i>

Dr. Gerald Podobnik	Deutsche Bank AG <i>Chief Financial Officer Corporate Bank</i>
Dr. Carsten Polenz	SAP SE <i>Sherpa Office Executive Board</i>
Harriet V. Poulter	Accenture Strategy <i>Strategy Analyst</i>
Ernst Rauch	Munich Re AG <i>Global Head Climate & Public Sector Business Development</i>
Aldo Romani	Europäische Investitionsbank <i>Teamleiter und Senior-Experte, Nachhaltige Finanzierungen</i>
Dr. Artur Runge-Metzger	Europäische Kommission Generaldirektion Klimaschutz <i>Director for Climate strategy, Governance and Emissions from non-trading sectors</i>
Jim Hageman Snabe	Siemens AG <i>Vorsitzender des Aufsichtsrats</i>
Christian Schiller	Cirplus GmbH <i>Geschäftsführer</i>
Dr. Katharina Schlegel	BASF SE <i>Market Development Manager Biopolymers</i>
Prof. Dr. Robert Schlögl	Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft <i>Direktor</i>
Prof. Dr. Christoph M. Schmidt	RWI – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung <i>Präsident</i>
Sabine Schlüter-Mayr	Munich Re AG <i>Project Manager Climate & Public Sector Business Development</i>
Dr. Norbert Schultes	Ständige Vertretung der Bundesrepublik Deutschland bei der Europäischen Union <i>Leiter Abteilung Wirtschaft und Energie</i>
Wesley Spindler	Accenture Strategy <i>Business Strategy & Sustainability Senior Manager</i>
Dr. Markus Steilemann	Covestro AG <i>Vorstandsvorsitzender</i>



Kurt Vandenberghe	Europäische Kommission Kabinett der Präsidentin Ursula von der Leyen <i>European Green Deal Adviser</i>
Michael Vassiliadis	IG BCE Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie, Energie <i>Vorsitzender</i>
Stefaan Vergote	Europäische Kommission Generaldirektion Klimaschutz <i>Adviser for Emission Reduction Strategies, Research & Innovation</i>
Michael Vorländer	Ständige Vertretung der Bundesrepublik Deutschland bei der Europäischen Union <i>Referatsleiter Bildung und Forschung</i>
Prof. Dr.-Ing. Thomas Weber	acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften <i>Vizepräsident</i> Circular Economy Initiative Deutschland <i>Leiter des Lenkungskreises</i>
Prof. Dr.-Ing. Dieter Wegener	Siemens AG <i>Head of Department of Corporate Technology</i>
Dr. Joachim Wenning	Munich Re AG <i>Vorsitzender des Vorstands der Münchener Rück AG</i>
Dr. Petra Wicklandt	Merck KGaA <i>Head of Corporate Affairs, Senior Vice President</i>
Dr. Markus Wolperdinger	Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB <i>Institutsleiter</i>
Dr. Georg Zachmann	Bruegel <i>Senior Fellow</i>
Oliver Zühlke	Bayer AG <i>Vorsitzender Gesamtbetriebsrat</i> <i>Stellvertretender Vorsitzender des Aufsichtsrats</i>

Mitwirkende

Gesamtleitung

- Prof. Dr. Henning Kagermann, Vorsitzender des acatech Kuratoriums

Inhaltliche Mitarbeit

- Dr. Martin Bruder Müller, BASF SE
- Reiner Hoffmann, Deutscher Gewerkschaftsbund
- Prof. Dr.-Ing. Reimund Neugebauer, Fraunhofer-Gesellschaft
- Prof. Dr.-Ing. Günther Schuh, RWTH Aachen

Inhaltliche Begleitung und Review

- Prof. Dr. Dr. Andreas Barner, Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft
- Gabi Grützner, micro resist technology GmbH
- Prof. Dr. Jörg Hacker, Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina
- Prof. Dietmar Harhoff, Ph. D., Max-Planck-Institut für Innovation und Wettbewerb
- Dr. Marion Jung, ChromoTek GmbH
- Prof. Dr.-Ing. Anke Kayser-Pyzalla, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
- Prof. Dr. Renate Köcher, Institut für Demoskopie Allensbach
- Dr.-Ing. Reinhard Ploss, Infineon Technologies AG
- Prof. Dr. Martin Stratmann, Max-Planck-Gesellschaft
- Stefan Vilsmeier, Brainlab AG
- Dr.-Ing. Anna-Katharina Wittenstein, Wittenstein SE
- Oliver Zipse, BMW AG

Redaktionelle Mitarbeit

- Simin Chelopaz Amini, BASF SE
- Susanne Finkenzeller, Fraunhofer-Gesellschaft
- Thomas Fischer, Deutscher Gewerkschaftsbund
- Dr. Carolin Kranz, BASF SE
- Dr. Kai Lindemann, Deutscher Gewerkschaftsbund
- Dr.-Ing. Jan-Philipp Prote, e.Go REX GmbH
- Christian Schubert, BASF SE

Konzeption, Text und Interviews

- Florian Süssenguth, acatech Geschäftsstelle
- Dr. Jorg Körner, acatech Geschäftsstelle
- Dr. Annka Liepold, acatech Geschäftsstelle

Mit Unterstützung durch

- Louisa Everett, acatech Geschäftsstelle
- Stefan John, acatech Geschäftsstelle
- Silke Liebscher, acatech Geschäftsstelle
- Elisabeth Paul, acatech Geschäftsstelle

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 16PLI7003 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



1 Die Herausforderung: ein schneller und zugleich nachhaltiger Neustart der europäischen Wirtschaft

Die Kernidee des Ende 2019 von Ursula von der Leyen vorgestellten **europäischen Green Deal** ist eine Transformation der Wirtschaft, die Wohlstand und Wachstum vom Verbrauch endlicher Ressourcen entkoppeln soll. Er ist als europäische **Antwort** auf die globale Herausforderung des **Klimawandels** konzipiert und soll die Rahmenbedingungen schaffen, in Europa das Ziel der Klimaneutralität bis 2050 zu erreichen und dabei sowohl die **internationale Wettbewerbsfähigkeit** zu erhalten als auch die **sozialen Übergänge** für die Beschäftigten in den von der Transformation betroffenen Industrien und Branchen vorausschauend zu gestalten.

Im Zuge des durch die **SARS-CoV-2-Pandemie** ausgelösten Wirtschaftseinbruchs werden vereinzelt Überlegungen geäußert, den Green Deal aufzuschieben, da er als zusätzliche Belastung der Wirtschaft gesehen wird. Die befragten Expertinnen und Experten weisen diese Forderungen einheitlich und klar zurück. Die Pandemie bedeutet gerade **keine Pause für die Innovationspolitik**.

Der Erhalt und weitere Ausbau der Innovationsfähigkeit Europas ist entscheidend, um die Wettbewerbsfähigkeit und technologische Souveränität Europas zu sichern und den nachhaltigen **Neustart der europäischen sozialen Marktwirtschaft** auf lange Sicht erfolgreich zu meistern.¹ Um dieses Ziel zu erreichen, bedarf es **lernender, adaptiver Strategien**, die regelmäßig an neue Entwicklungen in der Wirtschaft ebenso wie in Technologiefeldern angepasst werden.

Die **Ziele und Elemente des Green Deal** sehen die Befragten dafür als **gute Vorarbeiten und Blaupausen** für entsprechende Konjunktur- und Wirtschaftsprogramme an. Der auf eine Aussetzung des Green Deal ausgerichteten Kritik setzen sie entgegen, dass sich dieser gerade deshalb gut als Ausgangsbasis eignet, da er vor allem auf **Investitionen und Innovationen als treibende Kräfte** setzt, nicht auf Verzicht und Verbote.

Der Weg nach vorne liegt daher in der Synchronisation der Ziele, Instrumente und Zeitleisten des Green Deal mit den auf die Pandemie reagierenden **Konjunktur- und Wirtschaftsprogrammen**.² Gerade weil sich bereits viele Branchen auf den Weg zu einer nachhaltigen Transformation gemacht haben, würde eine Nichtberücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten nach Ansicht der Befragten ein falsches Signal senden.

Nachhaltigkeit: ökologisch, ökonomisch, sozial

Der Nachhaltigkeitsbegriff des Green Deal eignet sich gut als Leitidee für Transformationsanstrengungen. Er versteht Nachhaltigkeit als Balance **ökologischer, ökonomischer und sozialer Dimensionen**. Dies ist als Handlungsanweisung zu verstehen, **keine** der drei Dimensionen **absolut** zu setzen und auf Kosten der anderen beiden zu verfolgen. Konzepte zur Transformation, die ein Gleichgewicht zwischen den Dimensionen schaffen, finden allgemein zunehmend Beachtung und können hier einen Rahmen vorgeben.³

So müssen Transformationsanstrengungen nicht nur die gesetzten **Klimaziele** im Blick behalten, sondern auch wirtschaftlich **gangbare Übergänge der Geschäftsmodelle** und Neustrukturierungen der Wertschöpfungsnetzwerke ermöglichen. Dies wiederum schließt sowohl das Entstehen und **Aufwachsen schlagkräftiger neuer Wettbewerber** als auch eine vorausschauende **Ausgestaltung und Finanzierung sozialer Übergänge** und einer kontinuierlichen Aus- und Weiterbildung der Beschäftigten mit ein.

Dies ist in der Praxis nicht immer leicht umzusetzen. Es gilt daher, im engen Austausch von Unternehmen, Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmern, Wissenschaft, Öffentlichkeit und Politik **Zielkonflikte frühzeitig zu erkennen und zu adressieren**. Dies ist im Nachgang der Pandemie umso wichtiger, da die strapazierten Haushalte der Staaten und Unternehmen weniger Spielräume lassen, Konflikte durch höhere Ausgaben aufzulösen.

Die **Ausgangslage** für eine solche Vermittlung zwischen den Nachhaltigkeitsdimensionen schätzen die Befragten **in der Bevölkerung als gut** ein. Es bestehe eine **hohe Sensibilität für Klimafragen** und eine Unterstützung der Klimaziele.⁴ Zudem zeichnet sich ab, dass Bevölkerung und Beschäftigte in der **Abfederung des wirtschaftlichen Einbruchs** und der Nachhaltigkeit der Wertschöpfung **keinen fundamentalen Widerspruch** oder Zielkonflikt sehen. Aktuelle Befragungen zeigen, dass die

1 | Vgl. acatech 2020.

2 | Vgl. Leopoldina 2020.

3 | Vgl. Raworth 2017.

4 | Vgl. Hoevermann/Fulda 2020.

SARS-CoV-2-Pandemie und der damit verbundene Konjunkturerinbruch **nicht dazu geführt** haben, dass **Klimaschutz** in der politischen Agenda der Bevölkerung **zurückgestuft** wird. Grundsätzlich geht die Mehrheit auch **nicht von einem fundamentalen Zielkonflikt** zwischen der Abfederung des **wirtschaftlichen Einbruchs** und einer stärkeren **Ausrichtung der Wertschöpfung auf Nachhaltigkeit** aus. Wenn es allerdings zu Zielkonflikten zwischen der ökonomischen Erholung Europas und Klimaschutzprogrammen käme, räumt die große Mehrheit zumindest kurzfristig der wirtschaftlichen Erholung klar Priorität ein. Umso wichtiger ist es, bei den Entscheidungen, Programmen und deren Umsetzung **beide Ziele im Verbund zu verfolgen**.

Innovation kann eine wichtige Rolle bei der **Abschwächung von Zielkonflikten** zukommen. In vielen Fällen können soziale, technologische oder Geschäftsmodellinnovationen sogar Konkurrenzkonstellationen in **Win-win-Situationen** verwandeln.

In der **Produktion** können anstelle von Nullsummenspielen (etwa Einstellung/Reduzierung CO₂-intensiver Stahlproduktion versus Sicherung von Arbeitsplätzen) durch moderne, **klimafreundliche Technologien** Lösungsansätze (zum Beispiel Carbon Direct Avoidance bei grünem Stahl, siehe Kasten 2) verwirklicht werden, die langfristig und unter Berücksichtigung vermiedener Klimaschäden sowohl der sozialen als auch der ökologischen und ökonomischen Nachhaltigkeitsdimension gerecht werden. Diese **Wohlfahrtsgewinne** setzen allerdings die **Schaffung entsprechender Infrastrukturen** voraus.

Diese Voraussetzung gilt auch für die **Ausschöpfung digitaler Möglichkeiten**. Hier hat die Pandemie **Versäumnisse** nicht nur im Gesundheitswesen schonungslos offengelegt. Das Aufholen bei entscheidenden digitalen Ansätzen, die es erlauben, ein Aufrechterhalten des Wirtschaftslebens mit dem Gesundheitsschutz der Bevölkerung zu kombinieren, findet erst jetzt statt. Die **aktuellen Erfahrungen** mit Home Office, Remote Maintenance oder auch der Schaffung einer Plattform für Echtzeitinformationen über freie Intensivkapazitäten müssen zu einem **Sprungbrett** für eine beschleunigte digitale Transformation werden.

Auf **europäischer Ebene** bestehen aktuell Gelegenheitsfenster, entsprechende **Prioritäten** zu setzen und über **Leuchtturmprojekte** große Hebel für eine gemeinsame nachhaltige Transformation Europas in Bewegung zu setzen, **statt** unter hohem Mitteleinsatz künstlich **alte Strukturen zu konservieren** und durch Pfadabhängigkeiten Modernisierungsbemühungen in der Industrie auf Jahrzehnte zu hemmen.

Resilienz der europäischen Wirtschaft als zusätzliche Anforderung an die neu zu schaffenden Strukturen

Die unmittelbaren Folgen des pandemiebedingten Stillstands weiter Teile der europäischen Wirtschaft haben eindrucksvoll in Erinnerung gerufen, dass eine Transformation des Wirtschaftsmotors Europas nur bei laufendem Betrieb erfolgen kann, wenn kein drastischer Einbruch erfolgen soll. Zugleich hat die Unterbrechung Schwachstellen und **Verwundbarkeiten** der gegenwärtigen **Wirtschaftsstrukturen und Geschäftsmodelle** sichtbar gemacht, die eine Rückkehr zum Normalbetrieb wie vor der Krise verbieten.

Die Transformation der industriellen und wirtschaftlichen Strukturen muss daher nicht nur auf eine Steigerung ihrer Nachhaltigkeit, sondern zusätzlich auf ihre **resiliente Ausgestaltung** ausgerichtet werden. Auch hier müssen mögliche Zielkonflikte frühzeitig erkannt und adressiert werden.⁵ **Resilienz** ist die Fähigkeit, potenziell widrige Ereignisse aller Art einzukalkulieren und sich darauf vorzubereiten, ihr Eintreten nach Möglichkeit abzuwehren, tatsächliche Schockereignisse zu verkraften und sich davon zu erholen, um auf dieser Basis zu einem besser angepassten, neuen Grundzustand zu gelangen (siehe auch Kapitel 2.5).⁶

Dies bedeutet auch, dass Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft lernen müssen, in multiplen **Zukunftsszenarien zu denken** und **Freiheitsgrade** sicherzustellen, die eine agile Anpassung erlauben. An die unmittelbare Bewältigung der akuten Kriseneffekte muss daher eine **gemeinsame Reflexionsphase** anschließen, in der die in der Krise gewonnenen Erkenntnisse verarbeitet und in **konkrete Maßnahmen** zur Steigerung der Resilienz der Wirtschaft, aber auch anderer gesellschaftlicher Bereiche übersetzt werden müssen. Eine schnelle Förderung wissenschaftlicher Vorhaben, die eine systematische Erhebung der Auswirkungen der Krise und der in ihr entwickelten Bewältigungsstrategien erlauben, kann hier einen wertvollen Grundstein legen.

Schwerpunkte des Impulses

Der vorliegende Impuls setzt **zwei Schwerpunkte**, die Deutschlands Position als stark industriell geprägtem Mitgliedstaat der EU geschuldet sind. Aus dieser Perspektive heraus werden Ideen und Ansätze entwickelt, die Deutschland auf europäischer Ebene einbringen kann und die gegen Interessen und Perspektiven von Mitgliedstaaten mit anderen wirtschaftlichen Schwerpunkten und Strukturen abgewogen werden müssen.

5 | Vgl. FAZ 2020a.

6 | Vgl. acatech 2014.

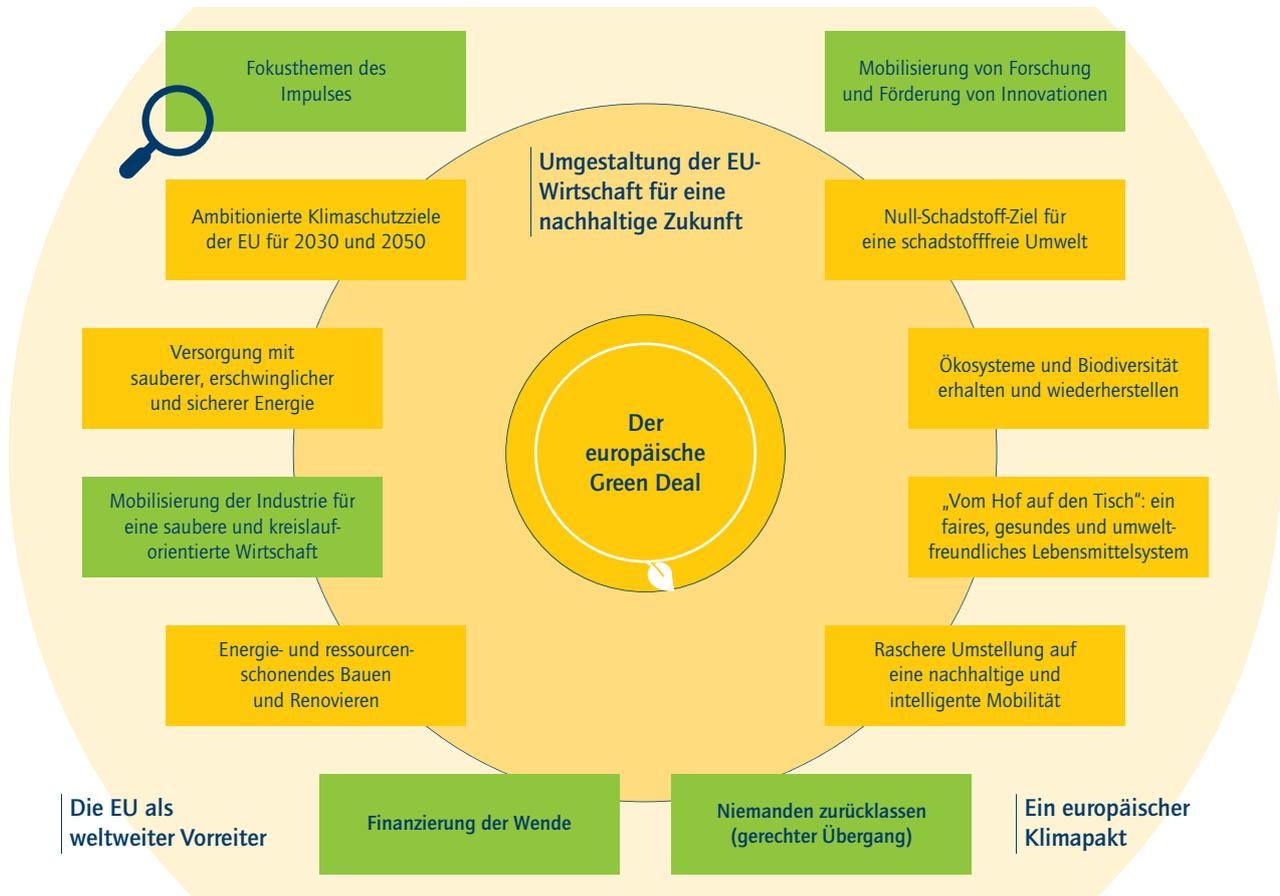


Abbildung 1: Der Green Deal der Europäischen Union; Fokusthemen dieser Studie in Grün (Quelle: eigene Darstellung basierend auf EU-KOM 2019d)

Der erste Schwerpunkt liegt auf einer **nachhaltigen Ausgestaltung der industriellen Produktion**, der zweite Schwerpunkt auf Instrumenten und Rahmenbedingungen für die Mobilisierung von Kapital für die dafür erforderlichen **Investitionen**. Dies deckt ausgewählte zentrale, aber nicht alle im Green Deal identifizierten Handlungsfelder ab (siehe auch Abbildung 1).

Diese Fokussierung impliziert keineswegs eine geringere Bedeutung der nicht behandelten Themenfelder des Green Deal für einen erfolgreichen Neustart und eine langfristige Nachhaltigkeitstransformation der gesamteuropäischen Wirtschaft. So setzen beispielsweise fast alle der vorgestellten Transformationspfade der Industrie eine **deutlich gesteigerte Verfügbarkeit von Elektrizität aus regenerativen Quellen** voraus. **Kasten 1** gibt

einen knappen **Überblick über weitere essenzielle Felder**, die im vorliegenden Text nicht vertieft werden.

Aufbau des Impulses

Der erste Schwerpunkt liegt auf der ökologisch, ökonomisch und sozial **nachhaltigen Ausgestaltung industrieller Produktion**. Die befragten Industrievertreterinnen und -vertreter schätzen grob, dass sie mit einer Optimierung bestehender Produktionstechniken und Wertschöpfungsnetzwerke nur die halbe Strecke des Wegs in Richtung Klimaziele zurücklegen können. Die anspruchsvollere zweite Hälfte setzt **Innovationen voraus**, die nicht bei der physischen Produktion enden. Sie erfordert auch Verhaltensinnovationen, einen fördernden Regulierungsrahmen und neue

Geschäftsmodelle entlang der gesamten Wertschöpfungs- und Nutzungskette.⁷

Kapitel 2 stellt die **zentralen Hebel vor**, die für eine entsprechende Transformation der industriellen Produktion zur Verfügung stehen:

- Nutzung von **Wasserstoff** und darauf aufbauenden synthetischen Energieträgern und **Elektrifizierung** bisher auf fossile Ressourcen angewiesener Prozesse
- **Digitale Transformation** als Enabler der weiteren Hebel und nachhaltiger Geschäftsmodelle
- **Circular Economy**-Ansätze als konzeptionelle Klammer für neue technologische Lösungen und Geschäftsmodellinnovationen zum Schließen von Ressourcenkreisläufen
- **Biologische Transformation** als ganzheitlicher Ansatz für ressourceneffiziente Produktionsverfahren und Prozesse entlang des Produktlebenszyklus von Design bis Recycling

Kapitel 3 illustriert die bestehenden Nachhaltigkeitspotenziale **exemplarisch am Wertschöpfungskreislauf der Kunststoffindustrie**. Hier wird gezeigt, dass eine Umstellung des Gesamtsystems nicht durch die punktuelle Substitution einzelner Produkte durch umweltfreundlichere Alternativen erreicht werden kann. Industrielle Wertschöpfungsnetzwerke und die dazugehörigen Geschäftsmodelle müssen vielmehr in gemeinsamen Anstrengungen von Wirtschaft, Wissenschaft und Politik

grundlegend transformiert werden, um nachhaltig und auch in Zukunft international wettbewerbsfähig zu sein.

Diese Umstellungen setzen hohe Investitionen voraus, die nicht vom Staat oder von den Unternehmen allein gestemmt werden können. Es muss daher **privates Kapital für Nachhaltigkeit** mobilisiert werden. **Kapitel 4** stellt dafür geeignete Instrumente zur Steigerung der Transparenz und der Vergleichbarkeit im Bereich der **Sustainable Finance** und des nachhaltigkeitsbezogenen **Berichtswesens** von Unternehmen vor. Deutschland hat hier die Chance, auf europäisch einheitliche Standards hinzuwirken, die ökologische, soziale und ökonomische Dimensionen gleichrangig und für die Akteure handhabbar verankern.

In **Kapitel 5** werden Institutionen und Instrumente diskutiert, die für ein **koordiniertes europäisches Vorgehen für Nachhaltigkeit durch Innovation** genutzt beziehungsweise gestärkt werden könnten. Diese reichen von der Europäischen Investitionsbank über regionenspezifische Transformationshilfen und die Sicherstellung eines Level Playing Field gegenüber Produzenten aus Wirtschaftsräumen mit niedrigeren Klima- und Nachhaltigkeitsstandards bis hin zur nachhaltigen Ausrichtung des großen öffentlichen Beschaffungsvolumens. Im kommenden europäischen Forschungsrahmenprogramm gilt es, die themenoffene Grundlagenforschung zu stärken und um neue Transfer- und Innovationsprogramme wie das European Innovation Council zu ergänzen.



Kasten 1: Weitere Handlungsfelder zur Erreichung von Nachhaltigkeitszielen

Unter den befragten Fachleuten herrscht die einstimmige Meinung vor, dass Nachhaltigkeitsmaßnahmen klug über Sektoren hinweg geplant werden müssen, sollen sie in Summe erfolgreich sein. Deswegen werden hier Bereiche mit großen Schnittmengen zu den Themen Finanzierung und Industrie skizziert und Bezüge an passender Stelle hergestellt, im vorliegenden Text aber nicht weiter vertieft.

Für den vorliegenden Impuls werden die Klimaziele als gesetzt betrachtet, zu denen sich Deutschland verpflichtet hat.

Energiewende

Die Verfügbarkeit von **regenerativ produzierter Energie in ausreichender Menge** ist eine elementare Grundvoraussetzung für die Erreichung der Klimaziele. Durch die Elektrifizierung von Industrieprozessen wird **zusätzlicher Strombedarf** entstehen.⁸ Energie, in Form von Strom und Wärme, bildet den **Grundstein für industriell gefertigte Produkte** in den meisten Branchen.

Im Rahmen der Energiewende wurde in Deutschland bereits viel erreicht. Das Vorhaben darf aber nun nicht ins Stocken geraten.⁹ Die anvisierten **Ziele für regenerative Energiequellen müssen erreicht** beziehungsweise sogar **ausgeweitet** werden, um die in den nachfolgenden Kapiteln vorgeschlagenen Maßnahmen umzusetzen und die angestrebten Nachhaltigkeitsziele bis 2050 sektorübergreifend erreichen zu können.

Da in Deutschland der Großteil der regenerativen Energie aus volatilen Quellen wie Wind und Sonne stammt, ist ein **konsequenter Infrastrukturausbau** von Smart Grids unerlässlich. Das Energiesystem der Zukunft muss smart und dezentral produzierte **Energie koppeln und verteilen** können.¹⁰ Die Umsetzung der Energiewende ist somit eng mit

der Digitalisierung verwoben. Handlungsempfehlungen und Leitlinien für den Energiesektor wurden in Deutschland unter anderem im Rahmen des ESYS-Projekts von der Arbeitsgruppe „Energiewende 2030“ und werden auf europäischer Ebene durch Science Advice for Policy by European Academies (SAPEA) erarbeitet.¹¹

Mobilität

Die Mobilität in Deutschland befindet sich im Wandel und steht derzeit vor großen Herausforderungen. Der **Verkehr** ist neben den Energie-, Industrie- und Wärmesektoren der **viertgrößte Emittent** von Treibhausgasen in Deutschland. Die Zielsetzung ist, die Emissionen bis 2030 um 42 Prozent gegenüber dem Bezugsjahr 1990 zu reduzieren. Die **Nationale Plattform Zukunft der Mobilität (NPM)** erarbeitet dafür in sechs Arbeitsgruppen konkrete Handlungsempfehlungen, die verkehrsträgerübergreifend ökologische, soziale und wirtschaftliche Perspektiven zur Zukunft der Mobilität beinhalten.

Ein zentraler Fokus der NPM liegt auf der **Reduzierung der CO₂-Emissionen** und dem Erhalt von Mobilität. Konkrete **Handlungsfelder** sind der Antriebswechsel bei Pkw und Lkw, die Effizienzsteigerung der Fahrzeuge, der Ausbau der Nutzung alternativer Kraftstoffe, die Stärkung des Schienenpersonenverkehrs, des Bus-, Rad- und Fußverkehrs, die Stärkung des Schienengüterverkehrs und der Binnenschifffahrt sowie die Nutzung der Vorteile der Digitalisierung. Besondere Aufmerksamkeit erhalten dabei alternative Antriebe und Kraftstoffe wie Elektromobilität, Brennstoffzelle und Wasserstoff sowie Strom- und Biokraftstoffe aus einer **technologieoffenen Perspektive**.¹³

Der in Kapitel 2.1 beschriebene Transformationshebel einer **europäischen Wasserstoffwirtschaft** ist damit unmittelbar für den Verkehrssektor und auch die **deutsche Automobilwirtschaft relevant**.

8 | Vgl. DECHEMA/FutureCamp Climate GmbH 2019.

9 | Vgl. EIW 2020a; 2020b.

10 | Vgl. ESYS 2020.

11 | Vgl. Leopoldina et al. 2020.

12 | Vgl. NPM 2019a; 2019b.

13 | Vgl. SAPEA 2020.

Forst- und Landwirtschaft

Die Bereiche **Forst- und Landwirtschaft** sowie Ernährung bieten große Gestaltungspotenziale für die Erreichung von Nachhaltigkeitszielen und zur Verwirklichung bioökonomischer Ansätze. Die Forst- und Landwirtschaft sind Sektoren, die aktiv zur **Speicherung von Emissionen** in den Böden und zur **Schonung von natürlichen Ressourcen** beitragen können. Dies kann durch Aufforstung, eine Anpassung der Anbaumethoden und Innovationen im Bereich Saatgut und Züchtung sowie im Bereich Pflanzenschutz gestärkt werden.¹⁴

Die Landwirtschaft ist auch der größte Einzelempfänger von **EU-Direktsubventionen**. Durch die Ausgestaltung der **Vergabekriterien beziehungsweise -auflagen** kann die Europäische Kommission somit einen großen **Hebel** zur Transformation direkt in Bewegung setzen. Wichtig ist jedoch auch hier der Dreiklang der Nachhaltigkeit: Die **ökologisch möglichen Potenziale** müssen bei ihrer Umsetzung mit **sozial und ökonomisch** nachhaltigen Ansätzen für die in der Landwirtschaft tätigen Personen in **Einklang** gebracht werden.¹⁵

In der **Ernährung** können innovative Ansätze wie Fleisch aus dem Labor zukünftig Beiträge zur **Senkung nahrungsbedingter Emissionen** leisten und gleichzeitig zur Schonung von natürlichen Ressourcen beitragen, wenn Nutzflächen nicht mehr für die Produktion von Futtermitteln verwendet werden müssen.¹⁶ Auch Wege zur **Vermeidung** der aktuell hohen **Nahrungsmittelverschwendung** durch bessere Nutzung, besseres Monitoring von Vertriebswegen sowie Schulung von Endverbraucherinnen und -verbrauchern sind geeignete Ansatzpunkte.¹⁷

Bauwirtschaft

Allgemein sprechen die Befragten der Bauwirtschaft eine zentrale Bedeutung sowohl bei der Erreichung von Klimazielen als auch bei Konjunktur- und Wirtschaftsprogrammen in Reaktion auf die wirtschaftlichen Folgen der Pandemie zu. Dabei sind Verfahren zur Herstellung **grünen Stahls** (siehe Kasten 2) und **klimafreundlichen Zements** (siehe Kasten 4) wichtige Beiträge, auf die im Folgenden eingegangen wird. Der weitere **Lebenszyklus** dieser Produkte im Bausektor ist aber ebenso wie der große mögliche Beitrag energetischer Sanierungen nicht Gegenstand der vorliegenden Studie.

14 | Vgl. BCG 2019b; BMEL 2019; BMU 2016.

15 | Vgl. acatech 2019b; BReg 2019e; EU-KOM 2020e.

16 | Vgl. McKinsey & Company 2019b.

17 | Vgl. EU-KOM 2016; FUSIONS 2016.



2 Ansätze für mehr Nachhaltigkeit in der Industrie

Für die Erreichung der Ziele des Green Deal und der Nachhaltigkeitsziele ist eine Transformation der Industrie unerlässlich. Es gibt eine Reihe technologisch bereits weit ausgereifter Ansätze, die branchen- und sektorübergreifend für die Neugestaltung von Wertschöpfungsnetzwerken genutzt werden können. Die Defossilisierung industrieller Prozesse wird durch Wasserstoff und Elektrifizierung vorangetrieben. Übergreifende Konzepte wie die Circular Economy bilden zusammen mit der digitalen und biologischen Transformation die Grundlage für Ressourcenschonung und Wertschöpfung in neuen Geschäftsmodellen.

Die Erholung und der Wiederaufschwung der europäischen Wirtschaft im Anschluss an die SARS-CoV-2-Pandemie müssen auf die gesetzten **Ziele des Green Deal und des Digital Europe-Programms** einzahlen. Deswegen müssen die in diesem Kapitel beleuchteten Ansätze zur Umstellung von Wertschöpfungsnetzwerken ein **Kernelement** bei der Ausgestaltung und Umsetzung der **Recovery-Maßnahmen** darstellen.

Die Schaffung nachhaltiger Wertschöpfungsnetzwerke wird in den meisten Fällen ein schrittweiser und etliche Jahre andauernder Prozess sein. Dies gilt insbesondere für den Wirtschaftsstandort Deutschland mit einer starken **Industrie**, die sehr **lange Investitionszyklen** hat. Deshalb ist es wichtig, die **ersten beziehungsweise nächsten Schritte** für eine nachhaltige Transformation der deutschen und europäischen Wirtschaft **jetzt zu gehen**, um die **Erreichung der Klima- und Nachhaltigkeitsziele** langfristig zu gewährleisten.

Nur wenn die nachhaltige Transformation der Wirtschaft mit der digitalen Transformation Hand in Hand geht, die sogenannte **Twin Transition**, können langfristig **Wohlstand und Wertschöpfung** sowie die **internationale Wettbewerbsfähigkeit** Deutschlands und Europas gesichert werden. Diese Symbiose ist

in der Kombination von **europäischer Industriestrategie und Green Deal** sowie **Digital Europe** bereits angelegt und muss nun ausgestaltet werden, um den Übergang zu nachhaltigen und robusten Geschäftsmodellen zu ermöglichen.¹⁸

„Ein CO₂-Preis ist der fundamentale Innovationstreiber. Er bildet zudem die Grundlage für die marktwirtschaftlich effizienteste Form der Transformation der Wirtschaft und kann dadurch kleinteilige Einzelmaßnahmen wirksam ersetzen.“

Die Basis für die Transformation der Wirtschaft muss nach **überwältigender Mehrheit der Befragten** eine auf weitere Sektoren ausgeweitete und vor allem lenkungswirksame **CO₂-Bepreisung** sein. Diese ist die **Grundvoraussetzung für die Wirtschaftlichkeit** vieler der aufgeführten sektorübergreifenden **Hebel** und beschleunigt deren skalierte Markteinführung. Hierbei raten die Expertinnen und Experten zu einem **europaweit wirksamen Vorgehen** und zur strategischen Festlegung der angestrebten **langfristigen Preisentwicklung**.

Wichtig ist jedoch auch, dass eine CO₂-Bepreisung **sozial abgefedert** wird.¹⁹ Ebenso müssen durch begleitende Maßnahmen **faire Wettbewerbsbedingungen** zwischen europäischen Anbietern und Anbietern aus Wirtschaftsräumen mit niedrigeren Klima- und Nachhaltigkeitsstandards hergestellt werden. Nur so kann es gelingen, die europäische Wirtschaft zu stärken und ein **Abwandern industrieller Produktion** beziehungsweise **Carbon Leakage** zu **verhindern** (zum Beispiel über Carbon Border Adjustment, siehe Kapitel 5.1).

Dies würde helfen, die gegenwärtig nach Einschätzung der Befragten herrschende massive Unsicherheit bei Unternehmen und Investoren abzubauen, die sie gegenwärtig von umfassenden Transformationsanstrengungen abhält. Erst durch **Planungssicherheit** werden die nötigen großen Investitionen, beispielsweise in klimafreundlichere Produktionsanlagen, denkbar und gleichzeitig **nachhaltigere Geschäftsmodelle** deutlich **schneller wirtschaftlich trag- und konkurrenzfähig** sein.²⁰

„Die einzige Chance ist, das Geld, das wir jetzt haben, richtig auszugeben. Das bekommen wir nicht nochmal.“

18 | Vgl. EU-KOM 2019a, 2020a, 2020g.

19 | Vgl. DGB 2019.

20 | Vgl. Hans Böckler Stiftung 2019; ifo Institut 2019; Leopoldina 2019; MCC/PIK 2019.

Fast alle Fachleute sind sich dabei über zwei zentrale Punkte einig: Investitionen in die **Umstellung der Wertschöpfungsketten** sind kostspielig und **bedürfen industrieübergreifender politischer Unterstützung** durch förderliche Rahmenbedingungen. Die aktuell zu tätigen Investitionskosten seien den zukünftigen **Kosten zur Mitigation** von Klimawandelfolgen allerdings **deutlich vorzuziehen**. Außerdem sehen die Befragten eine **Chance** für Deutschland und Europa, durch eine innovative klimafreundliche und nachhaltige produzierende Industrie auch zukünftig **im internationalen Wettbewerb erfolgreich Taktgeber** zu sein.

Dafür müssen Unternehmen individuell identifizieren, an welchen Stellen eine **Umstellung von Produktionsverfahren** beziehungsweise die Substitution von Materialien **sowie neue Geschäftsmodelle** zu einem nachhaltigeren Wirtschaften und insbesondere zur Vermeidung von Treibhausgasen führen können. Allein durch eine Optimierung bestehender Strukturen kann dies Fachleuten zufolge aber nicht gelingen. Vielmehr bedarf es eines **vielfältigen Innovationsportfolios entlang der gesamten Wertschöpfungskette**. Den nachfolgenden, sich oftmals ergänzenden Ansätzen wurde von den Expertinnen und Experten wiederholt die **größte Hebelwirkung** für die Erreichung der Green Deal-Ziele zugeschrieben:

- Wasserstoff/Elektrifizierung
- Digitale Transformation
- Circular Economy
- Biologische Transformation
- Carbon Capture and Utilization/Carbon Capture and Storage (CCU/CCS)

Für besonders CO₂-intensive Industrieprozesse kann die Weiterverwertung beziehungsweise Speicherung von Kohlenstoff im Rahmen von CCU/CCS bei der Erreichung von Klimaneutralität helfen. Da vor allem CCS erst mittelfristig realisierbar ist, wird dieser Ansatz nicht direkt in diesem Kapitel beleuchtet, sondern findet sich im Anhang B wieder.

Alle anderen benannten **Ansätze sind technologisch schon weit entwickelt**, oftmals dank exzellenter Forschung in Deutschland und Europa. In den folgenden Abschnitten wird beleuchtet, **welche Schritte und Maßnahmen** nach Meinung der Fachleute **prioritär angegangen** beziehungsweise welche **konkreten Ziele in den nächsten fünf bis zehn Jahren** erreicht werden sollen. Außerdem werden mögliche **Ansatzpunkte für politische Unterstützung** zur Stärkung der Einführung der Ansätze sowie weiterführende Forschungsprojekte für die Optimierung der Technologien benannt.

21 | Vgl. Bastin et al. 2019; IPCC 2018.

22 | Vgl. ESYS 2017.

2.1 Elektrifizierung/Wasserstoff – Nachhaltige Energiequellen der Zukunft

In der Industrie benötigte Energie muss zukünftig aus regenerativen Quellen stammen. CO₂-neutral produzierter Wasserstoff kann ebenso wie die Elektrifizierung von Produktionsprozessen die Grundlage hierfür darstellen. Die dafür notwendige Infrastruktur muss **jetzt realisiert werden**, damit die Prozessumstellung in Unternehmen eingeleitet und nachhaltige Geschäftsmodelle realisiert werden können.

Die starke industrielle Prägung des Wirtschaftsstandorts Deutschlands bietet große Potenziale zur Einsparung von Treibhausgasemissionen in industriellen Wertschöpfungsketten. Die **Transformation der Industrie** kann somit einen **wesentlichen Beitrag zur Erreichung der deutschen Klima- und Nachhaltigkeitsziele** leisten. Dabei spielt die **Defossilisierung von Produktionsverfahren** eine zentrale Rolle. Der Einsatz von Wasserstoff oder die Elektrifizierung von Prozessen sind zwei zentrale Ansätze, die zu einer Reduktion der Abhängigkeit von fossilen Energieträgern in der industriellen Produktion beitragen können.

Die **Notwendigkeit innovativer industrieller CO₂-Einsparungsansätze** liegt auch darin begründet, dass es in Deutschland und Europa nur **wenige Möglichkeiten gibt, natürliche CO₂-Senken zu schaffen**, zum Beispiel durch Aufforstungsflächen. Das Potenzial für durch Aufforstung aus der Atmosphäre zu sequestrierendes CO₂ liegt global nach Einschätzungen verschiedener Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler bei über 200 Milliarden Tonnen CO₂. Identifizierte potenzielle Aufforstungsflächen liegen allerdings größtenteils in Russland und Nordamerika.²¹

Wasserstoff: Vielseitiger Energiestoff für eine zukunftsfähige, klimafreundliche Industrie

Wasserstoff kann **sektorübergreifend eingesetzt werden** und bildet die Basis für innovative **Power-to-X-Lösungen**.²² Perspektivisch muss Wasserstoff aus CO₂-neutralen Quellen stammen, um einen größtmöglichen Beitrag zur Erreichung der Klimaziele in der Industrie, im Wärmesektor sowie im Mobilitätssektor leisten zu können.



Der **Markthochlauf muss frühestmöglich beginnen**, auch wenn anfangs nicht der gesamte Wasserstoff vollständig CO₂-neutral hergestellt werden kann. Sektorübergreifend müssen **gangbare Transformationspfade** aufgezeigt werden. Unter den Befragten herrscht Uneinigkeit, wie auf dem Weg zu einer grünen Wasserstoffwirtschaft eine ideale Balance zwischen Kosteneffizienz, großtechnischer Reife und CO₂-Intensität geschaffen werden kann.

Deutschland ist führend in wasserstoffbezogenen Technologien. Diese **global führenden Kompetenzfelder in Forschung und Industrie sollten genutzt** und ausgebaut werden. Besonderes Augenmerk sollte dabei auf die Förderung der Technologien **entlang der gesamten Wertschöpfungskette** von Produktion (Elektrolyseure) über Speicherung und Verdichtung bis hin zu Verflüssigung und Transport gelegt werden.

Die aktuellen Anwendungen von Wasserstoff bleiben noch weit hinter ihren Möglichkeiten zurück. Damit diese genutzt werden können, **muss ein systemischer Ansatz beim Ausbau der benötigten Infrastruktur auf europäischer Ebene verfolgt werden**. Bereits mit der im März 2020 erschienenen europäischen Industriestrategie wurde eine transeuropäische Wasserstoffinfrastruktur für CO₂-neutralen Wasserstoff als Ziel formuliert.

Die Technologie dafür ist hinsichtlich der Wasserstofferzeugung mittels Elektrolyse funktional ausgereift. Es bedarf allerdings weiterer Förderung zur Erlangung der Marktreife und zur **Schaffung von Skaleneffekten** zur Reduktion der bislang sehr hohen Kosten bei der Anschaffung.²³

„Es zeichnet sich am Horizont keine Alternative zu Wasserstoff ab.“

Die in breiter Übereinstimmung von den befragten **Fachleuten** geforderten **deutschen und europäischen Wasserstoffstrategien**, die nun auf den Weg gebracht wurden, sind daher **gute Schritte** zur Verwirklichung einer europäischen Wasserstoffwirtschaft.²⁴

Zu diesem Zweck soll die neu gegründete **European Clean Hydrogen-Alliance** Investoren mit Industrie- und Politikvertreterinnen und -vertretern zusammenbringen. Das Ziel ist, dass im Rahmen dieser Allianz notwendige **regulatorische Rahmenbedingungen**

identifiziert und angepasst sowie konkrete Forschungsprojekte angestoßen beziehungsweise Technologien entwickelt werden.²⁵

„Bei Power-to-X und einer Wasserstoffwirtschaft muss die EU gewinnen, und das können wir auch.“

Das Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH) hat die **Plattform „Hydrogen Valleys – H2Vs“** initiiert, um einen Überblick **über laufende Forschungsprojekte** auf europäischer Ebene zu bieten und den **Austausch** für beteiligte Akteure zu vereinfachen. Die Plattform befindet sich aktuell noch in der Aufbauphase und soll im Dezember 2020 vollständig online gehen.²⁶

Darüber hinaus entwickelt der europäische Branchenverband Hydrogen Europe in Zusammenarbeit mit Industriepartnern, wie zum Beispiel BMW, DB Schenker und Siemens, regionalen Verbänden sowie Forschungsinstituten bereits konkrete **Pläne für mögliche Vorhaben im Rahmen des geplanten Wasserstoff-IPCEI**.²⁷

Fachleute begrüßen die Pläne für ein **Wasserstoff-IPCEI**, um Forschung, Entwicklung und erste industrielle Einführung auf europäischer Ebene weiter voranzutreiben und neben den bereits interessierten Mitgliedstaaten wie Österreich, Dänemark und Deutschland auch noch weitere Staaten für das Projekt einer europäischen Wasserstoffinfrastruktur zu gewinnen.

Ein Wasserstoff-IPCEI kann nach Einschätzung der Befragten dazu beitragen, die für Entwicklung und Skalierung bestehende **Investitionslücke zu überbrücken**. Die Befragten betonten die Wichtigkeit des Aufbaus einer gesamteuropäischen Wasserstoffinfrastruktur, um die Verfügbarkeit von Wasserstoff in allen Bedarfsregionen in ausreichendem Maße zu gewährleisten.

Die **Produktion von Wasserstoff in Europa** ist vor allem für **südeuropäische Mitgliedstaaten** interessant, da die hohe Verfügbarkeit von Sonnenenergie für das energieintensive Elektrolyseverfahren zur Herstellung von grünem Wasserstoff eingesetzt werden kann. Gerade für Länder wie Spanien oder Portugal besteht die **Chance, nachhaltige Wirtschaftszweige vor Ort aufzubauen**. Dies sollte auch durch zentraleuropäische Länder wie Deutschland unterstützt werden, die den dort produzierten

23 | Vgl. FNB Gas et al. 2020; NPM 2020.

24 | Vgl. BMBF 2019b.

25 | Vgl. EU-KOM 2020a.

26 | Vgl. FCH/MI 2020.

27 | Vgl. HydrogenEurope 2020.

Kasten 2: „Grüner Stahl“ – Wege in eine zukunfts-fähige Schwerindustrie

Die **Stahlproduktion** ist für den Wirtschaftsstandort Deutschland und Europa von großer Wichtigkeit. Die aktuellen Produktionsverfahren sind sehr **CO₂-intensiv**, jedoch können diese durch innovative Produktionsverfahren **mithilfe von Wasserstoff** deutlich klimafreundlicher werden. Nach Berechnungen des Umweltbundesamts können durch den Einsatz von Wasserstoff in der Stahl- und Eisenbranche **jährlich rund 38 Millionen Tonnen CO₂ eingespart werden**.²⁸

Auch die Europäische Kommission erkennt die zentrale Rolle von Stahl an und will explizit klimaneutralen Stahl im Rahmen der **Industriestrategie** fördern, um somit die wettbewerbsfähige Markteinführung zu beschleunigen.²⁹ Der Einsatz von **regenerativ produziertem Wasserstoff** ist dabei **eng verwoben** mit der Produktion von „**grünem Stahl**“.

Aktuell gibt es zwei unterschiedliche Verfahren, um die Stahlproduktion „grüner“ zu machen: Eine Möglichkeit ist die **direkte Vermeidung von CO₂ durch den Einsatz von Wasserstoff** („**Carbon Direct Avoidance**“, CDA). Bei diesem Verfahren wird Kohlenstoff durch die Zufuhr von Wasserstoff in bestehenden Hochöfen ersetzt. Das **CO₂-Einsparungspotenzial** liegt hierbei bei circa **20 bis 30 Prozent**.³⁰ Die befragten Expertinnen und Experten sehen dies als wichtige **Übergangstechnologie**, da sie in bestehenden Hochöfen sofort angewendet werden kann, bis Anlagen für noch klimafreundlichere Alternativen gebaut sind.

Wie ein noch **höherer Grad der Direktvermeidung von CO₂** im Produktionsverfahren erreicht werden kann, wird unter anderem aktuell im **Forschungsprojekt SALCOS** der Salzgitter AG in Zusammenarbeit mit der Fraunhofer-Gesellschaft und dem Anlagenbau-Unternehmen Tenova erforscht.³¹

Bei dem zweiten Verfahren wird das bei der Produktion anfallende CO₂ gesammelt und für die **Nutzung in anderen Industriezweigen** („**Carbon Capture and Utilization**“, CCU) zur Verfügung gestellt. Im Rahmen des BMBF-geförderten Verbundprojekts Carbon2Chem wurde bereits erfolgreich

nachgewiesen, dass das bei der Stahlproduktion anfallende **CO₂ aus den Hüttengasen gewonnen** und für die chemische Industrie als **Basischemikalie verfügbar gemacht** werden kann, zum Beispiel zur Produktion von Dünger oder Kunststoffen. Den für die Umwandlung in Basischemikalien benötigten Wasserstoff produzieren Unternehmen mit Überschussstrom aus erneuerbaren Energien.³²

Fachleute sehen die **Produktion von klimafreundlichem Stahl** als **einzige Möglichkeit** für Deutschland und Europa in dieser Branche, **international wettbewerbsfähig zu bleiben**, vor allem vor dem Hintergrund der notwendigen CO₂-Einsparungen zur Erreichung der Sektorziele. Herkömmlicher Stahl aus Europa wird auf dem Weltmarkt nicht konkurrenzfähig bleiben.

Deswegen muss die **Politik die nötigen Rahmenbedingungen schaffen**, um die aktuell noch aufwendige **Herstellung von „grünem Stahl“ zu fördern** und langfristig konkurrenzfähig zu machen, indem sie die Transformation der Stahlindustrie eng begleitet. Dabei ist es wichtig zu bedenken, dass Hochöfen eine Umstellzeit von 5 bis 10 Jahren haben und dann rund 30 Jahre in Betrieb sind. Die langfristige **Verfügbarkeit von grünem Wasserstoff** in ausreichender Menge muss gewährleistet werden, um Planungssicherheit für Unternehmen zu schaffen, damit sie die nötigen Investitionen tätigen können.

Auch die Bevorzugung klimafreundlichen Stahls bei der **öffentlichen Beschaffung** erscheint als sinnvolles Instrument, um die Skalierung der Technologien in Deutschland und Europa voranzutreiben. Darüber hinaus sollte der Einsatz von **Carbon Contracts for Difference** als Anreiz überprüft werden.

Langfristiges Ziel sollte die **Chancengleichheit im internationalen Wettbewerb** sein. Diese würde durch eine **globale, lenkungswirksame CO₂-Bepreisung** hergestellt. Dies scheint jedoch aus aktueller Sicht ein Fernziel zu sein, denn die Klimaambitionen internationaler Wettbewerbsregionen bleiben derzeit teils weit hinter dem europäischen Ambitionsniveau zurück. Deswegen sollte als Alternative ein **Carbon Leakage-Schutz** (zum Beispiel über Carbon Border Adjustment, siehe Kapitel 5.1) in Betracht gezogen werden.

28 | Vgl. UBA 2019d.

29 | Vgl. EU-KOM 2020a.

30 | Vgl. Westdeutsche Zeitung 2019.

31 | Vgl. IHK 2019.

32 | Vgl. Thyssenkrupp 2020.



Wasserstoff industriell benötigen. Auch die heimische Produktion von Wasserstoff in Deutschland kann durch die Senkung von Stromnebenkosten, den Abbau regulatorischer Hemmnisse oder eine ambitionierte Umsetzung der europäischen Erneuerbare-Energien-Richtlinie (RED II) gefördert werden.

„Wir müssen uns dazu bekennen, dass wir ein Energie-Importland bleiben.“

Nach Einschätzung der meisten befragten Expertinnen und Experten ist neben der Förderung der Wasserstoffproduktion und der dafür nötigen Transportinfrastruktur in Europa vor allem auch eine **konkrete Importstrategie elementar wichtig**, da die Bedarfe der Industrie an regenerativ produziertem Wasserstoff nicht durch eine europäische Produktion gedeckt werden können. Denn nur **CO₂-neutral hergestellter Wasserstoff** kann einen Beitrag zur Erreichung der Klimaziele leisten, wie etwa bei der Stahlproduktion (siehe Kasten 2).

Neben den großen Anwendungsfeldern in der (Schwer-)Industrie ist Wasserstoff auch im Verkehrssektor vielseitig einsetzbar. Es liegen bereits erste Serienmodelle für Straßen- und Schienenfahrzeuge vor. Aufgrund der Energiedichte von Wasserstoff bietet sich der Einsatz bei Fahrzeugen mit hohen Fahrleistungen an. Zurzeit gibt es allerdings kaum Modelle mit Brennstoffzellenantrieb auf dem Markt, sodass der Bestand auf Straße und Schiene noch gering ist. Mittel- und langfristig wird jedoch ein **Wachstum für wasserstoffbasierte Antriebstechnologien auf Straße und Schiene erwartet**.³³ Grundlage hierfür muss ein **europaweit engmaschiges Wasserstoff-Tankstellennetz** sein, um möglichst CO₂-armen Wasserstoff für sowohl Pkw als auch Lkw in ausreichender Menge zur Verfügung zu stellen.

Grüner Wasserstoff wird daher langfristig **sektorübergreifend** als Speichermedium, Energieträger und chemischer Reaktionspartner sowie im Verkehrssektor **eine Schlüsselrolle spielen**.³⁴ Für eine nachhaltige und gleichzeitig wertschöpfende Perspektive von Wasserstoff bietet es sich daher an, Wasserstoff zu importieren und Elektrolysetechnologie sowie Brennstoffzellensysteme und -fahrzeuge zu exportieren.

Elektrifizierung: Nachhaltige industrielle Produktion auf Strombasis

Die **Elektrifizierung industrieller Prozesse**, die bislang auf fossile Energieträger angewiesen sind, bietet ein großes Emissionseinsparpotenzial in der industriellen Fertigung. Dabei gilt es jedoch zu bedenken, dass durch die Elektrifizierung von Industrieprozessen **erheblicher zusätzlicher Strombedarf** entstehen wird. Damit die elektrifizierte Produktion nachhaltig ist, muss der verwendete Strom **aus regenerativen Quellen** stammen. Eine Prognose von DECHEMA für den Verband der Chemischen Industrie (VCI) verdeutlicht, wie drastisch der Anstieg an Strombedarf allein in der Chemiebranche wäre, wenn diese bis 2050 weitestgehend klimaneutral werden soll und Produktionsverfahren umstellt (siehe hierfür Abbildung 2).³⁵

Die **Verfügbarkeit regenerativer Energie** muss regelmäßig **mit den Bedarfen der Industrie abgeglichen** und entsprechend **angepasst werden**. Wenn nicht genügend regenerative Energie zur Verfügung steht, werden die in den nachfolgenden Kapiteln vorgeschlagenen Maßnahmen oftmals nicht klimaneutral umsetzbar sein können und dadurch ihre Wirksamkeit verlieren. Derzeit liegt der **von der Bundesregierung erwartete Gesamtstrombedarf** vor allem nach 2030 deutlich unter den von einigen **Industriebranchen prognostizierten Bedarfen**.³⁶ Nach Einschätzung von Fachleuten sind gerade für die **Erreichung der letzten zehn bis 15 Prozent der Emissionseinsparung** in vielen Branchen **große technologische Umstellungen nötig**, die sich unter anderem in einem hohen Strombedarf widerspiegeln werden.

Die Europäische Kommission hat die Notwendigkeit des Ausbaus regenerativer Energiequellen erkannt und fordert einen **strategischen Ausbau der erneuerbaren Energieproduktion**.³⁷ Expertinnen und Experten fordern, den **Prozess der Elektrifizierung parallel zum Ausbau der regenerativen Energien** anzuschieben. Auch wenn anfangs der Strommix noch nicht komplett aus regenerativen Quellen stammt, müssen die Technologien eingeführt und weiterentwickelt werden, um langfristig effizienter und wettbewerbsfähig zu werden.

Für eine erfolgreiche Elektrifizierung und das **Energiesystem der Zukunft** sind die kluge Kombination aus **zentralen und dezentralen Elementen** und ein Ausbau regenerativer

33 | Vgl. Hydrogen Council 2017.

34 | Vgl. NPM 2019a, 2020.

35 | Vgl. DECHEMA/FutureCamp Climate GmbH 2019.

36 | Vgl. Bundesnetzagentur 2019; DECHEMA/FutureCamp Climate GmbH 2019; UBA 2010.

37 | Vgl. EU-KOM 2020a.

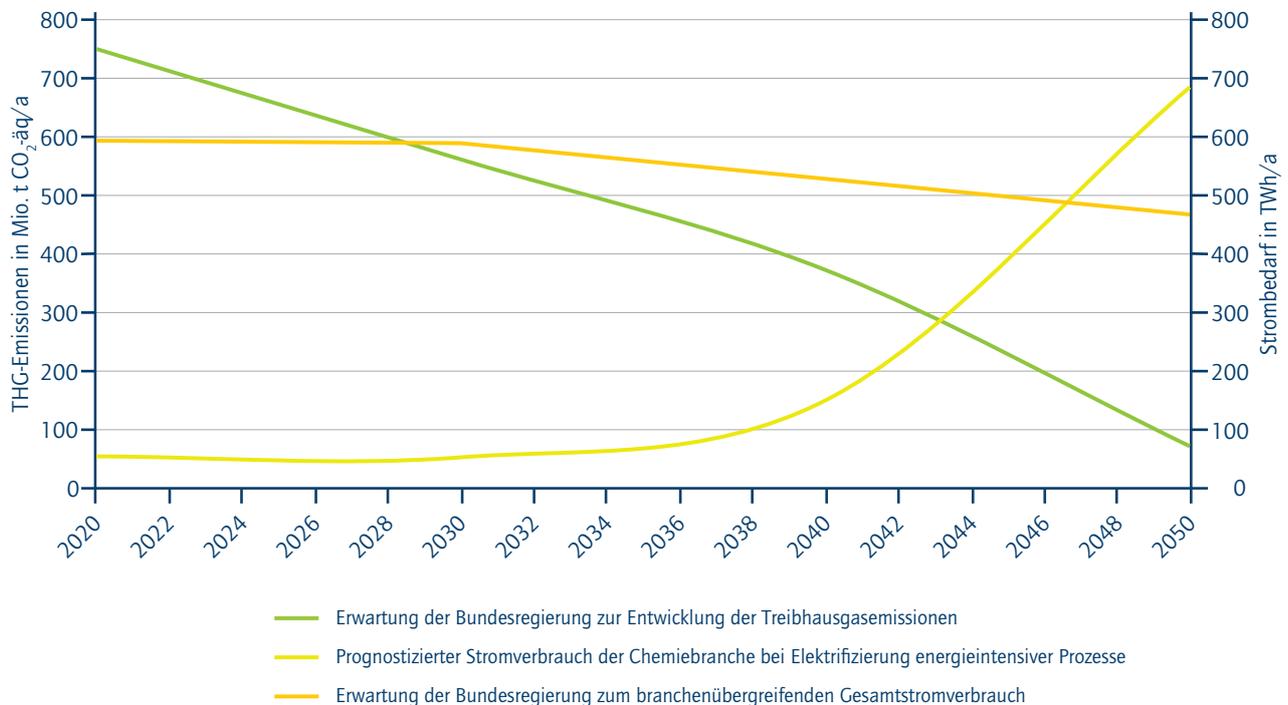


Abbildung 2: Prognostizierter Stromverbrauch Deutschlands bei Reduktion der Treibhausgasemissionen bis 2050 (Quelle: eigene Darstellung basierend auf Bundesnetzagentur 2019; DECHEMA/FutureCamp Climate GmbH 2019; UBA 2010)

Energiequellen unerlässlich.³⁸ Auf europäischer Ebene könnte der geplante **European Data Space** dazu beitragen, regenerativ produzierte Energie in **Smart Grids** klug miteinander zu koppeln.³⁹

Mögliche Ansatzpunkte für Maßnahmen

- **Entwicklung eines konkreten gesamteuropäischen Wasserstoffinfrastruktur-Konzepts:** Hierbei müssen sinnvolle Produktionsstätten für Wasserstoff in Europa identifiziert und die nötige physische Infrastruktur geplant werden, um den Wasserstoff, der voraussichtlich im sonnenreichen Süden Europas oder in windreichen Küstenregionen produziert wird, an benötigte industrielle Produktionsstätten zu transportieren. Darüber hinaus müssen Konzepte für den Transport von Wasserstoff aus anderen Weltregionen berücksichtigt werden.
- **Schließung von strategischen Partnerschaften für den Import von Wasserstoff:** Europa wird über die eigene Produktion von Wasserstoff hinaus zusätzlich auf Importe angewiesen sein, um den erwarteten Bedarf decken zu können. Hierfür sollten strategische Partnerschaften mit zuverlässigen internationalen Partnern angestrebt werden, die Wasserstoff aus nachhaltigen Quellen produzieren. Neben Australien bietet sich die sonnenreiche MENA-Region an. Ein positiver Nebeneffekt könnte die gleichzeitige Stärkung der Regionen durch die Schaffung von Arbeitsplätzen beziehungsweise der Aufbau alternativer Industrien in derzeit stark fossilorientierten Wirtschaftsräumen sein.
- **Umfassende Analyse zur Strombedarfsentwicklung:** Nur wenn Strom aus regenerativen Quellen stammt, können elektrifizierte Industrieprozesse nachhaltig sein. Um die Verfügbarkeit von regenerativ produzierter Energie in ausreichendem Maße zu gewährleisten, sollte auf europäischer oder zumindest deutscher Ebene eine detaillierte Analyse zu erwarteten Strombedarfen durchgeführt werden. Einerseits werden Effizienzinsparungen bei bestehenden Prozessen erwartet, andererseits werden sektorübergreifend Strombedarfe durch die Elektrifizierung der Mobilität und industrieller Prozesse wachsen. Der weitere Ausbau regenerativer Energie muss auf die Ergebnisse der Analyse aufbauen.

38 | Vgl. ESYS 2020.

39 | Vgl. EU-KOM 2020a.



2.2 Digitale Transformation – Virtuelle Optimierung von Wertschöpfungsketten

Die digitale Transformation bereitet als Teil der nachhaltigen Transformation der Wirtschaft den Boden für die zukünftige Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands und Europas. Branchenübergreifend können digitale Ansätze sowohl in der Produktion für Effizienzgewinne sorgen als auch völlig neuartige Geschäftsmodelle ermöglichen. Die Politik muss die nötigen Rahmenbedingungen und Infrastrukturen für die weitere digitale Transformation der Wirtschaft, gerade auch für KMU, sowie des Alltags schaffen.

Die digitale Transformation und die nachhaltige Entwicklung müssen konsequent zusammengedacht werden, da die **digitale Transformation** zukünftig in allen Sektoren eine wichtige Rolle spielen wird. Digitale Anwendungen bilden oftmals auch die **Grundlage** für die Verwirklichung **der anderen benannten Hebel** beziehungsweise die Umsetzung der **dazugehörigen Geschäftsmodelle**. Um diese zu befähigen, bedarf es einer zukunftsfähigen digitalen Infrastruktur.

Rahmenbedingungen und Chancen für die digitale Transformation der Wirtschaft

Um die deutsche und europäische Wirtschaft zukünftig wettbewerbsfähig zu halten, ist es notwendig, im Rahmen der **Twin Transition** neben Green Deal-Zielen auch konsequent die Umsetzung des „Digital Europe“-Programms und der „Shaping Europe’s Digital Future“-Strategie zu verfolgen.⁴⁰ Als Teil des Programms wurden im Frühjahr 2020 eine europäische Datenstrategie sowie eine KI-Strategie vorgestellt.⁴¹

Auch in der **neuen europäischen Industriestrategie** ist das **Ziel einer digitalen Transformation** der europäischen Industrie **klar verankert**.⁴² Die „Digitalisierung gestalten“-Strategie der Bundesregierung von 2019 dient als Grundlage für die weitere

Umsetzung der digitalen Transformation Deutschlands und baut auf die Digitale Agenda 2014–2017 auf.⁴³ Nun gilt es, die nötigen Rahmenbedingungen auf deutscher und europäischer Ebene zu schaffen und die geplanten Vorhaben rasch und konsequent umzusetzen.

„Digitalisierung ist ein zentraler Enabler für die Zukunftsfähigkeit von Deutschland und Europa.“

Im Rahmen von **Industrie 4.0** können Unternehmen zukünftig durch eine noch genauere Überwachung von Produktionsschritten Nachhaltigkeit befördern, indem (weitere) Prozessabläufe digitalisiert und miteinander verknüpft werden. Dies kann zu **mehr Effizienz und Ressourcenschonung** in der Produktion führen und passt zum Profil der deutschen Industrie, zu deren Stärken die Herstellung von **Green Tech** gehört.⁴⁴ Abbildung 3 liefert einen Überblick über Beispiele für den Einsatz von Digitalisierungsinstrumenten für nachhaltige Umgestaltung von Industrieprozessen.

Durch die Verwendung von **Digitalen Zwillingen** ist für Firmen eine **bis zu 75 Prozent schnellere Entwicklung** bei gleichzeitiger Einsparung von über 30 Prozent Kosten pro Teil möglich.⁴⁵ Zudem können nach Einschätzung der Fachleute auf diese Weise bereits in der Planungsphase ein besseres **Refitting** und **Remanufacturing** mitgedacht sowie eine Wirkungsgradoptimierung von Gesamtsystemen erreicht werden. Digitale Zwillinge können auch einen Beitrag zur **Digitalisierung von Lieferketten** leisten. Aktuell verhindern unter anderem fehlende gemeinsame Standards und auch Medienbrüche wie Frachtbriefe in Papierform in vielen Bereichen einen durchgängigen und transparenten **Überblick über Warenströme in Echtzeit**. Dies erschwert gerade auch die Planung von Hochlaufphasen nach Produktionsunterbrechungen.

Insbesondere auch in der energieintensiven Chemiebranche sollen die digitale Transformation und die Zirkularität dazu beitragen, dass **„Chemie 4.0“** nachhaltiger mit Ressourcen umgeht und große Mengen CO₂ eingespart werden.⁴⁶ Auch für Ansätze der **Circular Economy** ist die digitale **Verfolgung von Stoffströmen** und Komponenten unerlässlich.

40 | Vgl. EU-KOM 2019a; 2020d.

41 | Vgl. EU-KOM 2020b; 2020h.

42 | Vgl. EU-KOM 2020a.

43 | Vgl. BReg 2014, 2019c.

44 | Vgl. BMU 2018.

45 | Vgl. ZVEI/Wegener 2020.

46 | Vgl. Deloitte/VCI 2017.



Abbildung 3: Entstehung von Nutzenpotenzialen durch den Einsatz von Digitalisierungsinstrumenten im Umweltmanagement (Quelle: eigene Darstellung basierend auf UBA 2019d)

Digitale Anwendungen, denen auch für die Erreichung von Nachhaltigkeitszielen eine große Rolle zugesprochen wird, wie **Künstliche Intelligenz, Big Data und Cloud Services**, sind **äußerst energieintensiv**.⁴⁷ Datenzentren verbrauchen sehr große Strommengen.⁴⁸ Die **Effizienz** der Technologien **muss stetig weiter verbessert werden**, weswegen das Themenfeld **Green IT** erneut an Bedeutung bei der Frage nach dem ökologischen Fußabdruck der digitalen Transformation gewinnt.

Deshalb ist gerade auch die Forschung an und Entwicklung von **disruptiven, energiearmen Speichermedien** von großer Bedeutung, da sie perspektivisch eine Alternative darstellen und dadurch einen wesentlichen Beitrag zur **Senkung des benötigten Energiebedarfs bei der Datenspeicherung** leisten können (siehe auch Kasten 3).

Jedoch ist eine **Lebenszyklusbetrachtung** von digitalen Produkten und Anwendungen sinnvoll, denn ein zum Teil unterbeleuchteter Aspekt ist, dass **digitale Anwendungen** nicht nur Energie verbrauchen, sondern in Downstream-Prozessen auch einen großen Beitrag zur **Einsparung von Energie beziehungsweise zur**

optimierten Nutzung von Ressourcen leisten. Dieser ist oftmals um ein Vielfaches größer als der Energiebedarf der Anwendung selbst.⁴⁹ Smart Meters und Precision Agriculture sind nur zwei Beispiele, wie digitale Lösungen bereits heute einen Beitrag zur Erreichung von Klima- und Nachhaltigkeitszielen leisten.

Fachleute sehen bei solchen **integrierten digitalen Industrielösungen**, die zum Beispiel helfen, die CO₂-Intensität einer Produktionstätigkeit in Echtzeit zu messen und gegebenenfalls steuernd einzugreifen, große **Wertschöpfungspotenziale für deutsche Unternehmen** aus dem Bereich Industrie 4.0.

Wertschöpfung und Flexibilität durch digitale Ansätze

Branchenübergreifend **nimmt Wertschöpfung basierend auf digitalen Geschäftsmodellen zu**. Zudem verändert sich grundlegend die Art und Weise, wie und wo Wertschöpfung in Wertschöpfungsnetzwerken durch digitale Anwendungen stattfinden kann.⁵⁰ Durch die digitale Transformation **können** gerade auch kleinere und spezialisierte Unternehmen **neue Märkte erschließen**.

47 | Vgl. WBGU 2019.

48 | Vgl. Borderstep Institute 2015.

49 | Vgl. DIGITALEUROPE 2015.

50 | Vgl. McKinsey Global Institute 2019; Roland Berger 2017.



Kasten 3: Alternative digitale Speichermöglichkeiten: Skyrmionen und synthetische DNA

Um **langfristig** eine Alternative zu stromintensiven Datenzentren zu schaffen, braucht es technologische Innovationen, die eine **neue, energiearme Art der Datenspeicherung** ermöglichen. Nachfolgend werden zwei Ansätze mit unterschiedlichem Reifegrad vorgestellt.

Als **mittelfristig realisierbares Speichermedium** kommen **Skyrmionverbindungen** infrage. Aufgrund der sehr hohen möglichen Speicherdichte sind sie als Datenspeicher, zum Beispiel für Computer, attraktiv. Sie basieren auf bekannten Grundprinzipien der magnetischen Datenspeicherung. Skyrmione sind stabile Magnetwirbel in Feldern, die sich wie Elementarteilchen verhalten.⁵¹ Skyrmionverbindungen sind auch bei Raumtemperatur stabil, weisen einen **hohen Stabilitätsgrad** auf, und ihr Einsatz ist in Flüssigkristallen möglich. Durch die kompakte Anordnung von Skyrmionen in Verbindungen, sogenannten „**Skyrmion Bags**“, wird das **Speicherpotenzial deutlich erhöht** im Vergleich zur linearen Anordnung in Ketten.⁵²

Einen noch weiter in der Zukunft liegenden, aber spannenden **Ansatz für platzsparende Langzeitspeicher** bietet die Sicherung von Daten auf **synthetischer DNA**. Sie ist zudem ein Beispiel für die **biologische Transformation der Digitalisierung**. Pro Gramm DNA können Hunderttausende Terabyte gespeichert werden. Das gesamte Internet wäre also theoretisch auf einer DNA-Menge mit dem Volumen eines Schuhkartons speicherbar. Durch die extrem hohe mögliche Datendichte könnten so platz- und energiesparende Alternativen beziehungsweise eine Ergänzung zu den bestehenden Datenzentren (mit aktuell sehr hohem Energieverbrauch) geschaffen werden. DNA-Moleküle weisen außerdem eine **sehr hohe Stabilität** auf.⁵³ So können zum Beispiel auch heute

noch Informationen aus Jahrtausende alter Mammut-DNA ausgelesen werden. Dies kann eine **neue Dimension der Langfristigkeit** bei der Sicherung von Daten eröffnen.

In groben Zügen kann das Verfahren zur Speicherung von Daten in DNA-Form wie folgt beschrieben werden: Der **Binär-code** digitaler Daten wird durch eine Software **in DNA-Code umcodiert** und **in synthetisch hergestellten DNA-Strängen** gespeichert. Durch ein Sequenziergerät kann der Code ausgelesen und in für Computer verwertbare Informationen rückübersetzt werden.

Der praktische Nachweis, dass digitale Daten in DNA übersetzt, darin abgespeichert und auch wieder ausgelesen werden können, wurde bereits 2012 von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern in den USA erbracht.⁵⁴ **2019** hat ein Team von Microsoft Research einen entscheidenden nächsten Schritt hin zur Skalierung der Technik gemacht: Im Labor wurde die **Machbarkeit (Proof-of-Concept) der kompletten Automation** von DNA-Speicherung vom Codieren und Speichern bis zum Wiederauslesen der Daten **nachgewiesen**.⁵⁵ Dies stellt einen entscheidenden Fortschritt dar, da bis dahin manuell aufwendige Prozesse hierdurch überflüssig werden.

Das automatisierte **Verfahren ist aktuell noch sehr langsam** – das Speichern und Wiederauslesen des Wortes „HALLO“ dauerte im Versuchsaufbau von Microsoft Research rund 21 Stunden. Außerdem ist die **Herstellung von synthetischer DNA ein großer Kostenfaktor** und die **Fehlerkorrektur** beim Auslesen funktioniert noch nicht reibungslos. Nichtsdestotrotz ist die Technologie so vielversprechend, dass es bereits **erste Start-ups** gibt, die sich entweder direkt auf die Speicherung von Daten in DNA spezialisiert haben, wie Catalog (USA), oder Basistechnologien für wichtige Prozessschritte herstellen, wie Kilobaser (Österreich).

Durch **digitale und smarte Lösungsansätze** steigt die Zahl **servicebasierter Geschäftsmodelle**, die ein branchenübergreifendes Spektrum von der Energieversorgung bis zur Erhöhung der Transparenz für Konsumentinnen und Konsumenten beim Kauf von Lebensmitteln umfassen.⁵⁶

Die befragten Expertinnen und Experten weisen darauf hin, dass durch die digitale Transformation im Rahmen von Industrie 4.0 und die Automatisierung in einigen Fällen Produktionsverfahren wieder wettbewerbsfähig nach Deutschland oder Europa geholt werden könnten. Dafür ist es notwendig,

51 | Vgl. Spektrum.de 2017.

52 | Vgl. Foster et al. 2019.

53 | Vgl. Erlich/Zielinski 2017.

54 | Vgl. Church et al. 2012.

55 | Vgl. Golem.de 2019; Takahashi et al. 2019.

56 | Vgl. BMBF 2019c.

Wertschöpfungsnetzwerke zu analysieren und zu **überprüfen, ob ein Reshoring der Produktion** an einigen Stellen **wieder wettbewerbsfähig** ist. Verkürzte Lieferketten durch Reshoring können zudem zur Resilienz von Wertschöpfungsnetzwerken beitragen.

Versäumnisse der digitalen Transformation Deutschlands

Die aktuelle **SARS-CoV-2-Pandemie** gibt der **digitalen Transformation** einen **immensen Schub**. Sie **zeigt** jedoch auch **schonungslos die bisherigen Versäumnisse** im Bereich der digitalen Transformation in der Verwaltung, im Gesundheitswesen, in Schulen und Universitäten, aber auch in Unternehmen auf.⁵⁷ Nichtsdestotrotz wurden aber auch in kürzester Zeit digitale Alternativen zu analogen Strukturen geschaffen, zum Beispiel in Form von Home Office, Remote Maintenance oder digitalen Verkaufsplattformen.

Auch der Erfolg des **#WirVsVirus-Hackathon** der Bundesregierung kann als Beleg für Agilitätspotenziale gewertet werden.⁵⁸ Aus digitalen Strukturen, die aktuell aufgebaut werden, um die Geschäftsfähigkeit von Unternehmen und Institutionen aufrechtzuerhalten, gilt es zu **lernen und daran anzuknüpfen**.

„Unsere digitale Infrastruktur entspricht nicht der deutschen Wirtschaftsleistung.“

In Zeiten der aktuellen Pandemie wird ersichtlich, wie **unerlässlich** eine funktionierende **digitale Infrastruktur** für Unternehmen ist, um auch in **Krisenzeiten flexibel und resilient** auf Herausforderungen reagieren zu können und den Arbeitsbetrieb aufrechtzuerhalten (siehe auch Kapitel 2.5).⁵⁹ Unternehmen berichten, dass sie im Zuge der SARS-CoV-2-Pandemie ihre **Digitalisierungsaktivitäten** über alle Geschäftsfelder und Wertschöpfungsschritte hinweg nochmals **deutlich beschleunigt** haben.⁶⁰ Hierbei sind zwischen einzelnen **Branchen deutliche Unterschiede** in Bezug auf Bedarfe, Möglichkeiten des Einsatzes digitaler Initiativen und bereits vorhandene Kompetenzen festzustellen.⁶¹

Gleiches gilt für Bildungsinstitutionen. Fachleute sprechen sich deshalb für eine rasche **digitale Transformation** von **Schulen und Hochschulen** in den nächsten Jahren aus. Die durch die Gesellschaft für Informatik im Lichte der SARS-CoV-2-Pandemie angestoßene „Offensive Digitale Schultransformation“, die von einem breiten Netzwerk aus Wissenschaft, Zivilgesellschaft und Wirtschaft mitgetragen wird, könnten als Grundlage hierfür dienen.⁶² Ein Ansatz kann auch die Erprobung digitaler Klassenzimmer sein. Den Zielen für die Digitalisierung von Schulen, wie WLAN-Ausbau und Bereitstellung von Dienstlaptops, die auf den **Bildungsgipfeln** im Sommer 2020 festgelegt wurden, müssen nun auch **konkrete Maßnahmen folgen**.

In einer digitalen Arbeitswelt tragen Ansätze wie die **Virtualisierung von Meetings** oder das **Home Office**, aber auch **Dienstleistungen** sowohl zur sozialen als auch zur **ökologischen Komponente** der Nachhaltigkeit im (Arbeits-)Alltag bei. Wenn der Anteil an Home Office unter deutschen Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmern um 6 Prozent erhöht wird (gegenüber dem Referenzwert 2015), können bis zu 1,7 Millionen Tonnen CO₂ eingespart werden.⁶³ Befragte Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer schätzen auch, dass die **Zahl ihrer Home Office-Tage** nach der SARS-CoV-2-Pandemie **dauerhaft auf einem höheren Niveau** sein wird, und sehen die Arbeit von zuhause aus als ein geeignetes Instrument, um Familie und Beruf besser verbinden zu können.⁶⁴

Darüber hinaus können digitalbasierte Systeme, wie Assistenzsysteme oder auch **Mensch-Maschine-Kollaborationen**, zu einer lern- und gesundheitsförderlichen Arbeitsumgebung beitragen. Einige Fachleute sehen in Mensch-Maschine-Kollaborationen auch eine Möglichkeit, um im bevorstehenden **demografischen Wandel** gerade auch **ältere Menschen** sowohl bei der Arbeit als auch zum Beispiel bei der Gesundheitsversorgung **zu unterstützen**.

Mögliche Ansatzpunkte für Maßnahmen

- **Entwicklung einer Roadmap für die digitale Transformation des Alltags:** Durch die Entwicklung einer Roadmap mit klar definierten Meilensteinen und Zielmarken kann die digitale Transformation des Alltags beschleunigt und eine flexible Nutzung digitaler Services für Bürgerinnen und Bürger in naher Zukunft sichergestellt werden. Ziele sollten zum Beispiel

57 | Vgl. EFI 2020; Handelsblatt 2020.

58 | Vgl. BReg 2020b.

59 | Vgl. acatech 2020.

60 | Vgl. McKinsey & Company 2020a.

61 | Vgl. McKinsey & Company 2020b.

62 | Vgl. GI 2020.

63 | Vgl. NPM 2019a.

64 | Vgl. bidt 2020.



der digitale Zugriff auf alle behördlichen Dienstleistungen sowie die Schaffung von Onlinelearn- und -Lehrplattformen für eine vollständige digitale Teilhabe am Unterricht an Schulen und Hochschulen in den nächsten 5 bis 10 Jahren sein.

- **Schaffung gemeinsamer europäischer Datenräume:** Für die Weiterentwicklung digitaler Anwendungen, vor allem Big Data und KI-basierter Anwendungen, benötigen Unternehmen sicheren Zugriff auf Daten und Dateninfrastrukturen. Eine mit der europäischen Datenschutzgrundverordnung konforme Plattform könnte den sicheren Austausch anonymisierter Unternehmensdaten gewährleisten und zur digitalen Souveränität Europas beitragen, wenn sie schnell umgesetzt wird.
- **Weitere Digitalisierung von Lieferketten:** Zur Steigerung der Flexibilität und auch der Resilienz globaler Lieferketten muss die Wirtschaft deren Digitalisierung vor allem mit Blick auf die Beseitigung von Brüchen, zum Beispiel durch die Einführung digitaler Äquivalente zu papiernen Frachtbriefen, und ihre Skalierbarkeit vorantreiben. Ansatzpunkte für eine staatliche Unterstützung dieser Vorhaben bestehen dort, wo Behörden aktiv in Lieferketten eingebunden sind sowie hinsichtlich der Verfolgung des Ziels international einheitlicher Standards.

2.3 Circular Economy – Wirtschaftsleistung von Ressourcenverbrauch und Emissionen entkoppeln

Um Wertschöpfung und Wohlstand in Deutschland und Europa zukunftsfähig abzusichern, muss die Wirtschaft bestmöglich auf zirkuläre Geschäftsmodelle umgestellt werden. Einerseits werden so Ressourcen geschont, andererseits werden Anwendungen für Kundinnen und Kunden optimiert, zum Beispiel bei As-a-Service-Angeboten. Es gilt regulatorische Rahmenbedingungen, etwa durch das Einpreisen von Externalitäten, so anzupassen, dass Circular Economy-Ansätze wirtschaftlich konkurrenzfähig sind. Die Circular Economy weist große Synergien und Schnittmengen mit der Bioökonomie und der biologischen Transformation auf.

Das Grundprinzip der Circular Economy ist es, weg von einer linearen Wirtschaftsweise hin zu einer **Wirtschaft in Kreisläufen** zu kommen. Neben anderen Vorteilen erlaubt diese Wirtschaftsweise, den notwendigen **Einsatz neu gewonnener Rohstoffe** in Wertschöpfungsketten und damit verbundene **Klima- und Umweltschäden zu minimieren**.⁶⁵

Dabei ist die Circular Economy **nicht nur** ein leicht erweitertes **Recycling 2.0** – die potenzielle Wertschöpfung liegt zu 75 Prozent in Geschäftsmodellen außerhalb des Bereichs des Recyclings.⁶⁶ Circular Economy setzt auf **drei Ebenen** an:

1. Nutzung wiederverwendbarer und gleichzeitig **leistungsfähiger Ausgangsmaterialien** priorisieren
2. **Nutzungsdauer von Produkten** maximieren
3. **Neben- und Abfallprodukte** vermeiden oder zurückgewinnen

Abbildung 4 veranschaulicht, was diese Grundprinzipien für die einzelnen Prozessschritte von Stoffzufuhr über Design, Produktion, Vertrieb und Nutzung bis hin zur Sammlung und Recycling bedeuten.

„Wir müssen den Ressourcenverbrauch reduzieren, sonst wird es nicht funktionieren. Hier bieten die Circular Economy und Green Tech die richtigen Lösungen.“

Für den Übergang zu einer solchen Circular Economy bedarf es **technologischer und sozialer Innovationen** sowie **neuer Geschäftsmodelle** über die gesamten Wertschöpfungsnetzwerke hinweg. Neben einer Reduktion der CO₂-Emissionen kann eine Circular Economy vor allem auch zu einer größeren Ressourcenunabhängigkeit beitragen, Pionierunternehmen wettbewerbsfähiger machen und ihnen **neue Geschäftsfelder erschließen, Arbeitsplätze schaffen** sowie **Resilienz befördern** (siehe auch Kapitel 2.5).⁶⁷ Die Circular Economy bietet große Synergien und Schnittmengen zur Bioökonomie und zur biologischen Transformation (siehe Kapitel 2.4).⁶⁸

Bewegung in Deutschland und Europa

In **Deutschland** hat das Konzept der **Kreislaufwirtschaft** schon **lange Tradition**, wird aber meist noch in den **engen Grenzen**

65 | Vgl. Circular Economy Initiative Deutschland 2019.

66 | Vgl. Lacy et al. 2020.

67 | Vgl. Ellen MacArthur Foundation et al. 2015; Ellen MacArthur Foundation 2019a; Green Alliance 2015; Material Economics 2018b; PWC 2019; wbcscd/BCG 2018.

68 | Vgl. SCAR 2017.



Abbildung 4: Grundprinzipien der Circular Economy (Quelle: eigene Darstellung basierend auf wbcscd/BCG 2018)

des Recyclings, und hier oft in der energetischen Verwertung von Abfällen, gedacht.⁶⁹ Trotzdem zählt Deutschland im globalen Vergleich weiterhin zu den internationalen Spitzenverbrauchern von Ressourcen wie Papier und Kunststoff.⁷⁰

Um den Übergang zu mehr Zirkularität in der Wirtschaft zu fördern und eine konkrete **Roadmap für Deutschland** zu entwickeln, bringt die **Circular Economy Initiative Deutschland (CEID)** im Auftrag des BMBF und koordiniert durch acatech seit 2019 entscheidende **Akteure aus Wissenschaft und Wirtschaft** zusammen.⁷¹

Auf **europäischer Ebene** wird seit 2015 ein **Circular Economy Action Plan** verfolgt, der verschiedene Maßnahmen zur Förderung einer Circular Economy in der EU umfasst und mehrmals erweitert wurde.⁷² Dieser Aktionsplan wurde im **März 2020** nochmals grundlegend **erweitert und vertieft**.⁷³ Er stellt einen zentralen Baustein für die Umgestaltung der europäischen Wirtschaft im Rahmen des Green Deal dar.⁷⁴ Die europäische **Industriestrategie** sieht vor, dass Europa eine **führende Rolle** in der **Schaffung und Umsetzung von zirkulären Geschäftsmodellen** einnimmt.⁷⁵

69 | Vgl. RNE et al. 2017.

70 | Vgl. Heinrich Böll Stiftung/Break Free From Plastic 2019.

71 | Vgl. Circular Economy Initiative Deutschland 2019.

72 | Vgl. EU-KOM 2019c.

73 | Vgl. EU-KOM 2020f.

74 | Vgl. EU-KOM 2019d.

75 | Vgl. EU-KOM 2020a.



Kasten 4: Klimafreundlicher Zement durch reinen Sauerstoff

Die **Baubranche** gehört global zu den **Wachstumsbranchen**. Stahl und Zement sind beim Bau neuer Gebäude oder Infrastrukturen kaum wegzudenken. Die **Herstellung von Zement** ist jedoch ähnlich wie die Herstellung von Stahl **sehr CO₂-intensiv**. Zement lässt sich nur schwer in Kreisläufen verwenden.⁷⁶ Da Zement normalerweise in der Nähe des Verwendungsortes produziert wird, wird die Zementproduktion auch zukünftig innerhalb der EU eine große Rolle spielen.

Deswegen sind Innovationen im Herstellungsprozess von besonderer Relevanz, um Zement zukünftig klimafreundlicher produzieren zu können. Durch **öffentliche Beschaffung** können Weiterentwicklung, **Skalierung und Wettbewerbsfähigkeit** „grüner“ Zementherstellungsverfahren **aktiv befördert** werden. Ein vielversprechender Ansatz ist dabei das

Oxyfuelverfahren, das auf **CCU** (siehe Anhang B) setzt. Im Gegensatz zur konventionellen Produktion in Drehrohröfen, in denen die Verbrennung mit Luft stattfindet und CO₂ in die Atmosphäre ausgestoßen wird, kommt beim Oxyfuelverfahren **nahezu reiner Sauerstoff als Brennstoff zum Einsatz**. Dadurch kann eine besonders hohe Flammentemperatur erreicht werden. Die beim Verbrennungsprozess entstehenden Abgase werden in den Brenner zurückgeleitet und zirkulieren, wodurch der CO₂-Anteil in den Abgasen ansteigt.

Das im Zementherstellungsprozess angesammelte CO₂ kann dadurch anschließend leichter sequestriert, sprich abgetrennt werden.⁷⁷ Die Bereitstellung des reinen Sauerstoffs in entsprechenden Mengen ist aktuell eine der bestehenden Herausforderungen. Das Oxyfuelverfahren **kann auch in der Stahlproduktion eingesetzt werden**.⁷⁸ Das **gewonnene CO₂** kann nun in anderen Industriebranchen als Grundstoff weiterverwertet werden, zum Beispiel zur Herstellung von Treibstoff, anstatt in die Atmosphäre zu gelangen.

Nicht zuletzt hat ein **Zusammenschluss europäischer Förderbanken** unter Beteiligung der EIB und der KfW beschlossen, insgesamt **zehn Milliarden Euro** für die Förderung von Ansätzen zur Umsetzung einer Circular Economy zur Verfügung zu stellen.⁷⁹

Chancen und Herausforderungen auf dem Weg zur Circular Economy

In einer ersten Vorstudie hat die Circular Economy Initiative Deutschland unter anderem **Hürden identifiziert**, die einer stärkeren Zirkularität der Wirtschaft in Deutschland und Europa entgegenstehen und damit **Handlungsfelder darstellen**.⁸⁰

Auf **technologischer Ebene** müssen beispielsweise Produktdesigns entwickelt werden, die eine leichtere Wiederverwend- und -verwertbarkeit, längere Lebensdauer und einfachere Reparaturmöglichkeiten gewährleisten. Dies erweist sich insbesondere bei komplexen Hightechprodukten wie Smartphones als Herausforderung. Auch Grundstoffe für den Bausektor, etwa Zement, sind schwer in Kreisläufe einzubinden, weswegen Prozessinnovationen dort für mehr Nachhaltigkeit sorgen können (siehe Kasten 4).

Gesetzliche Regelungen und Normen müssen so gestaltet werden, dass zirkuläres Wirtschaften vorgeschrieben oder zumindest gefördert und nicht behindert wird. Sowohl für einzelne **Produkte als auch für Produktionsanlagen** und -systeme müssen nach Meinung der Fachleute **Lebenszyklusanalysen** durchgeführt werden, um zu prüfen, welche Werkstoffe und welche Kreislaufsysteme für das jeweilige Produkt und die zugrunde liegende Produktionsweise am nachhaltigsten sind.

„Politische Entscheidungsträger in ganz Europa unterschätzen fundamental die Möglichkeiten einer Circular Economy.“

Denkbar sind auch **fiskalpolitische Anreize**, wie ein Verschieben (kein Erhöhen) der Steuerlast von der Arbeit hin zum Ressourcenverbrauch, sowie die Schaffung und Vereinheitlichung von Normen und Standards.⁸¹ Im Rahmen der **Industriestrategie** ist eine weitere **Harmonisierung von Steuern innerhalb der EU angedacht**, um grenzübergreifende Geschäftsmodelle leichter

76 | Vgl. Ellen MacArthur Foundation 2019a.

77 | Vgl. HeidelbergCement 2020.

78 | Vgl. Thyssenkrupp 2020.

79 | Vgl. EIB 2019c; KfW 2019a.

80 | Vgl. Circular Economy Initiative Deutschland 2019.

81 | Vgl. Circular Economy Initiative Deutschland 2019; Kirchherr et al. 2018.

realisieren zu können.⁸² Eine Harmonisierung der steuerlichen Rahmenbedingungen würde nach Meinung von Expertinnen und Experten auch wesentlich zur Stärkung zirkulärer Geschäftsmodelle beitragen.

Durch die Circular Economy können zudem vor allem **Ausbildungsberufe zusätzlich gestärkt** werden, da die **Reparatur und Instandsetzung** von Produkten ebenso wie die Abfallverwertung zentrale Elemente zirkulärer Ansätze darstellen. Aber auch zusätzliche **Fachleute** werden nach Einschätzung der Befragten zur **Erforschung und Entwicklung neuer Materialien und Anlagen** sowie zur Entwicklung der begleitenden Software für Datenbanken und Prozessabläufe benötigt. Die Europäische Kommission rechnet mit bis zu **700.000 zusätzlichen Jobs bis 2030**, vor allem in den Bereichen Service und Waste Management.⁸³

Um die Verfügbarkeit von qualifiziertem Personal zu gewährleisten, müssen die dafür nötigen **Lehrinhalte** sowohl in **Universitätsstudiengängen** als auch in **Ausbildungsberufen** eingebracht werden. Dazu gehört auch die **Förderung interdisziplinärer Forschung** an den Schnittstellen einer Circular Economy, wie zum Beispiel dem Produktdesign und den Ingenieurwissenschaften. Inter- und transdisziplinäre Forschungsprojekte können ebenfalls einen wichtigen Beitrag leisten, indem sie flächendeckend anwendbare und kommerziell skalierbare Messmethoden und Instrumente entwickeln.

Das Überwinden von Zirkularitätshürden kann sich im doppelten Sinne lohnen. Studien zufolge kann die Umsetzung von Prinzipien der Circular Economy in der **Produktion von Zement, Stahl, Plastik und Aluminium bis zu 40 Prozent** und in der Nahrungsmittelproduktion bis zu 49 Prozent der **Treibhausgasemissionen bis 2050 einsparen**.⁸⁴

Gleichzeitig wird der mögliche **volkswirtschaftliche Nutzen** durch gesteigerte Ressourcenproduktivität bei konsequenter Anwendung der Circular Economy in den drei Bereichen Mobilität, Bau und Nahrungsmittelproduktion alleine für Europa auf **über eine Billion Euro** beziffert.⁸⁵ In der Praxis stehen dem zukünftigen wirtschaftlichen Nutzen jedoch in vielen Unternehmen oftmals die kurzfristig zu leistenden **hohen Transformationskosten** als Hemmschuh gegenüber.

„Ein zirkuläres Geschäftsmodell kann ein Differenzierungsmerkmal im Markt sein.“

Fachleute bewerten daher die **Summe der Investitionen in Circular Economy-Geschäftsmodelle als noch nicht ausreichend**, um eine großflächige zirkuläre Transformation von Geschäftsmodellen umzusetzen. Ein **Problem** hierbei stellt die **Risikobewertung** von neuen zirkulären Geschäftsmodellen dar. Investoren bevorzugen häufig bekannte Risiken gegenüber unbekanntem neuen Risiken. Die Expertinnen und Experten wünschen sich bei Investoren deshalb mehr Expertise zu Circular Economy-Geschäftsmodellen.

Neue Geschäftsmodelle und Umstrukturierung bestehender Wertschöpfungsnetzwerke

Statt in linearen Produktionsketten erfolgt **Wertschöpfung** in einer Circular Economy in Netzwerken, in denen auch die **Rollenverteilung der Akteure neu gedacht** werden muss.⁸⁶ Bei der Ausgestaltung der Wertschöpfungsnetzwerke in einer Circular Economy muss darauf geachtet werden, diese **möglichst flexibel zu gestalten**, um zu starke Abhängigkeiten von einzelnen Partnern zu vermeiden und somit ihre Resilienz zu stärken.

Das größte Potenzial, um eine solche Circular Economy-basierte Wirtschaft voranzutreiben, sehen Fachleute in **neuen Geschäftsmodellen und Services**. So können zum Beispiel Produzenten durch **As-a-Service-Angebote** gleichzeitig zu Dienstleistern werden. Zudem führen die **Reparatur** von Produkten sowie die **Weiterverwertung** von Stoffen und Materialien an allen Punkten des Wertschöpfungsnetzwerks zu neuen Geschäftsmodellen für beteiligte Akteure.

Die **digitale Transformation** spielt dabei eine zentrale Rolle in zweierlei Hinsicht. Einerseits ermöglichen Ansätze wie der Digitale Zwilling gerade in der Design- und Konzeptphase völlig **neue Möglichkeiten für die Planung und Gestaltung** von Prozessen und Produkten. Andererseits hilft die digitale Transformation einzelnen Anbietern, direkt mit Kundinnen und Kunden in Kontakt zu treten und **maßgeschneiderte Lösungen** anzubieten, zum Beispiel bei As-a-Service-Angeboten oder auch bei Sharingangeboten.

82 | Vgl. EU-KOM 2020a.

83 | Vgl. EU-KOM 2018a.

84 | Vgl. Ellen MacArthur Foundation 2019a.

85 | Vgl. Ellen MacArthur Foundation et al. 2015.

86 | Vgl. Lacy et al. 2015.



Digitale Ansätze können zudem zur **Steigerung der Transparenz** der in Produkten verwendeten Inhaltsstoffe und Bestandteile beitragen und **dadurch ihre Reparatur, Weiterverarbeitung, Wiederverwendung und ihr Recycling erleichtern**. Ein Beispiel hierfür ist der von der Global Battery Alliance-Initiative des WEF vorgeschlagene „Battery Passport“ für Batterien, vor allem in Elektrofahrzeugen.⁸⁷

Der **Anstoß für konkrete Projekte** für mehr Zirkularität und Ressourceneffizienz kommt dabei nach Einschätzung der Befragten **oftmals auch aus der Belegschaft eines Unternehmens**, da die Mitarbeitenden die konkreten Abläufe in Wertschöpfungs-systemen besonders gut kennen und deshalb wissen, an welchen Stellen großes Potenzial für Verbesserungen besteht.⁸⁸

Damit eine Circular Economy realisiert werden kann, sind auch **soziale Innovationen** nötig, die auf die **geteilte Nutzung** von Produkten oder eine Stärkung des Bewusstseins der Verbraucherinnen und Verbraucher sowie der Entscheider in der Industrie abzielen.⁸⁹

„Wir brauchen mehr modulare Produkte, welche hinterher leicht in einzelne Teile zerlegbar sind.“

Auch bei **KMU** ist die Auseinandersetzung mit Konzepten einer Circular Economy oftmals noch ausbaufähig. Dabei besteht hier nach Meinung von Fachleuten ein **großes Potenzial** für die erfolgreiche Implementierung von Circular Economy-Ansätzen. **Circular Economy-Geschäftsmodelle** setzen häufig auf der **regionalen Ebene** an – gerade KMU sind sehr stark regional verankert und könnten diese Strukturen zukünftig noch besser für sich nutzen.⁹⁰

Einige der Befragten sind der Meinung, dass die geringe Verankerung zirkulärer Geschäftsmodelle an einem bislang nur **schwachen Austausch der Akteure** liegt und wünschen sich Möglichkeiten für eine **bessere Vernetzung** – regional, aber vor allem auch überregional – mit Partnern aus den Wertschöpfungsnetzwerken, an denen sie beteiligt sind. Digitale Plattformen können eine Grundlage für eine zukünftige bessere Vernetzung darstellen. Die Vernetzung ist auch notwendig, um **weitere Akteure zu incentivieren**, ihre Verfahren zu analysieren und zirkuläre Ansätze voranzutreiben.

Zirkuläre Geschäftsmodelle setzen auf Verbundstandorte und auf **Produktionssysteme in kleinen, modularen, flexiblen und skalierbaren Einheiten**. Expertinnen und Experten regen dazu an, die Akteure der jeweiligen Wertschöpfungsnetzwerke zusammenzubringen, um neue Produktionssysteme zu entwickeln und zu testen. Dabei können Plattformen wie die CEID die Vernetzung der Akteure erleichtern und begleiten. Durch regionale, zirkuläre Wertschöpfung können zudem **Logistikketten verkürzt** und durch eine **Diversifizierung der Ressourcenanbieter die Resilienz der Wertschöpfungsnetzwerke erhöht** werden. Die hohe Anfälligkeit linearer und nur von einem Anbieter abhängiger Logistik- und Lieferketten wurde im Rahmen der SARS-CoV-2-Pandemie sichtbar (siehe auch Kapitel 2.5).

Deutschland befindet sich zudem in vielen Forschungs- und Industriebereichen, die für eine Circular Economy wichtig sind, wie zum Beispiel in den Materialwissenschaften, in einer **hervorragenden Ausgangsposition**.⁹¹ Wenn Deutschland und Europa den Weg zu stärkerer Zirkularität in der Wirtschaft mutig beschreiten, kann für entsprechende Produkte und Lösungen ein **Leitmarkt** etabliert werden, der **weltweiten Vorbildcharakter** besitzt und hiesigen **Unternehmen Wertschöpfung sichert**.

Mögliche Ansatzpunkte für Maßnahmen

- **Schaffung einer europäischen Plattform für die Nachverfolgung von Wertstoffströmen:** Für die Nachverfolgung von Wertstoffströmen bedarf es eines übergreifenden Instrumentariums, auf das Produzenten, weiterverarbeitendes Gewerbe, aber auch Recyclingakteure Zugriff haben. Eine europäische Plattform kann hierbei die länderübergreifende Verfolgung von Stoffströmen ermöglichen und einen Beitrag für die Nachhaltigkeitsanalyse von Lebenszyklen leisten. Ein unkomplizierter digitaler Zugriff auf die Daten sowie die Sicherheit beim Austausch potenziell sensibler Wirtschaftsdaten sind wichtige Grundlagen für eine rege Beteiligung von Unternehmen.
- **Förderung interdisziplinärer Forschung:** Zur Entwicklung von Produkten und Prozessen für nachhaltige und resiliente Wertschöpfungskreisläufe muss Wissen über Disziplinengrenzen hinweg zusammengebracht werden. Dafür bedarf es inter- und transdisziplinärer Forschungsprojekte, etwa zur Vorbereitung der Einführung digitaler Produktpässe. So ist es zum Beispiel wichtig, die Fälschungssicherheit der Daten, die Generierung relevanter dynamischer Daten (etwa bei Besitzübergang) über

87 | Vgl. WEF 2020a.

88 | Vgl. Hans Böckler Stiftung 2020.

89 | Vgl. Circular Economy Initiative Deutschland 2019; Ellen MacArthur Foundation et al. 2015; Kirchherr et al. 2018.

90 | Vgl. Seidel/Meyer 2016.

91 | Vgl. BMU 2018; Circular Economy Initiative Deutschland 2019.

die Lebenszeit hinweg sowie die Überführung der Daten in weitere Lebenszyklen zu gewährleisten. Zudem müssen flächendeckend anwendbare und kommerziell skalierbare Messmethoden und Instrumente zur akkuraten Bewertung der Zirkularität von Produkten und Prozessen auf Basis von Lebenszyklusanalysen entwickelt werden. Dadurch können auch politische und betriebswirtschaftliche Entscheidungen über zirkuläre Geschäftsmodelle zukünftig noch naturwissenschaftlich fundierter getroffen werden.

2.4 Biologische Transformation – Biologisch inspirierte Nachhaltigkeit in der Wirtschaft

Design und Ausgestaltung von Materialien, Prozessen und Produktionssystemen können auf Basis biologisch inspirierter Erkenntnisse nachhaltiger umgesetzt werden. Auf die in Deutschland stark verankerte Bioökonomie muss aufgebaut werden, um das Aufwachsen von international besonders wettbewerbsfähigen Wirtschaftszweigen im Rahmen der biologischen Transformation in Deutschland und Europa zu ermöglichen.

Die **Biotechnologie** und allgemein die verstärkte **Nutzung biologischer Prinzipien und Prozesse** haben das Potenzial, **Wirtschaft und Industrie** in ähnlichem Maße wie die digitale Transformation zu **revolutionieren**, und sind wichtige Säulen für die **industrielle Bioökonomie**.⁹²

„Es gibt große Synergien zwischen den Zielen des Green Deal und der Erhöhung der Resilienz in unseren Wertschöpfungsnetzwerken, die mit den Prinzipien der biologischen Transformation erschlossen werden können.“

Denkbar ist eine systematische Übertragung und Anwendung **biologischer Prinzipien** auf die industrielle Produktion, sowohl als integrierte Prozessschritte, wie mikrobielle Zellfabriken, als auch zum Zweck der ganzheitlichen **Optimierung von Produkten und Produktionssystemen**.⁹³ Dabei dienen die Biologie als Vorbild und die Resilienz der Natur als Maßstab, um lineare, nicht

nachhaltige Wertschöpfungsketten in Wertschöpfungsnetzwerke umzubauen, zum Beispiel in Form von Stoffkreisläufen und Nutzungskaskaden. Die **biologische Transformation bereitet der Circular Economy somit den Boden**. Durch diese Prozessumstrukturierung beziehungsweise -neugestaltung wird unter anderem eine Reduzierung des Materialbedarfs und des Energieeinsatzes möglich.

Unterschieden werden dabei **drei Entwicklungsmodi der biologischen Transformation** bioinspirierte Wertschöpfung, biointegrierte Wertschöpfung und biointelligente Wertschöpfung (siehe auch Abbildung 5). Die biologische Transformation ermöglicht die notwendige **Diversifizierung innerhalb der Rohstoffbasis** für eine industrielle Bioökonomie.

Darüber hinaus kann die industrielle Nutzung biologischer Organismen und biologischer Prozesse die Nutzung verschiedenster Roh- und Reststoffe in energiesparenden und emissionsarmen Prozessen ermöglichen. So können auch **neuartige Produkte mit angepassten Eigenschaften** entstehen.

Fachleute weisen darauf hin, dass in vielen bestehenden Wertschöpfungsnetzwerken, wie beispielsweise in der chemischen Industrie, das **Integrationspotenzial biologischer Verfahrensschritte** noch lange **nicht ausgeschöpft ist**. Damit dies zukünftig realisiert werden kann, ist eine Verbreitung der Wissensbasis notwendig. Die Schulung von **interdisziplinären Herangehensweisen** und das **Wissen** über die Verknüpfung von Technologie und Biologie sowie Nachhaltigkeitsanforderungen müssen im Rahmen von (interdisziplinären) **Studiengängen sowie Fort- und Weiterbildungen** vermittelt werden.

Bei der biologischen Transformation gibt es direkte **Schnittstellen zur digitalen Transformation**: Intelligente Maschinen und **smartes Materialmanagement** führen zu einer zusätzlichen Ressourcenschonung sowie **dezentraler und modularer Produktion** – passgenau auf die Bedarfe der Endverbraucherinnen und -verbraucher abgestimmt.⁹⁴ Im Materialsektor reicht die biologische Transformation von der Substitution konventioneller erdölbasierter Materialien durch biobasierte Materialien über klassische Bionik (etwa Leichtbauweise) bis hin zur Fusion von biologischen und technischen Systemen, wie zum Beispiel Organ-on-a-Chip. Die Grenzen sind dabei fließend. Digitalisierte Anwendungen und Prozesse der biologischen Transformation, der **Bioökonomie** und der **Bioinformatik** sind **Treiber für Innovationen** (siehe auch Kasten 3).

92 | Vgl. acatech 2017.

93 | Vgl. Fraunhofer-Gesellschaft 2019.

94 | Vgl. ebd.

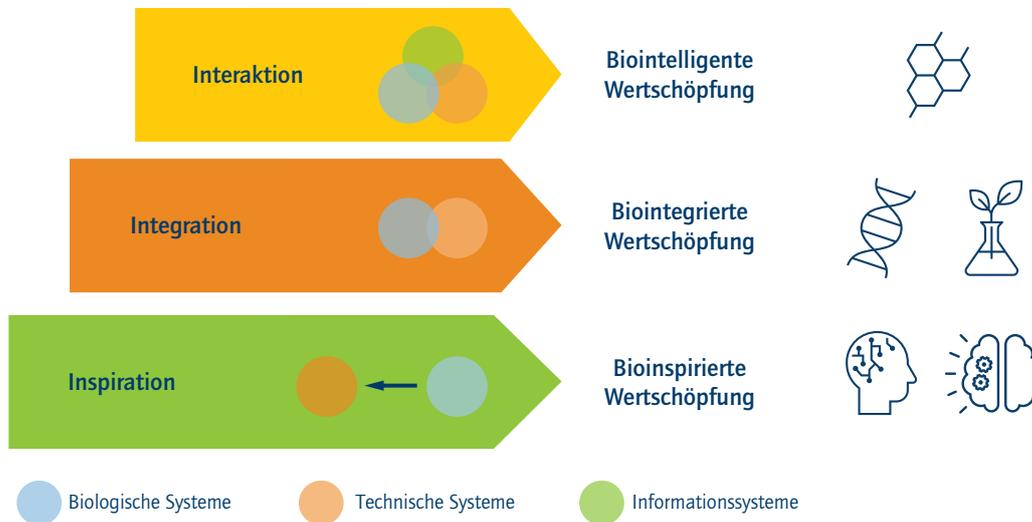


Abbildung 5: Entwicklungsmodi der biologischen Transformation (Quelle: eigene Darstellung basierend auf Mieke et al. 2019)

Die Expertinnen und Experten führen zudem an, dass eine **stärkere Dezentralisierung** und Ausrichtung an **lokal verfügbaren Ressourcen** der Produktions- und Wertschöpfungssysteme im Rahmen der biologischen Transformation Abhängigkeiten verringern und den **Resilienzgrad der Systeme deutlich steigern könnte** (siehe Kasten 5). Die biologische Transformation kann einen Beitrag dazu leisten, dass fossile Rohstoffe durch nachwachsende Rohstoffe ersetzt werden und damit die Herstellung von Produkten deutlich emissionsärmer möglich ist.⁹⁵

Politische Strategien zur Förderung der biologischen Transformation

Schon 2014 hat die Bundesregierung mit der „**Bioökonomie in Deutschland**“-Agenda einen wichtigen Grundstein für die biologische Transformation und das Aufwachsen einer bioökonomischen Industrie gelegt.⁹⁶ Darauf aufbauend wurde im **Januar 2020** die „**Nationale Bioökonomiestrategie**“ (NBÖS) vorgestellt.⁹⁷ Mit dem neuen Bioökonomierat (III) wird die Bundesregierung in Kürze wieder über ein wissenschaftliches Beratungsgremium zu bioökonomischen Fragestellungen verfügen. Um das Thema in der breiten Öffentlichkeit noch sichtbarer zu machen, ist

„Bioökonomie“ auch als Thema für das **Wissenschaftsjahr 2020** ausgewählt worden.⁹⁸

Wesentliche Treiber der Ansätze der biologischen Transformation werden **neue Geschäftsmodelle** sein, die sich nur in fachbereichsübergreifender Zusammenarbeit entwickeln lassen. Zur Überbrückung von Finanzierungslücken im Innovationsprozess bedarf es nach Einschätzung der Expertinnen und Experten politisch unterstützter **transdisziplinärer Forschungsprogramme**, die auch Akteure aus der Wirtschaft im Rahmen der **Verbundforschung** mit einbinden.

Zusätzlich wird aktuell von der Bundesregierung die **ressortübergreifende Agenda „Von der Biologie zur Innovation“** vorbereitet (Federführung: BMBF und BMWi), deren Ziel es ist, Leitlinien für den Einsatz der Biotechnologie in unserer Gesellschaft festzulegen.⁹⁹ Die **angekündigte Agenda** sollte im Sinne der biologischen Transformation konsequent verfolgt werden. Sie könnte nach Einschätzung von Fachleuten einen **wichtigen Beitrag zum Aufwachsen von international besonders wettbewerbsfähigen Wirtschaftszweigen leisten**.

95 | Vgl. acatech 2019b.

96 | Vgl. BMBF/BMEL 2014.

97 | Vgl. BReg 2020d.

98 | Vgl. Wissenschaftsjahr 2020.

99 | Vgl. BIO Deutschland 2018; BReg 2020d.

Kasten 5: Biologische Transformation in der Praxis – Biotechnologische Innovationen in der Medizin

Der modernen Biotechnologie kommt eine entscheidende Rolle in der **gegenwärtigen SARS-CoV-2- Pandemie** zu. Sie ermöglicht die Entwicklung wirksamer Medikamente, vor allem eines **Impfstoffs**, die wir zum **Schutz von Menschenleben** und für die **Rückkehr in eine reguläre Arbeits- und Alltagswelt** benötigen.

Von **hoher Relevanz für die Zukunft** der Impfstoffentwicklung ist hierbei, dass neben klassischen Ansätzen auch **neuartige genombasierte Impfstoffe (DNA oder mRNA) getestet** werden.¹⁰⁰ Die Impfstoffentwicklung geht dabei häufig mit der Entwicklung von verbesserten Testverfahren für das Virus beziehungsweise für virusspezifische Antikörper Hand in Hand. Die Biotechnologie spielt somit eine **wichtige Rolle bei der Prävention und Bewältigung von Krisen** im Gesundheitsbereich – und damit für die Verhinderung beziehungsweise Abfederung der volkswirtschaftlichen und gesellschaftlichen Folgen solcher Krisen.

Bis zur flächendeckenden Einführung eines wirksamen Impfstoffs arbeitet die **Forschung auch in Deutschland und Europa** unter Hochdruck an Methoden, um die weitere **Ausbreitung des Virus zu bekämpfen beziehungsweise stark zu verlangsamen**. Die Ansätze reichen von Frühwarnsystemen bei regionalen Ausbreitungsklustern bis hin zu Überlegungen zur Durchführung großflächiger personalisierter Genomsequenzierungen in Kombination mit intelligenten Kontaktverfolgungsansätzen.¹⁰¹

Die **Biotechnologie** ist damit eine **Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts**, die im Sinne einer biologischen Transformation von Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft ein **großes Potenzial für nachhaltige Wertschöpfung und für die Resilienz** moderner Industriegesellschaften besitzt.¹⁰² Sie sollte deshalb in Medizin, Landwirtschaft und Industrie ein zentrales Feld der Innovationsförderung im Rahmen der europäischen Industriestrategie und des europäischen Green Deal darstellen. Die Biotechnologie trägt bereits seit

Jahrzehnten substanziell zur **Verbesserung des Alltags vieler Menschen bei**. So revolutionieren zum Beispiel seit über 30 Jahren biologische Therapeutika die Behandlungserfolge fataler und chronischer Erkrankungen. Die materielle Basis einer nachhaltigen Gesellschaft bilden chemische Produkte und Prozesse, die nach lebensfördernden Prinzipien gestaltet sind. **Neues Systemdenken und -design** muss daher **auf molekularer Ebene** beginnen, um inhärente Eigenschaften von Molekülen vom frühesten Stadium an zu berücksichtigen.¹⁰³

Deutschland und einige weitere europäische Regionen sind in der lebenswissenschaftlich-biotechnologischen Forschung hervorragend aufgestellt. Deren **wirtschaftliches Potenzial** gilt es im Rahmen der nachhaltigen Transformation der europäischen Wirtschaft in der ganzen EU zu realisieren. Dazu ist eine **gemeinsame europäische innovationspolitische Anstrengung nötig**. Denn im Bereich der Biotechnologien bestehen im Vergleich zu anderen Technologiefeldern sowohl ein **größerer Kapitalbedarf** als auch ein **höheres Investitionsrisiko**.¹⁰⁴

Ein **klares Bekenntnis der Europäischen Kommission** zu Europa als einem der weltweit führenden Standorte für Biotechnologie wäre ein **wichtiger Impuls**. Bestehende Initiativen zur Förderung der Biotechnologie sollten zukünftig noch weiter ausgebaut werden. Auch die von der Bundesregierung angekündigte Agenda „**Von der Biologie zur Innovation**“ sollte auf eine **umfassende Förderung von Forschung und Entwicklung** zur Umsetzung der biologischen Transformation und der Bioökonomie am Standort Deutschland abzielen.

Die biologische Transformation sollte **Hand in Hand gehen** mit unterstützenden Maßnahmen im Bereich der **digitalen Transformation**. Signifikante Fortschritte und eine Beschleunigung von Forschung und Entwicklung in der Biotechnologie sind, bedingt durch die **hochgradig datengetriebenen Methoden** bei der Erforschung komplexer lebender Systeme, nur möglich, wenn **bioinformatische Kompetenzen und digitale Forschungsinfrastrukturen** europaweit ausgebaut werden.¹⁰⁵

100 | Vgl. WHO 2020.

101 | Vgl. FAZ 2020b; Fraunhofer-Gesellschaft et al. 2020.

102 | Vgl. acatech 2017.

103 | Vgl. Zimmerman et al. 2020.

104 | Vgl. BCG/vfa 2019; EY 2020; McKinsey & Company 2019a.

105 | Vgl. acatech 2017.



Mögliche Ansatzpunkte für Maßnahmen

- **Stärkung der interdisziplinären Kompetenzen:** Um die Verfügbarkeit qualifizierter Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer für eine erfolgreiche biologische Transformation der Wirtschaft zu gewährleisten, bedarf es der Schaffung adäquater Formate der Wissensvermittlung, um die nötigen interdisziplinären Kompetenzen zu vermitteln. Von einer breiteren Wissensbasis an Schnittstellendisziplinen würde auch die bioökonomische Industrie profitieren.
- **Reallabore der Materialwende:** Durch die Schaffung von Reallaboren der Materialwende soll ein Rahmen entstehen, der es im industriellen Maßstab und unter realen Bedingungen möglich macht, innovative Technologien für die Entwicklung und Produktion neuer Materialien aus nachwachsenden Rohstoffen sowie die notwendigen Zulassungsverfahren, Prüfkriterien und Standards weiterzuentwickeln, um die Kommerzialisierung neuer Materialien zu erleichtern (siehe auch Kasten 6).

2.5 Ausblick: Wertschöpfungsnetzwerke resilient gestalten

Die aktuelle SARS-CoV-2-Pandemie hat die **Störanfälligkeit der globalen Wertschöpfungsnetzwerke** schmerzhaft aufgezeigt. Für das reibungslose Ablaufen der Produktionsprozesse sind viele Unternehmen auf die Just-in-Time-Bereitstellung aus **globalen Lieferketten** angewiesen. Zudem verlassen sich Unternehmen und zum Teil auch staatliche Organe auf die **Beschaffung bei einzelnen Anbietern** als ausschließlicher Lieferquelle (Single-Source).

In einer frühen Phase der SARS-CoV-2-Pandemie kamen in Deutschland und Europa **Produktionsprozesse zum Erliegen**, weil benötigte Komponenten und Bauteile nicht mehr geliefert werden konnten. Gleichzeitig kam es zu **Engpässen** bei Medikamenten oder medizinischer Schutzausrüstung, für die es in Deutschland und Europa **keine Produktionskapazitäten** (mehr) gibt.

Doch nicht nur Pandemien, sondern auch **Handelskonflikte, Kriege oder Naturkatastrophen** können die europäische Wirtschaft von der Zufuhr einzelner Produkte, Rohstoffe oder essenzieller Komponenten abschneiden. In der öffentlichen Diskussion und auch bei den befragten Expertinnen und Experten ist daher die **Forderung** zu vernehmen, dass die **Resilienz der Wertschöpfungsnetzwerke** in Deutschland und Europa gegenüber zukünftigen Schocks **erhöht** werden müsste.

Resilienz ist dabei die Fähigkeit, potenziell widrige Ereignisse aller Art einzukalkulieren und sich darauf vorzubereiten, ihr Eintreten nach Möglichkeit abzuwehren, tatsächliche Schockereignisse zu verkraften und sich davon zu erholen, um auf dieser Basis zu einem besser angepassten, neuen Grundzustand zu gelangen.¹⁰⁶ Dies setzt insbesondere voraus, dass Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft lernen müssen, **in multiplen Zukunftsszenarien zu denken** und **Freiheitsgrade sicherzustellen**, die eine agile Anpassung erlauben.

Ein vollumfängliches Reshoring **aller Wertschöpfungsnetzwerke** für die Produkte und Dienstleistungen einer modernen Wohlstandsgesellschaft ist allerdings **weder möglich noch erstrebenswert**, gerade wenn man die möglichen außen-, handels- und sicherheitspolitischen Auswirkungen bedenkt.

Vielmehr müssen **strategische Entscheidungen** getroffen werden, in welchen Sektoren der **Aufbau regionaler Produktionskapazitäten** oder eine anderweitige **Umgestaltung und Diversifizierung** der Wertschöpfungsnetzwerke zur Sicherung der gesellschaftlichen Grundversorgung (etwa im Gesundheitsbereich) oder der **Produktionsfähigkeit von Schlüsselindustrien** (zum Beispiel in der Automobilindustrie oder dem Maschinenbau) unterstützt werden sollte. Überlegungen zu Resilienz knüpfen damit an die Fragen der **technologischen Souveränität** an.

Um eine möglichst vielschichtige Auseinandersetzung mit dem Thema Resilienz zu gewährleisten, ist ein **strukturierter und intensiver Dialog** der Bundesregierung mit Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft wichtig. Dieser kann vor allem dazu beitragen, die **Lehren, Erfahrungen und Schlussfolgerungen** aus der Krise in **ganzheitlich tragfähige Konzepte und Initiativen** umzusetzen.

Bei einem möglichen (Wieder-)Aufbau von Produktionskapazitäten ist eine enge **Abstimmung auf europäischer Ebene** essenziell. Hierbei könnte man auch Optionen prüfen, inwiefern in diesem Zusammenhang Potenziale bestehen, den Aufbau solcher Kapazitäten auch mit Fragen der **europäischen Kohäsionspolitik** zu verknüpfen.

Allgemein würde eine stärkere lokale beziehungsweise regionale Verknüpfung von Wertschöpfungsnetzwerken tendenziell zu einer Verringerung des „Teiletourismus“ führen und somit **Transportwege für Vorprodukte verkürzen** sowie den damit verbundenen **CO₂-Ausstoß senken**.

106 | Vgl. acatech 2014.

„Die Pandemie wird den Druck in Richtung Circular Economy und resilienter Produktionsstrukturen verstärken.“

Den bereits aufgeführten Hebeln für die nachhaltige Transformation, vor allem der Circular Economy sowie der digitalen und biologischen Transformation, kommt auch hinsichtlich der Steigerung der Resilienz der Wirtschaft eine wichtige Rolle zu:

- **Stärkung biologischer Transformation und Bioökonomie:** Mit biotechnologischen Produktionsverfahren können Ausgangsstoffe für komplexe Materialien oder auch direkte Produkte mit neuartigen Eigenschaften nachhaltig durch Umwandlung von lokal verfügbarer Biomasse hergestellt werden. In einer biointelligenten Gestaltung der Wertschöpfung werden Selbstorganisationsprinzipien der Natur auf industrielle Produktionsprozesse übertragen, um den Widerspruch zwischen Effizienz und Flexibilität aufzulösen. Produktion findet dezentral und modularisiert statt, könnte so auf die jeweiligen aktuellen und regionalen Bedarfe angepasst, schnell zur Herstellung anderer Produkte umgestellt oder in Output und Durchsatz kurzfristig skaliert werden, was zu einer Auslastungsoptimierung führt. Gleichzeitig wird so die Stör- und Krisenanfälligkeit der Produktionssysteme verringert.¹⁰⁷ Die Unternehmen fänden somit schneller wieder in den Markt zurück. Verbesserungen in der Modellierung und Simulation solcher komplexer Systeme sollten ein zentrales Element weiterer Forschung und Entwicklung sein, um diese Ansätze möglichst schnell und zielführend in verschiedene Wertschöpfungsnetzwerke übertragen zu können.
- **Circular Economy:** Die Grundkonzepte der Circular Economy sind darauf ausgelegt, Wertschöpfung soweit möglich von zusätzlichem Ressourcenverbrauch unabhängig zu machen. Verlängerte Nutzungsdauern, eine vermehrte Wiederverwendung und Reparatur von Produkten sowie die zunehmende Umstellung auf Sharing- und As-a-Service-Geschäftsmodelle können dafür sorgen, dass Wertschöpfung und Wohlstand weniger an unmittelbare Produktionstätigkeit geknüpft sind und von Rohstoffimporten unabhängiger werden.¹⁰⁸ Bei der Ausgestaltung der Wertschöpfungsnetzwerke in einer Circular Economy muss darauf geachtet werden, diese möglichst flexibel zu gestalten, um zu starke Abhängigkeiten von einzelnen Partnern zu vermeiden und somit ihre Resilienz zu stärken.
- **Forcierung der digitalen Transformation:** Zudem können Ansätze aus den Bereichen Industrie 4.0, Künstliche Intelligenz und Big Data, wie zum Beispiel Predictive Maintenance durch den Digitalen Zwilling, helfen, eventuelle Störungen in Produktionsabläufen besser zu erkennen und Lösungsmöglichkeiten für diese vor auszuplanen. Gleiches gilt für eine auf mehr Transparenz und Flexibilität der Warenströme ausgerichtete Digitalisierung der Lieferketten. Um den Beitrag der Digitalisierung zur Resilienz der Wirtschaft zu realisieren, ist eine leistungsfähige Digitalinfrastruktur inklusive eines flächendeckenden Ausbaus der Breitband- und Mobilfunkinfrastruktur ebenso notwendig wie der Ausbau der Digitalkompetenz bei Unternehmen, Behörden und Bevölkerung. Ein Beispiel für das Resilienzpotenzial Additiver Fertigung ist der schnelle, autonome und dezentrale Aufbau von Produktionskapazitäten für Gesichtsschilder mit 3-D-Druckern während der SARS-CoV-2-Pandemie.

107 | Vgl. Fraunhofer-Gesellschaft 2018, 2019; Fraunhofer IPA 2018.

108 | Vgl. BReg 2020c; EllenMacArthur Foundation et al. 2015; Material Economics 2018b.



3 Grundstoffindustrien nachhaltiger gestalten am Beispiel der Kunststoffindustrie

Die nachhaltige Transformation der Industrieproduktion ist sehr herausfordernd, insbesondere für energieintensive Grundstoffindustrien. Innovationen sind auf allen Ebenen (Produkte, Prozesse, Geschäftsmodelle) sowie übergreifend über alle Elemente der Wertschöpfungsnetzwerke hinweg nötig. Nur wenn die nötigen politischen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen für ihre Wirtschaftlichkeit geschaffen werden, können die nötigen Transformationen erfolgen und gelingen. An der Kunststoffindustrie lassen sich exemplarisch Herausforderungen, Transformationspfade und Zielkonflikte aufzeigen.

Das folgende Kapitel bietet eine kurze Einführung in die besonderen Voraussetzungen für die nachhaltige **Transformation energieintensiver Grundstoffindustrien** (Kapitel 3.1). Am **Beispiel der Kunststoffindustrie** wird zunächst ein **Szenario** für einen nachhaltigen Umgang mit Kunststoffen entworfen (Kapitel 3.2). Daraufhin werden exemplarisch Pfade für die **nötigen Veränderungen und Innovationen** über ein gesamtes Wertschöpfungsnetzwerk hinweg beschrieben (Kapitel 3.3) und **politische Handlungsfelder** aufgezeigt (Kapitel 3.4). Im Anhang findet sich zudem eine **erweiterte Auseinandersetzung** mit den Herausforderungen und Potenzialen der Transformation der Kunststoffindustrie, in deren Rahmen die hier diskutierten Themen nochmals vertieft werden.

3.1 Industrielle Wertschöpfungsnetzwerke – Kernelemente der deutschen Wirtschaft

Der Wirtschaftsstandort Deutschland verfügt über starke Grundstoffindustrien und ist auf deren

Produkte angewiesen. Aufgrund der energieintensiven Produktionsprozesse ist die Transformation dieser Wertschöpfungsnetzwerke besonders herausfordernd. Mit förderlichen Rahmenbedingungen, zeitnahen hohen Investitionen und der konsequenten Anwendung der identifizierten großen Transformationshebel ist dies allerdings möglich.

Ein signifikanter Anteil des **Wohlstands** sowie der **Wertschöpfung** am Wirtschaftsstandort Deutschland beruht auf einer starken industriellen Basis. Diese wiederum ist auf eine ausreichende **Verfügbarkeit industrieller Grundstoffe** angewiesen.

Global sind Produktion, Nutzung und Entsorgung von **Stahl, Kunststoff, Ammoniak und Zement** für etwa 20 Prozent der CO₂-Emissionen verantwortlich (in der EU für 14 Prozent).¹⁰⁹ Aufgrund der **hohen CO₂-Intensität** dieser Sektoren reichen selbst bei ambitioniertem Vorgehen inkrementelle Effizienzgewinne nicht aus, um die angestrebte Klimaneutralität bis 2050 zu erreichen.¹¹⁰ Vielmehr muss eine grundlegende und auf lange Sicht angelegte **Veränderung von Wertschöpfungsnetzwerken** erreicht werden. Ansätze und Konzepte, die für die Grundstoffindustrien erfolgreich sind, können mit den nötigen Anpassungen zur Beachtung der jeweiligen spezifischen Charakteristika auch auf andere Industriesektoren übertragen werden.

„Die erste Hälfte des Weges zur CO₂-Neutralität lässt sich gut bewältigen. Danach bedarf es erheblicher Transformationen der Wertschöpfungsnetzwerke und grundlegender Innovationen bei Produkten, Prozessen und Geschäftsmodellen.“

Die Transformation erfordert **technologische Innovationen, Verhaltensinnovationen** und neue **Geschäftsmodelle**, die auch die Basis für einen weltweiten **Export nachhaltiger Lösungen** und somit für nachhaltige Wertschöpfung in Europa sein können. Die dafür zu schaffenden politischen und gesellschaftlichen **Rahmenbedingungen** gehen dabei deutlich über die Grenzen einzelner Industriesektoren und einzelner Politikbereiche (zum Beispiel Industrie-, Klima- und Energiepolitik) hinaus und erfordern eine **abgestimmte Herangehensweise**.¹¹¹

109 | Vgl. Material Economics 2019.

110 | Vgl. BCG/Prognos AG 2018; Material Economics 2019.

111 | Vgl. BCG/Prognos 2018; Wyns et al. 2019.

Eine breit angelegte, zweiteilige Studie im Auftrag der European Climate Foundation zeigt mögliche **Pfade und systemische Hürden** (für die Hürden siehe Abbildung 6) für die klimaneutrale Transformation der Grundstoffindustrien Stahl, Plastik, Ammoniak und Zement auf.¹¹²

Die Studie kommt darüber hinaus zu dem Schluss, dass

- die benötigten Umstellungen einer **Erhöhung des Investitionsvolumens** in diesen Industriesektoren von

durchschnittlich **76 bis 107 Prozent** im Zeitraum bis 2050 bedürfen,

- **Produktionskosten** im Grundstoffbereich signifikant **steigen** werden (25 bis 115 Prozent),
- dies allerdings nur einen **geringen Anstieg der Endverbraucherpreise** im Bereich von circa 1 Prozent bedeutet.

Die Studie bestätigt die Wichtigkeit der im vorherigen Kapitel benannten sektor- und branchenübergreifenden Ansätze: Nutzung von Wasserstoff und Elektrifizierung, digitale und



Abbildung 6: Hürden bei der Transformation energieintensiver Grundstoffindustrien (Quelle: eigene Darstellung basierend auf Wyns et al. 2019)

112 | Vgl. Material Economics 2019; Wyns et al. 2019.



biologische Transformation sowie die Circular Economy. Neben der **Schließung von Wertstoffkreisläufen** werden dabei die Verfügbarkeit von **Biomasse und Strom aus erneuerbaren Quellen** als unumgängliche Grundvoraussetzungen für die erfolgreiche Transformation der Grundstoffindustrien benannt.¹¹³

3.2 Szenario: Ein sinnvoller Platz für Kunststoffe in einer nachhaltigen Zukunft

Peter hat Mittagspause. Wie fast täglich holt er sich dafür bei einem der zahlreichen Schnellimbisse in der Nähe eine Mahlzeit in einer praktischen **Mehrwegverpackung** aus Kunststoff. Diese kann er bei einer großen Zahl von Unternehmen zurückgeben, da diese sich auf ein gemeinsames Mehrwegsystem geeinigt haben.

Bei seinem Einkauf im **Supermarkt** achtet Peter ebenfalls auf Nachhaltigkeit. Während insgesamt weniger Kunststoff zur Verpackung verwendet wird, als dies noch 2020 der Fall war, und vor allem Mehrfachverpackungen vermieden werden, spielen Kunststoffverpackungen aufgrund ihrer besonderen Produkteigenschaften weiter eine wichtige Rolle. Peter kann sich dank eines **einheitlichen und leicht verständlichen Labels** zielgenau für besonders nachhaltige Produkte entscheiden. Ein kurzer Scan mit dem Smartphone bietet weiterführende Informationen, zum Beispiel über den Anteil an Rezyklat oder biobasierten Kunststoffen einer Verpackung.

Peters Nachbarin Katharina arbeitet als Produktionsingenieurin in einem Unternehmen, das **biobasierte Kunststoffe** herstellt. Als Ausgangsstoffe für die nötige Biomasse werden vor allem organische Abfälle verwendet. Die aktuelle Entwicklung bei Angebot und Nachfrage von biobasierten Kunststoffen und Kunststoffrezyklaten kann sie auf **Onlinebörsen** transparent nachverfolgen.

Die Produktion im Bioreaktor kann sie mit einer biointelligenten Steuerung flexibel an aktuelle Bedarfe anpassen. Insgesamt ist der **Markt für biobasierte Polymere und Sekundärrohstoffe** deutlich gewachsen, da bei der Herstellung von Kunststoffen kaum noch Primärrohstoffe aus Erdöl und -gas verwendet werden. Befördert wird dies durch ein **Produktdesign**, das auf eine Recyclingfähigkeit über viele Lebenszyklen hinweg ausgelegt ist und mittlerweile zum Standardcurriculum in Studiengängen zählt.

Die Einstellung zu **Abfällen** in der Gesellschaft hat sich grundlegend gewandelt: Sie werden als **wertvolle Rohstoffe** angesehen. Die Sammlung der Kunststoffe erfolgt über für die Verbraucherinnen und Verbraucher leicht handzuhabenden Lösungen. **Sortierung und das Recycling** von Kunststoffabfällen sind eine **wachsende Hightechbranche**. Mit einer Kombination von modernen Sensoren, Produktkennzeichnungen und Maschinellem Lernen werden Kunststoffabfälle jeweils dem unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten **optimalen Verwertungspfad** zugeführt.

Der Wirkungsgrad des mechanischen Recyclings wurde durch technische Innovationen deutlich verbessert und verschiedene Verfahren des chemischen und enzymatischen Recyclings erweitern die Möglichkeiten, Kunststoffe wiederzuverwerten. Somit wird sichergestellt, dass auch **hochwertige Produkte aus recyceltem Kunststoff** hergestellt werden können.

3.3 Transformationspfade für Kunststoffwertschöpfungsnetzwerke

Für die Nachhaltigkeitstransformation des Wertschöpfungsnetzwerks in der Kunststoffindustrie gibt es bereits ein umfangreiches Innovationsportfolio auf Produkt-, Prozess- und Geschäftsmodellebene, das genutzt und weiter ausgebaut werden sollte. Zwischen einzelnen Ansätzen kann es Zielkonflikte geben, die teilweise nur politisch gelöst werden können. Eine möglichst ganzheitliche Analyse des Lebenszyklus der jeweiligen Produkte sollte die Grundlage für Lösungsansätze darstellen.

Um die komplexen Herausforderungen, die eine nachhaltige Transformation der Kunststoffindustrie mit sich bringt, bewältigen zu können, bedarf es einer großen **Bandbreite an innovativen Ansätzen** an verschiedenen Gliedern der Wertschöpfungskette (siehe Abbildung 7), um die bestehenden Entwicklungspotenziale zu heben.

Für den Erfolg der Transformation ist es dabei den Expertinnen und Experten zufolge unerlässlich, dass **Innovationen** auf den verschiedenen Ebenen **nicht isoliert gedacht**, sondern miteinander abgestimmt werden, damit sie synergistisch ineinandergreifen. Hierfür müssen die verschiedenen Akteure **innerhalb**

113 | Vgl. BCG/Prognos AG 2018; Material Economics 2019; Wyns et al. 2019.

des **Wertschöpfungsnetzwerks vernetzt** und durch förderliche politische Rahmenbedingungen unterstützt werden. Die **Leitprinzipien der Circular Economy** (siehe Kapitel 2.3) können hierbei Orientierung geben.

Produktinnovationen

Kunststoffprodukte erfüllen viele **wichtige Funktionen** zum Beispiel bei der Gewährleistung von Hygiene und Produktsicherheit von Lebensmitteln. Gleichzeitig verursachen sie allerdings, auch aufgrund der teilweise sehr **kurzen Nutzungsdauern** und Lebenszyklen, einen signifikanten **Ressourcenverbrauch und CO₂-Ausstoß**. Insbesondere Verpackungen landen heute häufig nach einer einmaligen Benutzung bereits im Abfall.

Nachhaltige Produktinnovationen fangen daher beim **Design** an, das nicht ausschließlich auf die Produkteigenschaften bezogen sein darf, sondern den **ganzen Lebenszyklus** mitdenken muss (siehe auch Anhang E). Fachleute sehen insbesondere durch „**Design for Circularity**“ (zum Beispiel Trennbarkeit und Standardisierung von Komponenten oder Monomateriallösungen) zusammen mit effizienter Sammlung und Sortierung erhebliches Potenzial, um Wiederverwendbarkeit und **Recyclingquoten zu erhöhen** und die entstehende **Rezyklatqualität zu verbessern**.¹¹⁴

Um Kunststoffe nicht nur leichter recyclebar zu machen, sondern auch andere negative Umwelteffekte zu vermeiden, können darüber hinaus die Ansätze „**Benign by Design**“ oder „**Grüne Chemie**“ verwendet werden. **Grundprinzipien** hierfür sind zunächst die Analyse und das Überprüfen der beabsichtigten **Anwendung**, ob es hierfür des Einsatzes spezifischer Stoffe bedarf. Ist dies der Fall, sollte das Design der Stoffe möglichst **zielgenau auf die Bedürfnisse** zugeschnitten werden. Die Stoffe sollten in ihrer **molekularen Komposition möglichst** einfach aufgebaut und nach Gebrauch **leicht und vollständig abbaubar** beziehungsweise die eingesetzten Materialien möglichst vollständig rückgewinnbar sein.¹¹⁵

„**Benign by Design**“ wurde als neues Designkonzept für persistente **Pharmawirkstoffe** entwickelt, die nach ihrer Anwendung in der Umwelt nicht abgebaut werden. Die Ziele des Konzepts lassen sich auch **auf Kunststoffe übertragen**.¹¹⁶

Einige Fachleute geben allerdings zu bedenken, dass ein **reiner Fokus auf Recyclingfähigkeit** beim Produktdesign zu Einbußen

bei der Performance von Kunststoffen führen kann, was wiederum in der konkreten Anwendung **negative Auswirkungen auf Nachhaltigkeitsaspekte** (Gewicht, Fähigkeit Lebensmittel frisch zu halten) zur Folge haben kann.

„Es geht nicht darum, ausgehend von den bestehenden Produkten, diese ein ‚bisschen weniger schlecht‘ zu machen, sondern darum, Produkte direkt so zu designen, dass sie nachhaltig sind.“

Nach Meinung der befragten Expertinnen und Experten wird es **nicht immer möglich** sein, diese **Zielkonflikte** durch weitere Forschung und Entwicklung neuer Materialien und Prozesse komplett **aufzulösen**, auch wenn dieser Bereich eine Kernkompetenz der deutschen Forschungslandschaft ist. Hier ist auch die Politik gefordert.

Um möglichst **nachhaltige Designentscheidungen** treffen zu können, bedarf es jeweils einer genauen Betrachtung, wofür ein Kunststoff(-produkt) eingesetzt werden soll, welche Produkteigenschaften dafür nötig sind und wie sich einzelne Entscheidungen auf die **Nachhaltigkeitsbilanz** auswirken. Für letztere sind genaue **Lebenszyklusanalysen** notwendig, die allerdings oft nicht einfach umzusetzen sind, für die die notwendige **Datengrundlage fehlt** und die auch aus Kostengründen oft nicht durchgeführt werden. Die Methoden hierzu sollten daher weiter **verfeinert und vereinheitlicht** werden.

Eine **hohe Priorität** bei der Transformation der Kunststoffproduktion muss dem verstärkten **Einsatz von Sekundärrohstoffen aus Rezyklat** zugeordnet werden. Nur wenn ein deutlich größerer Anteil an Kunststoffen am Ende ihres Lebenszyklus möglichst vollumfänglich recycelt und wieder **für gleich- oder höherwertige Produkte** verwendet wird, lassen sich Nachhaltigkeitsziele im Kunststoffsektor erreichen (siehe auch „Prozessinnovationen“). Selbst in optimistischen Szenarien wird es unter anderem aufgrund unvermeidbarer Prozessverluste beim Recycling allerdings auch in Zukunft **nicht möglich** sein, **mehr als 60 bis 70 Prozent des Kunststoffbedarfs aus Sekundärrohstoffen** zu decken.¹¹⁷

Kunststoffe, die aus **Biomasse als alternative Quelle für Primärrohstoffe** hergestellt werden, können dazu beitragen, die Kunststoffproduktion dennoch möglichst umfänglich von der Zufuhr

114 | Vgl. Lacy et al. 2020; WEF et al. 2016; WEF/Ellen MacArthur Foundation 2017.

115 | Vgl. Deutsche Welle 2016; Kümmerer 2017; Kümmerer et al. 2020; Zimmerman et al. 2020.

116 | Vgl. Deutsche Welle 2016; FAZ 2018; Kümmerer et al. 2020.

117 | Vgl. Material Economics 2019.



Abbildung 7: Nachhaltigkeitstransformation der Kunststoffwertschöpfungskette (Quelle: eigene Darstellung basierend auf Material Economics 2019)

fossiler Energieträger zu entkoppeln (für eine Begriffsklärung zu biobasierten Kunststoffen beziehungsweise Biokunststoffen und für die weitere Diskussion siehe Anhang F.2).¹¹⁸

Viele der gängigen Kunststoffpolymere werden bereits jetzt in **biotechnischen Anlagen** hergestellt.¹¹⁹ Diese können **dezentral** in der Nähe von Biomassequellen betrieben werden und eher **strukturschwachen Regionen** eine Option nachhaltiger Wertschöpfung eröffnen.

„Bei der technischen Entwicklung biobasierter Kunststoffe wurde schon viel erreicht. Viele Produkte sind marktreif. Das Problem liegt eher beim Bedarf und der Wirtschaftlichkeit.“

Da die negativen Auswirkungen auf die Umwelt und das Klima bei der **Kunststoffherstellung aus fossilen Energieträgern** nicht eingepreist werden, haben diese gegenwärtig einen **Wettbewerbsvorteil** gegenüber Sekundärrohstoffen aus **Rezyklat** und Primärrohstoffen aus **Biomasse**.¹²⁰ Sollte der **Ölpreis** infolge der durch die SARS-CoV-2-Pandemie ausgelösten **Wirtschaftskrise** dauerhaft auf niedrigem Niveau bleiben, würde dies den **Wettbewerbsnachteil für Sekundär- und Biomasserohstoffe** zusätzlich **verschärfen**.

Ein steigender **Biomassebedarf** der Kunststoffproduktion kann zu einer **Konkurrenzsituation** mit der Land- und Forstwirtschaft, Renaturierungsvorhaben zum Klima- und Biodiversitätsschutz oder mit Biomassebedarfen **für andere Zwecke (beispielsweise zur Kraftstoffproduktion)** führen.¹²¹ Einige bereits vorliegende Studien gehen davon aus, dass die Verwendung von **Biomasse für die Kunststoffproduktion energetisch sinnvoller** und somit nachhaltiger ist als die Nutzung für Brennstoffe oder in der Stromerzeugung.¹²²

Besonders interessant für die Herstellung von Kunststoffen ist daher gerade auch die Verwertung von einzelnen Bestandteilen der Biomasse oder **Abfallströmen** wie beispielsweise Chitin, Lignin oder von Terpenen, um Konflikte mit der Nutzung primärer Biomasse zu vermeiden.

Die nationale Bioökonomiestrategie greift solche Ansätze auf und Forschung, wie biobasierte Kunststoffe am besten in **nachhaltige Wirtschaftskreisläufe in der Kunststoffindustrie** eingebettet werden können, findet zum Beispiel im Fraunhofer Cluster of Excellence for Circular Plastics Economy statt.¹²³ Wichtig ist nach Meinung der Befragten, Wege aufzuzeigen, wie **innovative Produkte und Prozesse** möglichst sicher und **schnell in den Markt** gebracht werden können. Hierfür könnten **„Reallabore für die Materialwende“** geeignet sein (siehe Kasten 6).

Prozessinnovationen

Bisher wird ein großer Teil der Kunststoffe in Europa (circa 43 Prozent in 2018) und in Deutschland (circa 60 Prozent in 2018) am Ende des Lebenszyklus in der **energetischen Verwertung** verbrannt, wobei **große Mengen CO₂** freigesetzt werden.¹²⁴

„Bei zu großen Anreizen für Waste-to-Energy wird nichts mehr recycelt.“

Die **gegenwärtige Gesetzgebung** und das diskutierte Ziel, Einbringung von Kunststoffabfällen in Deponien in der EU vollkommen zu untersagen, könnten **Anreize** setzen, Kunststoffabfälle vermehrt der **Verbrennung** zuzuführen. Fachleute bewerten dies kritisch und fordern, dass die regulatorischen Rahmenbedingungen so gestaltet werden müssen, dass eine möglichst umfassende stoffliche Verwertung von Kunststoffen durch Recycling stattfindet (siehe auch Anhang I).

Die **Kunststoffherstellung aus Sekundärrohstoffen** weist unabhängig vom Verfahren einen deutlich **kleineren CO₂-Fußabdruck** als die Herstellung aus Primärrohstoffen auf (siehe Abbildung 8). Beim **mechanischen Recycling** sehen Fachleute noch große, bislang **ungehobene Innovationspotenziale** zur Verbesserung des Volumendurchsatzes und der Rezyklatqualität. Diese reicht zurzeit oftmals nicht für die Herstellung hochwertiger Kunststoffe aus und kann somit zu „Downcycling“ führen. Viele Technologien hierfür, wie **genauere Sensoren** oder der verstärkten Einsatz von **Machine Learning oder KI** zur Sortierung der Abfallströme, sind bereits jetzt verfügbar.¹²⁵ Aufgrund der geringen

118 | Vgl. DEHEMA/FutureCamp Climate GmbH 2019; Material Economics 2019; WEF/Ellen MacArthur Foundation 2017.

119 | Vgl. European Bioplastics 2016.

120 | Vgl. VCI 2019b.

121 | Vgl. acatech et al. 2019.

122 | Vgl. BCG/Prognos AG 2018; Material Economics 2018b; 2019.

123 | Vgl. BMBF/BMEL 2020; Fraunhofer CCPE 2019.

124 | Vgl. Material Economics 2019; PlasticsEurope 2019a.

125 | Vgl. Material Economics 2019; Wilts et al. 2020.



Kasten 6: Reallabore für die Materialwende

Hintergrund

Neue und innovative **Materialien** können einen wichtigen **Beitrag zur Nachhaltigkeit** leisten, insbesondere wenn sie aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden oder **verbesserte Produkteigenschaften** wie eine höhere Recyclingfähigkeit, flexiblere Einsatzmöglichkeiten oder eine Gewichtsreduktion aufweisen. Dabei müssen neuartige Materialien je nach Verwendungszweck für ihre Marktzulassung strenge **Auflagen und Zulassungsbestimmungen** erfüllen. Ein Beispiel sind Materialien, die mit Lebensmitteln in Berührung kommen (zum Beispiel Verpackungsmaterialien oder Bauteile von Lebensmittel verarbeitenden Maschinen), die auf **lebensmittelrechtliche Konformität** geprüft werden müssen. Hierbei sind die Prüfverfahren auf etablierte erdölbasierte Materialien ausgelegt und stellen daher für **biobasierte Kunststoffe** zum Teil auch durch höhere Anforderungen **Hemmnisse für die Markteinführung** dar.

Dies schreckt einige Unternehmen davon ab, verstärkt in Forschung und Entwicklung in diesem Bereich zu investieren. Vergleichbare Herausforderungen bestehen auch für die **Zulassung neuer Materialklassen** in anderen Bereichen, etwa im Baugewerbe. **Reallabore der Materialwende** böten unter anderem durch eine optimierte Infrastruktur und Logistik sowie die enge räumliche Vernetzung der Kompetenzen zu Struktur- und Eigenschaftswchselwirkungen die Möglichkeit, die **Entwicklung und Kommerzialisierung neuer Materialien** zu beschleunigen und kostengünstiger zu machen. Dies kann der Realisierung einer **Bioökonomie** einen **deutlichen Schub** geben. Exemplarisch kann hierfür ein Reallabor für biobasierte Kunststoffe beschrieben werden.

Das Reallabor in der Praxis/beteiligte Akteure

Das Reallabor sollte die verschiedenen **Akteure des Wertschöpfungsnetzwerks** sowie eine geeignete **Prüfeinrichtung und -behörde** eng vernetzen, möglichst auch in räumlicher Nähe. Für das konkrete Beispiel von biobasierten Kunststoffen im Lebensmittelbereich würde dies neben **Forschungseinrichtungen** vor allem **Materialhersteller** (zum Beispiel KMU), **-zulieferer und -verarbeiter** (zum Beispiel

Verpackungshersteller), aber auch Prüfstellen und Behörden sowie die **Anwender** der Produkte am Ende der Wertschöpfungskette, also Lebensmittelproduzenten, umfassen.

Zwar werden die verschiedenen Stufen bei der Entwicklung bis hin zum marktfähigen Produkt bereits von unterschiedlichen Akteuren vorangetrieben:

- Materialentwicklung durch Universitäten und/oder außeruniversitäre Forschungseinrichtungen
- Up-Scaling, Materialherstellung durch Zulieferer (erfordert Materialprüfung durch Behörde oder zertifizierte Prüfstelle),
- Materialverarbeitung mit anschließender Markteinführung beispielsweise durch Großunternehmen (erfordert Bauteilprüfung, möglich durch Behörde oder zertifizierte Prüfstelle);

ein **enger Austausch** der Akteure über die Wertschöpfungskette hinweg **fehlt zu zentralen Punkten bislang** aber noch und könnte durch Reallabore geleistet werden.

Mehrwert der Reallabore

Ein besonderer Vorteil solcher Reallabore besteht darin, dass nicht nur von Anfang an nachhaltige Materialien und zugehörige, **tragfähige Geschäftsmodelle** entwickelt werden, sondern auch das notwendige **regulatorische Lernen** bei Prüfverfahren und Zulassungen sowie den zugehörigen Standards und Normen im Vordergrund steht.

Durch angepasste, **vereinfachte und schnellere Zulassungsverfahren**, die den sicheren, aber zeitnahen Einsatz neuer Materialien auch in sensiblen Bereichen wie Lebensmittelverpackungen ermöglichen, können **Markthürden abgebaut** werden. Dies kann wiederum einen Innovationsschub auslösen und stärkere unternehmerische Aktivität in der Materialentwicklung anregen.

Die Erkenntnisse aus den Reallaboren könnten gegebenenfalls auf **weitere Materialien**, zum Beispiel im Baugewerbe, übertragen werden und darüber hinaus auch als Best Practices zur **Harmonisierung der Regularitik zwischen EU-Mitgliedstaaten** beitragen.



Die Produktion von Kunststoffen aus Primärrohstoffen führt zu großen Emissionen sowie zu im Material eingeschlossenem Kohlenstoff.

Eine Steigerung der Produktionseffizienz reduziert Produktionsemissionen, adressiert jedoch die im Produkt eingeschlossenen Emissionen nicht.

Die Nutzung regenerativer Energiequellen kann Produktionsemissionen weiter verringern, adressiert jedoch die im Produkt eingeschlossenen Emissionen nicht.

Der Recycling-Prozess hat geringe CO₂-Emissionen. Qualitativ minderwertiges Recycling kann nur zu einem unvollständigen Ersatz von Primärrohstoffen führen.

Qualitativ hochwertiges Recycling in einem größtenteils defossilisierten Energiesystem kann einen Großteil der Emissionen vermeiden.

Der Prozess des chemischen Recyclings führt zu einigen CO₂-Emissionen, vermeidet jedoch die im fossilen Ausgangsmaterial eingeschlossenen Emissionen.

Abbildung 8: CO₂-Emissionen bei verschiedenen Pfaden der Kunststoffherstellung (Quelle: eigene Darstellung basierend auf Material Economics 2018b)

Nachfrage nach hochwertigen Rezyklaten und den mit fossilen Primärrohstoffen verbundenen Wettbewerbsvorteilen **lohnen sich Investitionen** in verbesserte Sortier- und Recyclinganlagen **derzeit nicht**.

„Beim mechanischen Recycling gibt es noch viel Luft nach oben, aber Investitionen in Innovationen lohnen sich zurzeit einfach nicht.“

Insbesondere bei veränderten Marktbedingungen könnten sich aufgrund des prognostizierten Anstiegs der weltweiten Plastikproduktion bei paralleler Orientierung an Nachhaltigkeitszielen auch **Chancen für den Export** ergeben. Somit könnte die **starke Position deutscher Green Tech-Unternehmen** im Bereich

Kreislauf- und Abfallwirtschaft auf dem Weltmarkt weiter ausgebaut werden.¹²⁶

Nicht alle Abfallströme sind für das mechanische Recycling geeignet. Die Ansätze des **chemischen Recyclings** versprechen unter anderem, dass sie auch bei sortenunreinen oder verschmutzten Abfallströmen eingesetzt werden können. Unter chemischem Recycling versteht man Prozesse, bei denen die Kunststoffe wieder in ihre **chemischen Grundbausteine zerlegt** werden, aus denen dann wieder **neue Kunststoffe hergestellt** werden können.

Dazu gehören unter anderem die Pyrolyse, das katalytische Cracking, die Vergasung, die Depolymerisation und die Solvolyse.¹²⁷ Einige Fachleute geben allerdings zu bedenken, dass die tatsächlichen **Anforderungen an Reinheit und Qualität** des zugeführten Abfalls der einzelnen Verfahren in der industriellen Praxis erst noch erprobt werden müssen (siehe auch Anhang I.2).

126 | Vgl. BMU 2018.

127 | Vgl. Bauer et al. 2018; DECHEMA/FutureCamp Climate GmbH 2019; Solis/Silveira 2020.

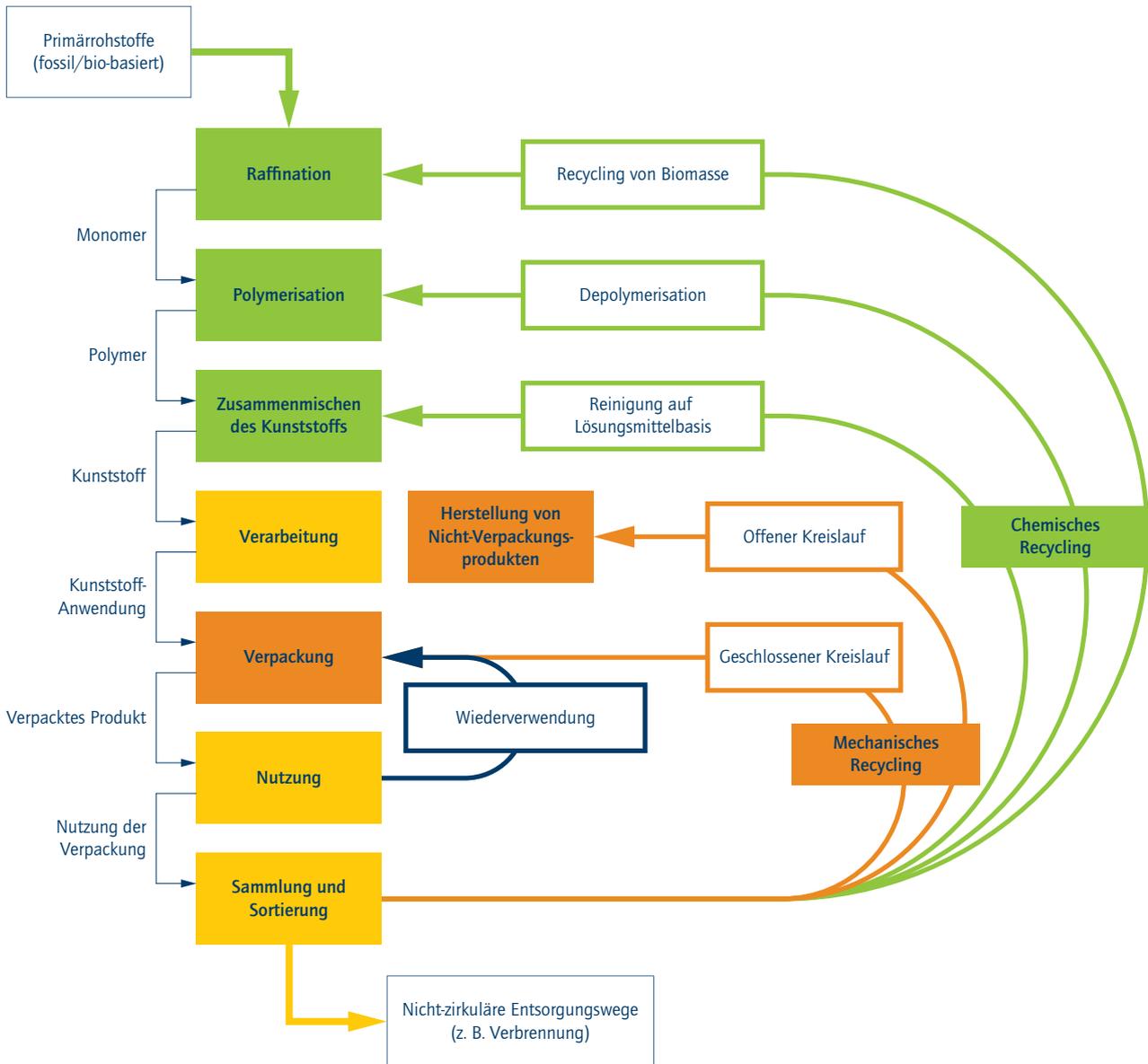


Abbildung 9: Wertschöpfungskette für Kunststoffverpackungen und Recyclingpfade (Quelle: eigene Darstellung basierend auf EU-KOM 2019b; WEF et al. 2016)

Die **Hauptkritik** am chemischen Recycling ist, dass die Prozesse **sehr energieintensiv** sind. Je größer der **Anteil fossiler Energieträger** am Energie- beziehungsweise Strommix für das chemische Recycling ist, desto **schlechter** fällt die **Ökobilanz** des Prozesses aus.

Ein weiterer vielversprechender Ansatz, der sich allerdings noch in einem deutlich **früheren Entwicklungsstadium** befindet, ist

das **enzymatische Recycling**, bei dem Kunststoffpolymere mit biotechnologischen Methoden recycelt werden.¹²⁸

„Wenn man die Kreisläufe beim Kunststoff schließen will, wird man nicht ohne einen gewissen Grad an chemischem Recycling auskommen.“

Ziel muss es sein, ein möglichst **ganzheitliches Wiederverwendungs- und Recyclingkonzept** für Kunststoffe zu entwickeln, das Kunststoffe dem **jeweils nachhaltigsten Verwertungspfad** zuführt und **Synergien** zwischen verschiedenen Ansätzen

nutzt (siehe Abbildung 9). Ein **Reallabor** zur Erprobung des **chemischen Recyclings** und zur Durchführung begleitender Lebenszyklusanalysen kann hierfür einen wichtigen Beitrag leisten (siehe Kasten 7).

Kasten 7: Reallabor Chemisches Recycling – Optimierte und innovative Recyclingverfahren für Kunststoffverpackungen

Hintergrund

Eine innovative Möglichkeit, einen noch größeren Anteil an Kunststoffabfällen wiederzuverwerten, statt zu verbrennen, bietet das **chemische Recycling** (siehe auch Anhang I.2), das an der Schwelle zur großskaligen industriellen Anwendbarkeit steht. Allerdings sind **gesetzliche Vorgaben** für das chemische Recycling **innerhalb der EU unterschiedlich** und Rohstoffe aus chemischem Recycling zählen nach derzeitiger **deutscher Rechtslage** bei Verpackungskunststoffen **nicht als stoffliche Wiederverwertung**.

Um die unter Nachhaltigkeitsaspekten **ganzheitlich beste Lösung** für das Recycling von Verpackungen zu entwickeln und dafür geeignete gesetzliche Rahmenbedingungen zu schaffen, sollte sich politisches Handeln an möglichst **präzisen Lebenszyklusanalysen** von Produkten und Prozessen orientieren.

Ein **Reallabor** für das Recycling von Kunststoffverpackungen ist ein ideales Format, um **etablierte und innovative Verfahren auf industriellem Maßstab** zu kombinieren und optimieren und somit Potenziale für die Kreislaufwirtschaft zu erschließen.

Beteiligte Akteure

Das Reallabor bedarf **politischer Initiative**, um die nötige **Vernetzung von Akteuren** aus dem ganzen Wertschöpfungsnetzwerk zu erreichen. Hierzu sollten gehören:

- Chemieunternehmen,
- Betreiber von Pyrolyseanlagen,
- gegebenenfalls Betreiber anderer innovativer Recyclinganlagen,
- mechanische Recycler,
- Abfallentsorger,

- Betreiber von Abfallsortieranlagen,
- das Duale System,
- Landes-/Prüfbehörden,
- Universitäten und/oder außeruniversitäre Forschungseinrichtungen sowie
- gegebenenfalls NGOs.

Europäische Dimension

Das **Reallabor auf europäischer Ebene** anzusiedeln und Partner aus verschiedenen Mitgliedstaaten einzubinden wäre aus mehreren Gründen **vorteilhaft**. So gibt es Länder, in denen bereits heute oder zumindest in naher Zukunft **Kunststoff-Pyrolyseanlagen** betrieben werden (etwa Spanien, Dänemark) oder die **Aktionspläne** für das Kunststoffrecycling beschlossen haben (zum Beispiel die Niederlande) und somit ihre Erfahrungen und **Kompetenzen** einbringen können.

Im Reallabor könnte ein direkter Austausch **regulatorischer Best Practices** stattfinden und eine **Harmonisierung der Regelungen** auf europäischer Ebene angestoßen werden. Dies würde auch zu einem **europäischen Binnenmarkt für Sekundärrohstoffe** beitragen. Im Reallabor könnte auch getestet werden, ob und wie der von der EU-Kommission anvisierte europäische **Datenraum für intelligente kreislauforientierte Anwendungen** bei der Etablierung eines solchen Binnenmarkts helfen kann. Der EU Circular Economy Action Plan benennt zudem das Potenzial von chemischem Recycling für eine moderne Kreislaufwirtschaft und bietet somit einen geeigneten Anknüpfungspunkt für das Reallabor.

Mehrwert des Reallabors

Nur in der industriellen Praxis, wie sie ein solches Reallabor bietet, können reelle und **aussagekräftige Lebenszyklusanalysen** angestellt und ihre Methodik verfeinert werden. Aufgrund dieser Basis können dann die **regulatorischen Rahmenbedingungen** und Infrastrukturen für das Recycling von Kunststoffverpackungen so gestaltet werden, dass Abfälle



nachhaltigkeitsoptimierten Verwertungspfaden folgen und **Synergien** zwischen mechanischem und chemischem Recycling sowie gegebenenfalls mit Produktionsverfahren genutzt werden. Dazu gehört auch eine Optimierung von Sammlung, Sortierung und Aufreinigung der Kunststoffabfälle. Hierdurch könnten zudem die **Kosten der Abfallentsorgung** reduziert werden.

Durch das Einbinden chemischer Recyclingverfahren in etablierte Recyclingstrukturen wird die **Bandbreite** potenziell **recycelbarer Kunststoffabfälle erweitert**. Einen besonderen **Mehrwert** hätte dies für etablierte Hersteller

von hochwertigen, aber nicht für konventionelles Recycling geeigneten Kunststoffverpackungen. Dabei handelt es sich vorwiegend um **kleine und mittelständische Unternehmen**, die auf bestimmte Verpackungstypen spezialisiert sind (zum Beispiel für Käse und Wurst).

Die **Erkenntnisse** zu den potenziellen regulatorischen, systemischen und prozessinhärenten Hürden sowie den jeweiligen Optimierungsstrategien von Verpackungen auf andere Kunststoffanwendungen zu **transferieren**, scheint möglich. Auch können sie zur **Optimierung des Produktdesigns** führen.

Bei der Kunststoffherstellung sind insbesondere das Cracken und die anschließende Polymerisation der Ausgangsstoffe **energieintensive Prozesse**, die zurzeit vor allem durch **fossile Energieträger** befeuert werden. Um diese Produktionsschritte der Kunststoffherstellung ökologisch nachhaltiger zu gestalten, bietet die **Elektrifizierung des Crackings** eine Option, die an der Schwelle zur **industriellen Umsetzbarkeit** (TRL7) steht. Die hierdurch angestrebte fast vollständige Vermeidung von Treibhausgasemissionen in diesem Herstellungsschritt wird allerdings nur eintreten, wenn der eingespeiste Strom komplett aus erneuerbaren Energien gedeckt wird.¹²⁹

In der Kunststoffproduktion und vor allem auch in der kunststoffverarbeitenden Industrie werden nach Ansicht von Fachleuten die Nachhaltigkeitspotenziale der **Industrie 4.0 noch nicht ausgeschöpft** (siehe auch Kapitel 2.2 und Anhang G). Auch Konzepte der **biologischen Transformation** der produzierenden Industrie und der **Bioökonomie** können zur Erreichung von Nachhaltigkeitszielen beitragen (siehe auch Kapitel 2.4 und Anhang G).¹³⁰

Ein plastisches Beispiel hierfür ist die **Produktion von Biopolymeren für biobasierte Kunststoffe**. In den **Bioraffinerien** könnten je nach Bedarf und Kundenanforderung **unterschiedliche Polymertypen** hergestellt und Produktionsvolumina flexibel angepasst werden. Diese **flexiblen und modularisierten Produktionsprozesse** werden durch die Verbindung biotechnologischer (Bionkonversion durch Mikroorganismen), digitaler (Künstliche Intelligenz, IoT, Big Data) und hybrider (Biosensorik) Verfahren ermöglicht.

Aufgrund der **Auslastungsoptimierung** könnten in solchen **biointelligenten Fabriken Rohstoffe und Emissionen eingespart** werden. Diese Form der Produktionsorganisation kann zur Nachhaltigkeit und Resilienz in der Kunststoffindustrie gleichermaßen beitragen (siehe auch Kapitel 2.5). Im Konzept der **industriellen Symbiose** werden Abfallprodukte (Materialabfälle, Emissionen, Wärme, Wasser) an einer Stelle des Fertigungsprozesses an anderen Stellen wieder als Ausgangsstoffe für neue industrielle Prozesse genutzt. Die **Reduktionspotenziale bei den Treibhausgasemissionen** solcher symbiotischer Industrieparks, wie im Industriekomplex Kalundborg in Dänemark (siehe Anhang G), dem Bioraffineriekomplex Pomacle-Bazancourt in Frankreich oder im Verbundfabrik-Konzept von BASF, werden auf bis zu **zehn Prozent** geschätzt.¹³¹ Für die **Kunststoffproduktion** könnte es sich anbieten, zum Beispiel **enger mit Papiermühlen** zusammenzuarbeiten, um organische Abfälle zur Generierung von biobasiertem Primärrohstoff zu nutzen.¹³²

Eine **Herausforderung** bei solchen Projekten ist es, zu vermeiden, dass kurzfristige Änderungen oder ein Ausfall des Outputvolumens eines Partners direkt zur **Beeinträchtigung der Produktion** bei einem anderen Partner führen. Hierfür muss eine **Balance** zwischen **größtmöglicher Synergie** und einer **Diversifizierung der Rohstoffquellen** gefunden werden.

Geschäftsmodellinnovationen

Im Kunststoffsektor können neue Geschäftsmodelle, die auch in anderen Wirtschaftssektoren für die Umsetzung **zirkulärer Wirtschaftsmodelle** wichtig sind, konkrete Anwendungen finden.

129 | Vgl. Axelson et al. 2018; BASF 2019; DECHEMA 2017; Material Economics 2019.

130 | Vgl. BMBF/BMEL 2020; Fraunhofer-Gesellschaft 2018, 2019.

131 | Vgl. EU-KOM 2020c; OECD 2018.

132 | Vgl. Material Economics 2019.

Ein Ansatz, um Transparenz über die Verfügbarkeit von **Rezyklaten** zu ermöglichen und Produzenten und Anbieter zusammenzubringen, sind **digitale Plattformen für Sekundärrohstoffe**.¹³³ Das deutsche Start-up Cirplus, das auch vom EIT Climate KIC unterstützt wird, aber auch mehrere andere Akteure verfolgen bereits ein solches Geschäftsmodell.

Mit den Ansätzen der biointelligenten Wertschöpfung wäre es Fachleuten zufolge denkbar, **modularisierte Produktionskapazitäten** in einem **As-a-Service-Modell** aufzubauen. Intelligente gesteuerte und vernetzte Produktionssysteme könnten von einer Drittpartei so aufgebaut werden, dass sich Unternehmen je nach Bedarf ein für sie passendes Anlagenvolumen zeitlich begrenzt anmieten können. Hiervon können insbesondere auch **KMU und Start-ups profitieren**, die moderne, effiziente und auf ihre Bedürfnisse anpassbare Produktionsarchitekturen nutzen können, ohne selbst direkt große Infrastrukturinvestitionen finanzieren und ungenutzte Produktionskapazitäten vorhalten zu müssen.

Auch im **Vertrieb** von Kunststoffen sind **As-a-Service-Modelle denkbar**, zum Beispiel bei Verpackung und Logistik. Anstelle der Kunststoffverpackung könnte ein Unternehmen die Dienstleistung „sichere Ankunft des Produkts in definiertem Zustand“ anbieten. Dadurch würde die **Wertschöpfung vom Volumenumsatz der Verpackungen entkoppelt** und das Unternehmen hätte ökonomische Anreize, Verpackungen möglichst wiederverwenden und den **Materialeinsatz zu minimieren**. Gleichzeitig würden die Kundinnen und Kunden von der Expertise des Anbieters zum effektivsten Einsatz der Verpackungen profitieren. In anderen Bereichen der Chemiebranche werden ähnliche Modelle bereits ausprobiert („**Chemikalienleasing**“ bei Lösungs- oder Desinfektionsmitteln).¹³⁴

Mehrwegprodukte bieten eine Option, den Kunststoffbedarf zu reduzieren. Vielversprechend ist der Ansatz vor allem im **B2B-Bereich**, beispielsweise durch standardisierte, wiederverwendbare Verpackungen in der Logistik, eine **erfolgreiche Abstimmung** der Beteiligten eines Wertschöpfungsnetzwerks vorausgesetzt. In diesem Umfeld ist eine Nachverfolgung der Verpackungen einfacher umsetzbar, Geschäftsmodelle können **leichter skaliert** werden und müssen weniger **kleinteilig** sein.

IoT-Elemente wie RFID-Chips, Sensoren oder **digitale Produktpässe** ermöglichen nicht nur eine **einfachere Rücknahme-logistik**, sondern auch die **Erweiterung von Geschäftsmodellen**

oder die **Optimierung** von Prozessen durch zusätzliche Verpackungsfunktionen.¹³⁵ Doch auch im **Konsumentenbereich** gibt es eine wachsende Zahl an Beispielen für Geschäftsmodelle, die auf **wiederverwendbare/wiederauffüllbare Verpackungen** setzen, etwa für Reinigungs- oder Pflegeprodukte oder bei Essenslieferdiensten.¹³⁶

3.4 Politische Handlungsfelder

Marktkräfte allein werden nicht ausreichen, die notwendigen Transformationen in den Wertschöpfungsnetzwerken der Kunststoffindustrie anzustoßen. Vielmehr bedarf es politischer Begleitung. Handlungsfelder hierfür umfassen: das Herstellen eines Level Playing Field für nachhaltige Kunststoffprodukte, die Anpassung regulatorischer Rahmenbedingungen, die Förderung von Forschung und Entwicklung sowie die Aus- und Weiterbildung und die Befähigung von Konsumentinnen und Konsumenten.

Die **politischen Rahmenbedingungen** haben großen Einfluss darauf, ob die nötigen Innovationen für eine nachhaltige Transformation eine **Umsetzung in der Praxis** finden und ob eventuelle **Marktbarrieren** überwunden werden. Im Folgenden werden politische Handlungsfelder aufgezeigt, die für die Transformation der Kunststoffindustrie besonders wichtig sind, in vielen Fällen aber auch eine **Relevanz über die Sektorengrenzen hinaus** aufweisen.

Ein Level Playing Field für nachhaltige Kunststoffprodukte

Fiskalische Instrumente können helfen, die **Wettbewerbsnachteile nachhaltiger Produkte und Dienstleistungen**, beispielsweise von Kunststoffen aus Sekundärrohstoffen gegenüber Kunststoffen, die aus fossilen Primärrohstoffen hergestellt werden, auszugleichen. Das am häufigsten genannte Instrument hierfür ist ein einheitlicher **CO₂-Preis** in lenkungswirksamer Höhe.

Von Fachleuten wurde zudem eine grundlegende Umgestaltung des Steuersystems durch eine (aufkommensneutrale)

133 | Vgl. Berg/Wilts 2019.

134 | Vgl. Kümmerer et al. 2020; Schülke & Mayr GmbH 2012.

135 | Vgl. Ellen MacArthur Foundation 2019b; EPC 2020.

136 | Vgl. Ellen MacArthur Foundation 2019b.



Verschiebung der Steuerlast von Arbeit beziehungsweise Einkommen **hin zum Ressourcenverbrauch** (etwa in Form einer Rohstoffentnahmesteuer) angeregt.¹³⁷

Diese Instrumente könnten helfen, **Kosten für Klima- und Umweltschäden**, die zum Beispiel bei der Gewinnung von fossilen Primärrohstoffen anfallen, zu **internalisieren** und somit ein **Level Playing Field** für nachhaltige Produkte und Dienstleistungen sowie arbeitsintensive Geschäftsmodelle einer Circular Economy zu schaffen.

„Selbst wenn alle Technologien zur Verfügung stehen, lohnt sich der Kreislauf bei Kunststoffen derzeit nicht.“

Einige der Befragten schlagen als Alternative eine **Abgabe** vor, die an eine **erweiterte Produzentenverantwortung** („Extended Producer Responsibility Fee“) geknüpft ist und die zielgerichtet in einen Fonds für Verbesserungen der Recyclinginfrastruktur oder Forschung und Entwicklung in diesem Bereich fließen sollte. **Über Vorgaben im Sinne einer nachhaltigen Beschaffung** (zum Beispiel zu Rezyklatanteilen) kann zudem auch die **öffentliche Hand** direkt für einen wachsenden Markt für recycelte Kunststoffe sorgen.

Ein regulatorischer Rahmen für mehr Nachhaltigkeit

Prinzipiell sehen die Befragten in der weiteren Ausrichtung der **EU-Ökodesign-Richtlinie** an Nachhaltigkeitskriterien ein **geeignetes Instrument**, um zielführend regulatorisch tätig zu werden. Gleichzeitig betonen sie aber auch, dass eine **Balance gewahrt** werden muss, da übergenaue Definitionen potenziell Innovationen behindern und Produzenten verwirren beziehungsweise überfordern könnten. **Grundlage** für die regulatorische Ausgestaltung sollte eine ganzheitliche **Betrachtung des kompletten Lebenszyklus** sein.

Zulassungsverfahren für neue Werkstoffe und Produkte sollten **vereinfacht, beschleunigt und an neue Entwicklungen angepasst** werden, um mehr Unternehmen zu einer Teilnahme am Innovationsgeschehen zu motivieren. Hierzu könnten die Erfahrungen aus dem Reallabor für die Materialwende (siehe Kasten 6) beitragen.

„Irgendjemand muss den gordischen Knoten beim Kunststoffrecycling lösen.“

Den **direktesten Anreiz**, einen höheren Anteil von rezyklierten Kunststoffen einzusetzen, bietet eine **Rezyklatquote** (siehe auch Anhang I.5). Sie besäße den **Vorteil**, dass Rezyklate auch in möglichst **hochwertigen Kunststoffen**, die in Europa produziert werden, zum Einsatz kommen und **Downcycling** oder das Abfließen aus dem Wertschöpfungskreislauf in die **energetische Verwertung unattraktiver** werden. Der Circular Economy Action Plan der EU zieht eine Rezyklatquote als Instrument bereits in Betracht.¹³⁸

Einige der befragten Expertinnen und Experten geben zu bedenken, dass man bei Rezyklatquoten mit Augenmaß vorgehen müsse, da die **Recyclingkapazitäten für die Erreichung hoher Quoten kurzfristig nicht ausreichen**. Allerdings sehen sie in einer langfristig festgelegten, schrittweisen Steigerung der Rezyklatquote ein geeignetes Instrument, um Unternehmen **Planungssicherheit** für Investitionen in den Aufbau von Recyclingkapazitäten und für die Erhöhung der Qualität der produzierten Rezyklate zu bieten.

„27 unterschiedliche Abfallsysteme setzen der Circular Economy enge Grenzen.“

Uneinheitliche Regulierungen im Bereich der Abfall- und Kreislaufwirtschaft behindern die Entwicklung nachhaltiger transnationaler Wertschöpfungsnetzwerke.¹³⁹ Deshalb ist es wichtig, auf **europäischer Ebene Plattformen** zu schaffen, auf denen sich gerade auch die Mitgliedstaaten abstimmen und **über** Erfahrungen mit unterschiedlichen Regulierungen austauschen können. Das geeignete europäische Zielbild hierfür ist nach Meinung von Fachleuten durch die **europäische Plastikstrategie** und den **Circular Economy Action Plan** schon gut beschrieben.¹⁴⁰ Jetzt müsse eine möglichst **stringente Umsetzung** durch die Mitgliedstaaten folgen.

Für Möglichkeiten, die Nutzungsdauer von Kunststoffen durch **Wiederverwendung, Weiterverarbeitung und die Reparatur** von Produkten mit Kunststoffkomponenten zu verlängern, gibt es kaum wirtschaftliche Anreize. Hier können zum Beispiel

137 | Vgl. The Ex'tax Project 2016.

138 | Vgl. EU-KOM 2020f.

139 | Vgl. acatech 2019a.

140 | Vgl. EU-KOM 2018b, 2019b, 2020f.

Pfandsysteme helfen.¹⁴¹ Allerdings geben die Befragten zu bedenken, dass **nicht zu viele parallele** Strukturen aufgebaut werden sollten.

Ein Ökosystem für eine nachhaltige Kunststoffwirtschaft

Oft fehlt es **einzelnen Akteuren**, gerade auch KMU, an **Informationen**, um eine ganzheitlich nachhaltige Transformation des fragmentierten Kunststoffwertschöpfungsnetzwerks voranzutreiben. Einen Überblick über die relevanten Akteure bietet Abbildung 10.

Plattformen, die den **vorwettbewerblichen Austausch über verschiedene Glieder der Wertschöpfungskette** ermöglichen, sind daher ein wichtiges Instrument, um nachhaltige Produkte und Dienstleistungen zu entwickeln und aufeinander abzustimmen. Die vorgeschlagenen Reallabore können hier einen Beitrag leisten (siehe Kasten 6 und Kasten 7).

Um zirkuläre Geschäftsmodelle zu erleichtern und die **Transparenz über Wertstoffströme** und die **Verfügbarkeit von Sekundärrohstoffen** zu erhöhen, könnte eine **europäische Dateninfrastruktur** beziehungsweise ein **zentraler Open Data Hub** für Circular Economy-relevante Daten im Kunststoffsektor bereitstellen.

Die Forschungsförderlandschaft mit einer Vielzahl relevanter Programme, insbesondere in Deutschland, wird von Fachleuten prinzipiell positiv bewertet. Einige Befragte kritisieren allerdings einen **Mangel an Fördermöglichkeiten für explizit interdisziplinär angelegte Forschungsprojekte**. Außerdem könnte auch in den **Studienangeboten** ein größeres Augenmerk auf die Befähigung der Studierenden zum **interdisziplinären Arbeiten** gelegt werden.

„Bei den Diskussionen über Kapitalverfügbarkeit, Pilotprojekte oder Technologieförderung dürfen wir das Capacity Building nicht vergessen. Die Leute müssen in der Lage sein, Dinge auch umzusetzen.“

Konsumentinnen und Konsumenten können durch ihr Verhalten ebenfalls Einfluss auf **Nutzung, Verbrauch und Recycling** von Kunststoffen nehmen. Hierfür sollte der verantwortungsvolle Umgang mit Abfällen und deren Bedeutung als potenzieller Rohstoff in die **Bildung** vom Kindesalter an integriert werden. Ein gutes Beispiel hierfür ist die Initiative „Plastikpiraten“ des BMBF.¹⁴²

Eine **verstärkte Nachfrage** nach Produkten aus **recyceltem Kunststoff** und nach **Mehrwegprodukten** kann der Industrie **Anreize** geben, auch wenn diese selbst genauso gefragt ist, von sich aus das **Angebot zu erhöhen**.

Die Rolle von **Labels**, um Konsumentinnen und Konsumenten bei **nachhaltigen Kaufentscheidungen** zu unterstützen, wird von Fachleuten **differenziert** bewertet. Das größte Potenzial sehen sie dann, wenn ein **vereinheitlichtes und möglichst leicht verständliches Label** eingeführt wird (**ähnlich wie das EU-Bio-Label**), um eine potenzielle Verwirrung der Verbraucherinnen und Verbraucher durch eine Vielzahl verschiedener Labels zu vermeiden.

Eine bessere **Kennzeichnung der Recyclingfähigkeit** der Produkte und der für sie geeigneten **Infrastruktur** zur Müllsammlung und Trennung sind weitere Elemente, die eine Rolle bei der **Verbesserung der Wertstoffströme** spielen können.¹⁴³ Allerdings darf man die Konsumentinnen und Konsumenten auch nicht durch zu komplexe Vorgaben bei der Mülltrennung überfordern.

141 | Vgl. pwc 2011.

142 | Vgl. BMBF 2020b.

143 | Vgl. EPC 2020.



Sekundäre und erneuerbare Rohstoffe nutzen – Kunststoffproduktion von fossilen Quellen entkoppeln

- Unternehmen aus der Chemie- und Biotechbranche sowie der Abfall- und Recyclingwirtschaft
- Biomasseproduzenten

Kreisläufe mitdenken und schädliche Eigenschaften vermeiden – Kunststoffe besser designen

- Universitäten und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen
- Unternehmen aus der Chemie- und Biotechbranche

Kreisläufe schließen – Recycling von Kunststoffen ausbauen

- Unternehmen aus der Abfall- und Recyclingwirtschaft
- Duales System
- Handelsunternehmen sowie Unternehmen aus der Chemie- und Biotechbranche
- Ggf. staatliche Stellen als Anbieter öffentlicher Datenräume

Effizienz steigern und Produktion modularisieren – Kunststoffe nachhaltiger produzieren und weiterverarbeiten

- Unternehmen aus der Chemie- und Biotechbranche
- Unternehmen aus der kunststoffverarbeitenden Industrie
- Universitäten und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen



Nutzungsdauer und Ressourcenproduktivität erhöhen – Kunststoffe wiederverwenden

- Anbieter von kunststoffbasierten Produkten
- Handelsunternehmen, Gastronomiebetriebe und Anbieter von Mehrwegsystemen
- Konsumentinnen und Konsumenten
- Ggf. staatliche Stellen als Anbieter öffentlicher Datenräume

Abbildung 10: Relevante Akteure im Kunststoffwertschöpfungsnetzwerk (Quelle: eigene Darstellung basierend auf wbcscd/BCG 2018)

4 Instrumente für mehr Nachhaltigkeit bei Investitionen und unternehmerischem Handeln

Um die notwendige, aber kostenintensive Transformation der Wirtschaft zu finanzieren, bedarf es neben der öffentlichen Förderung auch der Mobilisierung privater Investitionen in ausreichendem Umfang. Damit Investments in nachhaltige Geschäftsmodelle gefördert werden, muss für Investoren ein transparentes Instrumentarium zur Bewertung der Nachhaltigkeitsanstrengungen von Unternehmen, inklusive angestrebter Transformationsstrategien, zur Verfügung stehen. Die EU-Taxonomie, Labels für Finanzprodukte, Ratingagenturen sowie Unternehmensberichte können Orientierung bieten. Das aktuell kleinteilige und oftmals unübersichtliche Reportingwesen sollte zukünftig harmonisiert und auf messbare Kennzahlen fokussiert werden. Zudem sollte der bürokratische Reportingaufwand für Unternehmen möglichst klein gehalten werden.

Um die im Green Deal festgelegten Ziele sowie die Nachhaltigkeitsziele der Bundesregierung zu erreichen, muss sich **Nachhaltigkeit** zum **integralen Bestandteil unternehmerischen Handelns** und von **Investitionsentscheidungen** entwickeln. Dafür ist auch die Verankerung von **Klima- und Nachhaltigkeitszielen in der Unternehmensstrategie** einzelner Unternehmen unabdingbar und muss im operativen Geschäft messbar sein.

„Der Green Deal ist die massivste Umwälzung der Finanzwirtschaft seit dem Zweiten Weltkrieg.“

Die Finanzierung einer nachhaltigen und auf Resilienz ausgerichteten **Umgestaltung von Wertschöpfungsketten** ist jedoch ein **langwieriger Prozess**. Dieser ist nicht unbedingt immer

einfach mit kurzfristigen Renditeerwartungen von Shareholdern in Einklang zu bringen. Momentan ist aber ein gewisser **Trend hin zu wertebasiertem Unternehmertum** zu erkennen, der – die Schaffung der richtigen Rahmenbedingungen vorausgesetzt – Unternehmensführenden mehr Möglichkeiten für auf lange Sicht nachhaltig angelegte Entscheidungen bietet.¹⁴⁴

Gerade die **Überprüfbarkeit und Vergleichbarkeit** von Nachhaltigkeits- und Klimastrategien in Unternehmen ist in den Augen der befragten Expertinnen und Experten von **zentraler Bedeutung**, um einen solchen Wandel anzustoßen. Dafür bedarf es neben technologischen Innovationen in den Unternehmen auch **sozialer Innovationen** im Bereich **Sustainable Finance und Reporting**. Zu einer gesellschaftlichen Transformation kommt es nur, wenn sich Veränderungen in den verschiedenen Teilsystemen wie Investition, Produktion, Gesetzgebung und Konsum gegenseitig verstärken und so der Gesamtentwicklung eine klare Richtung geben.

Nachfolgend sollen einige Instrumente zur Mobilisierung privaten Kapitals für Nachhaltigkeitsziele vorgestellt werden. Sie verbindet das Ziel, **Investitionen in nachhaltige Aktivitäten direkt zu steigern** beziehungsweise durch **erhöhte Transparenz** nachhaltige Anlagen sichtbarer und attraktiver zu machen und diese Investitionen dadurch indirekt zu steigern. Zudem sollen durch die aufgeführten Anreizinstrumentarien **Unternehmen dazu angeregt** und finanziell befähigt werden, ihre **Geschäftsmodelle nachhaltig umzubauen**.

4.1 EU-Taxonomie

Die EU-Taxonomie ist das zentrale Instrument und die Basis für die Sustainable Finance-Strategie der Europäischen Kommission. Sie kann als Klassifikationschema für die Bewertung der Nachhaltigkeit fast aller wirtschaftlicher Aktivitäten dienen und somit einen Leitrahmen für den öffentlichen und den privaten Finanzsektor darstellen. Der aktuelle Zuschnitt bewertet Klima- und Umweltkriterien und könnte bereits im Rahmen der Erarbeitung von Recoverymaßnahmen und bei ihrer Implementierung eingesetzt werden. Soziale und Governance-Kriterien sollen von der Taxonomie zukünftig ebenfalls berücksichtigt werden.



Die EU-Taxonomie gilt als **Basis der EU-Nachhaltigkeitsstrategie für das Finanzsystem**.¹⁴⁵ Die Ausarbeitung der EU-Taxonomie ist nach Meinung der befragten Expertinnen und Experten schon **weit gediehen**. Sie könnte in Ansätzen bereits für die Konkretisierung von **Leitplanken** zu Klima- und Umweltfaktoren bei der Umsetzung von **Konjunkturpaketen** eingesetzt werden. Für die Ausgestaltung der Gesichtspunkte Soziales und Governance in Konjunkturprogrammen kann sie allerdings noch nicht als Grundlage dienen, da diese Kriterien in der EU-Taxonomie selbst noch nicht ausgearbeitet sind. Einige Fachleute geben zu bedenken, dass eine solche Verwendung auch Risiken birgt, da es noch keine praktischen Erfahrungen mit der Anwendung der EU-Taxonomie gibt.

Die **EU-Taxonomie** wurde von der Europäischen Kommission auf Basis des im März 2020 vorgelegten Abschlussreports der Technical Expert Group (TEG) im **Juni 2020 verabschiedet** und ist **im Juli 2020 verpflichtend in Kraft getreten**.¹⁴⁶ Die EU-Taxonomie ist damit früher als ursprünglich geplant in Kraft getreten.

Die Taxonomie soll als **Klassifikationssystem in verschiedenen Bereichen** eingesetzt werden, zur Klassifizierung von zum Beispiel

- Normen,
- Kennzeichen,
- Faktoren zur Unterstützung umweltfreundlicher Lösungen (Green Supporting Factor), das heißt niedrigere Raten des Eigenkapitalrücklagebedarfs für Banken und andere Finanzinstitute bei Investitionen in ökologische Finanzprodukte
- sowie Nachhaltigkeitsbenchmarks.¹⁴⁷

Wirtschaftliche Aktivitäten werden zukünftig durch diese Form der **Nachhaltigkeitsprüfung** bewertet, und es wird entschieden, ob eine wirtschaftliche Aktivität im Sinne der EU-Taxonomie als nachhaltig anzusehen ist oder nicht.¹⁴⁸ Die EU-Taxonomie kann sowohl auf EU-Ebene als auch auf Mitgliedstaaten-Ebene angewendet werden.

Im **EU-Aktionsplan „Finanzierung nachhaltigen Wachstums“** wurde die Einführung einer **EU-Taxonomie als zentrale Maßnahme** festgelegt.¹⁴⁹ Die einberufene TEG hat nach einem zweijährigen Konsultationsprozess im März 2020 ihren finalen Report vorgelegt, der die Grundlage für die EU-Taxonomie bildet.¹⁵⁰

Ziel der EU-Taxonomie ist es, **Transparenz und Vergleichbarkeit durch ein einheitliches Klassifizierungsschema** zu schaffen. Dies gilt sowohl für die ökonomischen Aktivitäten von Unternehmen und Staaten als auch für Anbieter von ESG-Finanzprodukten.¹⁵¹ Es muss zukünftig offengelegt werden, zu welchem Prozentsatz Finanzprodukte mit der EU-Taxonomie konform sind, um so klassifizieren zu können, welche Investments im Sinne der Europäischen Kommission als nachhaltig eingestuft werden können und welche nicht.

Die so hergestellte Vergleichbarkeit zwischen Finanzprodukten soll dazu führen, dass der **Kapitalfluss in nachhaltige Anlageoptionen** gezielt gefördert wird. Durch die Mobilisierung von Kapital in „grüne Anlagen“ sollen konkret Ansätze unterstützt werden, die zur **Erreichung der Green Deal-Ziele beitragen**.¹⁵² Der Abgleich von Finanzprodukten mit der EU-Taxonomie soll auch dazu beitragen, **Greenwashing zu unterbinden**, da Finanzprodukte durch ein uniformes Klassifizierungsschema bewertet und unzureichende Nachhaltigkeitsstandards dadurch offengelegt werden.¹⁵³

Die geplante **Erweiterung der EU-Taxonomie** um soziale und Governance-Aspekte soll im Dezember 2021 beschlossen werden und im **Dezember 2022 in Kraft treten**.¹⁵⁴

Funktionsweise der EU-Taxonomie

Die TEG hat in einem **ersten Schritt klimarelevante Aspekte als Bewertungsgrundlage** für die EU-Taxonomie definiert. Dadurch soll bewertet werden können, welche Finanzprodukte einen Beitrag leisten können, die Klimaziele der Europäischen Kommission bis 2050 zu erreichen.¹⁵⁵

145 | Vgl. Deutsche Bundesbank 2019; EU-KOM 2018c.

146 | Vgl. EC 2019; EU-KOM 2020k; 2020l.

147 | Vgl. TEG 2020b.

148 | Vgl. Deutsche Bundesbank 2019.

149 | Vgl. EU-KOM 2018c; HLEG 2018.

150 | Vgl. TEG 2020a; 2020b.

151 | Vgl. FNG 2019a.

152 | Vgl. Deutsche Bundesbank 2019; HLEG 2018.

153 | Vgl. Deutsche Bundesbank 2019; PRI 2020b.

154 | Vgl. EC 2019.

155 | Vgl. TEG 2020b.

Für eine umfassendere Bewertung der Nachhaltigkeit von Finanzprodukten **fehlt aktuell noch die Bewertung der sozialen Nachhaltigkeit und der Unternehmensführung** im derzeitigen Zuschnitt der EU-Taxonomie. Diese Faktoren sollen im nächsten Schritt als Bewertungskriterien aufgenommen werden. Momentan läuft ein **Konsultationsprozess** zu den besten Kriterien zur Messung sozialer Nachhaltigkeitsaspekte. Für diese Kriterien soll bis Ende 2021 ein Regelwerk entwickelt werden.

Damit ein **Finanzprodukt** als nachhaltig eingestuft werden kann, muss es **einen substanziellen positiven Beitrag zu mindestens einem** der unten aufgelisteten **Zielkriterien leisten**. Gleichzeitig darf dabei kein Schaden in einem der anderen Kriterien verursacht werden (**„Do-no-Harm“-Prinzip**), und es muss ein **Mindeststandard bei sozialen Schutzmaßnahmen** gewährleistet sein.¹⁵⁶ Die vorgegebenen Zielkriterien sind:

- Bekämpfung des Klimawandels (Climate Change Mitigation)
- Anpassung an den Klimawandel (Climate Change Adaptation)
- Nachhaltige Nutzung von Wasser und Ozeanen
- Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft, biobasierten Wirtschaft, Bioökonomie sowie Abfallvermeidung und Recycling
- Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung
- Schutz gesunder Ökosysteme

Bereits existierende **branchenübliche Reportingstandards** wurden von der TEG als **Grundlage für die Bewertung der Übereinstimmung mit den aufgeführten Zielkriterien** herangezogen.¹⁵⁷ Dies hat den Vorteil, dass die Unternehmen bereits mit den Standards vertraut sind und dies das Reporting für sie erleichtern wird.

Bewertung der EU-Taxonomie

Die **Einführung der EU-Taxonomie** wird insgesamt von den meisten Fachleuten **begrüßt**. Da sie erst seit Kurzem im Einsatz ist, ist bisher allerdings unklar, ob die angestrebte Mobilisierung von Kapital in klimafreundlichere Anlagen stattfinden wird.

Die **Meinungen** darüber, wie weitreichend der **Effekt der EU-Taxonomie** auf die Finanzmärkte sein wird, **gehen auseinander**. Nach Einschätzung einiger Expertinnen und Experten wird die

Attraktivität durch die Taxonomie **als nachhaltig klassifizierter Finanzprodukte stark steigen** und der Wunsch nach einer positiven Klassifizierung dazu führen, dass Unternehmen proaktiv versuchen werden, die vorgegebenen Kriterien zu erfüllen.

Andere Fachleute hingegen **befürchten**, dass die Taxonomie zwar **für einen Nischenmarkt ein gutes Werkzeug** zur Bewertung von Finanzprodukten ist, jedoch nicht im großen Stile Kapital für nachhaltige Investments mobilisieren wird.

„Der langfristige Plan zum Umbau von Unternehmen ist entscheidend. Nicht nur die Bewertung des Status quo.“

Für einige Befragte ist der betrachtete **Zuschnitt der Erfassung von Kriterien der EU-Taxonomie unzureichend**. So wird zum Beispiel bei Unternehmen nur der **Status quo betrachtet**, nicht aber ihre langfristigen **Umwelt- und Nachhaltigkeitsstrategien**, mit denen sie bis 2030 oder 2050 Klimaziele erreichen wollen. Gerade CO₂-intensive Unternehmen schneiden somit aktuell oftmals schlecht ab, auch wenn sie sich bereits zu einer ambitionierten Nachhaltigkeitstransformation verpflichtet haben.

Zudem machen sich manche der Befragten **Sorgen**, dass die **umfassenden Bewertungskriterien** vor allem für KMU eine **Überforderung** darstellen beziehungsweise zu einem großen Mehraufwand für das Reporting führen könnten. Hier könnten entsprechend zugeschnittene Reporting-Softwarelösungen helfen. Einige befragte Finanzexpertinnen und -experten weisen jedoch darauf hin, dass branchenübliche Berichterstattungsstandards die Basis der Reportingkriterien der EU-Taxonomie bilden, weshalb der Mehraufwand für Unternehmen überschaubar bis nicht vorhanden sein dürfte.

Einen Nachteil sehen die befragten Expertinnen und Experten auch darin, dass durch die individuelle Bewertungsgrundlage pro Industriesektor eine übergreifende Vergleichbarkeit erschwert wird und das **Regelwerk für die Bewertung sehr umfangreich** ist. Auch wenn die Erweiterung der EU-Taxonomie bereits geplant ist, ist deren **aktueller Zuschnitt** mit einem **alleinigen Fokus auf Klimaaspekte** ein Kritikpunkt für manche Akteure.¹⁵⁸

156 | Vgl. TEG 2020b.

157 | Vgl. TEG 2020c.

158 | Vgl. FNG 2019b.



4.2 Sustainable Finance-Strategie der Bundesregierung

Deutschland verfolgt aktiv eine Sustainable Finance-Strategie und gehört damit auf europäischer Ebene zu den Vordenkern. Die Anschlussfähigkeit an europäische Rahmenbedingungen sollte beim weiteren Ausbau des Sustainable Finance-Standorts Deutschland stets gewährleistet bleiben und deshalb sollten Alleingänge vermieden werden.

Die **Bundesregierung** hat 2019 beschlossen, „Deutschland zum führenden Standort für nachhaltige Finanzmärkte“ zu machen, und dafür einen **Beirat** einberufen, der eine **Sustainable Finance-Strategie** für Deutschland erarbeiten soll.¹⁵⁹ Eine **Balance der verschiedenen Interessen** soll gewährleistet werden, indem der Sustainable Finance-Beirat Vertreterinnen und Vertreter der Finanzwirtschaft, der Realwirtschaft, der Wissenschaft und der Zivilgesellschaft umfasst.¹⁶⁰ Sustainable Finance ist dabei **kein neues Thema** für die Bundesregierung. In der **öffentlichen Vergabe** werden Sustainable Finance-Kriterien bereits seit etlichen Jahren berücksichtigt.¹⁶¹

Der Sustainable Finance-Beirat sieht im **Finanzsektor** eine **Schlüsselrolle** für die **Finanzierung der geplanten Transformation** und die Förderung klimafreundlicher Technologien. Sustainable Finance kann durch die Förderung von innovativen, klimafreundlichen und nachhaltigen Technologien einen wichtigen Beitrag zur **Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit** Deutschlands leisten. Die Stärkung der Green Tech-Branche führt mittel- und langfristig zur Sicherung von Wohlstand und Wertschöpfung des Industriestandorts Deutschland.¹⁶²

Die drei **wesentlichen Handlungsempfehlungen** des Sustainable Finance-Beirats für die Bundesregierung aus dem im März 2020 vorgelegten Zwischenbericht sind

- die Einführung eines **lenkungswirksamen CO₂-Preises**,
- die Umsetzung der eigenen **Klimaziele** bei der **Mittelverwendung** beziehungsweise bei der Ausgestaltung von **Förderprogrammen**

- sowie die **aktive Mitgestaltung des EU Green Deal und des EU-Aktionsplans „Finanzierung nachhaltigen Wachstums“**, insbesondere die Umsetzung der EU-Taxonomie.¹⁶³

Der Zwischenbericht dient als Grundlage für die weitere Ausarbeitung der Konsultation der Bundesregierung. Derzeit wird eine **Kommunikationsstrategie** entwickelt, um die **Sichtbarkeit** und das Verständnis von Sustainable Finance bei Verbraucherinnen und Verbrauchern sowie in der Finanzindustrie zu **erhöhen**.¹⁶⁴ Außerdem soll der **Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW)** im Rahmen des Klimapakets eine größere Rolle zukommen: Sie soll zu einer **nachhaltigen Förderbank zur Unterstützung der Transformation** von Wirtschaftssektoren und Finanzmarkt für eine treibhausgasneutrale Zukunft weiterentwickelt werden.¹⁶⁵

Einschätzungen zum Sustainable Finance-Beirat

Insgesamt **begrüßen** Fachleute die **Aufmerksamkeit der Bundesregierung** für das Thema Sustainable Finance und die Einberufung eines beratenden Gremiums. Auch die **ambitionierte Zielsetzung** des Beirats sehen die Fachleute als wichtigen Schritt zur Stärkung von Sustainable Finance am Finanzstandort Deutschland.

Einige der Befragten äußerten **jedoch die Sorge, dass Deutschland** durch die teils sehr ambitionierte Zielsetzung des Sustainable Finance-Beirats bei der Ausarbeitung von Maßnahmen **über europäische Zielsetzungen hinauschießen könnte** und dadurch langfristig die Etablierung einheitlicher europäischer Standards erschweren könnte. Der klare **Wunsch** der Expertinnen und Experten ist eine **ambitionierte, aber einheitliche Lösung für die gesamte EU**. Dies stünde jedoch nicht im Widerspruch zu dem selbstgesetzten Anspruch Deutschlands, Leitanbieter für Sustainable Finance zu werden, da Deutschland als Vordenker auftreten könnte, ohne einen Alleingang zu beschreiten.

Nach Einschätzung der Fachleute sollte **Deutschland** seine starke Stellung im Bereich Sustainable Finance dafür nutzen, auch **andere EU-Mitgliedstaaten mitzuziehen** und von der Wichtigkeit des Themas zu überzeugen. So kann zentralen Anliegen Deutschlands bei der Umsetzung auf europäischer Ebene auch eine wesentliche Rolle zukommen. Einige Befragte kritisierten zudem die sehr **kleinteiligen Vorgaben** in den Empfehlungen des

159 | Vgl. BReg 2019d; Sustainable Finance-Beirat der Bundesregierung 2019.

160 | Vgl. Deutsche Bundesbank 2019.

161 | Vgl. BMWi 2020b.

162 | Vgl. BMU 2018; Sustainable Finance-Beirat der Bundesregierung 2019.

163 | Vgl. Sustainable Finance-Beirat der Bundesregierung 2020.

164 | Vgl. BMF 2019.

165 | Vgl. BReg 2019a.

Beirats, die vor allem für **KMU einen hohen Bürokratieaufwand** bedeuten könnten, gleichzeitig jedoch keine große Lenkungswirkung zeigen.

4.3 Transparenz bei der Bewertung der Nachhaltigkeit von Finanzprodukten

Der Markt für nachhaltige Finanzinvestments ist ein Wachstumsmarkt. Durch die Schaffung von Transparenz fließen immer größere Kapitalströme in nachhaltige Finanzprodukte und leisten dadurch auch einen Beitrag zur notwendigen Transformation der Industrie. Die Bewertung der Nachhaltigkeit von Finanzprodukten erfolgt aktuell oftmals auf Basis sehr uneinheitlicher Kriterien. Eine zukünftige Harmonisierung der ESG-Bewertungskriterien muss angestrebt und politisch unterstützt werden.

Um die gesetzten Klima- und Nachhaltigkeitsziele zu erreichen, ist es wichtig, Finanzströme in geeignete Bahnen zu lenken. Dies geschieht aktuell noch nicht in ausreichendem Maße, auch in **Ermangelung einer einheitlichen Definition**, was „grüne“ oder nachhaltige Investitionen sind. Derzeit gibt es auf den Finanzmärkten eine **große Vielfalt an Bewertungsschemata** unterschiedlicher Institutionen, die zumindest teilweise **intransparent** sind beziehungsweise nur eine **sehr eingeschränkte Vergleichbarkeit** der Finanzprodukte unterschiedlicher Anbieter ermöglichen. Es besteht daher die Gefahr des Greenwashings einzelner Anlageoptionen.

Die Schaffung von **erhöhter Transparenz** kann dazu beitragen, dass Nachhaltigkeitsaspekte besser berücksichtigt werden, indem zum Beispiel umweltbezogene Risiken für Investoren klarer ersichtlich sind.

„Ich bin mir nicht sicher, wie ernsthaft die tatsächlichen Bemühungen der Firmen im Bereich Nachhaltigkeitsreporting sind. Vieles ist gefühlt bisher nur Window Dressing.“

Nach Einschätzung von Finanzexpertinnen und -experten werden die **Risiken durch den Klimawandel bislang unzureichend** bei der Bewertung börsennotierter Firmen und von Finanzprodukten **berücksichtigt**.¹⁶⁶ Fachleute sind der Meinung, dass zudem eine **Bewertung der Größe** des jeweils möglichen **Klima-beziehungsweise Nachhaltigkeitseffekts** erfolgen sollte, damit eine möglichst effiziente Allokation von Kapital erfolgen kann.

Ziel sollte es sein, **Gelder vorrangig in Technologien und Initiativen** zu kanalisieren, die einen besonders **großen Beitrag zur Erreichung der Klima- und Nachhaltigkeitsziele** leisten. Hierbei darf aber nicht nur kurzfristig gedacht werden, es gilt auch, Technologien zu unterstützen, die zukunftsfähig sind und insgesamt zu einer **Steigerung der Resilienz** von Wertschöpfungsnetzwerken beitragen (siehe auch Kapitel 2.5).

Schließlich ist auch auf der Ebene einzelner **Produkte und Dienstleistungen größere Transparenz** bezüglich ihres jeweiligen ökologischen Fußabdrucks nötig. Nur so können Konsumentinnen und Konsumenten in die Lage versetzt werden, **informierte Kauf- und Anlageentscheidungen** zu treffen, und so ihren Beitrag zur klimaneutralen Umgestaltung unserer Gesellschaft leisten.

Auch die aktuell entstehende EU-Taxonomie soll dazu beitragen, dass **Gelder möglichst in Investitionen** fließen, die mit den **Zielen des Green Deal** vereinbar sind und die EU so zu einem führenden Anbieter für Sustainable Finance machen.¹⁶⁷ Siehe Kapitel 4.1 für mehr Informationen zur EU-Taxonomie.

ESG-Kriterien

Für die **Bewertung der Nachhaltigkeit** von Finanzprodukten werden üblicherweise die sogenannten **ESG-Kriterien** angewendet. Die Abkürzung setzt sich zusammen aus den englischen Begriffen für die drei zugrunde gelegten Bewertungskategorien Umwelt, Soziales und Unternehmensführung: **Environment (E), Social (S), Governance (G)**. Abbildung 11 bietet einen Überblick, welche Einzelfaktoren jeweils in den Rankings für Unternehmen in den drei Feldern eine Rolle spielen.

Neben dem nötigen **Nachweis** der ausreichenden **Erfüllung der Positivkriterien** müssen Unternehmen im Normalfall auch nachweisen, dass sie nicht gegen mögliche **Ausschlusskriterien** verstoßen. Darunter fallen zum Beispiel Zwangs- oder Kinderarbeit oder auch die Produktion und der Handel kontroverser Waffen.¹⁶⁸ Die zugrunde liegende Strategie ist also eine doppelte: Einerseits

166 | Vgl. BlackRock 2020a; 2020b; McKinsey Global Institute 2020.

167 | Vgl. TEG 2020b.

168 | Vgl. KfW 2019.



Umwelt	Soziales	Governance
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Klimastrategie ▪ Umweltmanagement ▪ Umweltauswirkungen des Produktportfolios ▪ Öko-Effizienz: CO₂, Abfall, Wasser, Energie ▪ Energiemanagement ▪ Wasserrisiken und -impact 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Chancengleichheit ▪ Vereinigungsfreiheit ▪ Gesundheit und Sicherheit ▪ Menschenrechte ▪ Produktverantwortung ▪ Soziale Auswirkungen des Produktportfolios ▪ Lieferkettenmanagement 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Unternehmensethik ▪ Compliance ▪ Unabhängigkeit des Aufsichtsrats ▪ Vergütung ▪ Aktionärsdemokratie ▪ Aktionärsstruktur ▪ Steuern

Abbildung 11: ESG-Kriterien für Unternehmen (Quelle: eigene Darstellung basierend auf KfW 2019b)

soll Geld gezielt in nachhaltige Produkte fließen, andererseits sollen ebenso gezielt nicht-nachhaltige Investitionsoptionen vermieden werden (hier spricht man auch oftmals von **Divestment**).

Für die Bewertung der **Governance-Kriterien** wünschen sich einige Expertinnen und Experten eine **Stärkung von betrieblicher Mitbestimmung als Positivkriterium**. Aktuell werden nach einigen internationalen Corporate Governance-Bewertungsschemen Arbeitnehmervertreterinnen und -vertreter in Aufsichtsräten als nicht hinreichend unabhängig und dadurch als negativ zu bewerten angesehen.¹⁶⁹ Strukturen der betrieblichen Mitbestimmung und der Unternehmensmitbestimmung stärken jedoch soziale Nachhaltigkeitsziele, ebenso wie die Tarifbindung von Unternehmen. Untersuchungen belegen zudem, dass **Unternehmen mit stärker verankerter Mitbestimmung vermehrt auf innovationsgetriebene Unternehmensstrategien setzen**, denen insbesondere in Zeiten von Digitalisierung und demografischem Wandel tendenziell höhere Zukunftschancen sowie eine nachhaltigere Wertschöpfung zugeschrieben werden.¹⁷⁰ Deutschland sollte sich daher auf europäischer Ebene dafür einsetzen, dass betriebliche Mitbestimmung in Aufsichtsräten in Nachhaltigkeitsbewertungen nicht negativ gewertet wird.

Die **Nomenklatur** für nachhaltige Investments im europäischen Raum wurde durch die von der EU-KOM einberufene High-Level Expert Group on Sustainable Finance (HLEG) festgelegt.¹⁷¹ Anhand dieser Grundlage hat das **European Sustainable Investment Forum (Eurosif)** für den europäischen Raum sieben Kriterien für nachhaltige Investments ausformuliert:¹⁷²

1. Best-in-Class-Selektion von Investments (Best-in-Class)
2. Engagement und Stimmrechtsausübung (Engagement and Voting)
3. Integration von ESG-Faktoren in die Finanzanalyse (ESG Integration)
4. Ausschlusskriterien (Exclusions)
5. Impact-Investment (Impact Investing)
6. Normbasiertes Screening (Norms-based Screening)
7. Nachhaltigkeitsorientierte Investments (Sustainability-themed)

Aktuell verwenden **unterschiedliche Finanzdienstleister und Institutionen** oftmals **ähnliche, jedoch in einzelnen Punkten abweichende Nomenklaturen** für die Bewertung der ESG-Kriterien von Finanzprodukten. Diese basieren zum Teil auf eigenen Grundsätzen beziehungsweise Vorschlägen unterschiedlicher internationaler Institutionen, wie der Global Sustainable Investment Alliance (GSIA), der Principles for Sustainable Investment (PRI) oder der European Funds and Asset Management Association (EFAMA).¹⁷³

Ziel muss die **Vereinheitlichung der Kriterien zur Bewertung von ESG-Finanzprodukten** sein, die für Anleger Transparenz schafft und so hilft, Geld in Investitionen zu kanalisieren, die zur Erreichung der Nachhaltigkeits- und Klimaziele beitragen. Wichtige Elemente dafür können eine **einheitliche Taxonomie beziehungsweise Labels** sein. Fachleute wünschen sich hierbei, dass die **ESG-Kriterien einen Beförderungscharakter aufweisen**, keinen Verhinderungscharakter, da dieser zu negativen Auswirkungen in der internationalen Wettbewerbsfähigkeit führen kann.

169 | Vgl. Höpner 2003.

170 | Vgl. IMU 2019, 2020.

171 | Vgl. EU-KOM 2018c.

172 | Vgl. EUROSIF 2020.

173 | Vgl. EFAMA 2020; GSIA 2020; PRI 2020a.

Wachstumsmarkt ESG-Investments

Die Zahl der Investoren, die neben Renditemaximierung auch Nachhaltigkeitsstandards für ihre Geldanlage ansetzen, steigt. **Seit 2014 ist der Anteil von ESG-Investments um 68 Prozent gestiegen** und umfasst inzwischen insgesamt ein **Volumen von über 30 Billionen US-Dollar**.¹⁷⁴ Obwohl ein großer Trend zu nachhaltigen Geldanlagen klar zu erkennen ist, schätzt die Bundesbank 2018 für den deutschen Markt den **Anteil nachhaltiger Geldanlagen am Gesamtmarkt** auf nur rund **drei Prozent**.¹⁷⁵

Auch wenn der Trend zum Kauf nachhaltiger Finanzprodukte beziehungsweise zum Divestment des Erbes insbesondere bei jüngeren Anlegerinnen und Anlegern zu beobachten ist, wird das **Wachstum** vor allem **durch institutionelle Investoren getrieben** (jährliche Wachstumsrate rund 35 Prozent). Das aktuelle Wachstum bei ESG-Anlagen wird unter den institutionellen Investoren vor allem durch kirchliche Einrichtungen und Wohlfahrtsorganisationen getrieben.¹⁷⁶ Nachhaltige Investments von Privatinvestorinnen und -investoren weisen dagegen eine jährliche Wachstumsrate von nur rund acht Prozent auf (siehe auch Abbildung 12).¹⁷⁷

Trotz dieses Trends berichten die befragten Expertinnen und Experten **aktuell** von nur **geringen Veränderungen bei Investmentstrategien** größerer Unternehmen und Finanzinstitutionen. Dies liegt ihrer Meinung nach auch daran, dass außer von NGOs derzeit noch wenig Druck zu Änderungen des Portfolios besteht. Nach Expertenmeinung stehen für alle Großinvestoren momentan auch **nicht genügend Optionen für nachhaltige Investments in ausreichendem Umfang** zur Verfügung. So sei es für Unternehmen derzeit überhaupt nicht möglich, alle Gelder in nachhaltigere Anlagen zu reinvestieren.

Ein **Umdenken** über die **langfristige Notwendigkeit zur Anpassung der Investitionsstrategie** ist jedoch auch bei immer mehr Unternehmen und Finanz- und Vermögensverwaltern zu beobachten. So gibt es in der Branche vermehrt Selbstverpflichtungen in verschiedenen **freiwilligen Gremien**, wie der Net-Zero Asset Owner Alliance, um schrittweise auf Nachhaltigkeitsziele hinzuarbeiten. Klare Aussagen großer Vermögensverwalter,

wie zum Beispiel BlackRock, dass ökologische Nachhaltigkeit einen höheren Stellenwert bei Investitionen einnehmen muss, könnten hier perspektivisch das Marktwachstum weiter beschleunigen.¹⁷⁸ Erste Fachleute warnen allerdings auch bereits vor einer **Blase**.¹⁷⁹

Labels

Eine Möglichkeit, um individuelle Finanzprodukte für Investorinnen und Investoren auf einen Blick als nachhaltig zu kennzeichnen, ist die Verwendung von Labels. Auch der Sustainable Finance-Beirat der Bundesregierung unterstützt Labels, um für Kundinnen und Kunden **transformationskonforme Investitionsoptionen** klar erkennbar und **möglichst einfach zu machen**.¹⁸⁰ Die Kennzeichnung mit einem Label ist aber auch für Finanzanbieter von Interesse, da dadurch die **Sichtbarkeit des Finanzprodukts erhöht** wird.

Gerade Start-ups haben oftmals Schwierigkeiten, auf dem europäischen Markt das nötige Wagnis- und Wachstumskapital zu akquirieren und diese Problematik hat sich durch die SARS-CoV-2-Pandemie zusätzlich zugespitzt.¹⁸¹ Für „**grüne**“ **Start-ups** könnte ein Nachhaltigkeitslabel mehr Sichtbarkeit schaffen und dadurch den **Kapitalzugang vereinfachen**.

In Deutschland und Europa gibt es **bereits etablierte Labels** zur Bewertung von ESG-Finanzprodukten. Dazu gehören unter anderem das FNG-Siegel, das GREENFIN-Label, das Nordic Swan Ecolabel sowie das Novethic SRI-Label.¹⁸² Fachleute stellen fest, dass aktuell die Aussagekraft über den Beitrag zur Erreichung von Klima- und Nachhaltigkeitszielen sowie die **Auswahl- und Ausschlusskriterien von Label zu Label unterschiedlich** sind. Dadurch besteht nur eine sehr **ingeschränkte Vergleichbarkeit** unter den Labels. Außerdem sehen die Befragten die Gefahr, dass hauseigene Labels einiger Finanzdienstleister mit Minimal-kriterien zum Greenwashing von Finanzprodukten beitragen.

Obwohl sinnvoll ausgestaltete Labels in den Augen von Fachleuten dazu beitragen können, Investitionsentscheidungen für Sustainable Finance-Produkte zu erleichtern, äußern sie den klaren **Wunsch**, einen undurchsichtigen „**Label-Wildwuchs**“ zu

174 | Vgl. McKinsey & Company 2019c.

175 | Vgl. Deutsche Bundesbank 2019.

176 | Vgl. FNG 2019a.

177 | Vgl. Deutsche Bundesbank 2019; FNG 2019a.

178 | Vgl. BlackRock 2020a; 2020b.

179 | Vgl. Handelsblatt 2019b.

180 | Vgl. Sustainable Finance-Beirat der Bundesregierung 2019.

181 | Vgl. acatech 2020.

182 | Vgl. FNG 2020; Nachhaltiges Investment 2020; Nordic Swan Ecolabel 2020; novethic 2020.

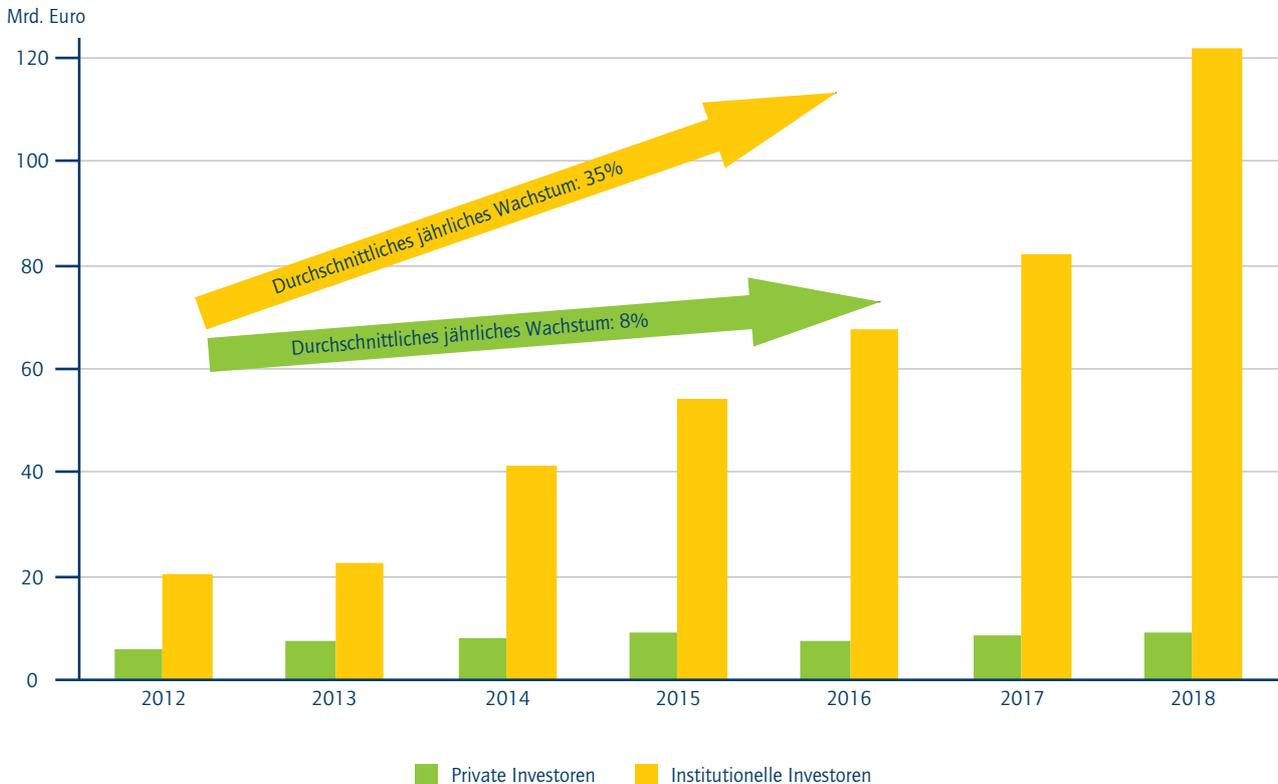


Abbildung 12: Übersicht über Anlegertypen in nachhaltige Investments in Deutschland (Quelle: eigene Darstellung basierend auf FNG 2019a)

vermeiden. Ein Ansatz hierfür könnte auf europäischer Ebene die geplante Ausweitung des **EU-Ecolabels** auf **Finanzprodukte** sein. Die EU-Taxonomie soll als Bewertungsgrundlage dafür herangezogen werden, ob ein Finanzprodukt das EU-Ecolabel erhält oder nicht.¹⁸³

4.4 Reportingstandards

Um ihre laufenden Nachhaltigkeitsanstrengungen sowie geplanten Transformationen sichtbar zu machen, verfassen Unternehmen Berichte auf verpflichtender beziehungsweise freiwilliger Basis. Die zugrunde liegenden Reportingstandards verfügen jedoch nur über eine eingeschränkte Aussagekraft beziehungsweise ermöglichen oftmals lediglich eine beschränkte Vergleichbarkeit. Eine Harmonisierung

aussagekräftiger Reportingstandards sollte politisch gefördert werden, um diese zu einer belastbareren Basis unternehmerischen und politischen Handelns weiterzuentwickeln.

Die Vielzahl der möglichen ESG-Kriterien, die angewendet werden können, um die Nachhaltigkeit von Unternehmen zu bemessen, spiegelt sich direkt in der **Vielzahl an Reportingstandards** wider, die aktuell parallel existieren. Ein zentrales Anliegen muss es deshalb sein, **auf eine Harmonisierung der Reportingstandards hinzuwirken**. Als Ziel sollte ein globaler Standard verfolgt, zumindest aber eine **einheitliche Grundlage auf europäischer Ebene** geschaffen werden. Nur so kann mehr Transparenz über Nachhaltigkeitsaspekte in Unternehmen gewährleistet werden, was wiederum eine belastbarere Basis für unternehmerisches und politisches Handeln schaffen kann.

Dabei gilt es, zwei Ziele zu verfolgen: **Aussagekraft und Vergleichbarkeit sollten möglichst hoch sein**, der Reportingaufwand für Unternehmen jedoch in einem klar erträglichen

183 | Vgl. EU-KOM 2018c; TEG 2020a.

Maß gehalten werden. Für den europäischen Raum kann die EU-Taxonomie einen guten Ausgangspunkt darstellen (siehe auch Kapitel 4.1).

„Wir brauchen eine Standardisierung von Berichtspflichten, das schaffen wir aber nicht bottom-up.“

In den meisten Fällen dienen die Reportingstandards als **Grundlage** für die Erstellung von **Nachhaltigkeitsberichten** in Unternehmen. **Manche Initiativen** gehen jedoch darüber hinaus und sind so angelegt, dass Unternehmen mithilfe von transparentem Reporting auf die **Erreichung bestimmter Klima- oder Nachhaltigkeitsziele** hinwirken sollen. Einige der wichtigsten Initiativen für Reportingstandards sollen nachfolgend vorgestellt werden. Für einen Überblick über **weitere Initiativen** (Global Reporting Initiative (GRI), Task Force on Climate-related Financial Disclosures (TCFD), Carbon Disclosure Project (CDP) sowie Net Zero Asset Owner Alliance) siehe Anhang J.

Non-Financial Reporting Directive (NFRD)

In den allermeisten Fällen handelt es sich um freiwillige Standards, zu denen sich Unternehmen im Reporting verpflichten. Eine Ausnahme stellt die Non-Financial Reporting Directive (NFRD) dar. Sie ist eine **EU-Richtlinie**, die börsennotierte **Unternehmen ab 500 Mitarbeitenden** zur Offenlegung ihrer nichtfinanziellen Angaben verpflichtet.

Unternehmen müssen darstellen, welche **Auswirkungen** ihre Tätigkeiten auf **Umwelt und Gesellschaft** haben und wie die in den SDGs verankerten gesellschaftlichen Ziele (wie zum Beispiel Eindämmung von Korruption, Gleichstellung) im Unternehmen umgesetzt werden. Die **aktuell gültige Richtlinie** von 2016 **wird derzeit überarbeitet**.¹⁸⁴ Bis Mitte Juni 2020 lief dazu ein öffentlicher Konsultationsprozess, wie die Richtlinie weiterentwickelt werden soll.¹⁸⁵ Fachleute hoffen, dass dadurch **aktuell existierende Schwachstellen** wie der **Mangel an quantitativen Belegen** zu in den Berichten getroffenen Aussagen sowie die **uneinheitliche Form der Berichterstattung** adressiert werden. Die zwei nachfolgend aufgeführten Initiativen verfolgen eben dieses Ziel: die Erreichung einheitlicher Reportingstandards.

Common Metrics des WEF

Im **Januar 2020** wurde auf dem **World Economic Forum (WEF)** in Davos der erste Entwurf einer gemeinsamen Metrik für das Reporting von ESG-Standards vorgestellt, die das International Business Council (IBC) zusammen mit Deloitte, EY, KPMG und PwC in einem knapp einjährigen Prozess entwickelt hat. **Ziel** der Initiative ist es, die Metriken für das **Reporting von ESG-Kriterien über Branchen und Länder hinweg anzugleichen** („Alignment Process“).¹⁸⁶

Das IBC besteht aus 120 ausgewählten Geschäftsführerinnen und Geschäftsführern aus verschiedensten Branchen. Die durch diesen Prozess entstandene Metrik wird dementsprechend branchenübergreifend mitgetragen und basiert, wo möglich, auf bereits **existierenden Grundlagen**, um den **Reporting-Mehraufwand** für Unternehmen **möglichst überschaubar** zu halten.

Das Reporting umfasst die vier Bereiche Unternehmensführung, Auswirkungen auf den Planeten, soziale Nachhaltigkeit und Wohlstand, siehe hierfür auch Abbildung 13. Es gibt **22 verpflichtende Kernmetriken** (Core Metrics) und darüber hinaus auch noch **erweiterte Metriken** (Expanded Metrics), die teils branchenspezifische Punkte abdecken.¹⁸⁷ **Ziel** der Initiative ist es, auf einen **global einheitlichen Reportingstandard** hinzuwirken beziehungsweise eine möglichst weitreichende Harmonisierung von bereits existierenden Standards zu erreichen.

Value Balancing Alliance

2019 wurde die Value Balancing Alliance mit dem **Ziel** gegründet, einen allgemein anerkannten, einheitlichen Standard zur **Messung und monetären Bewertung von Umwelt- und Sozialauswirkungen** in Unternehmen zu entwickeln sowie zu bewerten, welche Beiträge Unternehmen für die Gesellschaft in ökologischer, sozialer und ökonomischer Hinsicht leisten.¹⁸⁸

Dazu soll innerhalb der nächsten drei Jahre gemeinsam mit den Projektpartnern ein **verbindlicher Standard** entwickelt werden. Dieser soll maßgeblich entscheidend sein für zukünftige unternehmerische Investitionsentscheidungen, da nach Vorstellungen der Allianz das Ziel eine Verschiebung **weg von reiner Profitmaximierung hin zu Wertoptimierung** sein sollte.¹⁸⁹ Für eine

184 | Vgl. EU 2014.

185 | Vgl. EU-KOM 2020m.

186 | Vgl. WEF 2020b.

187 | Vgl. ebd.

188 | Vgl. Value Balancing Alliance 2020b.

189 | Vgl. FAZ 2020c.



bessere Vergleichbarkeit und mehr Transparenz sollen für die Berechnung der positiven wie der negativen Beiträge eines Unternehmens auf Gesellschaft und Umwelt sowie für den Wertbeitrag des Unternehmens selbst einheitliche, standardisierte Daten zugrunde gelegt werden. Damit diese **auditierbar** sind, müssen sie **Eingang in das Rechnungslegungswesen** finden.

Die Mitglieder sind **deutsche sowie internationale Unternehmen**, wie BASF, Bosch, Deutsche Bank, LafargeHolcim, Mitsubishi Chemicals, Novartis, Porsche-Volkswagen, SAP und SK Holdings. **Unterstützt** wird die Alliance durch die EU, die OECD, die **Weltbank** sowie durch die vier **Wirtschaftsprüfungsunternehmen** Deloitte, EY, KPMG und PwC.¹⁹⁰ Darüber hinaus bestehen Partnerschaften mit **unterschiedlichen Universitäten** zur Entwicklung methodischer Ansätze. Auch die EU ist an der Entwicklung von Green Accounting Principles interessiert und unterstützt die Alliance.

Die Value Balancing Alliance hat es sich zum **Ziel** gesetzt, dass der von ihr entwickelte Standard **mittelfristig zu einem globalen Industriestandard für Rechnungslegung** wird, der alle drei Nachhaltigkeitsdimensionen (ökologisch, sozial und ökonomisch) umfasst.

Ratingagenturen

Einige Ratingagenturen haben sich auf die Bewertung von Nachhaltigkeitskriterien spezialisiert. Dazu gehören imug rating, ISS, MSCI ESG oder Sustainalytics.¹⁹¹

Auch die etablierten Ratingagenturen, wie **Fitch, Moody's und Standards & Poor's**, bieten bei ihren **Bonitätsprüfungen** von Unternehmen und Finanzprodukten die **Bewertung nach ESG-Kriterien** an.¹⁹²

„Wir haben noch nicht mal einen einheitlichen Standard für die Bemessung des CO₂-Fußabdrucks.“

Die **Meinungen** der Fachleute, **ob es einer europäischen Ratingagentur bedarf**, die speziell einen Fokus auf die Bewertung von Klima- und Nachhaltigkeitszielen legt, **gehen auseinander**. Einerseits wird hierin eine **Chance für die Besetzung einer Lücke** am Finanzmarkt und die Möglichkeit der Schaffung eines **Gegenweights zu den angelsächsischen Ratingagenturen** gesehen. Hintergrund ist, dass die drei genannten US-Ratingagenturen derzeit mit etwa 95 Prozent Marktanteil ein Oligopol bilden, was

Unternehmensführung	Planet	Menschen	Wohlstand
<p>Die Definition von Unternehmensführung entwickelt sich stetig weiter, da vermehrt erwartet wird, dass sich Unternehmen zunehmend ziel- und wertebasiert definieren und sich dies auch in ihrem operativen Betrieb widerspiegelt. Auch die Prinzipien ‚Wirkung‘, ‚Verantwortlichkeit‘ und ‚Führung‘ sind weiterhin unerlässlich für „good governance“.</p>	<p>Schutz der Erde vor weiterer Zerstörung, u. a. durch nachhaltigen Konsum und Produktion inkl. nachhaltigem Management natürlicher Ressourcen. Zudem Implementierung von dringend erforderlichen Maßnahmen gegen den Klimawandel, um sicherzustellen, dass die Erde aktuelle und zukünftige Generationen weiterhin versorgen kann.</p>	<p>Förderung von Maßnahmen zur Bekämpfung und Beendigung von Armut und Hungersnot in allen Formen und Dimensionen. Zudem soll sichergestellt werden, dass alle Menschen ihr volles Potenzial würdevoll und gleichberechtigt in einem gesunden Umfeld verwirklichen können.</p>	<p>Unterstützung von Maßnahmen, die dazu beitragen, dass alle Menschen ein erfülltes Leben in Wohlstand genießen können und dass ökonomischer, sozialer und technologischer Fortschritt im Einklang mit der Natur erfolgt.</p>

Abbildung 13: Die vier Säulen der Common Metrics (Quelle: eigene Darstellung basierend auf WEF 2020b)

190 | Vgl. Value Balancing Alliance 2020a.

191 | Vgl. imug 2020; ISS ESG 2020; MSCI ESG 2020; Sustainalytics 2020.

192 | Vgl. Fitch Ratings 2020; Moody's 2020; SP 2020.

nach Einschätzung einiger Befragter dringend einer europäischen Antwort bedarf.¹⁹³

Auch aus gewerkschaftlicher Sicht wäre eine unabhängige europäische Ratingagentur wünschenswert, da die aktuelle Ratinglandschaft als unübersichtlich und, aufgrund der angelsächsischen Dominanz, auch als wettbewerbsverzerrend wahrgenommen wird. Andererseits gibt es bei einigen Befragten **Befürchtungen**, dass die Gründung einer europäischen Nachhaltigkeitsratingagentur **weiter zur bestehenden Fragmentierung** des Reportingwesens beitragen könnte.

Einschätzung zur aktuellen Situation bei Reportingstandards

Die European Financial Reporting Advisory Group (EFRAG) stellt fest, dass **Unternehmen** zwar gut darin sind, ihre Klimastrategie in Reports zu erläutern, jedoch **weniger gut darin, offenzulegen**, wie gut oder schlecht sie es schaffen, die **selbstgesteckten Ziele zu erreichen**.¹⁹⁴ Eine allgemeine Kritik einer Beurteilung von Unternehmen anhand von Reports ist, dass die **getroffenen Selbstangaben von außen schwer zu überprüfen sind**, da diese in der Regel interne Prozesse, Wertschöpfungsketten und Geldmittelflüsse betreffen.

Fachleute weisen darauf hin, dass die **externe Überprüfung** von Selbstangaben **logistisch kaum** möglich sei, dass hier jedoch **digitale Lösungen von großem Nutzen** sein könnten. So können zum Beispiel durch den Einsatz von Sensoren reportingrelevante Daten, wie die Menge an ausgestoßenen Abgasen oder der Frischwasserverbrauch, automatisiert gemessen und digitalisiert werden.¹⁹⁵

Digitale Bewertungsplattformen, wie zum Beispiel Arabesque, die auf die „**Schwarmintelligenz**“ von **Big Data und Künstlicher Intelligenz (KI)** setzen, sind nach Expertenmeinung vielversprechende Ansätze für neue digitale Geschäftsmodelle zur Bottom-up-Bewertung von Finanzprodukten.¹⁹⁶

Einige befragte Expertinnen und Experten äußerten zudem die **Sorge**, dass vonseiten der Politik **Forderungen nach mehr und zusätzlichem Reporting** an Unternehmen gestellt würden, **anstatt** konkrete, aber kontroverse politische **Maßnahmen mit weitreichender Wirkung**, wie eine höhere CO₂-Bepreisung, **durchzusetzen**. Vertreterinnen und Vertreter von Unternehmen signalisieren klar die Bereitschaft zum Reporting, da dies auch für die Analyse interner Prozessabläufe hilfreich sein könne, wünschen sich jedoch ein gesundes Augenmaß aufseiten der Politik.

193 | Vgl. Siebert 2014.

194 | Vgl. European Reporting Lab/EFRAG 2020.

195 | Vgl. Bloomberg Green 2020.

196 | Vgl. Arabesque 2020.



5 Ein koordiniertes europäisches Vorgehen für Nachhaltigkeit durch Innovation

Deutschland sollte auf eine Koordinierung europäischer Initiativen für Nachhaltigkeit durch Innovation hinwirken. Hierfür stehen existierende Institutionen zur Finanzierung innovativer Vorhaben wie die Europäische Investitionsbank, Maßnahmen zur Begleitung des Strukturwandels von Regionen und mit IPCEIs auch ein Instrument zur gezielten Adressierung von Marktversagen in Zukunftsfeldern zur Verfügung. Die Forschungsstärke Europas muss durch das nächste Forschungsrahmenprogramm langfristig erhalten und durch gut aufeinander abgestimmte Transfer- und Innovationsprogramme ergänzt werden, die beispielsweise unter dem Dach des neuen European Innovation Council gebündelt werden könnten.

Der Green Deal wurde als konzeptuelle Klammer für das Arbeitsprogramm der neuen EU-Kommission vorgestellt (siehe für eine Übersicht über die ursprüngliche Konzeption des Green Deal und des darin zentralen Investitionsprogramms InvestEU Anhang A). Die Fachleute heben dabei zwei Merkmale des Green Deal hervor, die in ihren Augen für alle kommenden Nachhaltigkeitsvorhaben übernommen werden sollten.

Erstens versucht sich der Green Deal an einer **systematischen Verknüpfung von Politikfeldern**, unter anderem der Umwelt, Sozial-, Industrie-, Wettbewerbs-, Wirtschafts- und Innovationspolitik. Dies ist insofern zu begrüßen, als in den vergangenen Jahren oftmals innovationshemmende, gegenläufige Entwicklungen in den einzelnen Politikfeldern stattgefunden haben.

„Wenn wir jetzt in der Lage sind, in Europa große Schritte in politischen Konzepten und Projekten zu machen, kann das ein Türöffner sein.“

Zweitens zielt er auf eine **Koordination der europäischen Nachhaltigkeitsanstrengungen** ab, um auch hier sowohl

Reibungsverluste zu vermindern als auch grenzüberschreitende **Synergieeffekte** zu generieren. Einige Befragte weisen darauf hin, dass ein solches koordiniertes Vorgehen Europas auch bei den Konjunktur- und Aufbauprogrammen in Reaktion auf die SARS-CoV-2-Pandemie nicht nur notwendig ist, um hier ebenfalls einen Mehrwert über die einzelnen Vorhaben hinaus zu **generieren**, sondern auch, um eine **Beschädigung des Binnenmarkts** durch heterogene Maßnahmenpakete der einzelnen Mitgliedstaaten zu **verhindern**.

Im Folgenden werden daher **europäische Instrumente und Institutionen** vorgestellt, welche nach Ansicht der Befragten unmittelbar genutzt werden können beziehungsweise gestärkt werden sollten, um auf Nachhaltigkeit ausgerichtete europäische **Innovationsvorhaben zu finanzieren** (Kapitel 5.1) und die starke europäische **Forschungsbasis in marktreife Innovationen** für Nachhaltigkeit zu überführen (Kapitel 5.2).

5.1 Europäische Instrumente und Institutionen zur Finanzierung innovativer Vorhaben

Eine Reihe von Instrumenten und Institutionen der Europäischen Union sind bereits auf Nachhaltigkeitsziele ausgerichtet. So kann die EIB in kommenden Wiederaufbauprogrammen als komplementärer Partner privater Investoren eine wichtige Rolle spielen. Erfahrungen aus dem Smart Transition-Ansatz können für Programme zur Stärkung von Regionen genutzt werden, die sowohl stark von der Pandemie als auch von einem allgemeinen Transformationsdruck betroffen sind. Über nachhaltige öffentliche Beschaffung und Contracts for Difference können innovative Unternehmen ermutigt werden, auch in Zeiten schlechter Konjunktur das Risiko einer Markteinführung nachhaltiger Prozesse, Güter und Services einzugehen.

Europäische Investitionsbank – Komplementärer Partner statt Konkurrenz privater Investoren

Institutionell kommt der **Europäischen Investitionsbank (EIB)** bei der Finanzierung nachhaltiger Vorhaben eine wichtige Rolle zu. Die EIB hat schon vor Verkündung des Green Deal ihre **internen Zielvorgaben** geändert und im Zuge einer neuen Energy Lending Policy verkündet, dass in Zukunft **50 Prozent der Investitionen**

in Projekte fließen sollen, die zum **Klimaschutz** beitragen, statt wie bislang 25 Prozent.¹⁹⁷ Im Zeitraum von 2021 bis 2030 sollen Investitionen im Umfang von einer Billion Euro in Klimaschutz und ökologische Nachhaltigkeit fließen.

Als erste Institution hat die EIB 2007 „grüne Anleihen“, auch **Green Bonds** genannt, aufgelegt.¹⁹⁸ Die **Bundesregierung** hat 2020 ebenfalls begonnen, grüne Bundeswertpapiere auszugeben.¹⁹⁹ Auf die hierbei gesammelten Erfahrungen kann nach Einschätzung der Befragten aufgebaut werden, wenn es um die **Verankerung von Nachhaltigkeitsaspekten** in großvolumigen **Konjunkturprogrammen** und in deren Umsetzung geht.

Die befragten Expertinnen und Experten begrüßen überwiegend eine stärkere Nachhaltigkeits- und Resilienzausrichtung der EIB. Eine **Neudefinition ihrer Rolle als Klimabank** stößt allerdings bei einem Teil der Befragten auf Vorbehalte, ebenso wie die Forderung nach einer verstärkten Investitionsaktivität in **Projekte außerhalb Europas**, insbesondere in Entwicklungs- und Schwellenländern. Andere Befragte geben dagegen zu bedenken, dass gerade solche Investitionen erhebliche Nachhaltigkeitsgewinne und auch nachfolgende Exportchancen für europäische Unternehmen generieren können.

Die kritische Betrachtung der Ausweitung der Aktivitäten der EIB durch einige Befragte speist sich vor allem aus der Wahrnehmung, dass die **EIB in der Vergangenheit** bei Investitionsvorhaben als **Konkurrent privater Investoren** und nicht als komplementärer Akteur auftrat. Statt einer Ermöglichung zusätzlicher Investitionen, die sonst nicht erfolgt wären (**Additionalität**), warnen sie daher vor einer Verdrängung privater Investoren oder spiegelbildlich auch vor Mitnahmeeffekten, falls die Instrumente und Rahmenbedingungen für Investitionen der EIB falsch ausgestaltet werden.

„Was kann die EIB machen, das private Investoren nicht können? Sie kann politische Zielsetzungen umsetzen. Die privaten Investoren können dem dann folgen.“

Ebenfalls zentral für eine **zu Privatinvestoren komplementäre Rolle** der EIB wäre in den Augen der Befragten, dass diese nicht in Niedrigrisikovorhaben investiert, für die schon ausreichend privates Investitionsinteresse existiert. Sie sollte sich darauf

konzentrieren, bei riskanteren Vorhaben die **Risikospitzen so abzufedern**, dass eine restliche Finanzierung des Vorhabens für private Investoren attraktiv wird. Einige Befragte schlagen daher eine **iterative Prozessgestaltung** vor. Diese könnte der EIB und anderen Entwicklungsbanken ermöglichen, bei einer deutlichen Überzeichnung eines Vorhabens durch private Investoren ihren initialen Kapitaleinsatz zurückzuziehen.

Diese komplementäre Rolle sehen die Befragten auch für die Förderbanken der einzelnen Mitgliedstaaten, beispielsweise die deutsche **Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW)**. Diesen raten sie zu einer weiteren **Koordinierung der Vorhaben und Bündelung der Ressourcen mit der EIB**, wie sie gegenwärtig bei den unmittelbaren Maßnahmen zur Bekämpfung der wirtschaftlichen Folgen der Pandemie bereits erfolgt.²⁰⁰

Just Transition Mechanism und Smart Specialisation – Regional angepasste Innovationsförderung

Der **Just Transition Mechanism** soll vom Strukturwandel besonders **betroffene Gebiete** gezielt unterstützen. Das Instrument soll vor allem dazu dienen, Projekte wie **Umschulungen, Weiterbildungen und Infrastrukturmaßnahmen** zu finanzieren, damit betroffene Regionen die Herausforderungen des Strukturwandels meistern können. Somit sollen unverhältnismäßige Belastungen einzelner Regionen vermieden und die **soziale Komponente der Nachhaltigkeit** gestärkt werden. Dies gewinnt im Zuge der wirtschaftlichen Auswirkungen der Pandemie weiter an Bedeutung.

Der Mechanismus soll rund **100 Milliarden Euro** mobilisieren.²⁰¹ Einige der Befragten schätzen diese Summe als zu gering ein, um die gesteckten Ziele zu erreichen. Dies wird durch die SARS-CoV-2-Pandemie noch weiter verschärft.

Die Befragten mahnen eine zukunftsweisende und auf Innovation ausgerichtete Verwendung der Mittel an, um eine **künstliche Bewahrung veralteter Strukturen zu vermeiden** und Mitnahmeeffekte zu verringern. Deutliche Uneinigkeit besteht unter ihnen, inwiefern dies durch die Ausgestaltung des Mechanismus sichergestellt wird. Einige Befragte sehen die eigentliche Rolle des Mechanismus eher in der durch ihn **eingeworbenen Zustimmung** der gegenüber dem Green Deal skeptisch eingestellten Mitgliedstaaten.

197 | Vgl. EIB 2019b, 2020b.

198 | Vgl. EIB 2019a.

199 | Vgl. BReg 2020a; Bundesrepublik Deutschland Finanzagentur GmbH 2019.

200 | Vgl. EIB 2020a.

201 | Vgl. EU-KOM 2019d, 2020g.



Jenseits des konkreten Just Transition Mechanism befürworten die Befragten aber grundsätzlich **regionenspezifische Investitionsprogramme**. Diese sollten idealerweise eine **aktive Beteiligung der Regionen** einfordern, beispielsweise durch konkrete, vor Ort entwickelte Ideenskizzen. Ebenfalls raten sie zu einer stärkeren Berücksichtigung bereits existierender **komparativer Stärken** und einem **Erfahrungsaustausch** der Regionen untereinander. Derartige Vorhaben im Rahmen der Recoverymaßnahmen können dabei an den **Smart Specialisation**-Ansatz der EU oder auf nationaler Ebene an das WIR!-Innovations- und Strukturprogramm des BMBF anknüpfen.²⁰²

Grüne öffentliche Beschaffung und Carbon Contracts for Difference – Generierung von Nachfrage und Planungssicherheit für Investitionen in eine klimafreundliche Produktion

Der **Übergang zu klimafreundlicheren Produktionsverfahren** scheitert oftmals an einer mangelnden Nachfrage nach den gegenüber klassisch hergestellten Produkten teureren Erzeugnissen. Investitionen in viele klimaschonende Produktionsverfahren lohnen sich deshalb erst ab einem bestimmten CO₂-Preis. Auf das erste Problem kann ein weiterer Ausbau **grüner öffentlicher Beschaffung** reagieren. Statt dabei immer dem günstigsten Anbieter – zum Beispiel von Stahl oder Zement – den Vorzug zu geben, sollte die **CO₂-Bilanz** der Produkte im Rahmen transparenter Kriterien und Messkonzepte **mitberücksichtigt** werden. Auch **weitere Nachhaltigkeitsdimensionen** sind in der öffentlichen Auftragsvergabe seit Langem festgelegt, etwa soziale Standards in landes- und bundesrechtlichen Regelungen, und könnten weiter gestärkt werden.²⁰³

Dies setzt eine höhere Zahlungsbereitschaft der öffentlichen Hand voraus. Der Gewinn wäre nicht nur ein unmittelbarer Beitrag zu Nachhaltigkeitszielen bei staatlichen Investitionen. Eine so erzeugte **Nachfrage** nach nachhaltig produzierten **Gütern** – und auch **Services** – wäre mit einem geschätzten **Volumen von 500 Milliarden Euro** groß genug,²⁰⁴ um für diese **nennenswerte Märkte** zu schaffen. Dies würde laut den befragten Expertinnen und Experten eine **Skalierung und Weiterentwicklung** der Produktionsverfahren und in der Folge eine Senkung der Produktionskosten erlauben, was die betreffenden

Güter wirtschaftlicher macht. Im Idealfall wären diese dann mittelfristig auf dem freien Markt konkurrenzfähig.

Auf das zweite Problem, dass manche Investitionen in industrielle Verfahren und Anlagen erst ab einem bestimmten CO₂-Preis rentabel werden, reagiert das auch im Energiesektor nutzbare Instrument der Carbon **Contracts for Difference (CCfD)**.²⁰⁵ Viele Unternehmen scheuen Investitionen, da **gegenwärtig Planungsunsicherheit** hinsichtlich **der Entwicklung des CO₂-Preises** herrscht.

Mit einem CCfD könnte ein Unternehmen seine Investitionen in klimafreundliche Technologien beispielsweise bei der EIB absichern. Basis ist ein **CO₂-Preis**, der über dem gegenwärtigen Preis liegt und zu dem das Vorhaben wirtschaftlich wäre. Bis dieser Preis tatsächlich erreicht ist, wird das **Unternehmen mit der Differenz zwischen tatsächlichem und Zielpreis bezuschusst**. Dieser Zuschuss muss dann zurückerstattet werden, sobald der tatsächliche Preis über den Zielpreis steigt.²⁰⁶ Die Befragten sehen große Potenziale in dem Instrument, da es den **Unternehmen Planungssicherheit** geben kann, sofern eine Gegenfinanzierung sichergestellt ist, die der Dimension der Herausforderung entspricht. Contracts for Difference können sich neben dem CO₂-Preis auch auf andere Größen beziehen, beispielsweise den Strompreis.

Carbon Border Adjustment – Suche nach Instrumenten zur Schaffung eines Level Playing Field trotz heterogener weltweiter Nachhaltigkeitsstandards

Um **faire Wettbewerbsbedingungen** zwischen europäischen Anbietern, die zunehmend schärfere Nachhaltigkeitskriterien erfüllen müssen, und Anbietern aus **Wirtschaftsräumen mit niedrigeren Klima- und Nachhaltigkeitsstandards** sicherzustellen, werden verschiedene Instrumente diskutiert. Im Green Deal selbst wurde ein sogenannter Carbon Border Adjustment Mechanism für bestimmte Sektoren angekündigt.²⁰⁷

Die genaue Ausgestaltung dieser Grenzausgleichsmaßnahmen ist noch offen, aber im Kern geht es um die **Verteuerung von Importen** aus Wirtschaftsräumen mit niedrigeren CO₂-Kosten. Einige Modelle sehen auch Maßnahmen für Exporte vor. Zusätzlich zu fairen Wettbewerbsbedingungen im europäischen Binnenmarkt

202 | Vgl. BMBF 2019a; EU-KOM 2012.

203 | Vgl. Sack et al. 2016.

204 | Vgl. BMU 2020

205 | Vgl. DIW 2019.

206 | Vgl. ebd.

207 | Vgl. EU-KOM 2019d.

soll damit auch das **Carbon Leakage-Risiko**, also das Risiko einer Verlagerung der Produktion in Wirtschaftsräume mit niedrigeren Umweltstandards, verringert werden.²⁰⁸

Die befragten Expertinnen und Experten sehen grundsätzlich eine **Notwendigkeit fairer Wettbewerbsbedingungen** in einer globalen Wirtschaft, die unterschiedlich schnell und ambitioniert Klimaziele verfolgt und in der die Einführung eines globalen CO₂-Preises in absehbarer Zukunft sehr unwahrscheinlich ist. Ob und mit welchen **Maßnahmen** diese Bedingungen erfüllt werden können, ist aber **unklar**. Viele der Befragten teilen die in der öffentlichen Diskussion geäußerte **Befürchtung**, dass ein unilateral von der EU eingeführter Carbon Border Adjustment Mechanism ein Auslöser für weitreichende **Handelskonflikte** sein könnte.

5.2 Starke europäische Forschungsbasis und verbesserter Transfer

Auch in Krisenzeiten muss die europäische Forschungsstärke als Quelle neuer Ideen, mit denen auf unvorhergesehene Ereignisse reagiert werden kann und die zu neuen Innovationen führen, erhalten werden. Mit dem European Innovation Council (EIC) kann eine Dachmarke für Transfer- und Innovationsprogramme der EU geschaffen werden, die ebenso wie IPCEIs im Rahmen der Recoveryanstrengungen helfen können, gute Ideen in Innovationen und Wertschöpfung innerhalb Europas zu übersetzen und damit das „Europäische Paradox“ zu überwinden.

Horizon Europe – Unverzichtbares „Frühbeet“ zur Offenhaltung des Innovationssystems

Allgemein wird das **gegenwärtige Rahmenprogramm** von den Befragten **positiv bewertet**. Insbesondere der Europäische Forschungsrat (ERC) stellt in ihren Augen einen **Garanten für die wissenschaftliche Exzellenz** der europäischen Forschung dar, den es zu erhalten gilt.

Die befragten Expertinnen und Experten sprechen sich daher trotz des Brexits und der wirtschaftlichen Einbußen durch die Pandemie für eine **starke finanzielle Ausstattung** des nächsten

Forschungsrahmenprogramms aus. **Deutliche Kürzungen** im finalen Rahmenprogramm gegenüber dem ursprünglich geplanten Budget stellen in ihren Augen eine **Bedrohung der Forschungs- und Innovationskraft** Europas dar.

35 Prozent des Budgets von Horizon Europe, dem neuen Rahmenprogramm für Forschung und Innovation im kommenden mehrjährigen Finanzrahmen der EU, sollen in **klimaschutzrelevante Vorhaben** fließen.

Bei der inhaltlichen Ausgestaltung geben die Befragten allgemein zu bedenken, dass eine themenoffene, nur an Exzellenz orientierte **Grundlagenforschung** gegenüber themengebundenen oder auf unmittelbare Ereignisse reagierenden Programmen nicht zurückstehen darf. **„Frühbeete“** der Grundlagenforschung, aus denen nicht planbar, aber regelmäßig **bahnbrechende Innovationen** hervorgehen, müssen gerade in Krisenzeiten gepflegt werden.

„Der ERC verwandelt Geld in Ideen. Der EIC soll Ideen in Geschäftsmodelle verwandeln.“

Eine auf zu kurzfristige Verwertbarkeit ausgerichtete Forschungsförderung gefährdet mittel- und langfristig die Innovationsstärke Europas und damit auch den zentralen Treiber für Nachhaltigkeit. Die Befragten plädieren daher für einen **Einsatz der Bundesregierung** für die **Beibehaltung des ursprünglich geplanten Mittelumfangs** des kommenden Forschungsrahmenprogramms und einen weiteren **Ausbau des Europäischen Forschungsraums** (EFR).

Der European Innovation Council – Schaffung einer Dachmarke für die europäische Transfer- und Innovationsförderung

Sorgen hinsichtlich möglicher Budgeteinschnitte im finalen Rahmenprogramm machen sich die Befragten insbesondere hinsichtlich des neuen Instruments des **European Innovation Council** (EIC). Einerseits ist er noch nicht so etabliert wie beispielsweise der ERC, andererseits war er nach Auskunft der Befragten in der ursprünglichen Planung mit einem hohen **Umfang von zehn Milliarden Euro** veranschlagt, was Skeptiker auf den Plan rief. In den Verhandlungen der Forschungsministerinnen und Forschungsminister der EU-Mitgliedstaaten im September 2020 wurde dann auch eine Kürzung der vorhergesehenen Mittel zugunsten des Marie Skłodowska Curie-Programms vorgenommen.²⁰⁹

208 | Vgl. Ismer et al. 2020.

209 | Vgl. Science Business 2020.



Bleibe es dabei, würde ein Instrument beschritten, das auf die **Einbindung neuer Akteure wie Start-ups, KMU und Ausgründungen** aus Forschungseinrichtungen und eine **Stärkung** des in Europa weiterhin ausbaufähigen **Wissens- und Technologietransfers** von der Forschung in konkrete Wertschöpfung ausgelegt ist.

Die mehrfache Überzeichnung von Förderlinien des Enhanced EIC Pilot zeigt den Bedarf und das Interesse an einem solchen Instrument.²¹⁰ So wurden in einer ersten Runde **64 Start-ups**, die an Innovationen für den Green Deal arbeiten, mit einer **Gesamtfördersumme von 307 Millionen Euro** bedacht.

Seine reguläre Arbeit soll der EIC 2021 aufnehmen. Perspektivisch sehen einige Fachleute die Chance, den EIC zur **Dachmarke für alle Transfer- und Innovationsförderungen** der EU auszubauen und so eine bessere Koordinierung und Hebelwirkung der einzelnen Maßnahmen zu erreichen. Langfristig kann dies dazu beitragen, die als „Europäisches Paradox“ bekannte Transferschwäche Europas zu adressieren.

Die befragten Expertinnen und Experten heben zwei Ansätze zur weiteren Entwicklung des EIC als besonders interessant hervor. Erstens sollte der EIC bestmöglich mit nationalen Institutionen zur Förderung disruptiver Innovationen wie beispielsweise der **Agentur für Sprunginnovationen** verknüpft werden. Erfolgreiche, durch nationale Einrichtungen geförderte Projekte könnten beispielsweise einen vereinfachten und beschleunigten Zugang zur **Förderung durch den EIC** erhalten, um so ihre **europaweite Skalierung** zu unterstützen. Dies setzte allerdings eine Erweiterung des EIC um Förderelemente voraus, die auf große industrielle Verbünde zur Skalierung disruptiver Technologien ausgerichtet sind, da dies den Zuschnitt der bisherigen Förderformate sprengt.

Zweitens setzt der EIC Accelerator Pilot auf **Blended Financing**. Dies bedeutet, dass die Unterstützung aus einer Mischung aus **nicht rückzahlbaren Fördergeldern** (im Piloten bis zu 2,5 Millionen Euro) und **Beteiligungskapital** (im Piloten bis zu 15 Millionen Euro) besteht. In dieser Konstruktion sehen die Befragten Vorteile sowohl für die öffentliche Hand als auch für die Unternehmen. Die Unternehmen können Innovationen zur Marktreife bringen, und eine Kapitalbeteiligung der EU kann ihnen als **positives Signal für private Investoren** dienen und somit

den Zugang zu weiterem Kapital erleichtern. Für den öffentlichen Geldgeber werden im Erfolgsfall durch den Verkauf der Anteile **Mittel für die Förderung weiterer Projekte generiert**.

Blended Financing ist nach Einschätzung einiger Befragter allgemein, gerade aber in Krisenzeiten, die viele Start-ups in ihrer Existenz bedrohen, ein gutes Instrument, um **Probleme aufstrebender Technologiefirmen**, die innovative Lösungen im Bereich grüner Technologien anbieten, bei der Beschaffung von **Wagnis- und Wachstumskapital** zu adressieren. Bereits vor der SARS-CoV-2-Pandemie war hier die Lage in grünen Technologiesektoren schwieriger als im europäischen Wagnis- und Wachstumskapitalmarkt allgemein.²¹¹

Es gibt nach Ansicht der Befragten weitere Möglichkeiten, um das Ökosystem für Wachstumskapital zu verbessern und das krisenbedingte **Verschwinden einer ganzen Generation** innovativer neuer Wettbewerber in Zukunftsfeldern zu **verhindern**. Im Zuge der Recoverymaßnahmen könnten **hybride Ko-Finanzierungsplattformen** für staatliche und private Anleger geschaffen oder eine **Jump-up-Initiative** für schnell wachsende Technologieunternehmen im Green Tech-Segment angestoßen werden,²¹² die an die unmittelbare Hilfe durch die SARS-CoV-2-Matching-Fazilität anknüpfen.

Einen großen Hebel könnte auch die Mobilisierung **institutioneller Anleger** darstellen, die aufgrund restriktiver gesetzlicher Vorgaben gegenwärtig nur in äußerst geringem Umfang Wagnis- und Wachstumskapital zur Verfügung stellen.

IPCEIs – Bündelung privater und staatlicher Kräfte für ambitionierte Innovationsvorhaben

Seit 2014 ist es möglich, im Rahmen sogenannter **Important Projects of Common European Interest (IPCEI)** die Genehmigung staatlicher Beihilfen zu erleichtern, sofern diese auf die Beseitigung eines Marktversagens abzielen und sich eine **Koalition der Willigen** aus mehreren **Mitgliedstaaten, Forschung und Industrie** findet, die in das innovationsgetriebene Vorhaben investiert.

Die ersten, von Deutschland aktiv vorangetriebenen IPCEIs zu **Mikroelektronik und Batteriezellfertigung** werden von den befragten Expertinnen und Experten weitgehend **positiv** bewertet.²¹³

210 | Vgl. EU-KOM 2020i.

211 | Vgl. atomico et al. 2019; Keilhauer 2015.

212 | Vgl. acatech 2019c.

213 | Vgl. BMWi 2020a.

Verbesserungsbedarf auf Basis der dort gewonnenen Erfahrungswerte sehen sie vor allem hinsichtlich der **Umsetzungsgeschwindigkeit zukünftiger IPCEIs**.

„Europa kann die Technologien entwickeln, um global die Wirtschaft zu defossilisieren.“

Grüne Technologien betrachten die Befragten allgemein als **gut für IPCEIs** geeignet, da deren Erprobung, Markteinführung und Skalierung oftmals genau vor den Hürden steht, auf die das Instrument reagiert. Sie raten daher zu einem fortgesetzten **deutschen Engagement** bei der Konzeption, Finanzierung und Umsetzung von IPCEIs und flankierenden Forschungsinitiativen, beispielsweise zum Thema **Wasserstoff** (siehe Kapitel 2.1).



Anhang

Anhang A: Kernelemente des Green Deal in seiner 2019 vorgestellten Form

Folgende Punkte wurden bei der Vorstellung des Green Deal 2019 hervorgehoben:

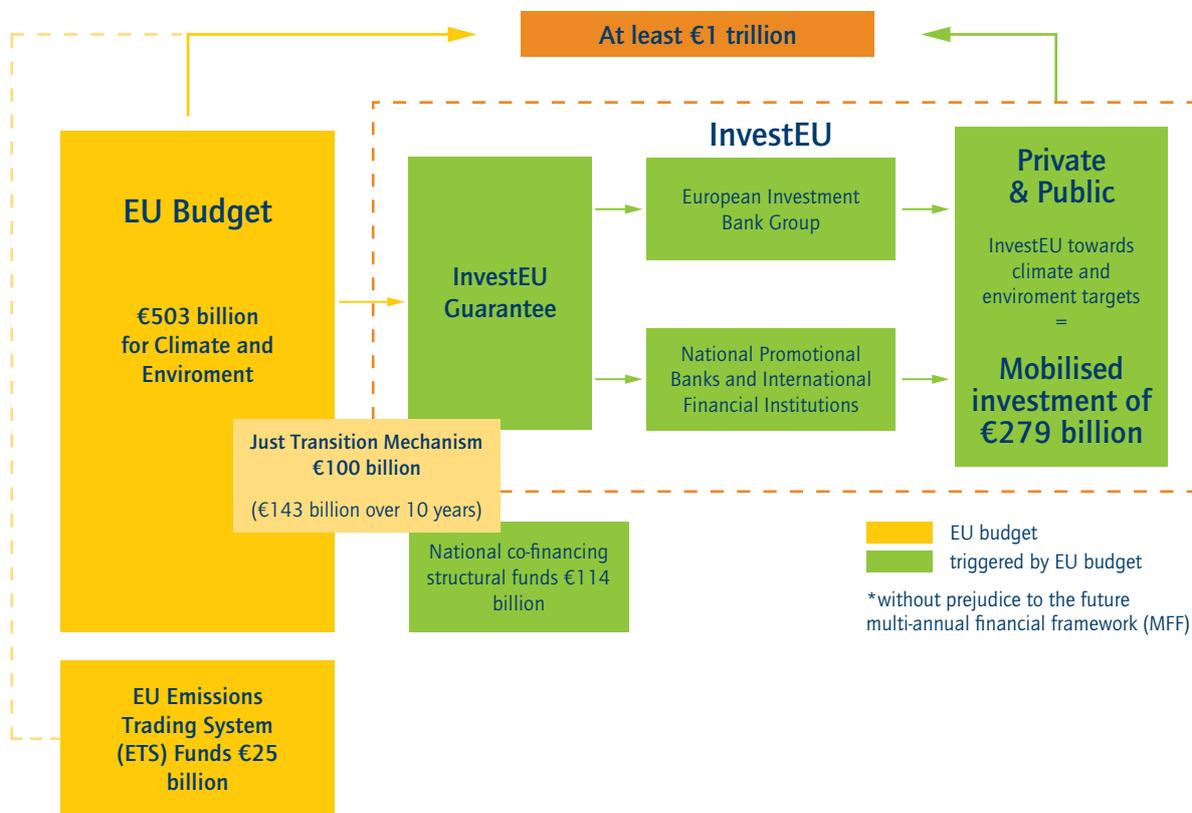
- Das **übergeordnete Ziel** des Green Deal ist **Klimaneutralität der EU bis 2050**. Alle anderen Ziele sind dieser Grundidee untergeordnet. Auf dem Weg zu Netto-Null-Treibhausgasemissionen bis 2050 soll als ein **Etappenziel** die Verringerung des Treibhausgasemissions-Ausstoßes bis **2030** festgelegt werden, zu dem gegenwärtig eine öffentliche Konsultation erfolgt. Die Kommission tritt hierbei für eine Reduktion um **50 bis 55 Prozent** (gemessen am Vergleichswert von 1990) ein. Diese übergeordneten Zielwerte sollen in einem **EU-Klimagesetz** rechtlich bindend verankert werden.
- Der geplante **Investitionsumfang** für die kommende Dekade liegt bei **einer Billion Euro**, der sich aus **öffentlichen und privaten Geldern** zusammensetzen soll. Knapp die Hälfte, 485 Milliarden Euro, sollen aus dem EU-Haushalt stammen, der Rest von den EU-Mitgliedstaaten und privaten Investoren (siehe Abbildung 14).
- **100 Milliarden Euro** fließen in einen „**Just Transition Mechanism**“, davon 7,5 Milliarden aus dem EU-Haushalt, der Rest aus anderen öffentlichen und privaten Quellen wie der Europäischen Investitionsbank (EIB). Durch den Just Transition Mechanism sollen **Regionen Gelder** zur Verfügung gestellt werden, für die eine Transformation ihrer Wirtschaftsstruktur besonders schwierig ist, zum Beispiel Kohleregionen.
- Der **Circular Economy Action Plan** soll ein zentraler Grundpfeiler der neuen **EU-Industriestrategie** werden. Das Ziel ist die Förderung von Produkt-, Geschäftsmodell- und Verhaltensinnovationen zur Entkoppelung der Wertschöpfung von der Nutzung neuer Rohstoffe.
- Mindestens **35 Prozent** der Mittelausstattung des neuen Forschungsrahmenprogramms „**Horizon Europe**“ sollen in Forschungs- und Innovationsvorhaben zur Findung neuer **Klimaschutzlösungen** fließen.

- Durch eine **CO₂-Grenzausgleichsabgabe** („Carbon Border Adjustment Mechanism“) soll die Wettbewerbsfähigkeit von in Europa nachhaltig produzierten Gütern gewährleistet werden, indem anderenorts klimaschädlicher produzierte Waren beim Import in die EU mit entsprechenden Abgaben belegt werden.
- Im Rahmen der „**Vom Hof auf den Tisch**“-Strategie soll die regionale und nachhaltige Produktion von Lebensmitteln gestärkt und eine deutliche Verringerung des Einsatzes von Düngemitteln, chemischen Pestiziden und Antibiotika in der Landwirtschaft erreicht werden.
- Unterschiedliche neue beziehungsweise verschärfte **Regularien**, wie zum Beispiel neue Emissionsgrenzwerte, Energieeffizienzvorgaben, Recyclingvorschriften sowie verteuerte Verschmutzungsrechte, sollen zusätzlich zum Umweltschutz und zur CO₂-Einsparung beitragen.
- **Weitere Maßnahmen:** Schnellerer Ausbau der Energieversorgung aus regenerativen Quellen, Förderung von Gebäudesanierungen, Einführung nachhaltiger Mobilitätskonzepte; Unterstützung der Entwicklung und Implementierung standardisierter Rechnungslegungspraktiken zu Naturkapital.

InvestEU – Das zentrale Investitionsprogramm der EU

Das **zentrale Instrument** für den Green Deal ist das Programm InvestEU (siehe auch Abbildung 14), das bereits seit 2018 für den nächsten langjährigen Finanzrahmen der EU vorgesehen ist und dabei an den Europäischen Fonds für strategische Investitionen (EFSI) anknüpft. Im Rahmen der Vorstellung des Green Deal sind **30 Prozent** der Investitionen aus InvestEU für **Projekte zum Klima- und Umweltschutz** vorgesehen. Der Beitrag aus dem EU-Haushalt fungiert hierbei unter anderem als Garantiesumme für Kredite der Europäischen Investitionsbankgruppe, was wiederum **private Investitionen auslösen** soll.

Zusätzlich sieht der Green Deal vor, über InvestEU auch **Ressourcen und Beratungsleistungen** zur Verfügung zu stellen, um geeignete Projekte zu identifizieren, zu entwickeln und umzusetzen.²¹⁴ InvestEU ist als **flexibles Programm** angelegt, das auf Marktveränderungen und neue politische Prioritäten, so auch auf die SARS-CoV-2-Pandemie reagieren kann.



*The numbers shown here are net of any overlaps between climate, environmental and Just Transition Mechanism objectives.

Abbildung 14: Übersicht über die geplante Zusammensetzung der Finanzierung des EU Green Deal zum Zeitpunkt seiner Vorstellung (Quelle: eigene Darstellung basierend auf EU-KOM 2020g)



Anhang B: Carbon Capture and Utilization/Carbon Capture and Storage (CCU/CCS)

Neben den in Kapitel 2 der Studie vorgestellten branchen- und sektorübergreifenden Hebeln zur Transformation der Wirtschaft – Einsatz von Wasserstoff beziehungsweise Elektrifizierung, digitale und biologische Transformation sowie Circular Economy – spielt auch CCU/CCS für die Erreichung der Klimaziele eine wichtige Rolle.

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sind sich einig, dass die **Erreichung von Klimazielen** nur möglich ist, wenn auch **Technologien** zum Einsatz kommen, die **nicht nur CO₂-neutral, sondern CO₂-negativ sind**. Neben natürlichen Kohlenstoffsenken, wie sie zum Beispiel in der Landwirtschaft oder durch Aufforstung möglich sind, kann CO₂ entweder anderweitig verwertet (CCU) oder langfristig gespeichert (CCS) und dadurch der Atmosphäre entzogen werden.

„Man kommt an der CCU/CCS-Technologie nicht vorbei, da wir Negativemissionen brauchen.“

Bei beiden Verfahren handelt es sich um technologisch **aufwendige Verfahren**, die **nur dort eingesetzt werden sollten, wo es Sinn ergibt**. Bei Industrieprozessen, bei denen die Vermeidung von CO₂-Emissionen durch Effizienzsteigerung, Elektrifizierung sowie Energie-, Prozess- und Materialsubstitution nicht möglich ist, sollte über einen Einsatz von CCU/CCS nachgedacht werden, um die Erreichung der Klimaziele sicherzustellen.²¹⁵ Einige der befragten Expertinnen und Experten stellen klar, dass diese Technologien **keinen Freifahrtschein für „business as usual“ mit Abschöpfung von CO₂ am Ende** darstellen.

Die **aufwendigen Verfahren** zur Speicherung beziehungsweise Verwertung von CO₂ sind heute oftmals ökonomisch noch nicht rentabel, werden es aber ab einem bestimmten CO₂-Preis. Die **Geschwindigkeit der Einführung von skalierten industriellen CCU/CCS-Verfahren** wird stark **vom Anstieg der CO₂-Bepreisung abhängen**.

215 | Vgl. EU-KOM 2020j; IPCC 2018.

216 | Vgl. McKinsey & Company 2018.

217 | Vgl. HeidelbergCement 2020; Weikl/Schmidt 2010.

218 | Vgl. UBA 2008.

219 | Vgl. IPCC 2018.

220 | Vgl. acatech 2018.

Der Großteil der Fachleute ist der Meinung, dass **Herausfiltern von CO₂ aus der Luft** technologisch zwar möglich, aber aufgrund des hohen Energiebedarfs ökologisch **nicht sinnvoll** ist, wohingegen sie die **Abschöpfung von anfallendem CO₂ bei industriellen Produktionsprozessen** als **sinnvoll** erachten.

B.1 Carbon Capture and Utilization (CCU)

In **Industrieverfahren**, bei denen CO₂ bei der Verarbeitung von Materialien unweigerlich anfällt, leisten Verfahren, die dieses CO₂ **einfangen**, bevor es in die Atmosphäre austritt, einen wichtigen Beitrag zur Senkung von Emissionswerten. Das eingefangene CO₂ kann **als Grundstoff** beispielsweise zur Herstellung **synthetischer Treibstoffe, Kunststoffe oder Dünger** dienen.²¹⁶

Für die Abschöpfung von CO₂ und Verwendung in anderen Industriesektoren gibt es bereits **erfolgreiche Pilotprojekte**, wie **Carbon2Chem** oder **Oxyfuel-Anwendungen**.²¹⁷ Fachleute erwarten, dass CCU-Anwendungen vor allem in der Schwerindustrie zukünftig zunehmen werden.

B.2 Carbon Capture and Storage (CCS)

Durch die Wissenschaft ist noch **nicht final geklärt, in welcher Form CO₂ langfristig** am besten **gespeichert** werden sollte, ob als **Feststoff** oder in **flüssiger Form** im Untergrund verpresst.²¹⁸ **Ziel** ist es, dass das **eingelagerte CO₂ bei Bedarf zurückgefördert** werden kann, um es als Rohstoff zu verwenden.

Insgesamt ist **CCS umstrittener als CCU**, auch wenn es viele Fachleute als unumgänglich sehen, um die Klimaziele bis 2050 zu erreichen. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des IPCC sehen den **Einsatz von CCS** (in Kombination mit anderen Maßnahmen) als **einzigste Option, um überhaupt noch das 1,5-Grad-Celsius-Ziel erreichen zu können**. Nur die Quantität des benötigten CCS unterscheidet sich in den unterschiedlichen IPCC-Szenarien.²¹⁹

Die **Einschätzungen** zu den möglichen **Risiken** durch die Einlagerung von CO₂ im Untergrund und die **damit einhergehende Akzeptanz** für die Technologie **liegen aktuell noch weit auseinander**.²²⁰ Auch unter den EU-Mitgliedstaaten werden die Risiken von CCS – ähnlich wie die der Atomenergie – unterschiedlich bewertet.

Anhang C: Wertschöpfungsnetzwerke der Kunststoffindustrie nachhaltiger gestalten

In den nachfolgenden Abschnitten werden exemplarisch die Herausforderungen der nachhaltigen Transformation der Kunststoffindustrie und Optionen, diese zu ermöglichen, aufgezeigt. Exemplarisch werden hierbei auch die Konzepte der Circular Economy entlang des Wertschöpfungskreislaufs aufgezeigt (siehe Abbildung 15). Die folgenden Aspekte werden dabei betrachtet:

- Kunststoffe heute und in Zukunft (D)
- Design kreislauffähiger Kunststoffe und damit einhergehende Zielkonflikte (E)
- Entkoppelung der Kunststoffproduktion von fossilen Quellen (F)
- Nachhaltigere Produktionsverfahren (G)
- Nachhaltigere Kunststoffnutzung durch neue Geschäftsmodelle und geändertes Konsumverhalten (H)
- Verbessertes Recycling von Kunststoffen (I)



Abbildung 15: Wertschöpfungskreislauf in der Kunststoffindustrie (Quelle: eigene Darstellung basierend auf wbcscd/BCG 2018)



Anhang D: Kunststoff heute und in Zukunft

Kunststoffe haben einen zentralen Platz in unserem Alltag und erfüllen dabei wichtige Funktionen. Ihre Produktion, Nutzung und Entsorgung führen in ihrer heutigen Form allerdings zu negativen Effekten für die Nachhaltigkeit. Um zu einer nachhaltigeren Kunststoffproduktion und -nutzung zu kommen, ist eine Transformation des gesamten Wertschöpfungsnetzwerks, getrieben durch Innovationen auf Produkt-, Prozess- und Geschäftsmodellebene, nötig. Hierbei muss eine möglichst ganzheitliche Analyse der Effekte und Auswirkungen über den gesamten Lebenszyklus den Rahmen vorgeben.

Kunststoffe sind in unserer Gesellschaft **allgegenwärtig**. So liegt der jährliche **Pro-Kopf-Kunststoffverbrauch** in der EU bei etwa **100 Kilogramm**. Aufgrund ihrer vielfältigen Verwendungsmöglichkeiten, die durch Additive und Verbundstoffe nochmals erweitert werden, ihrer Beständigkeit und ihres relativ leichten Gewichts kommen Kunststoffe in einer sehr **großen Anzahl an Wertschöpfungsnetzwerken und Lebensbereichen** vor.

Sie erfüllen dabei **wichtige Funktionen**: So tragen Verpackungen zum Schutz von Produkten während der Logistik, zur **Vermeidung von Lebensmittelabfällen** und zur Gewährleistung von Hygiene und Produktsicherheit bei. Zudem sind sie oft **leichter** als alternative Stoffe und sorgen somit für eine **Reduktion der Energiebedarfe** beim Transport. Fachleute sind sich daher einig, dass aufgrund dieser **sekundären Nachhaltigkeitspotenziale** Kunststoffe auch in Zukunft eine **zentrale Rolle** in der globalen Wirtschaft spielen werden.

Die Nutzung von Kunststoffen bringt allerdings auch **negative Effekte** mit sich, die sich auch auf die Erreichung der **Sustainable Development Goals** der Vereinten Nationen auswirken. Zum einen trägt der **hohe CO₂-Ausstoß** bei Produktion und Verwertung von Kunststoffen zum **Klimawandel** bei, zum anderen gibt es das Problem der **Umweltverschmutzung durch Makro- und Mikroplastik**, wenn Kunststoffe am Ende ihres Lebenszyklus

in die Umwelt gelangen. Besonders der Aspekt der Umweltverschmutzung wurde in den letzten Jahren prominent diskutiert²²¹ und steht im Fokus aktueller Forschungsbemühungen wie des **BMBF-Rahmenprogramms „Forschung für Nachhaltige Entwicklung“** (FoNa) oder speziell auch im interdisziplinären Sonderforschungsbereich Mikroplastik an der Universität Bayreuth.²²²

Für **beide Aspekte**, Klima- und Umweltfragen, müssen in einem nachhaltigen Wertschöpfungsnetzwerk für Kunststoffe **Lösungen gefunden** werden. Die **Anwendungsbereiche**, in denen der überwiegende Anteil an Kunststoffen zum Einsatz kommt, sind: Verpackungen (40 Prozent), Gebäude und Infrastruktur (20 Prozent), Automobilindustrie (10 Prozent) und Elektronik (6 Prozent). Innerhalb Europas ist **Deutschland** mit knapp 25 Prozent des Volumens der mit Abstand **größte Verarbeiter** von Kunststoffen.

Für die **globale Kunststoffproduktion** wird eine **Verdopplung bis zum Jahr 2050** prognostiziert. Innerhalb Europas fällt das prognostizierte Wachstum der Kunststoffproduktion zwar geringer aus, wird aber immer noch auf **18 Prozent** bis 2050 geschätzt.²²³ Durch den Anstieg der **globalen Kunststoffproduktion** könnte ihr Anteil am globalen **Ölverbrauch von derzeit 2** auf rund **23 Prozent** wachsen, je nach Szenario für die Entwicklung der Fördermengen.²²⁴

Zurzeit entstehen **fünf Kilogramm CO₂ für jedes produzierte Kilogramm Kunststoff**, die vor allem bei der Produktion und am Ende des Lebenszyklus anfallen.²²⁵ Gleichzeitig kann durch den Einsatz von Kunststoffen in Produkten wie Gebäudedämmung oder durch Leichtbau in Summe CO₂ eingespart werden. Damit dennoch nicht allein die Produktion von Kunststoffen einen signifikanten Teil des **verbleibenden CO₂-Budgets** zur Einhaltung der **Parisziele** sowie der **vorhandenen fossilen Rohstoffreserven** aufbraucht, ist eine **Transformation des gesamten Lebenszyklus** also **unerlässlich**. Einen wichtigen Beitrag hierzu kann die konsequente Umsetzung der **Prinzipien der Circular Economy** inklusive der Nutzung der Kunststoffabfälle als Ressource leisten (siehe Abbildung 16).

„Wenn Kunststoffe mit ordentlichem Recycling lange in der Wertschöpfung bleiben, können sie nachhaltiger als viele Alternativen sein.“

221 | Vgl. SAPEA 2019; UBA 2019d.

222 | Vgl. BMBF 2015a; 2015b; BReg 2018; Universität Bayreuth 2018.

223 | Vgl. Material Economics 2019.

224 | Vgl. Material Economics 2018b.

225 | Vgl. European Bioplastics 2016; Material Economics 2019.

Eine der Leitlinien für eine nachhaltige Nutzung von Kunststoffen bildet die sogenannte **Abfallhierarchie**, wie sie auch in ihren Grundzügen der **Gesetzgebung der EU und der Bundesregierung** zugrunde liegt (siehe Abbildung 17). Die Hierarchie darf allerdings **nicht als starres Korsett** begriffen werden.²²⁶ Die Regulatorik muss vielmehr **Innovationen und neue Erkenntnisse aus ganzheitlichen Lebenszyklusanalysen** abbilden, um eine ökologisch und ökonomisch möglichst nachhaltige Nutzung und Verwertung verschiedener Produkte zu gewährleisten.

Aus **ökonomischen Gesichtspunkten** gehen im heutigen Umgang mit Kunststoffen **95 Prozent des Wertes** der weltweit produzierten Kunststoffverpackungen (80 bis 120 Milliarden US-Dollar) **nach einer einzigen, kurzen Nutzung verloren**. Durch Prozessverluste und die Verwendung der recycelten Kunststoffe

in minderwertigen Polymeren bleiben **nur fünf Prozent des Ausgangswertes** erhalten. Global werden nur 14 Prozent der Verpackungen dem Recycling zugeführt.²²⁷

Eine **besondere Herausforderung** für die Transformation der Kunststoffindustrie ist die **Fragmentierung des Wertschöpfungsnetzwerks**. Transformationen sind auf **jeder Stufe des Lebenszyklus** nötig, von Design und Rohstoffinput über Produktion und Nutzung bis hin zu Recycling und Entsorgung. Hieran müssen **verschiedene Akteure** mitwirken: Kunststoffproduzenten, Kunststoffverwerter, Groß- und Einzelhändler, Unternehmen der Recycling- und Abfallwirtschaft, staatliche Betriebe und Behörden und nicht zuletzt auch Konsumentinnen und Konsumenten (siehe Abbildung 16).



Abbildung 16: Relevante Akteure im Kunststoffwertschöpfungsnetzwerk (Quelle: eigene Darstellung basierend auf wbcSD/BCG 2018)

226 | Vgl. Europäisches Parlament und Europäischer Rat 2008.

227 | Vgl. WEF et al. 2016.



Dabei muss allerdings beachtet werden, dass es **nicht zielführend** ist, bei der Entwicklung von **Handlungsoptionen** einzelne **Phasen separat zu betrachten**. Die unterschiedlichen Elemente hängen oft miteinander zusammen, und Eingriffe an einem Aspekt führen oft zu **komplexen Wechselwirkungen**.

Entscheidungen im Umgang mit potenziellen Zielkonflikten sollten sich daher an einer möglichst **systematischen Analyse** des **gesamten Produktlebenszyklus** orientieren. Um die **nötigen Innovationen** voranzutreiben, ist zudem eine **eng verzahnte und zielgerichtete Kooperation** von Akteuren aus Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft nötig.

„Nur wenn man die Produkte und Prozesse in der Kunststoffindustrie auf der Systemebene über den ganzen Lebenszyklus analysiert, kann man die nachhaltigsten Lösungen finden.“

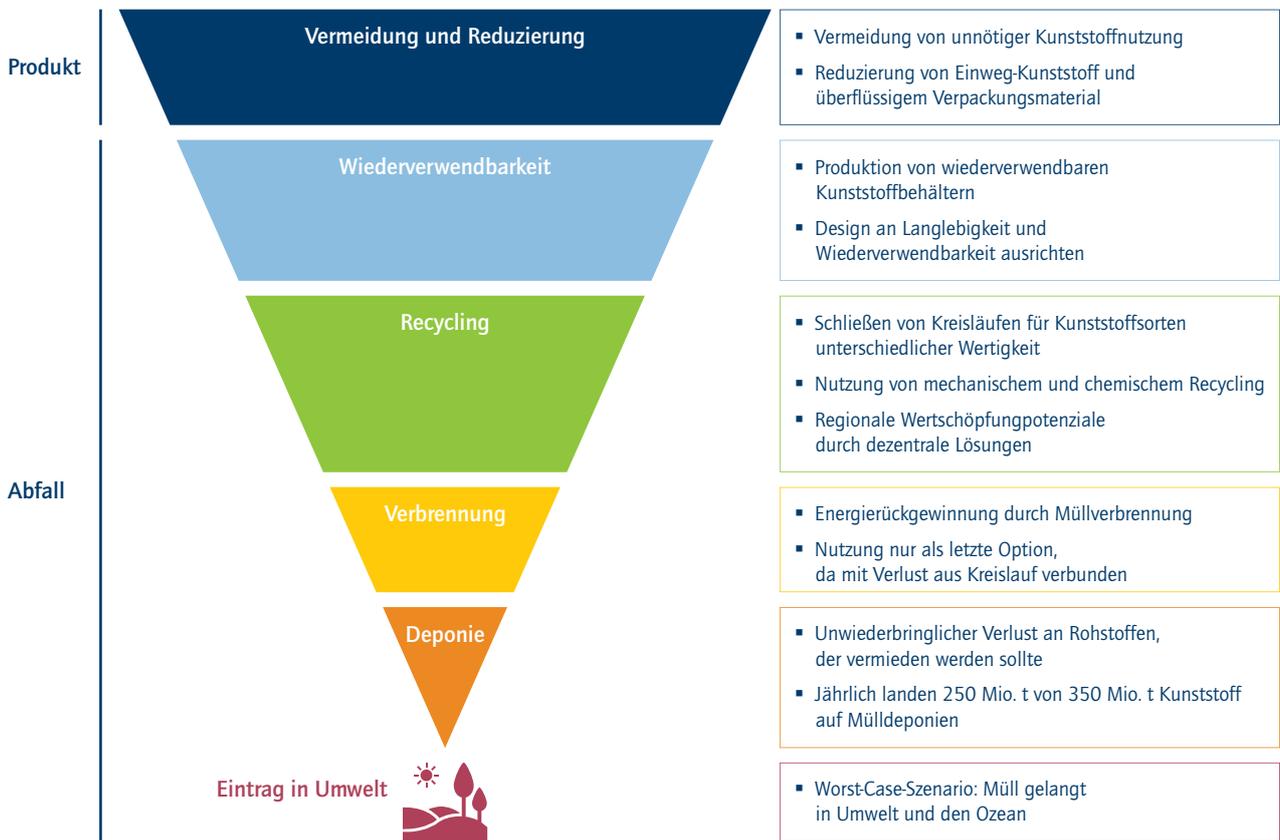


Abbildung 17: Die Abfallhierarchie für Kunststoffe (Quelle: eigene Darstellung basierend auf Europäisches Parlament und Europäischer Rat 2008)

Anhang E: Kreisläufe mitdenken und schädliche Eigenschaften vermeiden – Kunststoffe besser designen

Das Design von Kunststoffen und Kunststoffprodukten spielt eine maßgebliche Rolle für deren Nachhaltigkeit. Hierbei gibt es Zielkonflikte wie etwa zwischen der Recyclingfähigkeit und den Performance-Eigenschaften eines Kunststoffs. Diese werden auch in Zukunft nicht vollständig durch technologische Innovationen auflösbar sein. Es bedarf politischer Entscheidungen, die sich an Lebenszyklusanalysen orientieren sollten.

Entscheidende Weichen dafür, wie nachhaltig ein Kunststoff produziert und genutzt werden kann, werden bereits in der Phase des **Material- und Produktdesigns** gestellt. Deshalb muss auch eine nachhaltige Transformation der Kunststoffindustrie **auf dieser Ebene ansetzen**.

„Nachhaltigkeit fängt beim Design an. Wenn Produkte nicht auf Wiederverwendung und Recycling ausgelegt sind, kann man in nachfolgenden Wertschöpfungsschritten nur noch wenig ausrichten.“

E.1 Nachhaltige Designentscheidungen

Es gibt unterschiedliche Ansätze für nachhaltigeres Design von Kunststoffen und Kunststoffprodukten. Zwischen den verschiedenen Ansätzen gibt es sowohl **Synergien** als auch **Zielkonflikte**. Je nach konkretem Anwendungsfall können unterschiedliche Herangehensweisen zum jeweils nachhaltigsten Ergebnis führen. Daher sollten Designprobleme immer aus **mehreren Blickwinkeln** betrachtet werden.

„Design for Circularity“

Fachleute sehen insbesondere durch **„Design for Circularity“**, also die Orientierung des Produktdesigns an den **Prinzipien der Circular Economy**, großes Potenzial, Kunststoffe und Kunststoffprodukte nachhaltiger zu gestalten. Wichtiges Ziel ist hierbei, die

Wiederverwendbarkeit und Recyclingfähigkeit der Produkte zu erhöhen.

Um dies zu erreichen, sollten zum Beispiel die **Trennbarkeit und Standardisierung von Komponenten** im Fokus stehen. Eine prinzipielle **Reduktion der Materialvielfalt** sowie der vermehrte Einsatz von **Monomateriallösungen**, um größere Volumina **sortenreiner Wertstoffströme** zu schaffen, für die das Recycling **wirtschaftlich** ist, wird ebenfalls diskutiert.²²⁸

Nachhaltige Chemie und „Benign by Design“

Neben der Recyclingfähigkeit und den eingesetzten Rohstoffen sind die **potenziellen Umweltgefahren**, die von Kunststoffprodukten ausgehen, ein weiterer Nachhaltigkeitsaspekt, der auch im Green Deal der EU und der deutschen Hightechstrategie Beachtung findet.²²⁹

Bei der Entsorgung von Kunststoffen in der Umwelt oder in Deponien wird das **Makroplastik** über die Zeit zu **Mikroplastik** zersetzt. Während die endgültige Bewertung der **potenziellen Gesundheitsrisiken** des Mikroplastiks für Mensch und Tier noch aussteht, sind die **negativen Effekte** von Makroplastik **für die Tierwelt** bereits hinlänglich erwiesen.²³⁰

Außerdem gibt es **potenziell toxische Abbauprodukte**, die teilweise auch in der regulären Verwertung und Entsorgung von Kunststoffabfällen entstehen.²³¹ Zwar setze die **REACH-Richtlinie** der EU schon gute Vorgaben zur Risikominimierung bei potenziell schädlichen Chemikalien, dennoch sehen einige Fachleute in diesem Bereich weiterhin Handlungsbedarf. Dies betrifft auch eine **Vereinfachung** der mit der Verordnung verbundenen **Bürokratie**.

Ansätze, die versuchen, diese Probleme **systematisch** zu lösen, werden oft mit den Schlagwörtern **„Nachhaltige Chemie“**, **„Grüne Chemie“** oder **„Benign by Design“** bezeichnet. **Grundprinzipien** hierfür sind zunächst die **Analyse** und das **Überprüfen** der beabsichtigten **Anwendung**, ob es hierfür des Einsatzes spezifischer Stoffe bedarf. Ist dies der Fall, sollte das Design der Stoffe möglichst **zielgenau auf die Bedürfnisse** zugeschnitten werden. Die Stoffe sollten in ihrer **molekularen Komposition** möglichst **einfach** aufgebaut und nach Gebrauch **leicht und vollständig**

228 | Vgl. EU-KOM 2019b; WEF et al. 2016; WEF/Ellen MacArthur Foundation 2017.

229 | Vgl. BReg 2018; EU-KOM 2019d.

230 | Vgl. SAPEA 2019.

231 | Vgl. Kümmerer et al. 2020.



abbaubar beziehungsweise die eingesetzten Materialien möglichst vollständig rückgewinnbar sein.²³²

„Benign by Design“ wurde als neues Designkonzept für persistente **Pharmawirkstoffe** entwickelt, die nach ihrer Anwendung in der Umwelt nicht abgebaut werden. Die Ziele des Konzepts lassen sich auch **auf Kunststoffe übertragen**.²³³

„Es geht nicht darum, ausgehend von den bestehenden Produkten diese ‚bisschen weniger schlecht‘ zu machen, sondern darum, Produkte direkt so zu designen, dass sie nachhaltig sind.“

Zudem müsse man **grundlegend unterscheiden**: Bei Produkten, die in einer Circular Economy im **Kreislauf gehalten** werden sollen, ist die Beständigkeit für eine **lange Nutzungsdauer** essenziell. Produkte, die geplant oder mit hoher Wahrscheinlichkeit **in die Umwelt oder das Abwasser** gelangen (Düngemittel, Pflanzenschutzmittel, Putzmittel, Medikamente, Fischernetze etc.), sollten möglichst vollumfänglich **in der Natur abbaubar** sein.²³⁴ In diesem Zusammenhang weisen einige Fachleute darauf hin, dass sowohl bei der **Ausbildung** als auch bei der **Vergabe von Fördermitteln** der Trend dahin geht, dass nur **immer komplexere Ansätze als innovativ** gelten. Sie fordern, dass stattdessen ein Fokus darauf gelegt wird, möglichst einfache und **elegante Lösungen** als mindestens gleichberechtigte, wenn nicht sogar zu bevorzugende **Innovationsziele** zu sehen.

Recyclingfähigkeit versus Funktionalität – Zielkonflikte beim Design

Bei jedem Designprozess stellen sich grundlegende **Herausforderungen**, weil sich unterschiedliche **Ziele und Anforderungen** teilweise **widersprechen** können. Was allgemein auf **Produkte und Prozesse** aus vielen **Sektoren** zutrifft, lässt sich bei **Kunststoffen** an konkreten Konflikten **exemplarisch** aufzeigen: So sind zum Beispiel biologisch abbaubare Kunststoffe zum Teil beim klassischen Recycling problematisch (siehe auch Anhang I.3), während eine Reduktion der Sortenvielfalt bei den Kunststoffen zwar das Recycling vereinfacht, aber im Konflikt dazu stehen kann, auch vermehrt biobasierte Kunststoffe einzusetzen.²³⁵

Ein **zentraler Zielkonflikt** beim Design von Kunststoffprodukten besteht in vielen Fällen zwischen der **Recyclingfähigkeit** eines Produkts und den **spezifischen Funktionen**, die es erfüllen soll. Tendenziell gilt: **Je komplexer** das Kunststoffprodukt und die Aufgaben, die es erfüllen muss, umso **schwieriger** ist es, zu recyceln.

So werden zum Beispiel im Bereich der **Lebensmittelverpackungen** besonders hohe Anforderungen an die Hygieneeigenschaften von Verpackungen gestellt, die gleichzeitig aber auch möglichst beständig und leicht sein müssen. Dies wird zurzeit häufig durch **komplexe Verbundkunststoffe** oder durch das **Überlagern von Schichten verschiedener Kunststoffsorten** erreicht. Solche Verpackungen sind aber besonders **schwierig zu recyceln**, da ein Auftrennen der einzelnen Kunststoffsorten des Produkts fast unmöglich ist (siehe Anhang I).²³⁶

Im Hinblick auf die **Nachhaltigkeitsbilanz** kann es daher unter Umständen **sinnvoller** sein, manche Kunststoffverpackungen **nicht recyclingfähig** zu gestalten, wenn dadurch zum Beispiel große Mengen Lebensmittel vor dem Verderben bewahrt werden. Kunststoffe, die bei der spezifischen **Funktionalität keine oder nur wenige Abstriche** machen und gleichzeitig gut zu **recyceln** sind, sollten daher nach Meinung der Fachleute oben auf der Forschungsagenda stehen, da sie **Nachhaltigkeits- mit Wertschöpfungspotenzial verbinden**.

E.2 Regulierung des Produktdesigns

Nach Meinung der befragten Expertinnen und Experten wird es **nicht immer möglich** sein, **Zielkonflikte** durch weitere Forschung und Entwicklung neuer Materialien und Prozesse komplett **aufzulösen**. Daher muss für die jeweiligen Aufgaben, die ein Produkt erfüllen soll, eine **systematische Analyse** erfolgen, welche Kombinationen von Ansätzen in ihrer **Gesamtheit das größte Nachhaltigkeitspotenzial** haben. Forschung, Entwicklung und Umsetzung sollten sich dann daran orientieren.

Bei der Frage, wie man die Verwendung von potenziell umweltschädlichen Stoffen am besten **regulieren** sollte, ergibt sich bei den Fachleuten **kein komplett einheitliches Bild**. Die meisten sehen aber **explizite Verbotslisten skeptisch**, da Behörden nicht so schnell neue Gutachten erstellen können, wie Produkte auf den Markt kommen.

232 | Vgl. Deutsche Welle 2016; Kümmerer 2017; Kümmerer et al. 2020; Zimmerman et al. 2020.

233 | Vgl. Deutsche Welle 2016; FAZ 2018; Kümmerer et al. 2020.

234 | Vgl. Kümmerer 2017; Kümmerer et al. 2020.

235 | Vgl. Bauer et al. 2018.

236 | Vgl. Bauer et al. 2018; Kümmerer et al. 2020; Material Economics 2018a; 2018b; WEF/Ellen MacArthur Foundation 2017.

Der Vorschlag, stattdessen oder zusätzlich „**White Lists**“ oder „**Green Lists**“ zu erstellen, die mit Sicherheit unbedenkliche und nachhaltige Stoffe benennen, findet einige Befürworter. Die vorwiegende Verwendung der gelisteten Stoffe böte den Unternehmen **Investitionssicherheit** und könnte gegebenenfalls auch mit **Anreizen** gefördert werden.

Kritiker des Vorschlags geben zu bedenken, dass somit der Grundsatz der **Technologieoffenheit** gefährdet sein könnte und Innovationen gehemmt würden, wenn neue beziehungsweise noch nicht auf ihre Nachhaltigkeit geprüfte Stoffe lange nicht auf der entsprechenden Liste stehen.

Prinzipiell sehen die Befragten in der weiteren Ausrichtung der **EU-Ökodesign-Richtlinie** an Nachhaltigkeitskriterien, die auf Lebenszyklusanalysen beruhen, ein **geeignetes Instrument**, um zielführend regulatorisch tätig zu werden. Gleichzeitig betonen sie aber auch, dass eine **Balance** gewahrt werden muss, da übergenaue Definitionen potenziell Innovationen behindern und Produzenten verwirren beziehungsweise überfordern könnten.

E.3 Weitere Innovationspotenziale beim Kunststoffdesign

Großes Innovationspotenzial gibt es bei **programmierbaren Kunststoffen**. Diese können zum Beispiel Relais, Schalter, Sensoren etc., die oft sehr komplex aufgebaut sind und seltene Rohstoffe benötigen, ersetzen und deren Funktion übernehmen. Die verwendeten Kunststoffpolymere sind dabei potenziell **recyclingfähig**.²³⁷

Eine weitere Quelle für Innovationen sind **bioinspirierte Materialien und Produkte**. So können zum Beispiel durch **Leichtbauweise**, die sich an Vorbildern aus der Natur orientiert, der **Materialbedarf und das Gewicht** von Kunststoffbauteilen für unter anderem die Automobilindustrie deutlich **reduziert** werden. Die Kombination mit **additiver Fertigung** aus recyclingfähigen Kunststoffpolymeren (siehe auch Anhang G.3) erweitert hier die Umsetzungs- und Anwendungsoptionen nochmals und verbessert gleichzeitig das Nachhaltigkeitsprofil.²³⁸ Diese Ansätze sind zwar in Teilen nicht neu, jedoch erachten Fachleute die

Innovations- und Anwendungspotenziale als noch lange **nicht ausgeschöpft**.

Durch diese Konzepte lassen sich insbesondere auch **sekundäre Nachhaltigkeitspotenziale** bei der Verwendung von Kunststoffen nutzen: Leichtere Produkte **reduzieren Energiebedarfe** beim Transport und den **primären Materialbedarf**; das Ersetzen komplexer Bauteile mit seltenen Rohstoffen durch recyclingfähige Kunststoffe leistet einen Beitrag zum **Schließen von Wertschöpfungskreisläufen** und zur **Vermeidung negativer ökologischer Externalitäten**.

Ausblick

Die Materialforschung ist eine **Kernkompetenz** sowohl der deutschen Forschungslandschaft als auch innovativer Unternehmen. Dies gilt von der Grundlagenforschung an Universitäten und außeruniversitären Forschungseinrichtungen bis zur Weiterentwicklung in den Laboren von KMU und Großkonzernen. Die Expertinnen und Experten begrüßen daher die Berücksichtigung dieses Felds in den **Förderprogrammen der Bundesregierung**.

Für die Zukunft regen sie an, Methoden wie **Maschinelles Lernen, KI und Big Data** in der Materialentwicklungsausbildung zu verankern und eine **noch engere Einbindung** dieser Ansätze in die Materialwissenschaft zu fördern. Perspektivisch kann die Materialforschung und -entwicklung auch als erste wichtige kommerzielle Anwendung von **Quantensimulatoren und -computern** gesehen werden, von deren Einsatz man sich einen nochmaligen **Qualitätssprung** erhofft.

Außer an verbesserten Materialien direkt muss auch an einer **Verfeinerung und Vereinheitlichung der Analyse von Lebenszyklen** gearbeitet werden, um die geforderten systemischen Abwägungen zur Nachhaltigkeit von Designoptionen möglichst präzise treffen zu können. Hierfür ist es wichtig, dass die **verschiedenen Akteure** aus Forschungseinrichtungen, Unternehmen, Verbänden und Behörden **gemeinsam** gangbare und sinnvolle Lösungen entwickeln. Praxiserfahrungen aus der Erprobung neuer Konzepte in möglichst **großskaligen Reallaboren** könnten nach Meinung von Fachleuten hierzu beitragen (siehe Kasten 6 und Kasten 7).

237 | Vgl. acatech 2019a.

238 | Vgl. ebd.; Fraunhofer-Gesellschaft 2018, 2019; VDI-Gesellschaft Materials Engineering 2014.



Anhang F: Sekundäre und erneuerbare Rohstoffe nutzen – Kunststoffproduktion von fossilen Quellen entkoppeln

Kunststoffe werden zurzeit überwiegend aus fossilen Rohstoffen hergestellt, was ihren CO₂-Fußabdruck negativ beeinflusst. Als nachhaltigere Alternativen stehen Sekundärrohstoffe (Rezyklate) oder biobasierte Polymere zur Verfügung, deren Einsatz unter den heutigen Rahmenbedingungen jedoch meist nicht wirtschaftlich ist. Um faire Marktchancen für diese Alternativen zu schaffen, müssen entsprechende politische Anreize gesetzt werden.

Für die nachhaltige Transformation der Kunststoffindustrie ist in Zukunft ein möglichst weitreichender **Verzicht auf fossile Primärrohstoffe** nötig. Die **Circular Economy** sowie die **biologische Transformation und Bioökonomie** zeigen hier zwei Alternativen auf: **Sekundärrohstoffe** (recycelte Kunststoffe) und **Primärrohstoffe aus erneuerbaren Quellen** (Biomasse). Der Umstieg auf höhere Anteile von Sekundärrohstoffen und Primärrohstoffen aus Biomasse könnte neben den **positiven ökologischen Auswirkungen** auch helfen, die Kunststoffproduktion **unabhängiger von globalen Rohstofflieferketten** zu machen.

Kunststoffe werden zu etwa 94 Prozent aus sogenanntem „Virgin Feedstock“, also „jungfräulichen“ **Primärrohstoffen**, hergestellt. Diese entstehen zumeist durch Raffination, Cracken und anschließende Polymerisationsprozesse **aus Rohöl**, in geringem Umfang auch aus Erdgas. Dabei fallen nicht nur bei der Extraktion des Erdöls und den weiteren Produktionsschritten **CO₂-Emissionen** an, sondern die entstehenden Kunststoffpolymere bestehen selbst aus **kohlenstoffhaltigen Verbindungen** und können deshalb am Ende ihres Lebenszyklus, zum Beispiel bei ihrer Verbrennung, nochmals große Mengen CO₂ freisetzen.²³⁹

Ein **niedriger Erdölpreis verringert** die relative **Wettbewerbsfähigkeit** von Sekundärrohstoffen aus **Rezyklat** und Primärrohstoffen aus **Biomasse**. Sollte der Ölpreis infolge der durch die **SARS-CoV-2-Pandemie ausgelösten Wirtschaftskrise** dauerhaft sehr niedrig bleiben, hätte dies daher auch langfristige Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit der Erzeugung von Kunststoffen aus alternativen Quellen.

Um diesen **Wettbewerbsnachteil**, der auch auf der **fehlenden Internalisierung der ökologischen Kosten** von Förderung und Nutzung fossiler Energieträger beruht, auszugleichen, fordern Fachleute, ein **Level Playing Field für die verschiedenen Ausgangsstoffe** in der Kunststoffproduktion zu schaffen. Einige der diskutierten **Instrumente** werden in Anhang I.5 gelistet.

F.1 Sekundärrohstoffe

Sekundärrohstoffe zur Kunststoffproduktion werden durch das **Recycling von Kunststoffabfällen** hergestellt. Für weitere Informationen zu verschiedenen Formen des Recyclings sowie deren Herausforderungen und Chancen siehe Anhang I.

Prinzipiell bietet die Verwendung von Sekundärrohstoffen gleich **mehrere Vorteile** im Hinblick auf **Nachhaltigkeitsaspekte**: Kunststoffe, die recycelt werden, **halten das CO₂**, das in ihnen gebunden ist, **im Nutzungszyklus**, statt es am Ende des Lebenszyklus, zum Beispiel bei einer thermischen Verwertung, zu emittieren. Sie landen auch **nicht in Deponien oder der Umwelt**, wo sie langsam in **potenziell schädliches Mikroplastik** zersetzt würden.

Je nach Recyclingpfad kann die Herstellung von Kunststoffen auch deutlich **energieeffizienter** als diejenige aus Primärrohstoffen sein, da **energieintensive Produktionsschritte wegfallen**. Gleichzeitig können sie dazu beitragen, dass die Kunststoffproduktion **unabhängiger von Rohstoffimporten** und somit **resilienter gegenüber Störungen** in den globalen Lieferketten wird.²⁴⁰

Rezyklatqualität und gesetzliche Rahmenbedingungen

Als einen der **Hauptgründe** für die bisher geringe Verwendung von Rezyklaten nennen viele Fachleute die oft geringe Reinheit und damit **mindere Qualität im Vergleich zu Primärrohstoffen**. Die niedrigere Qualität der Sekundärrohstoffe muss dann entweder durch **aufwendige weitere Aufreinigung** ausgeglichen werden oder führt zu ebenfalls schlechterer Qualität bei den daraus produzierten Kunststoffen und Kunststoffprodukten. Je nach Verwendungszweck sind Qualitätsunterschiede mehr oder weniger tolerierbar. Allerdings gibt es **viele Bereiche mit hohen Qualitätsanforderungen** an die verwendeten Kunststoffe, für die der Einsatz recycelter Kunststoffe schwierig ist.

Diese Qualitätsunterschiede verbunden mit dem Fakt, dass **Primärrohstoffe äußerst günstig** und auch in dauerhaft **gleichbleibend hoher Qualität** verfügbar sind, stellen einen erheblichen

239 | Vgl. Material Economics 2018b, 2019; WEF et al. 2016; WEF/Ellen MacArthur Foundation 2017.

240 | Vgl. BCG 2019a; Material Economics 2018b; WEF et al. 2016; WEF/Ellen MacArthur Foundation 2017.

Wettbewerbsnachteil für Sekundärrohstoffe dar. Ob genauere **Vorgaben für die Rezyklatqualität** durch Normen und Standards ein geeignetes Mittel sein können, um die Nachfragesituation für Rezyklate zu verbessern, war unter den Befragten **umstritten**.

Als weiterer Grund werden von einigen Expertinnen und Experten auch die **regulatorischen Einschränkungen** bei der Verwendung von aus Rezyklat hergestellten Kunststoffen genannt. Aus **Gründen des Verbraucherschutzes** wird vor allem im **Lebensmittel**, aber beispielsweise auch im **Kosmetikbereich** die Verwendung von recycelten Materialien in Verpackungen eingeschränkt. Andere Fachleute sind der Meinung, dass hier genau **überprüft** werden müsse, ob diese restriktiven Regelungen tatsächlich wissenschaftlich geboten sind oder ob sie **für einige Bereiche gelockert** werden könnten. So würden die Anwendungsmöglichkeiten für recycelten Kunststoff erweitert.

Einen Markt für Rezyklate schaffen

Fachleute sehen auch ein gewisses **Henne-Ei-Problem zwischen Angebot und Nachfrage** bei hochwertigen Rezyklaten. Von Kunststoffproduzenten wird oft bemängelt, dass **nicht klar ersichtlich** ist, wo welche Mengen an Rezyklat einer bestimmten Qualität verfügbar sind.

Ein Ansatz ist daher, durch **digitale Plattformen** einen **Überblick über die Verfügbarkeit von Rezyklaten** zu ermöglichen und Produzenten und Anbieter zusammenzubringen.²⁴¹ Das deutsche Start-up Cirplus, das auch vom EIT Climate KIC unterstützt wird, verfolgt ein solches Geschäftsmodell.

„Irgendjemand muss den gordischen Knoten beim Kunststoffrecycling lösen.“

Fachleute heben **positiv** hervor, dass auch vonseiten der **Bundesregierung** die **Bedeutung digitaler Ansätze** im Bereich der Circular Economy erkannt und gefördert wird.²⁴² **Probleme** sehen sie eher darin, für diese Ansätze nach einer initialen Projektförderung auch **ausreichende Mittel am privaten Kapitalmarkt** einzuwerben, da Investoren zu große Risiken aufgrund

der unklaren mittel- und langfristigen Aussichten der Branche fürchten.

Einen großen, direkten Beitrag zur Etablierung eines signifikanten Markts für Rezyklate könnte die **öffentliche Hand** durch eine stärkere Berücksichtigung von Recyclingprodukten im Sinne der **nachhaltigen Beschaffung** leisten. Weitere Instrumente, wie zum Beispiel eine allgemeine Rezyklatquote, werden in Anhang I.5 diskutiert.

F.2 Biobasierte Kunststoffe

Selbst bei der Annahme optimistischer Szenarios wird es unter anderem aufgrund unvermeidbarer Prozessverluste beim Recycling auch in **Zukunft nicht möglich** sein, **mehr als 60 bis 70 Prozent des Kunststoffbedarfs aus Sekundärrohstoffen** zu decken.²⁴³ Um die Kunststoffproduktion dennoch möglichst umfänglich von der Zufuhr fossiler Energieträger zu entkoppeln, muss eine **alternative Quelle für Primärrohstoffe** zur Verfügung stehen. **Kunststoffe, die aus Biomasse** hergestellt werden, können diese Funktion prinzipiell erfüllen.²⁴⁴

Solche biobasierten Kunststoffe stellen wichtige Elemente der **deutschen und europäischen Strategien zur Bioökonomie** dar.²⁴⁵ Im öffentlichen Diskurs herrscht oft **Verwirrung** über den **Begriff Biokunststoff beziehungsweise Bioplastik**. Dieser ist in der Tat unscharf und sollte **vermieden** werden. Abbildung 18 veranschaulicht die **Bedeutung der verschiedenen Begriffe**: Zum einen kann zwischen **biobasierten und fossilbasierten Kunststoffen** unterschieden werden, wobei allein die Herkunft des ursprünglichen Rohstoffs entscheidend ist. Das zweite Kriterium, nach dem unterschieden werden kann, ist, ob ein Kunststoff **biologisch abbaubar ist oder nicht** (siehe auch Anhang I.3). Dabei gibt es sowohl biobasierte als auch fossilbasierte Kunststoffe, die biologisch abbaubar sind. Gleichzeitig ist **nicht jeder biobasierte Kunststoff automatisch biologisch abbaubar**.²⁴⁶

Marktsituation und Entwicklung

Prinzipiell können **viele der gängigen Kunststoffpolymere** auch aus Biomasse hergestellt werden.²⁴⁷ Die hierfür nötigen biotechnischen Anlagen wie Bioraffinerien können **dezentral in**

241 | Vgl. Berg/Wilts 2019.

242 | Vgl. BMBF 2018; 2020a.

243 | Vgl. Material Economics 2019.

244 | Vgl. Bauer/Nilsson 2019; DEHEMA/FutureCamp Climate GmbH 2019; Material Economics 2018b; 2019; WEF et al. 2016; WEF/Ellen MacArthur Foundation 2017.

245 | Vgl. BMBF/BMEL 2014; 2020; EU-KOM 2018d.

246 | Vgl. European Bioplastics 2016.

247 | Vgl. ebd.

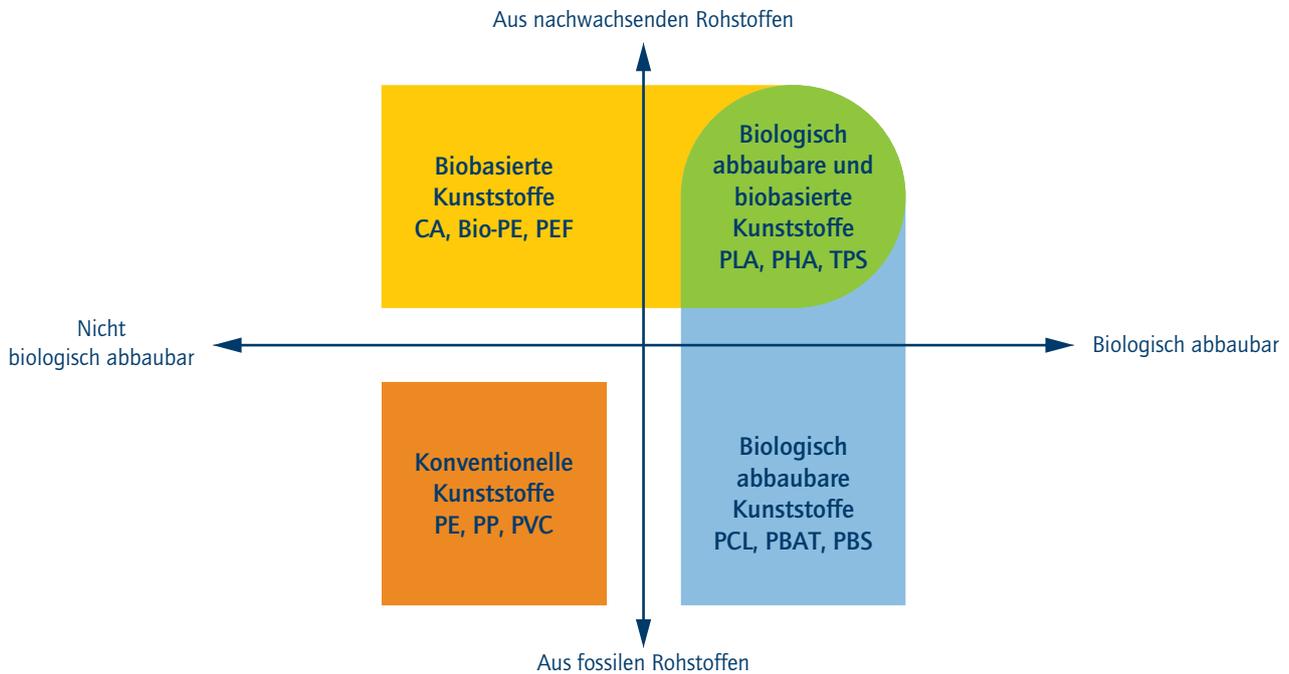


Abbildung 18: Übersicht über verschiedene Kunststoffarten (Quelle: eigene Darstellung basierend auf European Bioplastics 2016)

der Nähe von Biomassequellen betrieben werden, weshalb sie auch in sonst eher strukturschwachen Regionen eine Option nachhaltiger Wertschöpfung eröffnen.

„Bei der technischen Entwicklung biobasierter Kunststoffe wurde schon viel erreicht. Viele Produkte sind marktreif. Das Problem liegt eher beim Bedarf und bei der Wirtschaftlichkeit.“

Allerdings ist diese Herstellung aufgrund der nötigen Umformungsschritte oft **energetisch ungünstiger** als die Herstellung aus fossilen Primärrohstoffen, was zu **Wettbewerbsnachteilen** durch **höhere Produktionskosten** führt.²⁴⁸ Entsprechend liegt der globale **Anteil der biobasierten Kunststoffe am Gesamtkunststoffmarkt bei nur rund einem Prozent**. Auch für die nächsten Jahre wird der Branche nur ein **moderates Wachstum** der Jahresproduktion von biobasierten Polymeren um drei Prozent jährlich (CAGR) vorhergesagt, sollten sich die wirtschaftlichen oder regulatorischen Rahmenbedingungen nicht drastisch ändern.²⁴⁹

Herausforderungen bei steigendem Bedarf

Studien zur klimaneutralen Umgestaltung der Kunststoffindustrie gehen allerdings von einem **stark steigenden** Bedarf an Biomasse aus, wenn die komplette **Defossilisierung des Sektors** gelingen soll. So müssen einer Studie zufolge im Jahr 2050 für die ausreichende Versorgung Europas mit biobasierten Polymeren etwa 75 bis 95 Millionen Tonnen Biomasse pro Jahr zur Verfügung stehen.²⁵⁰ Das wäre ein signifikanter Anstieg von den rund 1,3 Millionen Tonnen, die im Jahr 2019 genutzt wurden.²⁵¹

Auch wenn die benötigten Flächen zur Produktion von 75 bis 95 Millionen Tonnen Biomasse im Vergleich zu den Flächen, auf denen Landwirtschaft betrieben wird, klein sind, führt ein **steigender Biomassebedarf** der Kunststoffproduktion dennoch zu einer **Konkurrenzsituation** mit der Land- und Forstwirtschaft, dem Renaturierungsvorhaben zum Klima- und Biodiversitätsschutz oder der Produktion von Biomasse für andere Zwecke (zum Beispiel zur Kraftstoffproduktion).²⁵²

248 | Vgl. VCI 2019b.

249 | Vgl. nova-Institute 2020.

250 | Vgl. Material Economics 2019.

251 | Vgl. nova-Institute 2020.

252 | Vgl. acatech et al. 2019.

Besonders interessant für die Herstellung von Kunststoffen ist daher gerade auch die Verwertung von einzelnen Bestandteilen der Biomasse oder **Abfallströmen** wie beispielsweise Chitin und Lignin oder von Terpenen, um Konflikte mit der Nutzung primärer Biomasse zu vermeiden.

Es müssen daher umfassende Analysen angestellt werden, um eine **Priorisierung der Verwendung begrenzter Biomasseressourcen** vorzunehmen. Einige bereits vorliegende Studien gehen davon aus, dass die Verwendung von Biomasse für die **Kunststoffproduktion energetisch sinnvoller** und somit nachhaltiger ist als die Nutzung für **Brennstoffe oder in der Stromerzeugung**.²⁵³ Die weitere Erforschung solcher **Zielkonflikte und möglicher Lösungsansätze in einer Bioökonomie** ist zudem Teil aktueller Programme auf deutscher und europäischer Ebene.²⁵⁴

Ansätze für Forschung, Entwicklung und Transfer

Weiterentwickelt werden sollten vor allem Ansätze, die **organische Abfälle als Ausgangsprodukt** nutzen können, wie zum Beispiel das Demonstrationsprojekt B-Plas in Italien, um Konflikte mit der Nutzung primärer Biomasse zu vermeiden.²⁵⁵ Des Weiteren könnte durch **Material- und Prozessinnovationen** die **Effizienz der Herstellung** von Kunststoffen aus Biomasse weiter gesteigert werden. Ansätze, um die gegebenenfalls dann auch weiterhin bestehenden inhärenten Wettbewerbsnachteile biobasierter Kunststoffe auszugleichen, werden in Anhang I.5 besprochen.

Viele Expertinnen und Experten sehen **Vorteile** für die Verwendung von biobasierten Ausgangsstoffen zurzeit insbesondere bei **komplexen Kunststoffprodukten im Fein- und Spezialchemiebereich**. Möglicherweise können durch weitere **Forschung und Entwicklung** Anwendungsmöglichkeiten ausgebaut werden, bei denen die Biomasse nicht zuerst zu möglichst simplen Grundstoffen zerlegt werden muss, sondern nahe an der **ursprünglichen Polymerstruktur** bleibt. Dadurch könnte der energetische Nachteil im Vergleich zur Produktion aus fossilen Primärrohstoffen verringert werden.

Die **Forschungsförderlandschaft** mit einer Vielzahl an relevanten Programmen, insbesondere in Deutschland, wird von Fachleuten **prinzipiell positiv** bewertet. Einige Befragte kritisieren allerdings einen **Mangel an Fördermöglichkeiten** für explizit **interdisziplinär angelegte Forschungsprojekte** beziehungsweise die Tatsache, dass solche Projekte oft von monodisziplinär

besetzten Auswahljürs schlechter bewertet würden. Außerdem könnte auch in den **Studienangeboten** ein größeres Augenmerk auf die Befähigung der Studierenden zum **interdisziplinären Arbeiten** gelegt werden.

„Bei all den wichtigen Diskussionen über Kapitalverfügbarkeit, Pilotprojekte oder Technologieförderung dürfen wir das Capacity Building nicht vergessen. Die Leute müssen in der Lage sein, die Dinge auch umzusetzen.“

Die nationale Bioökonomiestrategie greift solche Ansätze auf, und Forschung, wie biobasierte Kunststoffe am besten in ganzheitlich **nachhaltige Wirtschaftskreisläufe in der Kunststoffindustrie** eingebettet werden können, findet **über Disziplinengrenzen** hinweg zum Beispiel im Fraunhofer Cluster of Excellence for Circular Plastics Economy statt.²⁵⁶

Solche **Plattformen** können ein guter Ausgangspunkt sein, **verschiedene Akteure** gerade auch aus den verschiedenen **relevanten Wirtschaftszweigen** wie Anlagenbau, Biotechnologie, Kunststoffindustrie, Abfall- und Recyclingwirtschaft zusammenzubringen sowie **neue Technologien** und deren Implikationen für die **Umgestaltung von Wertschöpfungsprozessen** aufzuzeigen. Eine Begleitung der Aktivitäten durch NGOs könnte zudem die Perspektiven weiterer Bevölkerungsgruppen in den Prozess einbringen.

Wichtig ist nach Meinung von Fachleuten aber vor allem, über Forschungs- und Demonstrationsprojekte hinaus auch **Wege aufzuzeigen**, wie Forschungsergebnisse in **wirtschaftlich tragfähige Produkte und Prozesse** umgesetzt werden können.

Hierfür könnten sich **„Reallabore für die Materialwende“** (siehe Kasten 6) eignen, die Produkte und Prozesse auf ihre **Alltags-tauglichkeit** testen, eine noch engere **Abstimmung der beteiligten Akteure** ermöglichen, zur Bildung geeigneter **Normen und Standards** beitragen und gegebenenfalls existierende **regulatorische Hürden und Unterschiede zwischen den Mitgliedstaaten** aufzeigen. Dazu ist es wichtig, dass das Format von Anfang an auch **Behörden** einbezieht und mit dem Auftrag ausgestattet wird, gangbare Lösungen für europaweit gültige **vereinfachte Genehmigungsverfahren** zu finden und den sicheren, aber zeitnahen Einsatz neuer Materialien auch in sensiblen Bereichen zu ermöglichen.

253 | Vgl. BCG/Prognos AG 2018, Material Economics 2018b; 2019.

254 | Vgl. BMBF/BMEL 2020; EU-KOM 2018d.

255 | Vgl. EIT Climate-KIC 2019.

256 | Vgl. BMBF/BMEL 2020; Fraunhofer CCPE 2019; 2020.



Anhang G: Effizienz steigern und Produktion modularisieren – Kunststoffe nachhaltiger produzieren

Die Herstellung von Kunststoffen ist sehr energieintensiv. Die Elektrifizierung einzelner Produktionsschritte könnte die Nachhaltigkeitsbilanz deutlich verbessern, wenn ein hoher Anteil erneuerbarer Energien am Strommix gegeben ist. Konzepte aus Industrie 4.0 (Digitale Zwillinge, Predictive Maintenance, IoT-Anwendungen) und der biologischen Transformation (biointelligente Wertschöpfung, Modularisierung) können sowohl die Produktion von Kunststoffen als auch ihre Verarbeitung deutlich effizienter und dadurch nachhaltiger machen.

Etwas mehr als ein Drittel der CO₂-Emissionen im Lebenszyklus von Kunststoffprodukten fällt bei der **Produktion** an (siehe Abbildung 19).

Um diese Emissionen zu **minimieren**, kann eine **Kombination nachhaltigerer Technologien** mit Verbesserungen und Effizienzgewinnen in den **Produktionsprozessen** sowie neuen Ansätzen zur Ausgestaltung von **Produktionsnetzwerken** eingesetzt werden. Auch beim **nächsten Schritt in der Wertschöpfungskette**, also Industrien, die Kunststoffe in ihren Produk

einsetzen, gibt es Potenziale für **Effizienzgewinne durch neue Produktionskonzepte**.

Die Kunststoffindustrie hat wie alle Grundstoffindustrien **lange Investitionszyklen** (etwa 20 Jahre). Erschwerend kommt hinzu, dass zur klimaneutralen Transformation der Kunststoffindustrie gleich an **mehreren Stellen der Wertschöpfungskette** signifikante Investitionen in **neue oder verbesserte Technologien beziehungsweise Produktionsanlagen** notwendig werden.

Einer Studie zufolge würde das benötigte Investitionsvolumen zur Erreichung der **Klimaneutralität der europäischen Kunststoffindustrie bis zum Jahr 2050** daher je nach Szenario insgesamt um **150 bis 199 Prozent über** den normalerweise zu **erwartenden Investitionen** in diesem Zeitrahmen liegen. Dieser Wert liegt deutlich über den rund 76 bis 107 Prozent Steigerung, den dieselbe Studie für den Durchschnitt der untersuchten Grundstoffindustrien berechnet hat, und entspräche **jährlichen zusätzlichen Investitionen von etwa 3 bis 4 Milliarden Euro**. Die Höhe dieser notwendigen Investitionen macht für manche Unternehmen eine Investitionsentscheidung zu einer „**Wette auf die wirtschaftliche Existenz**“.²⁵⁷

Damit bei den anstehenden Modernisierungsrunden – auch auf Basis von Konjunkturpaketen – tatsächlich in neue, **nachhaltige und klimaschonende Anlagen investiert** wird und **Lock-ins in CO₂-intensiven Technologien vermieden** werden, fordern Fachleute, jetzt die **politischen Rahmenbedingungen** so zu gestalten, dass für Unternehmen Investitionssicherheit besteht.

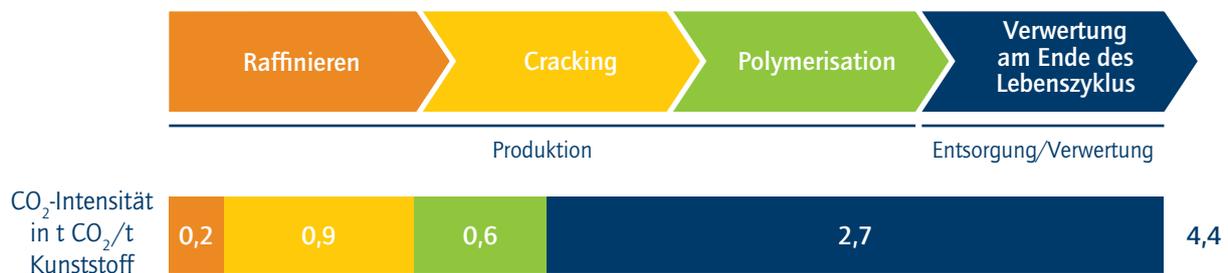


Abbildung 19: CO₂-Intensität in der Kunststoffwertschöpfung (Quelle: eigene Darstellung basierend auf Material Economics 2019)

257 | Vgl. Material Economics 2019.

G.1 Elektrifizierung der Produktion

Bei der Kunststoffherstellung sind insbesondere das **Cracken und die anschließende Polymerisation** der Ausgangsstoffe **energieintensive Prozesse**, die zurzeit vor allem durch **fossile Energieträger** befeuert werden. Zusammen sind sie bei heutigen Produktionsstandards für etwa **1,5 Tonnen CO₂-Emissionen pro produzierter Tonne Kunststoff** verantwortlich (siehe Abbildung 19).²⁵⁸

Um die für die Auftrennung des Rohbenzins benötigten hohen Temperaturen im **Dampfcraacker** zu erreichen, wird zurzeit meist **Erdgas** verfeuert und gegebenenfalls ein Teil des Primärrohstoffs als Brennstoff genutzt. **Elektrifizierte Cracker**, die Strom als Energiequelle zum Erhitzen nutzen, stehen an der Schwelle zur Demonstration der **industriellen Umsetzbarkeit** (Technology Readiness Level (TRL) 7). Für den Fall, dass der eingespeiste Strom komplett aus **erneuerbaren Energien** gedeckt wird, hätte dies eine fast vollständige **Vermeidung von Treibhausgasemissionen** in diesem Herstellungsschritt zur Folge.²⁵⁹

Die Grundvoraussetzung für die **Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit** dieser Ansätze ist die Verfügbarkeit großer Mengen **Strom aus erneuerbaren Energien** zu einem möglichst **niedrigen Preis**.²⁶⁰

Neben der Elektrifizierung der Produktionsprozesse bietet auch die Verwendung **anderer (leichterer) Ausgangsstoffe** wie Ethan anstelle von Rohbenzin eine Möglichkeit, die **Energieeffizienz** der Kunststoffherstellung signifikant zu **verbessern** und die damit verbundenen **CO₂-Emissionen zu reduzieren**.²⁶¹

Beide Ansätze, die Elektrifizierung und die Verwendung alternativer Ausgangsprodukte, erfordern den **Umbau oder kompletten Neubau** von Produktionsanlagen, weshalb es hier besonders wichtig ist, durch langfristige Rahmensetzung **Investitionssicherheit** für Unternehmen zu schaffen.

G.2 Industrie 4.0/Green Tech in der Produktion

In den **Bereichen der Industrieproduktion**, die nicht der energieintensiven Grundstoffindustrie zuzurechnen sind, können die

Effizienzgewinne, die durch Konzepte aus **Industrie 4.0 und Umwelttechnologien** erzielt werden können, nach Meinung der befragten Expertinnen und Experten einen **Großteil der erforderlichen CO₂-Einsparungen** leisten.

In der **Kunststoffindustrie** hingegen gehen Studien eher von einer Größenordnung von **15 bis 20 Prozent eingesparter CO₂-Emissionen** im Jahr 2050 aus, die sich rein durch **Effizienzgewinne und Prozessoptimierung** erreichen lassen.²⁶² Um diese Effizienzgewinne zu realisieren, muss sich auch die Kunststoffindustrie umfänglich der Hebel aus den Bereichen der **Industrie 4.0 und der Umwelttechnologien** bedienen.

Von den Ansätzen der **Industrie 4.0** bietet sich zum Beispiel der **Digitale Zwilling** an, um Produkte und Prozesse möglichst vollständig virtuell bei verringertem Verbrauch von Material und Ressourcen zu entwickeln und zu verbessern. Industrielle **KI- und Machine Learning-Ansätze** (Optimierungs- und Lernverfahren, evolutionäre Algorithmen und Schwarmintelligenz) und Lösungen wie die der **Predictive Maintenance** ermöglichen eine kontinuierliche Optimierung der Produktionsprozesse und eine Vorausplanung des Ressourceneinsatzes. So können **Effizienzgewinne** erzielt und der Ressourcenverbrauch und CO₂-Emissionen gesenkt werden.²⁶³

Von den Umwelttechnologien aus dem Green Tech-Bereich können zum Beispiel **intelligente Energie- und Ressourcenmanagementsysteme** oder smarte **Verbrauchs- und Prozesssensoren** eine wichtige Rolle spielen. Bei diesen „klassischen“ Energieeffizienzinstrumenten sind viele **deutsche Unternehmen** in einer starken Position, um von einem Wachstum des Markts zu profitieren.²⁶⁴

Über **IoT-Anwendungen** wie RFID-Chips kann zudem die **digitale Nachverfolgbarkeit (Track-and-Trace)** einzelner Produkte und der in ihnen verbauten Werkstoffelemente von der Produktion bis hin zur Verwertung beziehungsweise zum Recycling am Ende des Lebenszyklus gewährleistet werden. Zusammen mit einer entsprechenden Prozesssensorik bilden diese Anwendungen eine essenzielle Grundlage für ein **effektives Nachhaltigkeitscontrolling** und die bestmögliche **Ausnutzung der gegebenen Wertstoffbasis**, indem sie zum Beispiel helfen, die CO₂-Intensität

258 | Vgl. Material Economics 2019.

259 | Vgl. Axelson et al. 2018; BASF 2019; DECHEMA 2017; Material Economics 2019.

260 | Vgl. Bauer et al. 2018; BCG/Prognos AG 2018; Material Economics 2019; VCI 2019a; 2019b; WEF et al. 2016; WEF/Atkins Acuity 2017; WEF/Ellen MacArthur Foundation 2017; Wyns et al. 2019.

261 | Vgl. DECHEMA 2017; Material Economics 2019.

262 | Vgl. Material Economics 2019.

263 | Vgl. acatech/Fraunhofer IML 2019; RNE 2016; Wilts et al. 2020; ZVEI/Wegener 2020.

264 | Vgl. BMU 2018.



einer Produktionstätigkeit in Echtzeit zu messen und gegebenenfalls steuernd einzugreifen.²⁶⁵

Bei solchen **integrierten digitalen Industrielösungen** sehen Fachleute **große Wertschöpfungspotenziale** für innovative deutsche Unternehmen aus dem Bereich Industrie 4.0, die ihre internationale **Marktposition ausbauen** und sich möglicherweise als **Leitanbieter** etablieren könnten.

G.3 Biointelligente modularisierte Produktion

Die Konzepte zur **biologischen Transformation der produzierenden Industrie** ergänzen die im vorherigen Abschnitt genannten Ansätze aus dem Bereich Industrie 4.0 und Green Tech.²⁶⁶

Ein plastisches Beispiel hierfür ist die **Produktion von Biopolymeren** für biobasierte Kunststoffe. In den Bioraffinerien könnten je nach **Bedarf** und individuellen **Kundenanforderungen** unterschiedliche **Polymertypen** hergestellt und Produktionsvolumina **flexibel angepasst** werden. Diese flexiblen und modularisierten Produktionsprozesse werden durch die **Verbindung biotechnologischer** (Verwendung biobasierter Materialien, Biokonversion durch Mikroorganismen), **digitaler** (Künstliche Intelligenz, IoT, Big Data) und **hybrider** (Biosensorik-)Verfahren ermöglicht und führen zu verkürzten Bau- und Umrüstzeiten der Produktionsanlagen.

In regionalen Wirtschaftsökosystemen, die analog zu natürlichen Systemen in **regional geschlossenen Kreisläufen** ablaufen, kann Fertigung auf mehreren, **verteilten Betriebsmitteln** nach dem **Modulprinzip** erfolgen. Mit der Produktion adaptierbarer Module lassen sich **Wertstoffkreisläufe kürzer schließen**, als dies bei ausschließlicher Wiederverwertung auf Materialebene der Fall ist.

Innovative Fertigungsverfahren beziehungsweise Verfahrenskombinationen (additiv – subtraktiv) lassen sich mit verteilten Produktionsarchitekturen leichter und flexibler umsetzen, können zu **Materialeinsparungen** führen und den Werkstoffausschuss reduzieren. Sie bieten zudem die Möglichkeit, **leichter recyclebare Materialien** einzusetzen, neue Materialverbünde herzustellen, diese auch nach Lebenszeitende wieder zu vereinzeln und so die Bauteile wiederzuverwenden oder aufzuarbeiten.²⁶⁷ Auch hoch funktionsintegrierte Produkte wie **Brennstoffzellen und Batteriesysteme** könnten so **kreislauffähiger gestaltet** werden.

Neuronale und evolutionäre Optimierungsverfahren oder Deep Learning-Ansätze können auf solche flexiblen Produktionsarchitekturen angewendet werden, um eine möglichst **effiziente und ressourcenschonende Herstellung** von Produkten zu erreichen.

Die **Produktionskapazitäten** können dezentral in der Nähe von Biomassequellen errichtet, an **regionale Gegebenheiten** und Bedürfnisse angepasst und je nach **Bedarf skaliert** werden. Eine solche Produktionsorganisation kann zu **Nachhaltigkeit und Resilienz** in der Kunststoffindustrie gleichermaßen beitragen, zum Beispiel auch durch eine Reduktion des Transportbedarfs und größere Unabhängigkeit von komplexen Lieferketten.

„Es gibt große Synergien zwischen den Zielen des Green Deal und der Erhöhung der Resilienz in unseren Wertschöpfungsnetzwerken, die mit den Prinzipien der biologischen Transformation erschlossen werden können.“

Mit den beschriebenen Ansätzen der biointelligenten Wertschöpfung wäre es auch denkbar, **modularisierte Produktionskapazitäten** in einem **As-a-Service-Modell** aufzubauen. Intelligent gesteuerte und vernetzte Produktionssysteme könnten von einer Drittpartei so aufgebaut werden, dass sich Unternehmen je nach Bedarf ein für sie passendes Anlagenvolumen zeitlich begrenzt anmieten können. Mithilfe von KI könnte die ideale Anlagenbelegung berechnet und umgesetzt werden. Die **Modularisierung** der Produktionselemente trägt dazu bei, dass **Produktionsinhalte schnell geändert** werden können.

Hiervon könnten insbesondere auch **KMU und Start-ups profitieren**, die moderne, effiziente und auf ihre Bedürfnisse anpassbare **Produktionsarchitekturen nutzen** können, **ohne selbst direkt große Infrastrukturinvestitionen finanzieren und ungenutzte Produktionskapazitäten** vorhalten zu müssen.

Aufgrund der hohen **Auslastungsoptimierung** könnten in einem solchen Geschäftsmodell zusätzlich Rohstoffe und Emissionen eingespart werden.

Industrielle Symbiose

Bei industriellen Fertigungsprozessen fallen oft **Abfallprodukte** an (Materialabfälle, Emissionen, Wärme, Wasser), die an anderen

265 | Vgl. UBA 2019a.

266 | Vgl. Fraunhofer-Gesellschaft 2018; 2019.

267 | Vgl. acatech et al. 2019.

Stellen wieder als **Ausgangsstoffe** für **industrielle Prozesse** genutzt werden können. Auch innerhalb von Netzwerken industrieller Prozesse bieten sich daher Möglichkeiten, **Kreisläufe zu schließen**, wodurch die **Ressourceneffizienz** der Produktion weiter erhöht und der **Rohstoffbedarf** und die **Abhängigkeit von globalen Lieferketten** gesenkt würden. Ansätze der industriellen Symbiose sind zudem ein **zentrales Element der Bioökonomie**.²⁶⁸

BASF macht sich dieses Prinzip in seinen großen **Verbundfabriken** innerhalb des Konzerns zunutze. Doch es besteht auch die Möglichkeit, dass sich verschiedene **Unternehmen und Institutionen** zusammenschließen, um gemeinsame **Abfall-/Wertstoffströme zum gegenseitigen Vorteil** zu gestalten. Beispiele hierfür sind der Industriekomplex Kalundborg in Dänemark (siehe Abbildung 20) oder auch der auf industrielle Bioökonomie ausgelegte Bio-raffinerie-Komplex Pomacle-Bazancourt in Frankreich.²⁶⁹

Ein Projekt der EU hat die Potenziale solcher **symbiotischer Industrieparks** analysiert und kommt zu dem Schluss, dass durch eine großflächige Verwendung des Prinzips der industriellen Symbiose bis zu **zehn Prozent der Treibhausgasemissionen** in industriellen Produktionsprozessen eingespart werden können.²⁷⁰ Für die **Kunststoffproduktion** könnte es sich zum Beispiel anbieten, **enger mit Papiermühlen** zusammenzuarbeiten, um organische Abfälle zur Generierung von **biobasiertem Primärrohstoff** zu nutzen.²⁷¹

Eine Herausforderung bei solchen Projekten ist es, die nötige **Balance** zwischen **größtmöglicher Synergie** zwischen den einzelnen Partnern und einem nötigen Maß an **Diversifizierung der Rohstoffquellen** zu finden. Probleme bei einem der Partner sollten nicht direkt zu einem kompletten Erliegen der Produktion bei einem anderen Partner führen.

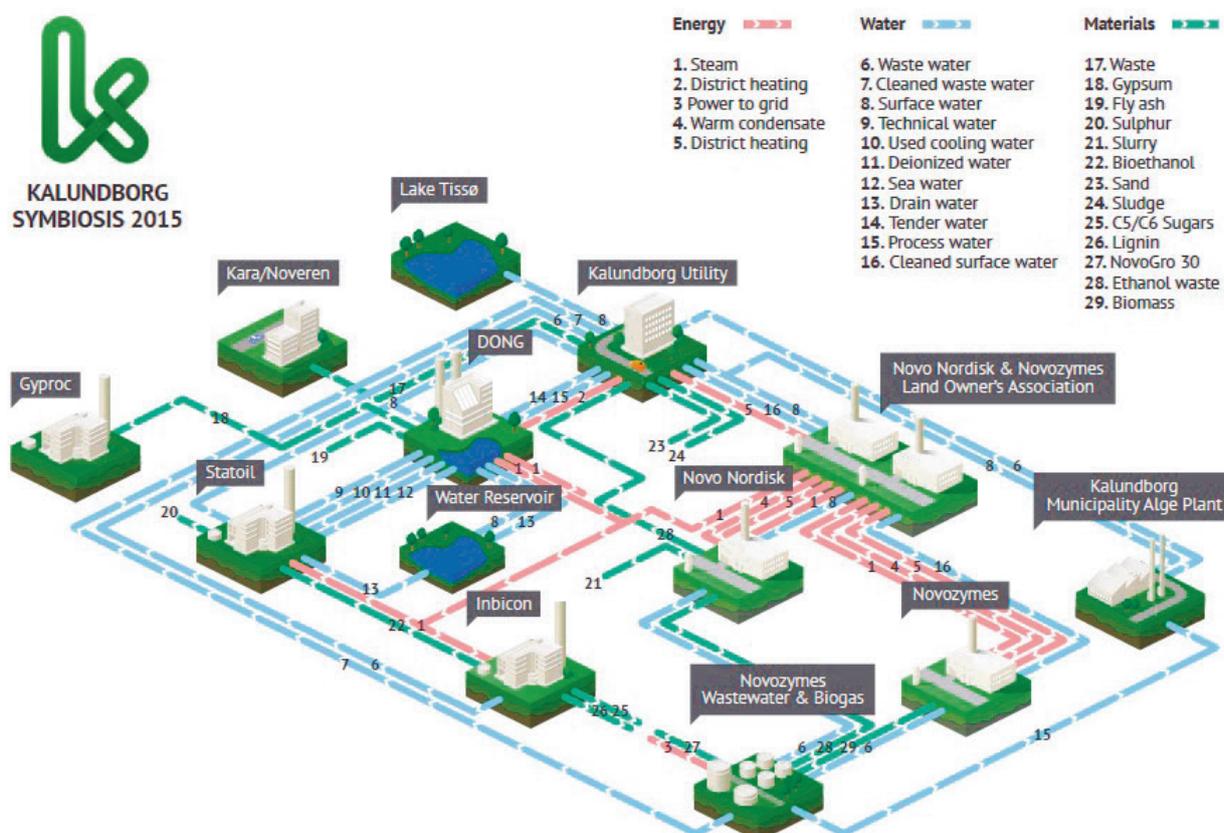


Abbildung 20: Beispiel der industriellen Symbiose im Industriepark in Kalundborg, Dänemark (Quelle: Kalundborg Symbiosis 2020)

268 | Vgl. BMBF/BMEL 2020.

269 | Vgl. EU-KOM 2020c; OECD 2018.

270 | Vgl. EU-KOM 2020c.

271 | Vgl. Material Economics 2019.



Forschung, Entwicklung und Transfer

Um Konzepte der biointelligenten Wertschöpfung und industriellen Symbiose in die industrielle Anwendung zu bringen, gibt es noch **große Forschungs- und Entwicklungsbedarfe**. Kernforschungsgebiete hierfür sind zum einen **präzisere (Bio-) Sensoren** und zum anderen die verbesserte Nutzung von **Big Data und Künstlicher Intelligenz**, um Produktionsprozesse genauer **planen, abstimmen und steuern** zu können.

Die **Nationale Bioökonomiestrategie** adressiert diese Potenziale an der Schnittstelle zwischen digitaler und biologischer Transformation bereits.²⁷² Fachleute erhoffen sich von der geplanten Agenda „Von der Biologie zur Innovation“ zudem einen weiteren Antrieb für das Feld.

Zwei **Beispiele** für Forschungsprojekte, die an der Entwicklung solcher Ansätze arbeiten, sind SWAP, bei dem eine **auslastungsoptimierte, schwarmbasierte Produktion** aufgebaut wird, und EVOLOPRO, bei dem mit von **Evolutionsprozessen inspirierten Algorithmen** Produktoptimierungen am Digitalen Zwilling vorgenommen werden.²⁷³

Um diese Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zu realisieren, müssen **Forscherinnen und Forscher aus unterschiedlichen Disziplinen** zusammengebracht werden, zum Beispiel Biotechnologie, Materialwissenschaft, Informatik und Maschinenbau. Fachleute sehen für solche **transdisziplinären Ansätze noch deutliche Lücken in der Förderungslandschaft**, sowohl auf europäischer als auch auf deutscher Ebene, was vor allem an den oft eng in Disziplingrenzen verhafteten Evaluationskomitees liegt.

*„Das Denken darf nicht an der Disziplingrenze enden.
Wir brauchen ganzheitliche Ansätze.“*

Darüber hinaus müssen nicht nur Forscherinnen und Forscher über Disziplingrenzen hinweg vernetzt werden. Es müssen auch die **verschiedenen Akteure** der Wertschöpfungsnetzwerke zusammengebracht werden, um den gemeinsamen **Interessenaustausch**

zu ermöglichen, **gegenseitiges Vertrauen** aufzubauen und groß angelegte **Projekte mit hoher Sichtbarkeit** zu identifizieren. Dies könnte zum Beispiel in **Verbundforschungsprojekten oder Real-laboren** erfolgen.

G.4 Carbon Capture and Utilization/Carbon Capture and Storage

Überall dort, wo in **größerem Umfang CO₂ emittiert** wird, kann der Einsatz von **CCU/CCS eine Option** sein, um direkte Emissionen zu vermeiden (siehe auch Anhang B).²⁷⁴ Dies trifft auch auf die Kunststoffproduktion zu, wobei hier die Emissionen an **verschiedenen Stellen der Wertschöpfungskette** anfallen, was den Wirkungsgrad verringert beziehungsweise dazu führt, dass **viele Einzelanlagen** gebaut werden müssten.

Der Prozessschritt, für den Fachleute noch das größte Potenzial sehen, ist das Cracking. Bislang gibt es allerdings **noch keine Versuche**, CCU/CCS bei **Steamcrackern** im großen Maßstab anzuwenden. Prinzipiell sollte dies aber mit weiterer Entwicklungsarbeit **technisch möglich** sein. Die **Nachhaltigkeit** des Ansatzes hängt vor allem mit der **Art der Nutzung** des gewonnenen CO₂ zusammen. Wird aus dem CO₂ Brennstoff hergestellt, werden die **Emissionen nur verzögert**. Wird das CO₂ beispielsweise mithilfe von grünem Wasserstoff zu **Plattformausgangsstoffen** für die Kunststoffproduktion (etwa Methanol) umgewandelt, hat dies eine **positivere Gesamtbilanz**.²⁷⁵

Die Installation von **großformatigen CCU/CCS-Anlagen** in der Kunststoffindustrie würde zudem **hohe Investitionen** erfordern und steht damit in **Konkurrenz zu anderen Ansätzen**, die ebenfalls erheblichen Kapitaleinsatz erfordern, wie die Elektrifizierung der Cracker. Sollte tatsächlich eine Umstellung auf **elektrifizierte Produktionsverfahren** erfolgen, wäre die Nutzung von **CCU/CCS außerdem hinfällig**, da dann bei der Produktion keine direkten Emissionen mehr anfielen.

Trotz dieser Gegenargumente gehen einige Modellrechnungen in **einzelnen Szenarien** davon aus, dass CCU/CCS zur Erreichung der **Klimaneutralität** in der Kunststoffindustrie bis 2050 einen **Beitrag leisten** wird.²⁷⁶

272 | Vgl. BMBF/BMEL 2020.

273 | Vgl. Fraunhofer-Gesellschaft et al. 2020; Fraunhofer IPT 2019.

274 | Vgl. acatech 2018.

275 | Vgl. Material Economics 2019.

276 | Vgl. ebd.

Anhang H: Nutzungsdauer und Ressourcenproduktivität erhöhen – Kunststoffe wiederverwenden

Kurze Nutzungszyklen und Einwegprodukte führen in vielen Bereichen zu einer negativen Nachhaltigkeitsbilanz von Kunststoffen. Geschäftsmodelle, die eine Wiederverwendung von Kunststoffprodukten ermöglichen, Mehrwegsysteme vor allem im Verpackungsbereich oder auch digitale Produktpässe können einen positiven Nachhaltigkeitseffekt erzielen. Konsumentinnen und Konsumenten können durch ihr Verhalten und ihre Kaufentscheidungen ebenfalls einen wichtigen Beitrag leisten.

Bei Kunststoffen bieten sich zahlreiche Optionen an, durch **Veränderung der Nutzungsgewohnheiten und Geschäftsmodelle** sowie durch Ausweichen auf **Alternativen** den **Bedarf** und somit auch indirekt schädliche **Emissionen zu senken**.

Diese Optionen sollten erschlossen werden, auch wenn im Vergleich zu anderen Bereichen bei Kunststoffen nur **relativ geringe Treibhausgasemissionen direkt durch die Nutzung** anfallen. Auch andere negative Umwelteffekte sind eher auf das Ende des Lebenszyklus fokussiert, falls Kunststoffe unsachgemäß entsorgt und nicht dem Recycling zugeführt werden.

H.1 Produktmodularisierung und As-a-Service-Geschäftsmodelle

Ein Kernelement der **Circular Economy** ist es, Produkte durch **Wiederverwendung, Reparaturen und Weiterverarbeitung** möglichst lange in Benutzung zu halten, bevor sie dem Recycling zugeführt werden.²⁷⁷ Durch das vermehrte Verbauen **robuster und standardisierter Kunststoffbauteile als Module** in komplexen Produkten kann deren **Reparierbarkeit und Wiederverwendbarkeit erhöht** werden.

„Wenn das Produkt nicht auf Reparierbarkeit oder Wiederverwendung ausgelegt ist, kann der Konsument da gar nichts machen.“

Ein Beispiel, um mit **digitalen Ansätzen** die Zahl der Produkte zu erhöhen, die repariert werden können, ist eine **Onlineplattform**, bei der für verschiedene Produkte **Reparaturanleitungen** hinterlegt sind. Zudem nutzt das Angebot **Augmented Reality-Anwendungen**, um der Anwenderin oder dem Anwender die Reparaturschritte durch Überlagerung auf das physische Objekt zu zeigen.²⁷⁸

Eine weitere Idee, die auch von mehreren Expertinnen und Experten unterstützt wird, sind **digitale Produktpässe**, in denen die genaue Zusammensetzung eines Produkts vermerkt ist. Solche Produktpässe hätten mehrere **Vorteile**:

- Sie würden die **Nachverfolgung von Wertstoffströmen** und dadurch den Handel und die Weiterverarbeitung vereinfachen,
- sie würden durch genaue Informationen über einzelne Bestandteile mögliche **Reparaturen** erleichtern,
- sie könnten durch das Ersetzen physischer Datenblätter den **Informationsaustausch** vereinfachen und den **Papierverbrauch reduzieren**,
- sie könnten je nach hinterlegten Daten auch **Auskunft über Nachhaltigkeitsaspekte** des Produkts (Rohstoffverbrauch, CO₂-Fußabdruck) geben,
- sie könnten das Zuführen des Produkts in **geeignete Recyclingprozesse** ermöglichen.

Allerdings weisen Fachleute auch darauf hin, dass hierfür gegebenenfalls **sensible Unternehmensdaten** zugänglich gemacht und daher **alle Akteure des Ökosystems** in die Entwicklung von Lösungen eingebunden werden müssten.

As-a-Service-Geschäftsmodelle werden für andere Bereiche der Chemiebranche bereits ausprobiert (beispielsweise in Form von **„Chemikalienleasing“** bei Lösungs- oder Desinfektionsmitteln).²⁷⁹

Auch im **Kunststoffbereich** sind As-a-Service-Modelle denkbar, zum Beispiel bei **Verpackung und Logistik**. Anstelle der Kunststoffverpackung könnte ein Unternehmen die Dienstleistung „sichere Ankunft des Produkts in definiertem Zustand“ anbieten. Dadurch würde die **Wertschöpfung vom Volumenumsatz** der Verpackungen **entkoppelt**, und das Unternehmen hätte ökonomische Anreize, Verpackungen möglichst wiederzuverwenden und den **Materialeinsatz zu minimieren**. Gleichzeitig könnten die Kundinnen und Kunden von der Expertise des Anbieters über den effektivsten Einsatz der Verpackungen profitieren.

277 | Vgl. BCG 2019a, Ellen MacArthur Foundation et al. 2015; Ellen MacArthur Foundation 2019a; RNE et al. 2017; wbcSD/BCG 2018.

278 | Vgl. EPC 2020.

279 | Vgl. Kümmerer et al. 2020; Schülke & Mayr GmbH 2012.



H.2 Mehrwegverpackungen und Pfandsysteme

Eine Möglichkeit, die Nutzung von Kunststoffen nachhaltiger zu gestalten, ist es, einen größeren Teil von Kunststoffprodukten **mehrfach zu verwenden**. Insbesondere **Verpackungen** landen heute häufig nach nur **einmaliger Benutzung** bereits im Abfall. **Mehrwegprodukte und Pfandsysteme** bieten hier Optionen, den **Kunststoffbedarf zu reduzieren** – eine erfolgreiche Abstimmung der Beteiligten eines Wertschöpfungsnetzwerks vorausgesetzt. Allerdings gibt es hierfür derzeit **kaum wirtschaftliche Anreize**.

Vielversprechend ist der Einsatz von Mehrwegprodukten vor allem im **B2B-Bereich**, da hier eine Nachverfolgung einfacher umsetzbar ist, **Geschäftsmodelle leichter skaliert** werden können und **weniger kleinteilig** sein müssen. So könnten im Logistikbereich in vielen Fällen standardisierte, wiederverwendbare Verpackungen eingesetzt werden. Eine Verknüpfung mit **IoT-Elementen** wie RFID-Chips oder Sensoren ermöglicht nicht nur eine **einfachere Rücknahmelogistik**, sondern auch eine **Erweiterung der Geschäftsmodelle** oder eine **Prozessoptimierung** durch zusätzliche Funktionen der Verpackungen.²⁸⁰

Doch auch im **Konsumentenbereich** gibt es eine wachsende Zahl an Beispielen für Geschäftsmodelle, die auf **wiederverwendbare/wiederauffüllbare Verpackungen** setzen, etwa für Reinigungs- oder Pflegeprodukte oder bei Essenslieferdiensten.²⁸¹ Hier könnten beispielsweise auch **Pfandsysteme** eine Möglichkeit darstellen, wie sie etwa bei Getränkeverpackungen bereits zur Anwendung kommen.²⁸² Allerdings geben einige Befragte zu bedenken, dass, um einen ausreichenden Verbreitungsgrad und das nötige Level an Systemeffizienz zu erreichen, **nicht zu viele parallele Strukturen** aufgebaut werden sollten.

H.3 Konsumentenverhalten

Konsumentinnen und Konsumenten können durch ihr **Verhalten** ebenfalls Einfluss auf die Nutzung von und den Bedarf an Kunststoffen nehmen. Eine **verstärkte Nachfrage** nach Produkten aus **recyceltem Kunststoff** kann der Industrie Anreize geben, einen höheren Anteil an Sekundärrohstoffen zu verwenden. Ob sich **Mehrwegprodukte** durchsetzen, hängt ebenfalls zum Teil von der Nachfrage ab. Gleichzeitig ist die **Industrie** selbst ebenfalls gefragt, von sich aus das **Angebot zu erhöhen**.

Um Konsumentinnen und Konsumenten dabei zu unterstützen, **nachhaltige Kaufentscheidungen** zu treffen, können **Labels**, die Auskunft über Nachhaltigkeitsaspekte eines Produkts wie zum Beispiel Recyclingfähigkeit, Rohstoffverbrauch oder CO₂-Fußabdruck geben, verwendet werden. Fachleute geben allerdings zu bedenken, dass eine **Vielzahl an Labels** die Verbraucherinnen und Verbraucher eher **verwirrt**.

Das größte Potenzial sehen sie darin, ein einziges, **einheitliches und leicht verständliches** Label (aggregierter „Nachhaltigkeitsscore“ mit einem einzigen Wert) einzuführen. Zusätzliche Detailinformationen könnten dann digital abgerufen werden.

„Wir müssen die Wettbewerbsnachteile für nachhaltige Kunststoffprodukte ausgleichen. Am Ende entscheidet selbst beim gut informierten Kunden doch meistens der Preis – egal ob im B2B- oder im B2C-Bereich.“

Gleichzeitig geben die Befragten zu bedenken, dass für den **größten Teil der Bevölkerung** weiterhin der **Preis** das **entscheidende Kriterium** bleiben wird und daher ein **größerer Hebel** darin liegt, bei weniger nachhaltigen Produkten die externalisierten **Umweltkosten im Preis** abzubilden.

H.4 Alternativen zu Kunststoffprodukten

Neben der **Reduktion des Kunststoffverbrauchs**, der verstärkten **Wiederbenutzung** von Produkten und einem effektiven **Recycling** ist das **Ersetzen von Kunststoffprodukten** durch Alternativen aus nachhaltigeren Materialien eine weitere Option, um Nachhaltigkeitsziele zu erreichen.

Hierzu bieten sich in einigen Bereichen, etwa bei bestimmten Verpackungen, zum Beispiel **Produkte aus erneuerbaren Rohstoffen auf Faserbasis** oder Papier an. Besondere Relevanz sollten Alternativen vor allem für solche Kunststoffprodukte haben, die besonders **schwierig oder überhaupt nicht recycelt** werden können.²⁸³

Leitprinzip für eine Bewertung der Nachhaltigkeit eines Produkts sollte stets der **ganze Lebenszyklus** von den Rohstoffen bis hin zu Wiederverwendung und Recycling unter realistischen Bedingungen sein. Ob dabei Produkte aus Kunststoffen oder Alternativen besser abschneiden, sollte **technologieoffen** bewertet werden.

280 | Vgl. Ellen MacArthur Foundation 2019b; EPC 2020.

281 | Vgl. Ellen MacArthur Foundation 2019b.

282 | Vgl. PwC 2011.

283 | Vgl. Bioökonomierat 2017; Fraunhofer-Gesellschaft 2018; WEF et al. 2016; WEF/Ellen MacArthur Foundation 2017.

Anhang I: Kreisläufe schließen – Recycling von Kunststoffen ausbauen

Eine Steigerung der Recyclingquoten und eine Verwendung von Kunststoffrezyklaten auch in hochwertigen Produkten sind zentrale Hebel, um Kunststoffwertschöpfungsnetzwerke nachhaltiger zu gestalten. Um das Recyclingsystem zu optimieren, muss das mechanische Recycling stärker genutzt und weiterentwickelt und durch innovative Verfahren wie das chemische Recycling ergänzt werden. Hierfür bedarf es Rahmenbedingungen vonseiten der Politik, die Marktbarrieren für Rezyklate abbauen, die Nachfrage stärken, sich an Lebenszyklusanalysen orientieren und Anreize für eine energetische Verwertung vermeiden.

Um bereits gesetzte und gegebenenfalls noch ehrgeizigere Ziele beim Recycling von Kunststoffen zu erreichen, muss die Anwendung intelligenter Kombinationen verschiedener Recyclingmethoden durch einen geeigneten Regulierungsrahmen gefördert werden.²⁸⁴

Optionen für das Recycling von Kunststoffen

Abbildung 21 bietet eine Übersicht über die Wertschöpfungskette in der Kunststoffindustrie am Beispiel der Verpackungsherstellung. Sie zeigt, auf welcher Ebene verschiedene Recyclingoptionen ansetzen.²⁸⁵

Kunststoffe aus recycelten Materialien haben im Vergleich zu Kunststoffen aus Primärrohstoffen eine deutlich bessere CO₂-Bilanz und einen geringeren Ressourcenverbrauch (siehe auch Abbildung 22).²⁸⁶ Studien gehen davon aus, dass allein durch die drastische Erhöhung der effektiven Recyclingquote im Kunststoffsektor im Jahr 2050 bis zu 50 Prozent der dort anfallenden CO₂-Emissionen eingespart werden könnten.²⁸⁷

Das Schließen von Wertstoffkreisläufen im Sinne der Circular Economy ist ein zentrales Anliegen der EU. Demzufolge sieht auch der Circular Economy Action Plan der EU als Kernelement ein verstärktes Recycling unter anderem von Kunststoffen vor.²⁸⁸ Auch die Bundesregierung hat durch das neue Verpackungsgesetz höhere Recyclingquoten vorgeschrieben, zum Beispiel 65 Prozent bei Kunststoffverpackungen (ab 2022 70 Prozent).²⁸⁹

Im Jahr 2018 wurden in der EU immerhin bereits 32,5 Prozent der Kunststoffabfälle dem Recycling zugeführt (allerdings wurden nur 81 Prozent hiervon innerhalb der EU recycelt, der Rest wurde exportiert), und das Recyclingvolumen hat sich zwischen 2006 und 2018 verdoppelt.²⁹⁰ Dennoch lag der Anteil recycelter Rohstoffe am Gesamtinput für die Kunststoffherstellung in der EU im Jahr 2016 immer noch bei unter zehn Prozent.²⁹¹

Die Differenz zwischen den beiden Werten liegt an Prozess- und Qualitätsverlusten beim Recycling und daran, dass ein Teil der Kunststoffe in langlebigeren Produkten verbaut wird und dass ein weiterer Teil gar nicht oder in die falschen Abfallströme entsorgt wird.²⁹²

1.1 Mechanisches Recycling

Die vermutlich bekannteste und zurzeit einzige im kommerziellen Maßstab genutzte Form des Recyclings ist das mechanische Recycling. Hierfür werden die Abfallströme sortiert und der möglichst sortenreine Abfall dann mechanisch zerkleinert.

Im Fall von Kunststoff wird dieser dann anschließend zu Kunststoffgranulat weiterverarbeitet, das wiederum in der kunststoffverwertenden Industrie, zum Beispiel zur erneuten Herstellung von Verpackungen, verwendet werden kann (siehe Abbildung 21).²⁹³ Die Nutzung dieser Granulate in der Kunststoffproduktion hat eine sehr vorteilhafte CO₂-Bilanz gegenüber Kunststoffen aus Primärrohstoffen (siehe Abbildung 22).²⁹⁴

284 | Vgl. BCG 2019a; Material Economics 2018b; 2019; WEF et al. 2016; Wynn et al. 2019.

285 | Vgl. EU-KOM 2019b; WEF 2016; WEF/Ellen MacArthur Foundation 2017.

286 | Vgl. Material Economics 2018b.

287 | Vgl. Material Economics 2018b; 2019.

288 | Vgl. EU-KOM 2020f.

289 | Vgl. BReg 2019b.

290 | Vgl. PlasticsEurope 2019a.

291 | Vgl. Material Economics 2019.

292 | Vgl. Material Economics 2018a; 2018b; 2019; PlasticsEurope 2019b.

293 | Vgl. EU-KOM 2019b; WEF et al. 2016; WEF/Ellen MacArthur Foundation 2017.

294 | Vgl. Material Economics 2018b; 2019.



Herausforderungen beim mechanischen Recycling

Der **Wirkungsgrad** des mechanischen Recyclings ist von der **Produktzusammensetzung** beziehungsweise dem **Produktdesign** (siehe auch Anhang E.1) sowie der **Sortierung und Aufreinigung** der eingebrachten Abfälle abhängig. Insbesondere der Trend zu immer **komplexeren, spezialisierten Verbundkunststoffen** ist daher dem **mechanischen Recycling nicht zuträglich**, da es unmöglich wird, diese für das Recycling in einzelne, sortenreine Bestandteile aufzutrennen.

Auch **Additive** und bestimmte **Farbstoffe** oder starke **Verunreinigungen** können dafür sorgen, dass bestimmte Kunststoffe in Recyclinganlagen nicht erkannt und somit auch nicht recycelt werden oder zumindest die **Rezyklatqualität darunter leidet**. Letzteres gilt auch für die oft grobe maschinelle Behandlung der Rezyklate im Recyclingprozess und für das wiederholte mechanische Recycling, bei dem die Polymerstruktur auf Dauer beeinträchtigt wird.

Die **Recyclingfähigkeit** unterscheidet sich stark zwischen verschiedenen Kunststoffen und deren Anwendungsbereich. Der Kunststoff, für den die **besten Quoten** durch mechanisches Recycling erreicht werden, ist **PET**. Hier betragen die Recyclingquoten in Deutschland teilweise bereits über 80 Prozent, weil es leicht als recycelbarer Kunststoff erkennbar ist, oft in relativ **reiner Form verwendet** wird, in **großen Mengen** vorkommt und in Anwendungen eingesetzt wird, bei denen nur wenige Verunreinigungen in den Kunststoff gelangen (etwa Getränkeflaschen). In Deutschland leistet hierzu das Einwegpfand für PET-Flaschen einen wesentlichen Beitrag (Recyclingquote für diese Produkte bei über 95 Prozent).²⁹⁵

Bei Spezialkunststoffen oder Kunststoffen, die üblicherweise nicht getrennt gesammelt werden (zum Beispiel Fast Food-Verpackungen aus Polystyrolen), sind die **Abfallströme zu klein** und zu **verunreinigt**, sodass sich mechanisches Recycling nicht lohnt. Sollten sich für das Recycling dieser Kunststoffe **keine technologischen Lösungen** finden lassen, sollte man aus Nachhaltigkeitsgesichtspunkten über **alternative Materialien** nachdenken.²⁹⁶

Bei einem großen Anteil des Kunststoffs im mechanischen Recycling kommt es zu einem **Downcycling**, das heißt, das Rezyklat kommt bei vergleichsweise „**minderwertigeren**“ **Kunststoffen und Produkten** zum Einsatz, etwa in Blumentöpfen oder Parkbänken (siehe auch Abbildung 21).²⁹⁷ Da hierbei zum Teil auch **alternative Materialien** zur Verfügung stehen, die nicht aus begrenzten fossilen Energieträgern hergestellt werden, sehen viele Fachleute diese Form des Recyclings **unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten kritisch**.

Einzelne **große (Handels-)Unternehmen** wie die Schwarz Gruppe haben begonnen, die verschiedenen Elemente der **Wertschöpfungskette für das Recycling** von Verpackungen (inklusive Abfallentsorger und Recycler) zu **integrieren**. Ihre Hoffnung ist, auf diese Weise einige der Herausforderungen, zum Beispiel die **schlechte Qualität** der verfügbaren Rezyklate oder die **mangelnde Abstimmung** zwischen den einzelnen Gliedern der Wertschöpfungskette, **besser lösen** zu können.²⁹⁸

Entwicklungspotenziale des mechanischen Recyclings

Fachleuten zufolge gibt es beim mechanischen Recycling noch großes ungenutztes Potenzial, durch bereits **existierende und einsatzbereite Technologien** sowohl den Wirkungsgrad als auch die Rezyklatqualität deutlich zu erhöhen. Allerdings **lohnten** sich die nötigen **hohen Investitionen** unter den derzeitigen Rahmenbedingungen **nicht**.

„Beim mechanischen Recycling gibt es noch viel Luft nach oben, aber Investitionen in Innovationen lohnen sich zurzeit einfach nicht.“

Darüber hinaus sehen sie aber auch noch große **Innovationspotenziale** zur Verbesserung der **Qualität** und des **Volumendurchsatzes**, die durch **Forschungs- und Entwicklungsarbeit** erreicht werden könnten: **Genauere Sensoren** können die Identifikation und Sortierung der Abfallströme verbessern, oder **modularisierte und effizientere Prozesse** können das Recyceln kleinerer Wertstoffströme rentabel machen.²⁹⁹ Verbesserungen in der **Sortierung** können sich auch durch den verstärkten

295 | Vgl. PwC 2011; UBA 2019c.

296 | Vgl. WEF et al. 2016.

297 | Vgl. WEF et al. 2016; WEF/Ellen MacArthur Foundation 2017.

298 | Vgl. Handelsblatt 2019a.

299 | Vgl. Material Economics 2019.

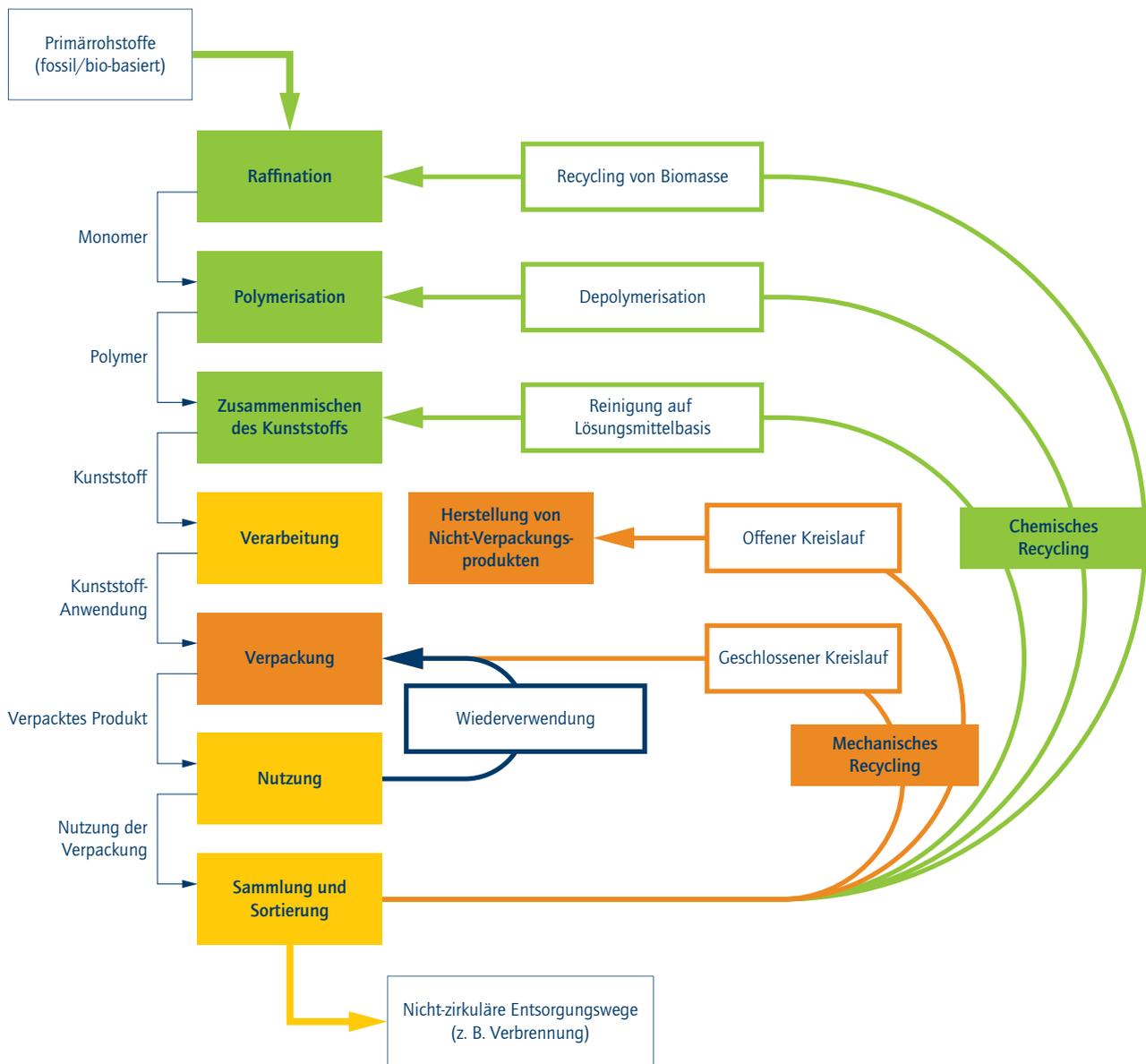


Abbildung 21: Kunststoffwertschöpfungskette und Recyclingpfade für Verpackungen (Quelle: eigene Darstellung basierend auf EU-KOM 2019d; WEF et al. 2016)

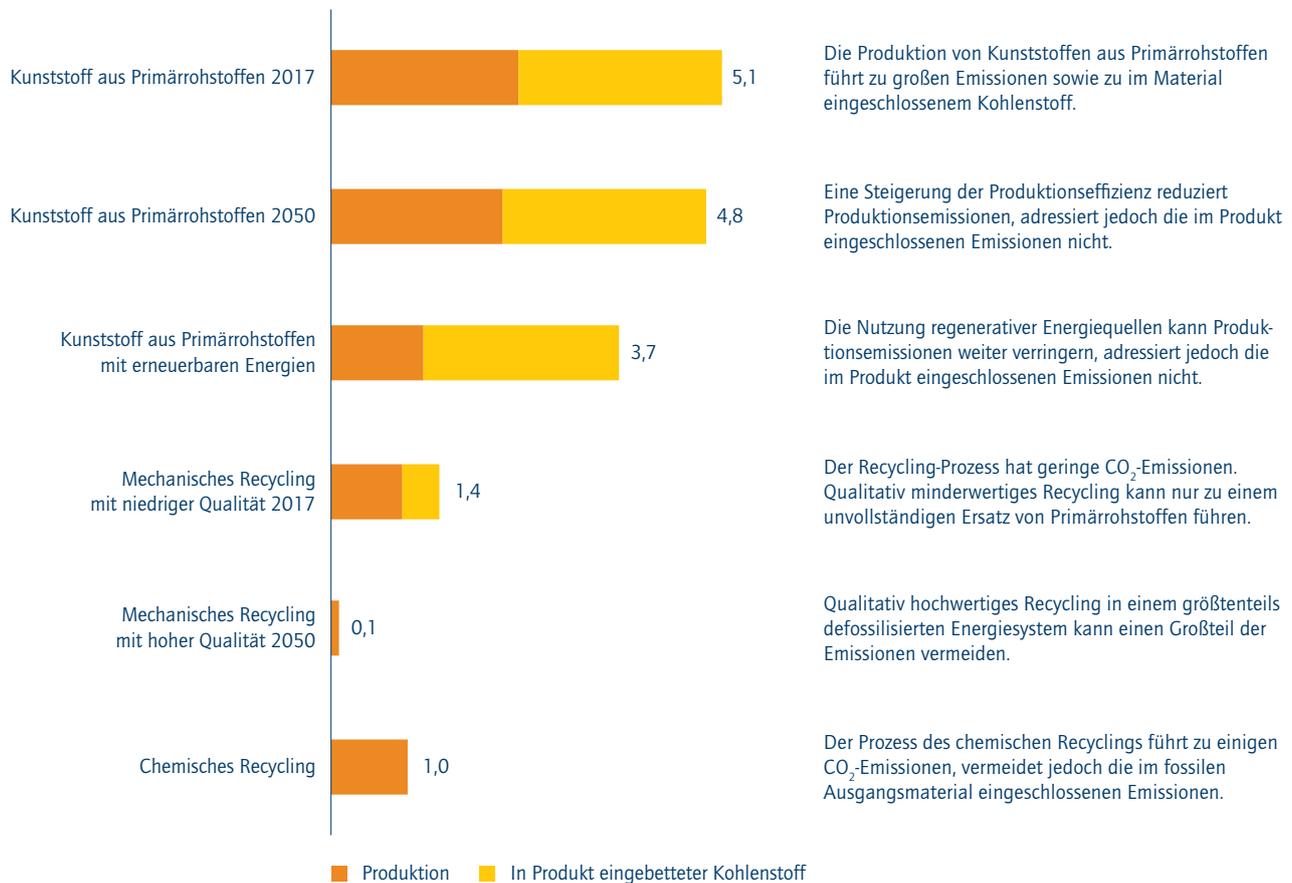
Einsatz von **Machine Learning** oder **KI** in Recyclinganlagen erreichen lassen.³⁰⁰

Sollten sich die Rahmenbedingungen ändern, sodass die **Nachfrage** nach hochwertigen Kunststoffzyklen **anstiegt**, entstehen Anreize, in moderne Recycling- und Sortieranlagen zu investieren. Unter diesen Umständen sähen Fachleute für

innovative deutsche Unternehmen im **Maschinen- und Anlagenbau große Marktpotenziale**.

Aufgrund des prognostizierten **Anstiegs der weltweiten Plastikproduktion** bei paralleler **Orientierung an Nachhaltigkeitszielen** könnte dies auch **Chancen für den Export** solcher Technologien oder auch vollumfänglicher Recyclinglösungen als Dienstleistung eröffnen. Somit könnte die **starke Position deutscher Green**

300 | Vgl. Wilts et al. 2020.



Die Produktion von Kunststoffen aus Primärrohstoffen führt zu großen Emissionen sowie zu im Material eingeschlossenem Kohlenstoff.

Eine Steigerung der Produktionseffizienz reduziert Produktionsemissionen, adressiert jedoch die im Produkt eingeschlossenen Emissionen nicht.

Die Nutzung regenerativer Energiequellen kann Produktionsemissionen weiter verringern, adressiert jedoch die im Produkt eingeschlossenen Emissionen nicht.

Der Recycling-Prozess hat geringe CO₂-Emissionen. Qualitativ minderwertiges Recycling kann nur zu einem unvollständigen Ersatz von Primärrohstoffen führen.

Qualitativ hochwertiges Recycling in einem größtenteils defossilisierten Energiesystem kann einen Großteil der Emissionen vermeiden.

Der Prozess des chemischen Recyclings führt zu einigen CO₂-Emissionen, vermeidet jedoch die im fossilen Ausgangsmaterial eingeschlossenen Emissionen.

Abbildung 22: CO₂-Emissionen bei verschiedenen Pfaden der Kunststoffherstellung (Quelle: eigene Darstellung basierend auf Material Economics 2018a)

Tech-Unternehmen im Bereich Kreislauf- und Abfallwirtschaft auf dem Weltmarkt weiter ausgebaut werden.³⁰¹

Neben Verbesserungen der eigentlichen Recyclingprozesse können auch auf **Recyclingfähigkeit ausgelegte Designentscheidungen** (siehe auch Anhang E.1) ein wichtiger Faktor für **höhere Wirkungsgrade** beim mechanischen Recycling sein. Zudem können auch eine **genauere Vorsortierung** der Abfallströme durch optimierte **Sammelinfrastrukturen** oder andere **Prozessverbesserungen** sowie durch **gewissenhaftere Mülltrennung** seitens der Bürgerinnen und Bürger eine Rolle spielen. Hierbei gilt es allerdings zu beachten, dass nach Meinung einiger Expertinnen und Experten eine zu **kleinteilige Auftrennung der Abfallströme** aufgrund der Anforderungen an die Logistik und steigender Komplexität wiederum **kontraproduktiv** sein kann.

Alternativ zu technologischen Lösungen ist auch der verstärkte Einsatz **manueller Sortierung** zumindest eine theoretische

Option, **Reinheitsgrade** zu erhöhen und **Arbeitsplätze** auch auf **niedrigen Qualifizierungsniveaus** zu schaffen. Allerdings dürfte dies in Ländern mit **hohen Lohnkosten** wie Deutschland auch perspektivisch ohne eine tiefgreifende Veränderung des Steuersystems **nicht wirtschaftlich** sein.

Fachleute bewerten die Möglichkeit des **Transports** der Abfälle zur Weiterverwertung **in Länder mit niedrigeren Lohnkosten** innerhalb der EU oder ins nahe Nicht-EU-Ausland uneinheitlich.

Die aktuelle Gesetzeslage setzt dem grenzübergreifenden Handel mit Abfällen enge Grenzen. Einige Fachleute sehen dies kritisch und weisen darauf hin, dass sich bei globalen Wertschöpfungsnetzwerken **Kreisläufe auch nur global schließen** lassen und dass im Recycling und in der Wiederaufbereitung insbesondere von komplexen Produkten auch große **wirtschaftliche Potenziale** für die Empfängerländer liegen.

301 | Vgl. BMU 2018.

Andere Expertinnen und Experten betonen die oft **nicht vorhandene Infrastruktur** und die großen Herausforderungen – insbesondere in Ländern außerhalb der EU – sowie ihre Absicht, zu überprüfen, ob **ökologische und soziale Standards** eingehalten werden. Zudem verweisen sie auf die großen Mengen Kunststoffabfall, der nach dem Export in die Umwelt gelangt. Eine aus der Gesamtschau von ökologischen, ökonomischen und sozialen Gesichtspunkten **positive Nachhaltigkeitsbilanz** sei unter den derzeitigen Rahmenbedingungen eher **unwahrscheinlich**.

Für **Kunststoffabfälle** dürfte die **Nachhaltigkeitsbilanz** bei einem Transport über größere Distanzen höchstwahrscheinlich **negativ** ausfallen, selbst wenn eine deutliche Steigerung des Wirkungsgrads des Recyclings durch einen vermehrten Einsatz manueller Sortierung erreicht wird. Bei anderen, komplexeren Abfällen, wie zum Beispiel Elektrogeräten, könnte dies gegebenenfalls anders sein.

1.2 Chemisches Recycling

Eine Option, die verspricht, auch bei **sortenunreinen oder verschmutzten Abfallströmen** eingesetzt werden zu können, die für das mechanische Recycling nicht geeignet sind, ist das **chemische Recycling**.

„Wenn man die Kreisläufe beim Kunststoff schließen will, wird man nicht ohne einen gewissen Grad an chemischem Recycling auskommen.“

Unter chemischem Recycling versteht man Prozesse, bei denen die **Kunststoffe** wieder in ihre **chemischen Grundbausteine** zerlegt werden, aus denen dann wiederum **neue Kunststoffe hergestellt** werden können. Dazu gehören unter anderem die Pyrolyse, das katalytische Cracking, die Vergasung, die Depolymerisation und die Solvolyse.³⁰²

Stand der Technik

Die **einzelnen Verfahren** unterscheiden sich allerdings deutlich darin, welche **Anforderungen an Reinheit und Qualität** des zugeführten Abfalls bestehen, wie hoch der Detailgrad der Zerlegung und wie hoch die Reinheit und Qualität des entstehenden Recyclingprodukts sind (siehe Abbildung 23).³⁰³

Beim chemischen Recycling fallen gleich **an zwei Stellen große Energiebedarfe** an. Zum einen ist der **chemische Umwandlungsprozess**, der die Kunststoffe wieder in Oligomere, Monomere oder noch einfachere Bestandteile zerlegt, energieintensiv.³⁰⁴ Zum anderen müssen auch bei der **Herstellung von Kunststoffen aus solchen Rezyklaten** mehrere **energieintensive Prozessschritte** erfolgen, die beim mechanischen Closed-Loop-Recycling so nicht anfallen (siehe Abbildungen 21 und 22).

Hierbei liefern **Depolymerisation und Solvolyse** Oligomere/Monomere des **ursprünglichen Polymers**, die sich mit vergleichsweise geringerem Energieaufwand wieder zu Kunststoffen weiterverwerten lassen. **Pyrolyse und Vergasung** hingegen haben als Endprodukt **Pyrolyseöle, Synthesegase oder chemische Zwischenprodukte wie Methanol**, die auf der Ebene der **Raffination** wieder in die Kunststoffproduktion eingespeist

Technologie	Derzeitige Skalierung	Prozesstemperatur (° C)	Anforderungen an Inputqualität	Detailgrad der Zerlegung	TRL
Konventionelle Pyrolyse	Kommerziell	300–700	Hoch	Moderat	9
Plasma-Pyrolyse	Labor	1.800–10.000	Niedrig	Sehr detailliert	4
Mikrowellen-Pyrolyse	Labor	(bis) 1.000	Mittel	Detailliert	4
Katalytisches Cracken	Kommerziell	450–550	Hoch	Moderat	9
Hydrocracken	Pilotprojekte	375–500	Hoch	Detailliert	7
Konventionelle Vergasung	Kommerziell	7.000–12.000	Mittel	Detailliert	9
Plasma-Vergasung	Kommerziell (für Sondermüll)	1.200–15.000	Niedrig	Sehr detailliert	8
Pyrolyse mit In-Line-Reformierung	Pilotprojekte	500–900	Mittel	Detailliert	4

Abbildung 23: Verschiedene Verfahren zum chemischen Recycling (Quelle: eigene Darstellung basierend auf Solis/Silveira 2020)

302 | Vgl. Bauer et al. 2018; BCG 2019a; cefic 2020; DECHEMA/FutureCamp Climate GmbH 2019; EU-KOM 2019b; Solis/Silveira 2020; WEF et al. 2016.

303 | Vgl. DECHEMA/FutureCamp Climate GmbH 2019; EU-KOM 2019b; Solis/Silveira 2020.

304 | Vgl. DECHEMA/FutureCamp Climate GmbH 2019; Solis/Silveira 2020.



werden (siehe Abbildungen 21 und 22) und somit weiterer Energie bedürfen.

Deshalb ist es auch für die **Ökobilanz des chemischen Recyclings** unerlässlich, dass ein möglichst **großes und stetiges Angebot an Strom aus erneuerbaren Energien** zur Verfügung steht. Vereinfacht dargestellt haben die Verfahren mit **geringeren Anforderungen an Reinheit** des Inputs und höherem Detailgrad an Zerlegung auch **höhere Energieanforderungen**.³⁰⁵

Mehrere Ansätze zum chemischen Recycling haben bereits einen **hohen technologischen Reifegrad** (TRL 8–9), und es gibt in Europa erste kommerzielle Anlagen. Einige Fachleute geben allerdings zu bedenken, dass vor allem bei den technologisch besonders reifen Verfahren die tatsächlichen **Anforderungen an Reinheit und Qualität** des zugeführten Abfalls **verhältnismäßig hoch** sind.³⁰⁶

Zudem ist nach Meinung vieler der befragten Expertinnen und Experten der Betrieb solcher Anlagen unter den derzeitigen Rahmenbedingungen **wirtschaftlich nicht attraktiv**, und man müsse auch den **hohen Investitions- und Energiebedarf** sowie die Bauzeit für den Aufbau großskaliger Anlagen und der **nötigen Infrastruktur** bedenken.

Entwicklungspotenzial beim chemischen Recycling besteht unter anderem noch in Bezug auf **Verbesserungen** beim **Wirkungsgrad**, beim **Anforderungsprofil** an die Qualität des Inputs und bei der **Qualität der entstehenden Produkte**.³⁰⁷

Ein weiterer vielversprechender Ansatz, der sich allerdings noch in einem deutlich **früheren Entwicklungsstadium** befindet, ist das **enzymatische Recycling**, bei dem Kunststoffpolymere mit **biotechnologischen Methoden** recycelt werden.³⁰⁸

Gesetzliche Rahmenbedingungen

Die **gesetzlichen Regelungen** bezüglich der Verwendung von Rezyklaten aus chemischem Recycling sind innerhalb Europas **nicht einheitlich** und **Deutschland** nimmt im Vergleich zu vielen Nachbarländern eine **Sonderrolle** ein. Während auf europäischer

Ebene und in vielen Nachbarländern bei Rezyklaten nicht nach deren Herkunft – also ob sie durch mechanisches oder chemisches Recycling hergestellt wurden – unterschieden wird, gilt in Deutschland eine **Unterscheidung zwischen rohstofflichem und werkstofflichem Recycling**.

Rezyklate aus **chemischem Recycling** werden der ersten Kategorie zugeordnet und sind dadurch nach deutscher Gesetzeslage von der **Anrechnung auf Recyclingquoten in der Verpackungsherstellung ausgeschlossen**.³⁰⁹ Aufgrund dieser restriktiven Gesetzeslage und der auch daraus resultierenden geringen Nachfrage nach Rezyklaten aus chemischem Recycling gibt es in **Deutschland** bislang **keine Unternehmen**, die solche Ansätze im **kommerziellen Maßstab** nutzen.

„Aufgrund der aktuellen Gesetzeslage gibt es in Deutschland derzeit keine kommerziellen Aktivitäten im chemischen Recycling.“

In mehreren **europäischen Ländern** (zum Beispiel Dänemark, Italien, Niederlande, Spanien) hingegen gibt es bereits erste **Anlagen für chemisches Recycling**, oder es befinden sich solche im Aufbau.³¹⁰ Auch **deutsche Chemiekonzerne** wie BASF suchen sich zur Erprobung des chemischen Recyclings deshalb Partner im Ausland.³¹¹

Eine **Schwierigkeit** bei großskaligen und komplexen Produktionsprozessen besteht darin, beim Zuzusammenbringen von Rezyklaten, die aus chemischem Recycling entstanden sind, den finalen Produkten einen **exakten Rezyklatanteil zuzuweisen**. Eine mögliche Lösung, die hierfür diskutiert wird, ist der **Massebilanzansatz** analog zur Zuweisung des Anteils des erneuerbaren Stroms am Strommix.

Unabhängige **externe Zertifizierer** könnten so gewährleisten, dass Kunststoffproduzenten immer nur den Anteil des Produktes als aus Rezyklat hergestellt ausweisen, der dem tatsächlichen Input an Rezyklaten entspricht.³¹² Hierfür müsste allerdings ein **geeigneter regulatorischer Rahmen** erst noch geschaffen werden.³¹³ Zudem geben einige Fachleute zu bedenken, dass beim

305 | Vgl. Solis/Silveira 2020.

306 | Vgl. ebd.

307 | Vgl. EU-KOM 2019b; Solis/Silveira 2020.

308 | Vgl. Tournier et al. 2020.

309 | Vgl. PRE/VCI 2019.

310 | Vgl. Solis/Silveira 2020.

311 | Vgl. BASF/QuantaFuel 2019.

312 | Vgl. Ellen MacArthur Foundation 2019c.

313 | Vgl. EU-KOM 2019b.

Massebilanzansatz die **Transparenz über den tatsächlichen Rezyklatanteil** im finalen Produkt **nicht gewährleistet** ist und somit eine bewusste Kaufentscheidung erschwert wird.

Einschätzungen zu Nachhaltigkeitsaspekten des chemischen Recyclings

Es gibt auch **Kritik am chemischen Recycling**. So sind die Prozesse, unabhängig vom spezifischen Verfahren, sehr **energieintensiv**. Je größer der **Anteil fossiler Energieträger am Energiebeziehungswise Strommix** für das chemische Recycling ist, desto **schlechter** fällt die **Ökobilanz** des Prozesses aus.

Bei einigen Formen des chemischen Recyclings werden zudem **Lösemittel oder Katalysatoren** verwendet, deren **Entsorgung** mit Hinblick auf potenzielle Gesundheits- und Umweltfragen auch in die Bewertung von **Nachhaltigkeitsbilanzen** einfließen sollte.³¹⁴

Einige befragte Expertinnen und Experten **befürchten**, dass unter anderem aufgrund der geringeren Anforderungen an die Reinheit des Ausgangsmaterials das **chemische Recycling** auch bei Kunststoffabfällen zur **dominierenden Form des Recyclings** werden könnte, für die die Ökobilanz des mechanischen Recyclings deutlich besser wäre. Dies könne dazu führen, dass weitere **Entwicklungen**, die Verbesserungen beim mechanischen Recycling oder beim Produktdesign bringen könnten, **ausblieben**. Zudem sehen sie die Gefahr, dass es zu einer **Konkurrenz um die reinsten Stoffströme** kommt, da – auch wenn das chemische Recycling hier prinzipiell geringere Anforderungen stellt – der Wirkungsgrad und somit die Rentabilität mit dem Reinheitsgrad steigt.

Andere Fachleute teilen diese Befürchtungen nicht und verweisen darauf, dass **Rahmenbedingungen** so gestaltet werden müssen, dass der bei **ganzheitlicher Betrachtung des Lebenszyklus** der einzelnen Produkte **ideale Recyclingpfad** genommen wird. **Einigkeit** besteht allerdings dahingehend, dass ein möglichst **vollständiges Schließen der Kreisläufe** in der Kunststoffindustrie völlig **ohne chemisches Recycling nicht möglich** sein wird.

Ein Reallabor für ein integriertes und optimiertes Recycling-Ökosystem

Im Rahmen eines **großskaligen Reallabors**, auch auf europäischer Ebene, das die **relevanten Akteure über den ganzen Wertschöpfungskreislauf** in der Kunststoffindustrie zusammenbringt, könnten wertvolle Erkenntnisse gewonnen werden, wie

Recycling-Ökosysteme optimiert werden können und welche Rolle das chemische Recycling hierbei spielen kann (siehe Kasten 7). Da diese Akteure auf die Bereiche Chemieindustrie, Abfall- und Recyclingwirtschaft, Forschungsinstitutionen, kommunale Versorgungsbetriebe und Behörden verteilt sind, bedarf es einer **politischen Initiative**, um diese **Vernetzung zu erreichen**.

In einem solchen Format könnten reelle **Lebenszyklusanalysen** angestellt, potenzielle **regulatorische, systemische und prozessinhärente Hürden** sowie potenzielle **Synergien und ideale infrastrukturelle Verknüpfungen** mit dem **mechanischen Recycling** oder anderen Produktionsprozessen identifiziert sowie eine bessere **Vernetzung der Akteure** gefördert werden.

Da die gesetzlichen Regelungen hier in den verschiedenen EU-Mitgliedstaaten stark voneinander abweichen, ergibt es Sinn, das Reallabor auf **europäischer Ebene** anzusiedeln. Damit könnte ein direkter **Austausch regulatorischer Best Practices** stattfinden und eine **Harmonisierung der Regelungen** angestoßen werden.

1.3 Biologisch abbaubare Kunststoffe

Biologisch abbaubare Kunststoffe können durch Mikroorganismen oder Pilze in **Wasser, Kohlendioxid oder Methan und Biomasse zerlegt** werden.³¹⁵ Dabei können sie sowohl biobasiert als auch petrochemiebasiert sein (siehe auch Abbildung 18). Einige Fachleute sehen potenzielle **Vorteile** insbesondere in **Nischenbereichen** zum Beispiel für Kunststoffe, bei denen es wahrscheinlich ist, dass sie **mit biologischen Abfällen vermischt** werden (etwa Nahrungsmittelverpackungen, Einkaufsnetze für Lebensmittel etc.), oder die mit hoher Wahrscheinlichkeit **in der Umwelt verbleiben** und nicht in der formellen Abfallentsorgung landen (zum Beispiel Plastikplanen in der Landwirtschaft, Fischernetze).³¹⁶ Deshalb sind einige Befragte der Meinung, dass die Nachhaltigkeitspotenziale eher in **Ländern mit einer schlecht entwickelten Recyclinginfrastruktur** zum Tragen kommen.

Gesetzliche Rahmenbedingungen

Die Definition, wann ein Stoff als biologisch abbaubar gilt, ist durch nationale und internationale **Normen und Standards** reguliert. Um diese zu erfüllen, muss ein Stoff unter speziellen Bedingungen in **Kompostieranlagen** in überschaubaren Zeiträumen abgebaut werden. Über die **Abbaudauer in der Umwelt** geben sie **keine Auskunft**.

314 | Vgl. BCG 2019a.

315 | Vgl. UBA 2009.

316 | Vgl. WEF et al. 2016; WEF/Ellen MacArthur Foundation 2017.



Die Verwendungsmöglichkeiten für biologisch abbaubare Kunststoffe sind **in Europa sehr unterschiedlich reguliert**. So werden einigen Fachleuten zufolge in **Italien** bereits gute Erfahrungen mit biologisch abbaubaren Kunststoffen gemacht. Die **Verunreinigung von Biomasseabfällen** durch nicht kompostierbare Kunststoffabfälle hat dort durch die Verpflichtung, nur noch Tüten aus biologisch abbaubaren Kunststoffen für den Verkauf von Lebensmitteln zu verwenden, **abgenommen**.³¹⁷

„Biologisch abbaubare Kunststoffe können helfen, Bioabfallströme reiner zu halten.“

In **Deutschland** ist das Entsorgen von **biologisch abbaubaren Kunststoffen** im Bioabfall mit der Ausnahme von Beuteln zur Bioabfallsammlung, die nach Norm EN 13432 industriell kompostierbar sind, **verboten**. Ein Grund hierfür ist die Annahme, dass die kurze Rottedauer in deutschen Kompostieranlagen einen vollständigen Abbau der Kunststoffe nicht gewährleistet. Neue Studien legen nahe, dass marktübliche Produkte aus industriell kompostierbaren Kunststoffen allerdings signifikant schneller abgebaut werden als von der Norm EN 13432 gefordert.³¹⁸

Herausforderungen und Kritik

Durch die **Erforschung und Entwicklung verbesserter Materialien** dürfte es nach Einschätzung von Expertinnen und Experten möglich sein, den Abbau biologisch abbaubarer Kunststoffe zu beschleunigen. Gleichzeitig führen einige Fachleute an, dass es aber auch vorteilhaft wäre, die Rottedauer in deutschen Kompostieranlagen allgemein zu verlängern, da dies zu qualitativ hochwertigerem Kompost führt.

Jedoch gibt es über die lange Kompostierdauer hinaus **weitere Kritikpunkte** bezüglich der Verwendung biologisch abbaubarer Kunststoffe. So wird ihre **Ökobilanz** mit Blick auf die **Einfachverwendung** und nachfolgende Entsorgung im Vergleich zu nicht abbaubaren, **robusteren Kunststoffen**, die wiederverwendet und/oder recycelt werden können, als **schlechter eingeschätzt**.

Zudem geht bei der **Umwandlung zu Kompost** ein großer Teil der in den Kunststoffen **gespeicherten Energie ungenutzt verloren**,

was somit auch im Vergleich zur energetischen Verwertung in einer Verbrennungsanlage negativ ins Gewicht fällt.³¹⁹

Ob biologisch abbaubare Kunststoffe **für die Rezyklatqualität problematisch** sind, wenn sie in die **Wertstoffströme des mechanischen Recyclings** gelangen, ist in der Wissenschaft noch **umstritten**.³²⁰ Falls sie für eine ausreichende Rezyklatqualität aus den Wertstoffströmen entfernt werden müssen, würde dies die Komplexität nötiger Sortierprozesse weiter erhöhen.

Darüber hinaus werden mögliche **Reboundeffekte** befürchtet, wenn **Konsumentinnen und Konsumenten** in dem Glauben, dass sie es mit einem nachhaltigen Produkt zu tun haben, **mehr davon nutzen** und gleichzeitig **nicht auf eine fachgerechte Entsorgung achten**.³²¹

Um diesen Kritikpunkten zu begegnen, müsste das Ziel der Entwicklung von Kunststoffen oder alternativen Materialien daher sein, dass diese sowohl **leicht recyclingfähig** als auch **biologisch abbaubar** sind. Dies würde die Problematik für den Fall, dass sie in den jeweils anderen (falschen) Abfallstrom gelangen, vermindern. Zudem könnten **Standards und Normen angepasst** werden, um sicherzustellen, dass biologisch abbaubare Kunststoffe auch **unter normalen Umweltbedingungen** in kurzen Zeiträumen ohne die Produktion von Mikroplastik oder schädlichen Rückständen **zersetzt** werden.

Hierdurch würden allerdings vermutlich **Zielkonflikte mit der angedachten Funktion und Beständigkeit** der Kunststoffe während ihrer eigentlichen Verwendung auftreten. Außerdem müsste man Lösungen finden, die es **Konsumentinnen und Konsumenten erleichtern**, die für jedes Produkt **ideale Entsorgungsoption** zu wählen.

Auch wenn weitere technologische Fortschritte zu erwarten sind, werden sich diese **Zielkonflikte nicht völlig auflösen** lassen. **Politische Entscheidungen** über die Verwendung biologisch abbaubarer Kunststoffe sind daher nötig.

Um zu bestimmen, **ob und wann** die Verwendung oder Weiterentwicklung biologisch abbaubarer Kunststoffe **aus Nachhaltigkeitsgesichtspunkten sinnvoll** sein kann, muss man auch hier **genaue Lebenszyklusanalysen** für die intendierte Verwendung der Produkte anstellen. Hierbei muss eine **Vielzahl an Faktoren**

317 | Vgl. European Bioplastics 2017.

318 | Vgl. van der Zee/Molenveld 2020.

319 | Vgl. Behr/Seidensticker 2018; UBA 2009; 2012; 2020.

320 | Vgl. Samper et al. 2018; van den Oever et al. 2017.

321 | Vgl. Haider et al. 2019.

beachtet werden, zum Beispiel die **Recyclinginfrastruktur** im jeweiligen Land oder auch die Wahrscheinlichkeit, dass solche Stoffe den **falschen Wertstoffströmen** zugeführt werden.

I.4 Energetische Abfallverwertung (Müllverbrennung)

Bisher landet ein **großer Teil** des produzierten Kunststoffes in Europa (etwa 43 Prozent in 2018) und auch in Deutschland (rund 60 Prozent in 2018) am Ende seines Lebenszyklus **in der energetischen Verwertung** und wird verbrannt.³²² Dabei werden Studien zufolge **pro verbrannter Tonne Kunststoff rund 2,7 Tonnen CO₂ freigesetzt**.³²³

Die **gegenwärtige Gesetzgebung** und das diskutierte Ziel, die Einbringung von Kunststoffabfällen in Deponien in der EU vollkommen zu untersagen,³²⁴ können **Anreize setzen, Kunststoffabfälle vermehrt der Verbrennung** zuzuführen. Auch Ansätze, Kunststoffabfälle über **chemisches Recycling** in sogenannten **Waste-to-Fuel-Verfahren** in Brennstoffe beziehungsweise Kraftstoffe umzuwandeln, sind momentan in einigen Fällen als förderungsfähige Form des Recyclings anerkannt.

„Bei zu großen Anreizen für Waste-to-Energy wird nichts mehr recycelt.“

Fachleute bewerten diese Rahmenbedingungen in großen Teilen kritisch. Zwar begrüßen sie, dass Kunststoffabfälle dadurch **nicht mehr ungenutzt auf Deponien** landen und dort über die Zeit mit potenziell **schädlichen Folgen für die Umwelt** zu Mikroplastik zersetzt werden. Sie **fordern** allerdings gleichzeitig, dass die regulatorischen Anreize so gestaltet werden müssen, dass eine möglichst **umfassende stoffliche Verwertung** von Kunststoffen durch Recycling stattfindet.

Nichtsdestotrotz wird es auch bei stark ausgeweitetem Recycling von Kunststoffabfällen weiterhin Anteile geben, die sich **nicht zum Recycling eignen**. Hier kann die Verbrennung auch im Sinne der Nachhaltigkeit eine sinnvolle Funktion erfüllen, da auf diese Weise zumindest ein Teil der in den Abfällen gespeicherten **Energie wiedergewonnen** wird und verwendet werden kann.

Soll in der Kunststoffindustrie allerdings mittel- und langfristig **Treibhausgasneutralität** erreicht werden, muss das bei der Verbrennung dieser nicht recycelbaren Abfälle anfallende **CO₂ durch CCS gespeichert** oder durch CCU genutzt werden. Die **Herausforderung** hierbei ist, dass die energetische Verwertung von Abfällen **dezentral** in vielen Anlagen verteilt stattfindet. Dies **verringert den Wirkungsgrad** etwaiger Anlagen, bringt **hohe Investitionskosten** für den Aufbau vieler einzelner Anlagen mit sich und verursacht **hohe Transportkosten**, um das CO₂ dann an die entsprechenden Speicher- oder Nutzungsorte zu bringen.³²⁵

I.5 Rahmenbedingungen und Infrastruktur

Die Expertinnen und Experten betonen einstimmig, dass den **Entscheidungen** darüber, welche Recycling- oder gegebenenfalls Entsorgungsmöglichkeiten für einzelne Produkte die geeignetsten sind, eine **ganzheitliche Betrachtung des kompletten Lebenszyklus** zugrunde liegen muss. **Elemente der Nachhaltigkeit**, die in eine solche Analyse einfließen sollten, umfassen unter anderem:

- direkte und indirekte CO₂-Emissionen bei Produktion, Nutzung, Transport und am Ende des Lebenszyklus,
- andere umweltschädliche Emissionen oder Abbauprodukte,
- bei biobasierten Kunststoffen Anforderungen an Biomasseverfügbarkeit.

Zudem müssen die Rahmenbedingungen so gestaltet werden, dass auch in Zukunft **dynamisch auf neue Technologien** oder bessere Verfügbarkeit von **Strom aus erneuerbaren Energieträgern** reagiert werden kann.

Am geeignetsten scheinen den Fachleuten hierfür **technologie-offene Zielvorgaben**. Dennoch bedarf es, gerade auch wenn es um den Aufbau benötigter **Infrastrukturen**, die Schaffung von **Investitionssicherheit** für Unternehmen oder den **Abbau von Markteintrittsbarrieren** geht, an einigen Stellen **strategischer politischer Entscheidungen** in Europa bezüglich der zukünftigen Rolle spezifischer Technologien zum Beispiel beim Recycling von Kunststoffen. Zwischen diesen teilweise im Konflikt stehenden Zielen muss eine **Balance** gefunden werden.

322 | Vgl. PlasticsEurope 2019a.

323 | Vgl. Material Economics 2019.

324 | Vgl. PlasticsEurope 2016.

325 | Vgl. Material Economics 2019.



Rezyklatquoten

Den **direktesten Anreiz**, einen höheren Anteil von rezyklierten Kunststoffen einzusetzen, bietet eine **Rezyklatquote**. Üblicherweise orientiert sich die aktuelle Regulierung an **Recyclingquoten**, die den Anteil des Kunststoffs am Gesamtkunststoffabfall messen, der **in den Recyclingprozess eingebracht** wird. Wie hoch Prozessverluste beim Recycling sind und in welchen Produkten das Rezyklat später verwendet wird (Downcycling), spielt keine Rolle.

Zumindest für Verpackungsabfälle hat sich die Berechnung der Recyclingquote mit einer **überarbeiteten EU-Richtlinie** allerdings verändert, sodass jetzt nur der Anteil, der nach Sortierung und Reinigung für die Rezyklatproduktion übrigbleibt, als recycelt zählt.³²⁶

Im Gegensatz dazu bezieht sich die **Rezyklatquote** auf den Anteil an Rezyklat, der **in einem Produkt verwendet** wird. Rezyklatquoten bieten daher den **Vorteil**, dass Rezyklate auch in möglichst **hochwertigen Kunststoffen**, die in Europa produziert werden, zum Einsatz kommen und **Downcycling** oder das Abfließen aus dem Wertschöpfungskreislauf in die **energetische Verwertung unattraktiver** wird. Der **Circular Economy Action Plan** der EU sieht eine Rezyklatquote als Instrument bereits vor, ohne jedoch Angaben über eine konkrete Höhe zu machen.³²⁷

Einige der befragten Expertinnen und Experten geben zu bedenken, dass man bei den Rezyklatquoten mit Augenmaß vorgehen müsse, da **kurzfristig die Recyclingkapazitäten** für die Erreichung hoher Quoten **nicht ausreichen**. Allerdings sehen sie in einer langfristig festgelegten, **schrittweisen Steigerung der Rezyklatquote** ein geeignetes Instrument, um Unternehmen **Planungssicherheit für Investitionen** in den Aufbau und die Weiterentwicklung von Recyclingkapazitäten und die Qualität der produzierten Rezyklate zu bieten.

Über Vorgaben zu Rezyklatanteilen im Rahmen der **nachhaltigen Beschaffung** kann zudem auch die **öffentliche Hand** direkt für einen wachsenden Markt für recycelte Kunststoffe sorgen. Hierin sehen Fachleute übereinstimmend einen **großen Hebel**, der bislang nicht ausreichend genutzt werde.

Anreize durch fiskalische und marktbasierende Instrumente

Ebenso könnten auch über **fiskalische Instrumente** die **Markchancen für Sekundärrohstoffe** aus Recycling im Vergleich zu

fossilen Primärrohstoffen bei der Kunststoffherstellung erhöht werden. Neben einem **CO₂-Preis in geeigneter Höhe** schlagen einige Fachleute auch das Konzept einer **Rohstoffentnahme-steuer** vor. Beide Instrumente könnten helfen, die Kosten für Klima- und Umweltschäden, die bei der Gewinnung von fossilen Primärrohstoffen anfallen, zu internalisieren und somit ein **Level Playing Field für Rezyklate** zu schaffen.

„Selbst wenn alle Technologien zur Verfügung stehen, lohnt sich der Kreislauf bei Kunststoffen derzeit nicht.“

Die Idee einer **Kunststoffsteuer** wird von den Fachleuten eher **kritisch gesehen**. Sie befürchten, dass zum einen die Einnahmen aus einer solchen Steuer **nicht für den Ausbau der Recyclinginfrastruktur verwendet** und zum anderen Kunststoffe im Auge der Bevölkerung als per se schlecht dargestellt würden.

Einige der Befragten schlagen als Alternative eine **Abgabe** vor, die an eine **erweiterte Produzentenverantwortung** („Extended Producer Responsibility Fee“) geknüpft ist und zielgerichtet in einen Fonds für **Verbesserungen der Recyclinginfrastruktur oder Forschung und Entwicklung** in diesem Bereich fließen sollte. Bei den kleinteiligen und komplexen Wertschöpfungsnetzwerken im Kunststoff- und insbesondere im Verpackungsbereich sei es zudem wichtig, **alle beteiligten Akteure** – von Produzenten und Verwertern über Inverkehrbringer bis hin zu Einzelhändlern – einzubeziehen.

Europäische Dimension

Für die Recycling- und Abfallwirtschaft hat die **EU nur beschränkte Gesetzgebungskompetenz**, was zu starker Uneinheitlichkeit in der Regulierung und den geltenden Standards in den einzelnen Mitgliedstaaten führt. Dies trägt auch dazu bei, dass sich bisher **kein signifikanter europäischer Markt** für Rezyklate gebildet hat und für manche Kunststoffsorten **keine ausreichend großen Abfallströme** zusammenkommen, für die sich ein Recycling lohnen würde.

Deshalb ist es wichtig, **auf europäischer Ebene Plattformen** zu schaffen, auf denen sich gerade auch die Mitgliedstaaten zu einer möglichst einheitlichen Regulierung abstimmen sowie Best Practices und Erfahrungen mit unterschiedlichen Regulierungen austauschen können. Das geeignete europäische Zielbild hierfür ist nach Meinung von Fachleuten durch die **europäische**

326 | Vgl. Europäisches Parlament und Europäischer Rat 2018.

327 | Vgl. EU-KOM 2020f.

Plastikstrategie und den **Circular Economy Action Plan** schon gut beschrieben.³²⁸ Jetzt müsse eine möglichst **stringente Umsetzung** durch die Mitgliedstaaten folgen.

„27 unterschiedliche Abfallsysteme setzen der Circular Economy enge Grenzen.“

In den einzelnen EU-Mitgliedstaaten liegt die **Sammel- und Sortierinfrastruktur** für Kunststoffabfälle zum Teil in der öffentlichen Hand, zum Teil wird sie von Privatunternehmen betrieben. Ungeachtet der verschiedenen Verantwortlichkeiten bedarf es für den **Um- und Ausbau** dieser Infrastrukturen ausreichender Investitionen, um eine bessere **Auftrennung von Wertstoffströmen** und somit eine **höhere Recyclingeffizienz und -qualität** zu erreichen.

Rolle von Konsumentinnen und Konsumenten

Konsumentinnen und Konsumenten können dazu beitragen, dass Kunststoffabfälle besser von anderen Abfallströmen getrennt werden und somit leichter zu recyceln sind. Hierfür sollte der **verantwortungsvolle Umgang mit Abfällen** und deren **Bedeutung**

als Rohstoff in die Bildung vom Kindesalter an integriert werden. Ein gutes Beispiel hierfür ist die Initiative „Plastikpiraten“ des BMBF.³²⁹

Eine **bessere Kennzeichnung der Produkte** und der für sie geeigneten Entsorgungsrouten, möglicherweise unterstützt durch **digitale Anwendungen** wie scanbare Produktcodes, sowie eine flächendeckende, klar verständliche, adäquate **Infrastruktur zur Müllsammlung und -trennung** sind weitere Elemente, die eine Rolle bei der **Verbesserung der Wertstoffströme** spielen können.³³⁰ **Pfandsysteme** können ebenfalls dazu beitragen, besonders sortenreine Wertstoffströme zu erzeugen und sogar für die Bereitsteller der Sammelinfrastruktur einen **positiven wirtschaftlichen Ertrag** zu generieren, wie das Beispiel des PET-Einwegpfands in Deutschland belegt.³³¹

Allerdings darf man die Konsumentinnen und Konsumenten auch nicht durch **zu komplexe Vorgaben** bei der Mülltrennung und Sammlung verschiedener Produktklassen **überfordern**. Auch für die Sammel- und Rückgabeinfrastruktur sollten komplexe Parallelstrukturen vermieden werden. Die ideale **Balance** könnte in **alltagsnahen Projekten** identifiziert und wissenschaftlich erprobt werden.

328 | Vgl. EU-KOM 2018b; 2019b; 2020f.

329 | Vgl. BMBF 2020b.

330 | Vgl. EPC 2020.

331 | Vgl. PwC 2011.



Anhang J: Überblick über weitere Reportingstandards

Über die in Kapitel 4.4 der Studie genauer vorgestellten Reportinginitiativen WEF Common Metrics und Value Balancing Alliance hinaus gibt es viele **weitere Initiativen**, in denen sich Unternehmen, institutionelle Investoren und Vermögensverwalter zu Reportingstandards verpflichtet haben.

Grob kann man dabei zwei Arten von Reportingstandards unterscheiden:

- **Zum Teil dienen die Standards rein als Grundlage für Nachhaltigkeitsberichte** beziehungsweise zum Aufzeigen der Exponiertheit des Unternehmens auf Auswirkungen des Klimawandels **ohne weiteres Agenda-Setting**.

- **Manche Initiativen** gehen jedoch darüber hinaus und wollen durch transparentes Reporting **auf die Erreichung von Klima- und Nachhaltigkeitszielen hinwirken**.

Einige Unternehmen haben sich zum Reporting nach mehreren Standards verpflichtet, zum Teil auch deshalb, da unterschiedliche Investoren unterschiedliche Standards bevorzugen.

Nachfolgend werden in Abbildung 24 vier weitere ausgewählte Reportinginitiativen vorgestellt.

Global Reporting Initiative (GRI)

Die GRI ist eine der ältesten Initiativen zur **Erstellung von Nachhaltigkeitsberichten** für Großunternehmen, KMU und NGOs. Die **GRI Sustainability Reporting Standards** wurden vor über 20 Jahren aufgesetzt und seitdem **kontinuierlich partizipativ weiterentwickelt**. Das **Reportingverfahren** ist dabei **modular** und umfasst insgesamt über **120 Indikatoren**. Dies bietet eine standardisierte Vergleichbarkeit mit **hohem Detailgrad**, die auch **international anerkannt** ist. Der hohe Detailgrad ist aber auch ein Kritikpunkt, da dies v. a. für KMU eine Herausforderung darstellt.

Task Force on Climate-related Financial Disclosures (TCFD)

Der **Finanzstabilitätsrat der G20-Staaten** gründete die TCFD, um durch klare Reporting-Guidelines für Unternehmen Transparenz über deren Klimarisiken bzw. Klimastrategien zu schaffen und dadurch einer „**Kohlenstoff-Blase**“ am Finanzmarkt **entgegenzuwirken**. Durch die freiwillige Selbstauskunft der teilnehmenden Unternehmen soll die Bewertung von **klimainduzierten Auswirkungen auf die Finanzmärkte transparenter** möglich sein.

Carbon Disclosure Project (CDP)

Das CDP erhebt **einmal jährlich** von institutionellen Anlegern und Unternehmen auf freiwilliger Basis **standardisierte Daten und Informationen zu CO₂-Emissionen, Klimarisiken sowie Reduktionszielen und -strategien**. Allein in Europa haben in der letzten Befragung über 1800 Unternehmen, also über 75% der börsennotierten Unternehmen, teilgenommen. Die erhobenen Daten sollen eine **größere Transparenz für Investoren** schaffen.

Net Zero Asset Owner Alliance

Die Mitglieder dieser **Finanzinvestoren-Allianz** verpflichten sich freiwillig, ihr **Portfolio** so anzupassen, dass es bis **2050 klimaneutral** ist. Damit einhergehend verpflichten sich die Unternehmen selbst, **regelmäßige Fortschrittsberichte** vorzulegen und alle fünf Jahre ihre konkreten, messbaren Ziele für die nächsten Schritte klar zu formulieren.

Abbildung 24: Übersicht über weitere ausgewählte Reportingstandards (Quelle: eigene Darstellung basierend auf CDP 2020; GRI 2016, 2020; TCFD 2020; UNEPFI 2020)

Anhang K: Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Der Green Deal der Europäischen Union; Fokusthemen dieser Studie in Grün	18
Abbildung 2:	Prognostizierter Stromverbrauch Deutschlands bei Reduktion der Treibhausgasemissionen bis 2050	27
Abbildung 3:	Entstehung von Nutzenpotenzialen durch den Einsatz von Digitalisierungsinstrumenten im Umweltmanagement	29
Abbildung 4:	Grundprinzipien der Circular Economy	33
Abbildung 5:	Entwicklungsmodi der biologischen Transformation	38
Abbildung 6:	Hürden bei der Transformation energieintensiver Grundstoffindustrien	43
Abbildung 7:	Nachhaltigkeitstransformation der Kunststoffwertschöpfungskette	46
Abbildung 8:	CO ₂ -Emissionen bei verschiedenen Pfaden der Kunststoffherstellung	49
Abbildung 9:	Wertschöpfungskette für Kunststoffverpackungen und Recyclingpfade	50
Abbildung 10:	Relevante Akteure im Kunststoffwertschöpfungsnetzwerk	56
Abbildung 11:	ESG-Kriterien für Unternehmen	62
Abbildung 12:	Übersicht über Anlegertypen in nachhaltige Investments in Deutschland	64
Abbildung 13:	Die vier Säulen der Common Metrics	66
Abbildung 14:	Übersicht über die geplante Zusammensetzung der Finanzierung des EU Green Deal zum Zeitpunkt seiner Vorstellung	75
Abbildung 15:	Wertschöpfungskreislauf in der Kunststoffindustrie	77
Abbildung 16:	Relevante Akteure im Kunststoffwertschöpfungsnetzwerk	79
Abbildung 17:	Die Abfallhierarchie für Kunststoffe	80
Abbildung 18:	Übersicht über verschiedene Kunststoffarten	86
Abbildung 19:	CO ₂ -Intensität in der Kunststoffwertschöpfung	88
Abbildung 20:	Beispiel der industriellen Symbiose im Industriepark in Kalundborg, Dänemark	91
Abbildung 21:	Kunststoffwertschöpfungskette und Recyclingpfade für Verpackungen	97
Abbildung 22:	CO ₂ -Emissionen bei verschiedenen Pfaden der Kunststoffherstellung	98
Abbildung 23:	Verschiedene Verfahren zum chemischen Recycling	99
Abbildung 24:	Übersicht über weitere ausgewählte Reportingstandards	106



Literatur

acatech 2014

Deutsche Akademie der Technikwissenschaften: *Resilien-Tech*, München, 2014.

acatech 2017

Deutsche Akademie der Technikwissenschaften: *Innovationspotenziale der Biotechnologie* (acatech IMPULS), München, 2017.

acatech 2018

Deutsche Akademie der Technikwissenschaften: *CCU und CCS – Bausteine für den Klimaschutz in der Industrie*, München, 2018.

acatech 2019a

Deutsche Akademie der Technikwissenschaften: *Materialforschung: Impulsgeber Natur*, München, 2019.

acatech 2019b

Deutsche Akademie der Technikwissenschaften: *HORIZONTE*, München, 2019.

acatech 2019c

Deutsche Akademie der Technikwissenschaften: *Innovationskraft in Deutschland verbessern: Ökosystem für Wachstumsfinanzierung stärken*, München, 2019.

acatech 2020

Deutsche Akademie der Technikwissenschaften: *Corona-Krise: Volkswirtschaft am Laufen halten, Grundversorgung sichern, Innovationsfähigkeit erhalten*, München, 2020.

acatech et al. 2019

Deutsche Akademie der Technikwissenschaften/Leopoldina - Nationale Akademie der Wissenschaften/Union der deutschen Akademien der Wissenschaften: *Biomasse im Spannungsfeld zwischen Energie- und Klimapolitik* (Stellungnahme), München u. a., 2019.

acatech/Fraunhofer IML 2019

Deutsche Akademie der Technikwissenschaften/Fraunhofer IML: *Smart Maintenance – Der Weg vom Status quo zur Zielvision*, München, 2019.

Arabesque 2020

Arabesque: *The Arabesque Group*, 2020. URL: <https://www.arabesque.com/about-us/the-arabesque-group/> [Stand: 26.3.2020].

atomico et al. 2019

atomico/SLUSH/orrick: *The State of European Tech*, London, 2019.

Axelson et al. 2018

Axelson, M./Robason, I./Wyns, G./Khandekar, T.: *Breaking Through - Industrial Low-CO₂ Technologies on the Horizon*, Brüssel, 2018.

BASF 2019

BASF: „Innovationen für eine klimaschonende Chemieproduktion“ (Pressemitteilung vom 10. Januar 2019). [Stand: 13.04.2020].

BASF/QuantaFuel 2019

BASF/QuantaFuel: *BASF investiert in Quantafuel: Gemeinsam das chemische Recycling von Kunststoffabfällen voranbringen*, Ludwigshafen-Oslo, 2019.

Bastin et al. 2019

Bastin, J.-F./Finegold, Y./Garcia, C./Mollicone, D./Rezende, M./Routh, D./Zohner, C. M./Crowther, T. W.: „The global tree restoration potential“. In: *Science (New York, N.Y.)*, 365: 6448, 2019, S. 76–79.

Bauer et al. 2018

Bauer, F./Ericsson, K./Hasselbalch, J./Nielsen, T./Nilsson, L. J.: *Climate innovations in the plastics industry: Prospects for decarbonisation*, 2018.

Bauer/Nilsson 2019

Bauer, F./Nilsson, L. J.: *Workshop report on biogenic carbon as feedstock*, 2019.

BCG 2019a

Boston Consulting Group: *A Circular Solution to Plastic Waste*, München, 2019.

BCG 2019b

Boston Consulting Group: *Die Zukunft der deutschen Landwirtschaft nachhaltig sichern*, München, 2019.

BCG 2020

Boston Consulting Group: *Leading Out of Adversity*, 2020. URL: <https://www.bcg.com/publications/2020/business-resilience-lessons-covid-19.aspx> [Stand: 14.04.2020].

BCG/prognos AG 2018

Boston Consulting Group/Prognos AG: *Klimapfade für Deutschland*, München, 2018.

BCG/vfa 2019

Boston Consulting Group/Verband Forschender Arzneimittelhersteller e.V.: *Biotech-Report*, München, 2019.

Behr/Seidensticker 2018

Behr, A./Seidensticker, T.: *Einführung in die Chemie nachwachsender Rohstoffe*. Vorkommen, Konversion, Verwendung, Berlin: Springer Spektrum 2018.

Berg/Wilts 2019

Berg, H./Wilts, H.: „Digital platforms as market places for the circular economy – requirements and challenges“. In: *NachhaltigkeitsManagementForum | Sustainability Management Forum*, 27: 1, 2019, S. 1–9.

bidt 2020

Bayerisches Forschungsinstitut für digitale Transformation: *Digitalisierung durch Corona?*, 2020. URL: <http://www.bidt.digital/studie-homeoffice/> [Stand: 17.04.2020].

BIO Deutschland 2018

Biotechnologie-Industrie-Organisation Deutschland e.V.: *Handreichung für eine ressortübergreifende Agenda „von der Biologie zur Innovation“ (Biotechnologie-Agenda)*, Berlin, 2018.

Bioökonomierat 2017

Bioökonomierat: *Lebenswelt Bioökonomie*, Berlin, 2017.

BlackRock 2020a

BlackRock: *Larry Fink's Letter to CEOs*, 2020. URL: <https://www.blackrock.com/corporate/investor-relations/larry-fink-ceo-letter> [Stand: 17.01.2020].

BlackRock 2020b

BlackRock: *BlackRock Client Letter*, 2020. URL: <https://www.blackrock.com/corporate/investor-relations/blackrock-client-letter> [Stand: 17.01.2020].

Bloomberg Green 2020

Bloomberg Green: *When the ESG Report Card Finally Arrives*, 2020. URL: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-03-11/esg-investing-news-when-the-report-card-finally-comes> [Stand: 14.04.2020].

BMBF 2015a

Bundesministerium für Bildung und Forschung: *Forschung für Nachhaltige Entwicklung – FONAS³*, Bonn, 2015.

BMBF 2015b

Bundesministerium für Bildung und Forschung: *Plastik in der Umwelt – Quellen, Senken und Lösungsansätze*, Bonn, 2015.

BMBF 2018

Bundesministerium für Bildung und Forschung: *Ressourcen-effiziente Kreislaufwirtschaft*, Bonn, 2018.

BMBF 2019a

Bundesministerium für Bildung und Forschung: *WIR! – Wandel durch Innovation in der Region*, Bonn, 2019.

BMBF 2019b

Bundesministerium für Bildung und Forschung: *Nationale Wasserstoffstrategie*, 2019. URL: <https://www.bmbf.de/de/nationale-wasserstoffstrategie-9916.html> [Stand: 17.04.2020].

BMBF 2019c

Bundesministerium für Bildung und Forschung: *Natürlich. Digital. Nachhaltig.*, Bonn, 2019.

BMBF 2020a

Bundesministerium für Bildung und Forschung: *Richtlinie zur Förderung von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zum Thema Digital GreenTech – Umwelttechnik trifft Digitalisierung innerhalb des Aktionsplans „Natürlich.Digital.Nachhaltig“*, 2020. URL: <https://www.bmbf.de/foerderungen/bekanntmachung-2879.html> [Stand: 14.4.2020].

BMBF 2020b

Bundesministerium für Bildung und Forschung: *Die Aktion | Plastik in der Umwelt*, 2020. URL: <https://bmbf-plastik.de/de/plastikpiraten> [Stand: 11.5.2020].

**BMBF/BMEL 2014**

Bundesministerium für Bildung und Forschung/Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: *Bioökonomie in Deutschland*, Bonn, 2014.

BMBF/BMEL 2020

Bundesministerium für Bildung und Forschung/Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: *Nationale Bioökonomiestrategie*, Bonn, 2020.

BMEL 2019

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: *Ackerbaustrategie 2035*, Berlin, 2019.

BMF 2019

Bundesministerium der Finanzen: *Bundesfinanzministerium – Sustainable Finance: BMF initiiert Strategie für Nachhaltige Finanzen*, 2019. URL: https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Internationales_Finanzmarkt/Finanzmarktpolitik/2019-03-05-sustainable-finance.html [Stand: 11.04.2020].

BMU 2016

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit: *Klimaschutzplan 2050*, Berlin, 2016.

BMU 2018

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit: *GreenTech made in Germany 2018*, Berlin, 2018.

BMU 2020

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit: *Umweltfreundliche öffentliche Beschaffung*, 2020. URL: <https://www.bmu.de/themen/wirtschaft-produkte-ressourcen-tourismus/produkte-und-konsum/umweltfreundliche-beschaffung/> [Stand: 13.05.2020].

BMWi 2020a

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: *Zweites Projekt zur Batteriezellfertigung schreitet voran*, 2020. URL: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2020/20200127-zweites-projekt-zur-batteriezellfertigung-schreitet-voran.html> [Stand: 17.04.2020].

BMWi 2020b

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: *Öffentliche Aufträge und Vergabe*, 2020. URL: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/oeffentliche-auftraege-und-vergabe.html> [Stand: 11.05.2020].

Borderstep Institute 2015

Borderstep Institute: *Energy consumption of data centers continues to increase – 2015 update*, Berlin, 2015.

BReg 2014

Bundesregierung: *Digitale Agenda 2014–2017*, Berlin, 2014.

BReg 2018

Bundesregierung: *Forschung und Innovation für die Menschen*, Berlin, 2018.

BReg 2019a

Bundesregierung: *Eckpunkte für das Klimaschutzprogramm 2030*, Berlin, 2019.

BReg 2019b

Bundesregierung: *Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die hochwertige Verwertung von Verpackungen*. VerpackG 1.1.2019.

BReg 2019c

Bundesregierung: *Digitalisierung gestalten*, Berlin, 2019.

BReg 2019d

Bundesregierung: „Bundesregierung will Deutschland zu einem führenden Sustainable-Finance-Standort machen“ (Pressemitteilung vom 26.02.2019). URL: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/bundesregierung-will-deutschland-zu-einem-fuehrenden-sustainable-finance-standort-machen-1584002> [Stand: 06.02.2020].

BReg 2019e

Bundesregierung: *Mehr Geld für nachhaltige Landwirtschaft*, 2019. URL: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/suche/nachhaltige-landwirtschaft-1667400> [Stand: 08.01.2020].

BReg 2020a

Bundesregierung: „Erste Grüne Bundeswertpapiere kommen“ (Pressemitteilung vom 28.08.2020). URL: https://energiesysteme-zukunft.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/PDFs/Ad-hoc-Stellungnahme_Energiewende.pdf [Stand: 10/13/2020 17:34:36].

BReg 2020b

Bundesregierung: *#WirVsVirus - Der Hackathon der Bundesregierung*, 2020. URL: <https://wirvsvirushackathon.org/> [Stand: 15.04.2020].

BReg 2020c

Bundesregierung: *Rohstoffstrategie der Bundesregierung*, Berlin, 2020.

BReg 2020d

Bundesregierung: *Nationale Bioökonomiestrategie*, Berlin, 2020.

Bundesnetzagentur 2019

Bundesnetzagentur: *Netzentwicklungsplan Strom 2030*, Bonn, 2019.

Bundesrepublik Deutschland Finanzagentur 2019

Bundesrepublik Deutschland Finanzagentur GmbH 2019: „Emissionsplanung des Bundes im Jahr 2020“ (Pressemitteilung vom 19. Dezember 2019). URL: [Stand: 05.02.2020].

CDP 2020

Carbon Disclosure Project: *CDP Europe's Comment on the European Commission's Roadmap on the European Climate Law*, Brüssel, 2020.

cefic 2020

European Chemical Industry Council: *Introducing chemical recycling: Plastic waste becoming a resource*, Brüssel, 2020.

Church et al. 2012

Church, G. M./Gao, Y./Kosuri, S.: „Next-generation digital information storage in DNA“. In: *Science (New York, N.Y.)*, 337: 6102, 2012, S. 1628.

Circular Economy Initiative Deutschland 2019

Circular Economy Initiative Deutschland: *Deutschland auf dem Weg zur Circular Economy*, München, 2019.

Deloitte/VCI 2017

Deloitte/Verband der chemischen Industrie e.V.: *Chemie 4.0 Wachstum durch Innovation in einer Welt im Umbruch*, München, 2017.

Deutsche Bundesbank 2019

Deutsche Bundesbank: *Der Markt für nachhaltige Finanzanlagen: eine Bestandsaufnahme*, Frankfurt am Main, 2019.

Deutsche Welle 2016

Deutsche Welle: *Benign by design: how chemists aim to end pharmaceutical pollution of the environment*, 2016. URL: <https://www.dw.com/en/benign-by-design-how-chemists-aim-to-end-pharmaceutical-pollution-of-the-environment/a-19170547> [Stand: 13.4.2020].

DGB 2019

Deutscher Gewerkschaftsbund: *Eckpunktepapier „Anforderungen des DGB an eine CO₂-Bepreisung“*, Berlin, 2019.

DIGITALEUROPE 2015

DIGITALEUROPE: *Digitalisation as Key for a Sustainable Europe*, Brüssel, 2015.

DIW 2019

Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung: „CO₂-Differenzverträge für innovative Klimalösungen in der Industrie“. In: *DIW aktuell*: 23, 2019, S. 1-5.

EC 2019

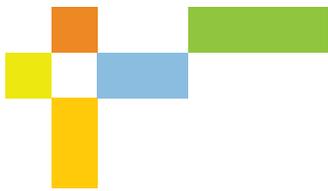
European Council: *Sustainable finance: EU reaches political agreement on a unified EU classification system*, 2019. URL: <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2019/12/18/sustainable-finance-eu-reaches-political-agreement-on-a-unified-eu-classification-system/> [Stand: 10.04.2020].

EFAMA 2020

European Fund and Asset Management Association: *About EFAMA*, 2020. URL: <https://www.efama.org/about/SitePages/Home.aspx> [Stand: 8.4.2020].

EFI 2020

Expertenkommission Forschung und Innovation: *Corona-Krise macht deutsche Digitalisierungsdefizite sichtbar*, Berlin, 2020.

**EIB 2019a**

European Investment Bank: *Climate Awareness Bonds*, 2019. URL: https://www.eib.org/en/investor_relations/cab/index.htm [Stand: 05.02.2020].

EIB 2019b

European Investment Bank: *EIB energy lending policy*, Luxemburg, 2019.

EIB 2019c

European Investment Bank: *Joint Initiative on Circular Economy*, Luxemburg, 2019.

EIB 2020a

European Investment Bank: *EIB und fünf nationale Förderbanken bekämpfen gemeinsam die Covid-19-Folgen*, 2020. URL: <https://www.eib.org/de/press/news/eib-and-five-national-promotional-institutions-to-cooperate-in-the-fight-against-covid-19#> [Stand: 13.05.2020].

EIB 2020b

European Investment Bank: *>€1 trillion for <1.5 °C*, Luxemburg, 2020.

EIT Climate-KIC 2019

European Institute of Technology – Climate Knowledge and Innovation Community: *B-PLAS DEMO: creating bioplastics from industrial organic waste*, 2019.

Ellen MacArthur Foundation 2019a

Ellen MacArthur Foundation: *Completing the Picture*, Cowes, Isle of Wight, 2019.

Ellen MacArthur Foundation 2019b

Ellen MacArthur Foundation: *Reuse*, Cowes, Isle of Wight, 2019.

Ellen MacArthur Foundation 2019c

Ellen MacArthur Foundation: *Enabling a Circular Economy for Chemicals with the Mass Balance Approach*, Cowes, Isle of Wight, 2019.

Ellen MacArthur Foundation et al. 2015

Ellen MacArthur Foundation/SUN/McKinsey Center for Business and Environment: *Growth Within - A circular economy vision for a competitive Europe*, Cowes, Isle of Wight, 2015.

EPC 2020

European Policy Centre: *The circular economy: Going digital*, Brüssel, 2020.

Erlich/Zielinski 2017

Erlich, Y./Zielinski, D.: „DNA Fountain enables a robust and efficient storage architecture“. In: *Science (New York, N.Y.)*, 355: 6328, 2017, S. 950-954.

ESYS 2017

Energiesysteme der Zukunft: *Sektorkopplung – Optionen für die nächste Phase der Energiewende*, Berlin, 2017.

ESYS 2020

Energiesysteme der Zukunft: *Zentrale und dezentrale Elemente im Energiesystem. Der richtige Mix für eine stabile und nachhaltige Versorgung*, Berlin, 2020.

EU 2014

Europäische Union: *Richtlinie 2014/95/EU des Europäischen Parlaments und des Rates – vom 22. Oktober 2014 – zur Änderung der Richtlinie 2013/34/EU im Hinblick auf die Angabe nichtfinanzieller und die Diversität betreffender Informationen durch bestimmte große Unternehmen und Gruppen*, 2014.

EU-KOM 2012

Europäische Kommission: *Guide to Research and Innovation Strategies for Smart Specialisations (RIS 3)*, Brüssel, 2012.

EU-KOM 2016

Europäische Kommission: *EU actions against food waste*, 2016. URL: https://ec.europa.eu/food/safety/food_waste/eu_actions_en [Stand: 24.2.2020].

EU-KOM 2018a

Europäische Kommission: *Impacts of circular economy policies on the labour market*, Brüssel, 2018.

EU-KOM 2018b

Europäische Kommission: *Eine europäische Strategie für Kunststoffe in der Kreislaufwirtschaft*, Brüssel, 2018.

EU-KOM 2018c

Europäische Kommission: *Aktionsplan: Finanzierung nachhaltigen Wachstums*, Brüssel, 2018.

EU-KOM 2018d

Europäische Kommission: *A sustainable bioeconomy for Europe*, Luxembourg, 2018.

EU-KOM 2019a

Europäische Kommission: *Digital Europe Programme Factsheet*, Brüssel, 2019.

EU-KOM 2019b

Europäische Kommission: *A circular economy for plastics*, Brüssel, 2019.

EU-KOM 2019c

Europäische Kommission: *Report on the implementation of the Circular Economy Action Plan*, Brüssel, 2019.

EU-KOM 2019d

Europäische Kommission: *The European Green Deal*, Brüssel, 2019.

EU-KOM 2020a

Europäische Kommission: *A New Industrial Strategy for Europe*, Brüssel, 2020.

EU-KOM 2020b

Europäische Kommission: *White Paper on Artificial Intelligence – A European approach to excellence and trust*, Brüssel, 2020.

EU-KOM 2020c

Europäische Kommission: *Study and portfolio review of the projects on industrial symbiosis in DG Research and Innovation: Findings and recommendations*, Brüssel, 2020.

EU-KOM 2020d

Europäische Kommission: *Shaping Europe's digital future. Factsheet.*, Brüssel, 2020.

EU-KOM 2020e

Europäische Kommission: *Farm to Fork Strategy*, Brüssel, 2020.

EU-KOM 2020f

Europäische Kommission: *Circular Economy Action Plan*, Brüssel, 2020.

EU-KOM 2020g

Europäische Kommission: *The European Green Deal Investment Plan and Just Transition Mechanism explained*, Brüssel, 2020.

EU-KOM 2020h

Europäische Kommission: *A European strategy for data*, Brüssel, 2020.

EU-KOM 2020i

Europäische Kommission 2020i: „First “Green Deal” funding from European Innovation Council awards over €307 million to 64 startups set to support the recovery plan for Europe“ (Pressemitteilung vom 23.07.2020). URL: https://ec.europa.eu/info/news/first-green-deal-funding-european-innovation-council-awards-over-eu307-million-64-startups-set-support-recovery-plan-europe-2020-jul-23_en [Stand: 10/19/2020 10:37:11].

EU-KOM 2020j

Europäische Kommission: *Vorschlag für eine Verordnung des europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung des Rahmens für die Verwirklichung der Klimaneutralität und zur Änderung der Verordnung (EU) 2018/1999 (Europäisches Klimagesetz)*, Brüssel, 2020.

EU-KOM 2020k

Europäische Kommission: *Nachhaltiges Finanzwesen: Parlament nimmt Taxonomie-Verordnung an*, 2020. URL: https://ec.europa.eu/germany/news/20200619-taxonomie-verordnung_de [Stand: 12.10.2020].

EU-KOM 2020l

Europäische Kommission: *VERORDNUNG (EU) 2020/852 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 18. Juni 2020 über die Einrichtung eines Rahmens zur Erleichterung nachhaltiger Investitionen und zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/2088*, Brüssel, 2020.

EU-KOM 2020m

Europäische Kommission: *Non-financial reporting by large companies (updated rules)*, 2020. URL: <https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12129-Revision-of-Non-Financial-Reporting-Directive/public-consultation> [Stand: 10.04.2020].



Europäisches Parlament und Europäischer Rat 2008

Europäisches Parlament und Europäischer Rat: *Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien*. Richtlinie 2008/98/EC 2008.

Europäisches Parlament und Europäischer Rat 2018

Europäisches Parlament und Europäischer Rat: *Richtlinie (EU) 2018/ des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 zur Änderung der Richtlinie 94/62/EG über Verpackungen und Verpackungsabfälle*. Richtlinie (EU) 2018/852 30. Mai 2018.

European Bioplastics 2016

European Bioplastics: *What are bioplastics?*, Berlin, 2016.

European Bioplastics 2017

European Bioplastics: *New studies confirm: biodegradable plastics boost organic recycling and improve mechanical recycling*, 2017. URL: <https://www.european-bioplastics.org/new-studies-confirm-biodegradable-plastics-boost-organic-recycling-and-improve-mechanical-recycling/> [Stand: 10.4.2020].

European Reporting Lab/EFrag 2020

European Reporting Lab/European Financial Reporting Advisory Group: *How to improve climate-related reporting*, 2020.

EUROSIF 2020

European Sustainable Investment Forum: *Responsible Investment Strategies*, 2020. URL: <http://www.eurosif.org/responsible-investment-strategies/> [Stand: 30.3.2020].

EWI 2020a

Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln: *Die Auswirkungen des Klimaschutzprogramms 2030 auf den Anteil erneuerbarer Energien an der Stromnachfrage*, Köln, 2020.

EWI 2020b

Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln: „EWI-Analyse: Deutschland verfehlt das 65-Prozent-Ziel voraussichtlich“ (Pressemitteilung vom 08.01.2020). URL: <https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2020/01/200108-PM-EWI-Analyse-Anteil-Erneuerbare-in-2030.pdf>

EY 2020

Ernst & Young: *Deutscher Biotechnologie-Report 2020*, Mannheim, 2020.

FAZ 2018

Frankfurter Allgemeine Zeitung: „Grünes Design allein reicht nicht mehr. Noch jagen viele in der Chemie falschen Leitbildern hinterher. Statt Kreislaufwirtschaft brauchen wir zielgerichtete, sparsame Prozesse.“. In: *Frankfurter Allgemeine Zeitung*, 14.02.2018.

FAZ 2020a

Frankfurter Allgemeine Zeitung: „Souveränität ist kein Geschenk“. In: *Frankfurter Allgemeine Zeitung*, 5.5.2020.

FAZ 2020b

Frankfurter Allgemeine Zeitung: „Unser Weg aus der Pandemie“. In: *Frankfurter Allgemeine Zeitung*, 20.05.2020.

FAZ 2020c

Frankfurter Allgemeine Zeitung: *Neue Standards für Bilanzen*, 2020. URL: <https://zeitung.faz.net/faz/rm-wirtschaft/2020-02-28/4f0b23402bd849c0f3d7968109275644/?GEPc=s5> [Stand: 11.04.2020].

FCH/MI 2020

Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking/Mission Innovation: *H2Valleys Mission Innovation Hydrogen Valley Platform*, 2020. URL: <http://www.h2v.eu/> [Stand: 06.05.2020].

Fitch Ratings 2020

Fitch Ratings: *ESG in Credit*, New York, 2020.

FNB Gas et al. 2020

Die Vereinigung der Fernleitungsnetzbetreiber Gas e.V./Bundesverband der Deutschen Industrie e.V./Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft/Verband der industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e.V./Deutscher Industrie- und Handelskammertag: *Auf dem Weg zu einem wettbewerblchen Wasserstoffmarkt*, Berlin, 2020.

FNG 2019a

Forum Nachhaltige Geldanlage: *Marktbericht 2019*, Berlin, 2019.

FNG 2019b

Forum Nachhaltige Geldanlage 2019b: „EU Taxonomie ist keine Definition Nachhaltiger Geldanlagen“ (Pressemitteilung vom 1. April 2019). URL: [Stand: 09.04.2020].

FNG 2020

Forum Nachhaltige Geldanlage: *Das FNG-Siegel*, 2020. URL: <https://www.fng-siegel.org/das-fng-siegel.html> [Stand: 13.04.2020].

Foster et al. 2019

Foster, D./Kind, C./Ackerman, P. J./Tai, J.-S. B./Dennis, M. R./Smalyukh, I. I.: „Two-dimensional skyrmion bags in liquid crystals and ferromagnets“. In: *Nature Physics*, 15: 7, 2019, S. 655–659.

Fraunhofer CCPE 2019

Fraunhofer Cluster Circular Plastics Economy: *Circular Plastics Economy*, München, 2019.

Fraunhofer CCPE 2020

Fraunhofer Cluster Circular Plastics Economy: *Fraunhofer Cluster Circular Plastics Economy*, 2020. URL: <https://ccpe.fraunhofer.de/index.php/de/cluster-circular-plastics-economy-ccpe/> [Stand: 13.4.2020].

Fraunhofer IPA 2018

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung: *MANUFUTURE-DE*, Stuttgart, 2018.

Fraunhofer IPT 2019

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie: *Evolopro*, 2019. URL: <https://www.ipt.fraunhofer.de/en/trends/biological-transformation/evolopro.html> [Stand: 14.4.2020].

Fraunhofer-Gesellschaft 2018

Fraunhofer-Gesellschaft: *Biologische Transformation und Bioökonomie*, München, 2018.

Fraunhofer-Gesellschaft 2019

Fraunhofer-Gesellschaft: *Biointelligenz*, München, 2019.

Fraunhofer-Gesellschaft et al. 2020

Fraunhofer-Gesellschaft/Helmholtz-Gemeinschaft/Leibniz-Gemeinschaft/Max-Planck-Gesellschaft: *Stellungnahme der Präsidenten der Außeruniversitären Forschungsorganisationen*, 2020.

FUSIONS 2016

Food Use for Social Innovation by Optimising Waste Prevention Strategies: *Estimates of European food waste levels*, Stockholm, 2016.

DECHEMA 2017

Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V.: *Low Carbon energy and Feedstock for the European chemical Industry*, Frankfurt am Main, 2017.

DECHEMA/FutureCamp Climate GmbH 2019

Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V./FutureCamp Climate GmbH: *Roadmap Chemie 2050*, Frankfurt am Main, 2019.

GI 2020

Gesellschaft für Informatik 2020: „Handlungsempfehlungen für die Bildungspolitik: GI startet „Offensive Digitale Schultransformation““ (Pressemitteilung vom 18.05.2020).

Golem.de 2019

Golem.de: *Speichertechnik: Microsoft stellt automatischen DNA-Speicher vor*, 2019. URL: <https://www.golem.de/news/speichertechnik-microsoft-stellt-automatischen-dna-speicher-vor-1903-140188.html> [Stand: 27.2.2020].

Green Alliance 2015

Green Alliance: *Unemployment and the circular economy in Europe*, London, 2015.

GRI 2020

Global Reporting Initiative: *About GRI*, 2020. URL: <https://www.globalreporting.org/information/about-gri/Pages/default.aspx> [Stand: 7.4.2020].

GSIA 2020

Global Sustainable Investment Alliance: *About Us*, 2020. URL: <http://www.gsi-alliance.org/aboutus/> [Stand: 8.4.2020].

Haider et al. 2019

Haider, T. P./Völker, C./Kramm, J./Landfester, K./Wurm, F. R.: „Kunststoffe der Zukunft? Der Einfluss von bioabbaubaren Polymeren auf Umwelt und Gesellschaft“. In: *Angewandte Chemie*, 131: 1, 2019, S. 50–63.

Handelsblatt 2019a

Handelsblatt: *Gold from trash: German retailer Schwarz takes an unlikely plunge into recycling*, 2019. URL: <https://www.handelsblatt.com/today/companies/gold-from-trash-german-retailer-schwarz-takes-an-unlikely-plunge-into-recycling/23936330.html?ticket=ST-3239003-7YYOiRIS3jamQXEkWgbg-ap5> [Stand: 11.4.2020].



Handelsblatt 2019b

Handelsblatt: *Geldanlage: Auf der Jagd nach grüner Rendite – Erste Experten warnen vor Nachhaltigkeits-Blase*, 2019. URL: <https://www.handelsblatt.com/finanzen/anlagestrategie/trends/geldanlage-auf-der-jagd-nach-gruener-rendite-erste-experten-warnen-vor-nachhaltigkeits-blase/25294390.html> [Stand: 06.02.2020].

Handelsblatt 2020

Handelsblatt: *Corona legt Deutschlands digitale Defizite schonungslos offen*, 2020. URL: <https://www.handelsblatt.com/meinung/kommentare/kommentar-corona-legt-deutschlands-digitale-defizite-schonungslos-offen/25725782.html?ticket=ST-2783091-vdLQUeWQ4BVbKq6DeXL1-ap6> [Stand: 14.05.2020].

Hans Böckler Stiftung 2019

Hans Böckler Stiftung: *Wirtschaftliche Instrumente für eine klima- und sozialverträgliche CO₂-Bepreisung.*, Düsseldorf, 2019.

Hans Böckler Stiftung 2020

Hans Böckler Stiftung: „Unternehmen mit starker Mitbestimmung sind rentabler und verfolgen häufiger eine Qualitäts- und Innovationsstrategie“ (Pressemitteilung vom 10.05.2020). URL: <https://www.boeckler.de/de/pressemitteilungen-2675-22753.htm> [Stand: 10.05.2020].

HeidelbergCement 2020

HeidelbergCement: *Oxyfuel-Technologie zur CO₂-Abscheidung im HeidelbergCement-Werk Colleferro*, 2020. URL: <https://www.heidelbergcement.com/de/ecra-oxyfuel> [Stand: 6.4.2020].

Heinrich Böll Stiftung/Break Free From Plastic 2019

Heinrich Böll Stiftung/Break Free From Plastic: *Plastic Atlas 2019*, Berlin, 2019.

HLEG 2018

High-Level Expert Group on Sustainable Finance: *Final Report 2018 by the High-Level Expert Group on Sustainable Finance*, Brüssel, 2018.

Hoevermann/Fulda 2020

Hoevermann, A./Fulda, B.: *Soziale Lebenslagen und die Sorge über den Klimawandel*, Düsseldorf, 2020.

Höpner 2003

Höpner, M.: *Wer beherrscht die Unternehmen?* Shareholder Value, Managerherrschaft und Mitbestimmung in Deutschland, Frankfurt am Main: Campus-Verlag, 2003.

Hydrogen Council 2017

Hydrogen Council: *Hydrogen scaling up*, Brüssel, 2017.

HydrogenEurope 2020

HydrogenEurope: *Green Hydrogen for a European Green Deal A 2x40 GW Initiative*, Brüssel, 2020.

ifo Institut 2019

Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung an der Universität München e.V.: „Das Flexcap – eine innovative CO₂-Bepreisung für Deutschland“. In: *ifo Schnelldienst*, 72: 18/2019, 2019.

IHK 2019

Industrie- und Handelskammer: *Das SALCOS-Projekt: »grüner Stahl« aus Salzgitter*, 2019. URL: <https://www.braunschweig.ihk.de/wirtschaft-online/titelstory/das-salcos-projekt-gruener-stahl-aus-salzgitter> [Stand: 28.01.2020].

IMU 2019

Institut für Mitbestimmung und Unternehmensführung: *Mitbestimmung im Aufsichtsrat und ihre Wirkung auf die Unternehmensführung. Eine empirische Analyse vor dem Hintergrund der Finanz- und Wirtschaftskrise*, Düsseldorf, 2019.

IMU 2020

Institut für Mitbestimmung und Unternehmensführung: *Entwicklung der Wettbewerbsstrategien in deutschen börsennotierten Unternehmen* (Mitbestimmungsreport 57), Düsseldorf, 2020.

imug 2020

Institut für Markt-Umwelt-Gesellschaft e.V.: *imug | rating*, 2020. URL: <https://www.imug.de/imug-rating/> [Stand: 10.05.2020].

IPCC 2018

Intergovernmental Panel on Climate Change: *Global warming of 1.5°C*, Genf, 2018.

Ismer et al. 2020

Ismer, R./Neuhoff, K./Pirlot, A.: „Border Carbon Adjustments and Alternative Measures for the EU ETS An Evaluation“. In: *DIW Berlin Discussion Papers*, 2020.

ISS ESG 2020

Institutional Shareholder Services ESG: *Über uns*, 2020. URL: <https://www.issgovernance.com/esg-de/> [Stand: 10.05.2020].

Kalundborg Symbiosis 2020

Kalundborg Symbiosis: *Explore the Kalundborg Symbiosis*, 2020.
URL: <http://www.symbiosis.dk/en/> [Stand: 20.05.2020].

Keilhauer 2015

Keilhauer, O.: „Venture Capital für Erneuerbare-Energie-Technologien“ (Dissertation) Gesellschaft für Ökologische Kommunikation mbH, Wuppertal, 2015.

KfW 2019a

Kreditanstalt für Wiederaufbau: „Zehn Milliarden Euro für eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft in der EU“ (Pressemitteilung vom 18.07.2019). URL: https://www.kfw.de/KfW-Konzern/Newsroom/Aktuelles/Pressemitteilungen-Details_531840.html [Stand: 11.02.2020].

KfW 2019b

Kreditanstalt für Wiederaufbau: *Der nachhaltige Investmentansatz für das Liquiditätsportfolio der KfW*, Frankfurt am Main, 2019.

Kirchherr et al. 2018

Kirchherr, J./Piscicelli, L./Bour, R./Kostense-Smit, E./Muller, J./Huibrechtse-Truijens, A./Hekkert, M.: „Barriers to the Circular Economy: Evidence From the European Union (EU)“. In: *Ecological Economics*, 150, 2018, S. 264–272.

Kümmerer 2017

Kümmerer, K.: „Nachhaltige Chemie – das künftige Leitbild“. In: *Angewandte Chemie*, 129: 52, 2017, S. 16640–16641.

Kümmerer et al. 2020

Kümmerer, K./Clark, J. H./Zuin, V. G.: „Rethinking chemistry for a circular economy“. In: *Science (New York, N.Y.)*, 367: 6476, 2020, S. 369–370.

Lacy et al. 2015

Lacy, P./Rutqvist, J./Buddemeier, P.: *Wertschöpfung statt Verschwendung*. Die Zukunft gehört der Kreislaufwirtschaft, München: Redline Verlag 2015.

Lacy et al. 2020

Lacy, P./Long, J./Spindler, W.: *The circular economy handbook*. Realizing the circular advantage, London: Palgrave Macmillan 2020.

Leopoldina 2019

Leopoldina – Nationale Akademie der Wissenschaften: *Climate targets 2030: Towards a sustainable reduction of CO₂ emissions*, Halle (Saale), 2019.

Leopoldina 2020

Leopoldina – Nationale Akademie der Wissenschaften: *Dritte Ad-hoc-Stellungnahme*, Halle (Saale), 2020.

Leopoldina et al. 2020

Leopoldina – Nationale Akademie der Wissenschaften/Deutsche Akademie der Technikwissenschaften/Union der deutschen Akademien der Wissenschaften: *Energiewende 2030: Europas Weg zur Klimaneutralität*, Halle (Saale), 2020.

Material Economics 2018a

Material Economics: *Sustainable Packaging*, Stockholm, 2018.

Material Economics 2018b

Material Economics: *The Circular Economy*, Stockholm, 2018.

Material Economics 2019

Material Economics: *Industrial Transformation 2050*, Stockholm, 2019.

MCC/PIK 2019

Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change/Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e.V.: *Optionen für eine CO₂-Preisreform*, Berlin, 2019.

McKinsey & Company 2018

McKinsey & Company: *Why commercial use could be the future of carbon capture*, 2018. URL: <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/why-commercial-use-could-be-the-future-of-carbon-capture#> [Stand: 7.4.2020].

McKinsey & Company 2019a

McKinsey & Company: *Biotech in Europe: A strong foundation for growth and innovation*, 2019. URL: <https://www.mckinsey.com/industries/pharmaceuticals-and-medical-products/our-insights/biotech-in-europe-a-strong-foundation-for-growth-and-innovation#> [Stand: 08.05.2020].

**McKinsey & Company 2019b**

McKinsey & Company: *The future of food: Meatless?*, New York, 2019.

McKinsey & Company 2019c

McKinsey & Company: *Five ways that ESG creates value*, New York, 2019.

McKinsey & Company 2020a

McKinsey & Company: *Digital strategy during the coronavirus crisis*, 2020. URL: <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/digital-strategy-in-a-time-of-crisis> [Stand: 20.5.2020].

McKinsey & Company 2020b

McKinsey & Company: *How European business can recover from the coronavirus*, 2020. URL: <https://www.mckinsey.com/industries/public-sector/our-insights/how-european-businesses-can-position-themselves-for-recovery> [Stand: 20.5.2020].

McKinsey Global Institute 2019

McKinsey Global Institute: *Skill Shift*, New York, 2019.

McKinsey Global Institute 2020

McKinsey Global Institute: *Climate risk and response: Physical hazards and socioeconomic impacts*, New York, 2020.

Moody's 2020

Moody's: *Moody's Approach to ESG and Credit*, 2020. URL: <https://esg.moody's.io/> [Stand: 15.04.2020].

MSCI ESG 2020

MSCI ESG: *ESG Ratings*, 2020. URL: <https://www.msci.com/esg-ratings> [Stand: 10.05.2020].

Nachhaltiges Investment 2020

Nachhaltiges Investment: *Novethic-Labels*, 2020. URL: <https://www.nachhaltiges-investment.org/Ratings/novethic-labels.aspx> [Stand: 13.04.2020].

Nordic Swan Ecolabel 2020

Nordic Swan Ecolabel: *Investment Funds*, 2020. URL: <http://www.nordic-ecolabel.org/product-groups/group/?productGroupCode=101> [Stand: 13.04.2020].

nova-Institute 2020

nova-Institute: *Bio-based Building Blocks and Polymers – Global Capacities, Production and Trends 2019–2024*, Hürth, 2020.

novethic 2020

novethic: *Greenfin Label, an Essential Benchmark for Green Finance*, 2020. URL: <https://www.novethic.com/greenfin-label-green-finance.html> [Stand: 13.04.2020].

NPM 2019a

Nationale Plattform Zukunft der Mobilität: *Wege zur Erreichung der Klimaziele 2030 im Verkehrssektor*, Berlin, 2019.

NPM 2019b

Nationale Plattform Zukunft der Mobilität: *1. Zwischenbericht zur Wertschöpfung*, Berlin, 2019.

NPM 2020

Nationale Plattform Zukunft der Mobilität: *1. Zwischenbericht zur strategischen Personalplanung und -entwicklung im Mobilitätssektor*, Berlin, 2020.

OECD 2018

Organisation for Economic Co-operation and Development: *Meeting Policy Challenges for a Sustainable Bioeconomy*, Paris: OECD Publishing, 2018.

PlasticsEurope 2016

PlasticsEurope: *Zero Plastics to Landfill by 2025*, Brüssel, 2016.

PlasticsEurope 2019a

PlasticsEurope: *Plastics – the Facts 2019*, Brüssel, 2019.

PlasticsEurope 2019b

PlasticsEurope: *The Circular Economy for Plastics*, Brüssel, 2019.

PRE/VCI 2019

Plastics Recyclers Europe/Verband der chemischen Industrie e. V.: *Positionspapier Chemisches Recycling*, Frankfurt am Main, 2019.

PRI 2020a

Principles for Responsible Investment: *About the PRI*, 2020. URL: <https://www.unpri.org/pri/about-the-pri> [Stand: 27.3.2020].

PRI 2020b

Principles for Responsible Investment: *EU Sustainable Finance Taxonomy*, 2020. URL: <https://www.unpri.org/eu-taxonomy> [Stand: 09.04.2020].

PwC 2011

PricewaterhouseCoopers: *Reuse and Recycling Systems for Selected Beverage Packaging from a Sustainability Perspective*, London, 2011.

PwC 2019

PricewaterhouseCoopers International: *The road to circularity – Why a circular economy is becoming the new normal*, London, 2019.

Raworth 2017

Raworth, K.: *Doughnut economics*. Seven ways to think like a 21st-century economist, London: Random House Business Books 2017.

RNE 2016

Rat für Nachhaltige Entwicklung: *Industrie 4.0 und Nachhaltigkeit: Chancen und Risiken für die Nachhaltige Entwicklung*, Berlin, 2016.

RNE et al. 2017

Rat für Nachhaltige Entwicklung/Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit/Accenture Strategy: *Chancen der Kreislaufwirtschaft für Deutschland*, Berlin, 2017.

Roland Berger 2017

Roland Berger: *How digitization will affect tomorrow's world of work: 12 hypotheses*, Stuttgart, 2017.

Sack et al. 2016

Sack, D./Schulten, T./Sarter, E. K./Böhlke, N.: *Öffentliche Auftragsvergabe in Deutschland*. Sozial und nachhaltig?, Baden-Baden: Nomos, 2016.

Samper et al. 2018

Samper, M. D./Bertomeu, D./Arrieta, M. P./Ferri, J. M./López-Martínez, J.: „Interference of Biodegradable Plastics in the Polypropylene Recycling Process“. In: *Materials (Basel, Switzerland)*, 11: 10, 2018.

SAPEA 2019

Science Advice for Policy by European Academies: *A Scientific Perspective on Microplastics in Nature and Society*, Berlin, 2019.

SAPEA 2020

Science Advice for Policy by European Academies: *A Sustainable Food System for the European Union*, Berlin, 2020.

SCAR 2017

Standing Committee on Agricultural Research: *Technical Note: Synergy and added Value of Bioeconomy and Circular Economy*, Brüssel, 2017.

Schülke & Mayr GmbH 2012

Schülke & Mayr GmbH: *Chemikalienleasing – effiziente und nachhaltige Krankenhaushygiene*, Norderstedt, 2012.

Science Business 2020

Science Business: *EU ministers hand €200M from EIC budget to Marie Curie in Horizon deal*, 2020. URL: <https://sciencebusiness.net/framework-programmes/news/eu-ministers-hand-eu200m-eic-budget-marie-curie-horizon-deal> [Stand: 10/19/2020 10:35:19].

Seidel/Meyer 2016

Seidel, C./Meyer, A.: „Unsicherheitsvermeidend oder opportunistisch: Internationalisierungsverläufe von kleinen und mittleren Unternehmen“. In: *WSI Mitteilungen*: 6, 2016, S. 426–435.

Siebert 2014

Siebert, J.: *Ratingagenturen auf den internationalen Finanzmärkten*. Ihre Rolle in der Finanz- und Eurokrise, Hamburg: igel Verl. RWS 2014.

Solis/Silveira 2020

Solis, M./Silveira, S.: „Technologies for chemical recycling of household plastics – A technical review and TRL assessment“. In: *Waste management (New York, N.Y.)*, 105, 2020, S. 128–138.

SP 2020

Standard & Poor's: *ESG in Credit Ratings*, 2020. URL: <https://www.spglobal.com/ratings/en/products-benefits/products/esg-in-credit-ratings> [Stand: 15.04.2020].

Spektrum.de 2017

Spektrum.de: *Quasiteilchen: Antimagnetwirbel in exotischer Legierung*, 2017. URL: <https://www.spektrum.de/news/antimagnetwirbel-in-exotischer-legierung/1496791> [Stand: 3.4.2020].

**Sustainable Finance-Beirat der Bundesregierung 2019**

Sustainable Finance-Beirat der Bundesregierung: *Der Sustainable Finance-Beirat der Bundesregierung*, Berlin, 2019.

Sustainable Finance-Beirat der Bundesregierung 2020

Sustainable Finance-Beirat der Bundesregierung: *Zwischenbericht*, Berlin, 2020.

Sustainalytics 2020

Sustainalytics: *About Us*, 2020. URL: <https://www.sustainalytics.com/about-us/> [Stand: 10.05.2020].

Takahashi et al. 2019

Takahashi, C. N./Nguyen, B. H./Strauss, K./Ceze, L.: „Demonstration of End-to-End Automation of DNA Data Storage“. In: *Nature Scientific reports*, 9: 1, 2019, S. 4998.

TCFD 2020

Task Force on Climate-Related Financial Disclosures: *About*, 2020. URL: <https://www.fsb-tcfd.org/about/> [Stand: 6.4.2020].

TEG 2020a

Technical Expert Group on Sustainable Finance: *Taxonomy Report: Technical annex*, Brüssel, 2020.

TEG 2020b

Technical Expert Group on Sustainable Finance: *Taxonomy: Final report of the Technical Expert Group on Sustainable Finance*, Brüssel, 2020.

TEG 2020c

Technical Expert Group on Sustainable Finance: *Webinar Series EU Taxonomy Explored: A Talk with TEG Experts*, Brüssel, 2020.

The Ex'tax Project 2016

The Ex'tax Project: *New era. New plan.*, Utrecht, 2016.

Thyssenkrupp 2020

Thyssenkrupp: *Klimainitiative Stahl*, 2020. URL: <https://www.thyssenkrupp-steel.com/de/unternehmen/nachhaltigkeit/klimastrategie/> [Stand: 6.4.2020].

Tournier et al. 2020

Tournier, V./Topham, C./Gilles, A./David, B./Folgoas, C./Moya-Leclair, E./Kamionka, E./Desrousseaux, M.-L./Texier, H./Gavalda, S./Cot, M./Guémard, E./Dalibey, M./Nomme, J./Cioci, G./Barbe, S./Chateau, M./André, I./Duquesne, S./Marty, A.: „An engineered PET depolymerase to break down and recycle plastic bottles“. In: *Nature*, 580: 7802, 2020, S. 216–219.

UBA 2008

Umweltbundesamt: *CO₂-Abscheidung und Speicherung im Meeresgrund*, Dessau-Roßlau, 2008.

UBA 2009

Umweltbundesamt: *Biologisch abbaubare Kunststoffe*, Dessau-Roßlau, 2009.

UBA 2010

Umweltbundesamt: *2050: 100%*, Dessau-Roßlau, 2010.

UBA 2012

Umweltbundesamt: *Untersuchung der Umweltwirkungen von Verpackungen aus biologisch abbaubaren Kunststoffen*, Dessau-Roßlau, 2012.

UBA 2019a

Umweltbundesamt: *Umweltmanagement und Digitalisierung*, Dessau-Roßlau, 2019.

UBA 2019b

Umweltbundesamt: *Kunststoffe in der Umwelt*, Dessau-Roßlau, 2019.

UBA 2019c

Umweltbundesamt: *Aufkommen und Verwertung von Verpackungsabfällen in Deutschland im Jahr 2017* (Dessau-Roßlau), Dessau-Roßlau, 2019.

UBA 2019d

Umweltbundesamt: *Den Weg zu einem treibhausgasneutralen Deutschland ressourcenschonend gestalten*, Dessau-Roßlau, 2019.

UBA 2020

Umweltbundesamt: *Biobasierte und biologisch abbaubare Kunststoffe*, 2020. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/biobasierte-biologisch-abbaubare-kunststoffe#11-was-ist-der-unterschied-zwischen-biobasierten-und-biologisch-abbaubaren-kunststoffen> [Stand: 10.4.2020].

UNEPFI 2020

United Nations Environment Programme Finance Initiative: *UN-convened Net-Zero Asset Owner Alliance – United Nations Environment – Finance Initiative*, 2020. URL: <https://www.unepfi.org/netzero-alliance/> [Stand: 27.3.2020].

Universität Bayreuth 2018

Universität Bayreuth: „Wissenschaftlich auf Spitzenniveau: Neuer Sonderforschungsbereich für die Universität Bayreuth“ (Pressemitteilung vom 26.11.2018). URL: <https://www.uni-bayreuth.de/de/universitaet/presse/pressemitteilungen/2018/146-SFB-Mikroplastik/index.html> [Stand: 10.5.2020].

Value Balancing Alliance 2020a

Value Balancing Alliance: *About Us*, 2020. URL: <https://www.value-balancing.com/about-us/> [Stand: 11.04.2020].

Value Balancing Alliance 2020b

Value Balancing Alliance: „Der Beitrag der Value Balancing Alliance e.V. zum EU Green Deal“ (Pressemitteilung vom 28. Februar 2020). URL: <https://www.value-balancing.com/press-releases/der-beitrag-der-value-balancing-alliance-e-v-zum-eu-green-deal/> [Stand: 11.04.2020].

van den Oever et al. 2017

van den Oever, M./Molenveld, K./van der Zee, M./Bos, H.: *Bio-based and biodegradable plastics - Facts and Figures*, Wageningen, 2017.

van der Zee/Molenveld 2020

van der Zee, M./Molenveld, K.: *The fate of (compostable) plastic products in a full scale industrial organic waste treatment facility*, Wageningen, 2020.

VCI 2019a

Verband der chemischen Industrie e.V.: *Energiewende* (Daten und Fakten), Frankfurt am Main, 2019.

VCI 2019b

Verband der chemischen Industrie e.V.: *Wege in die Zukunft- Weichenstellung für eine nachhaltige Entwicklung in der chemisch-pharmazeutischen Industrie*, Frankfurt am Main, 2019.

VDI-Gesellschaft Materials Engineering 2014

VDI-Gesellschaft Materials Engineering: *Werkstoffinnovationen für nachhaltige Mobilität und Energieversorgung*, Düsseldorf, 2014.

wbcsc/BCG 2018

World Business Council for Sustainable Development/Boston Consulting Group: *The new big cycle –Achieving growth and business model innovation through circular economy implementation*, Genf, 2018.

WEF/Atkins Acuity 2017

World Economic Forum/Atkins Acuity: *Recycling our Infrastructure for Future Generations*, Genf, 2017.

WEF 2016

World Economic Forum: *The New Plastics Economy*, Genf, 2016.

WEF 2020a

World Economic Forum: *Global Battery Alliance*, 2020. URL: <https://www.weforum.org/global-battery-alliance/home> [Stand: 15.05.2020].

WEF 2020b

World Economic Forum: *Toward Common Metrics and Consistent Reporting of Sustainable Value Creation*, Genf, 2020.

WEF/BCG 2020

World Economic Forum/Boston Consulting Group: *The Net-Zero Challenge: Fast-Forward to Decisive Climate Action*, Genf, 2020.

WEF/Ellen MacArthur Foundation 2017

World Economic Forum/Ellen MacArthur Foundation: *The New Plastics Economy*, Genf, 2017.

WEF et al. 2016

World Economic Forum/Ellen MacArthur Foundation/McKinsey & Company: *The New Plastics Economy*, Genf, 2016.

Weigl/Schmidt 2010

Weigl, M. C./Schmidt, G.: *Carbon Capture in Cracking Furnaces*, San Antonio 21.-25.10.2010.



Westdeutsche Zeitung 2019

Westdeutsche Zeitung: „Grüner“ Stahl – Wie Thyssenkrupp klimafreundlicher werden will, 2019. URL: https://www.wz.de/wirtschaft/gruener-stahl-wie-thyssenkrupp-klimafreundlicher-werden-will_aid-47115951 [Stand: 6.4.2020].

WGBU 2019

Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen: *Unsere gemeinsame digitale Zukunft*, Berlin, 2019.

WHO 2020

World Health Organisation: *DRAFT landscape of COVID-19 candidate vaccines*, Genf, 2020.

Wilts et al. 2020

Wilts, C. H./Garcia, B. R./Garlito, R. G./Gómez, L. S./Prieto, E. G./Kwik, C./Johannesen, K.: „Künstliche Intelligenz in der Siedlungsabfallsortierung als Wegbereiter der Kreislaufwirtschaft“. In: *Müll und Abfall*, 52: 2, 2020, S. 48-53.

Wissenschaftsjahr 2020

Wissenschaftsjahr: *Wissenschaftsjahr 2020: Bioökonomie*, 2020. URL: <https://www.wissenschaftsjahr.de/2020/> [Stand: 09.05.2020].

Wyns et al. 2019

Wyns, T./Khandekar, G./Axelson, M./Sartor, O./Neuhoff, K.: *Industrial Transformation 2050*, Brüssel, 2019.

Zimmerman et al. 2020

Zimmerman, J. B./Anastas, P. T./Erythropel, H. C./Leitner, W.: „Designing for a green chemistry future“. In: *Science (New York, N.Y.)*, 367: 6476, 2020, S. 397-400.

ZVEI/Wegener 2020

Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie/Wegener, D.: *Industrie 4.0 – “The Big Picture”*, 12th Economic Forum TIME, Warsaw 09.03.2020.



acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften

acatech berät Politik und Gesellschaft, unterstützt die innovationspolitische Willensbildung und vertritt die Technikwissenschaften international. Ihren von Bund und Ländern erteilten Beratungsauftrag erfüllt die Akademie unabhängig, wissenschaftsbasiert und gemeinwohlorientiert. acatech verdeutlicht Chancen und Risiken technologischer Entwicklungen und setzt sich dafür ein, dass aus Ideen Innovationen und aus Innovationen Wohlstand, Wohlfahrt und Lebensqualität erwachsen. acatech bringt Wissenschaft und Wirtschaft zusammen. Die Mitglieder der Akademie sind herausragende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den Ingenieur- und den Naturwissenschaften, der Medizin sowie aus den Geistes- und Sozialwissenschaften. Die Senatorinnen und Senatoren sind Persönlichkeiten aus technologieorientierten Unternehmen und Vereinigungen sowie den großen Wissenschaftsorganisationen. Neben dem acatech FORUM in München als Hauptsitz unterhält acatech Büros in Berlin und Brüssel.

Weitere Informationen unter www.acatech.de.



Herausgeber:

Dr. Martin Bruder Müller
BASF SE Germany
Carl-Bosch-Strasse 38
67056 Ludwigshafen am Rhein

Prof. Dr.-Ing. Reimund Neugebauer
Fraunhofer-Gesellschaft
Postfach 20 07 33
80007 München

Reiner Hoffmann
Deutscher Gewerkschaftsbund
Henriette-Herz-Platz 2
10178 Berlin

Prof. Dr.-Ing. Günther Schuh
RWTH Aachen University
52056 Aachen

Prof. Dr. Henning Kagermann
acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften
Pariser Platz 4a
10117 Berlin

Reihenherausgeber:

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, 2020

Geschäftsstelle
Karolinenplatz 4
80333 München
T +49 (0)89/52 03 09-0
F +49 (0)89/52 03 09-900

Hauptstadtbüro
Pariser Platz 4a
10117 Berlin
T +49 (0)30/2 06 30 96-0
F +49 (0)30/2 06 30 96-11

Brüssel-Büro
Rue d'Egmont/Egmontstraat 13
1000 Brüssel | Belgien
T +32 (0)2/2 13 81-80
F +32 (0)2/2 13 81-89

info@acatech.de
www.acatech.de

Vorstand i.S.v. § 26 BGB: Prof. Dr.-Ing. Dieter Spath, Karl-Heinz Streibich, Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier, Prof. Dr. Reinhard F. Hüttl (Amt ruht derzeit), Dr. Stefan Oschmann, Prof. Dr. Christoph M. Schmidt, Prof. Dr.-Ing. Thomas Weber, Manfred Rauhmeier, Prof. Dr. Martina Schraudner

Empfohlene Zitierweise:

Bruder Müller, M./Hoffmann, R./Kagermann, H./Neugebauer, R./Schuh, G. (Hrsg.): *Innovationen für einen europäischen Green Deal (acatech IMPULS), München 2020.*

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

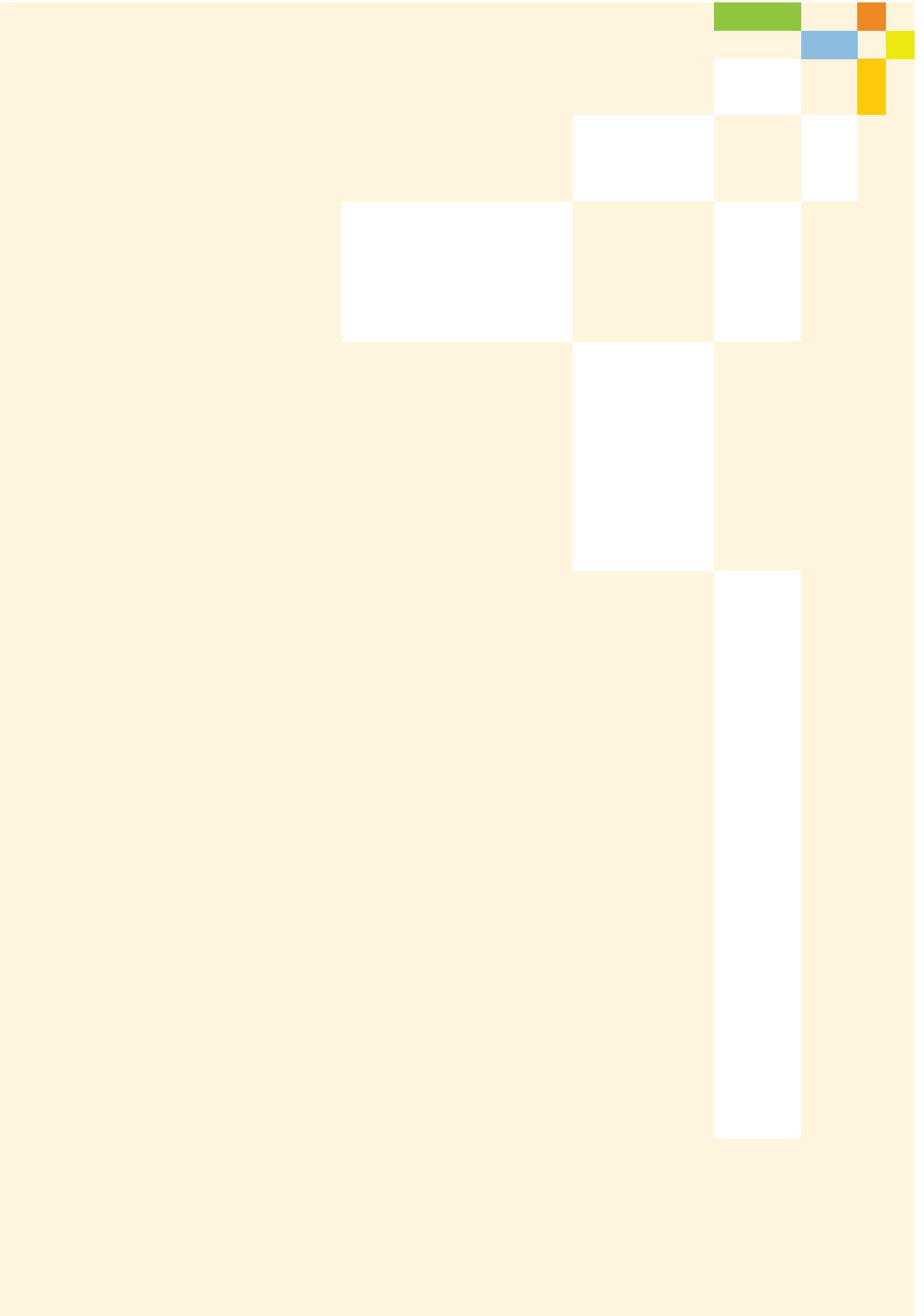
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

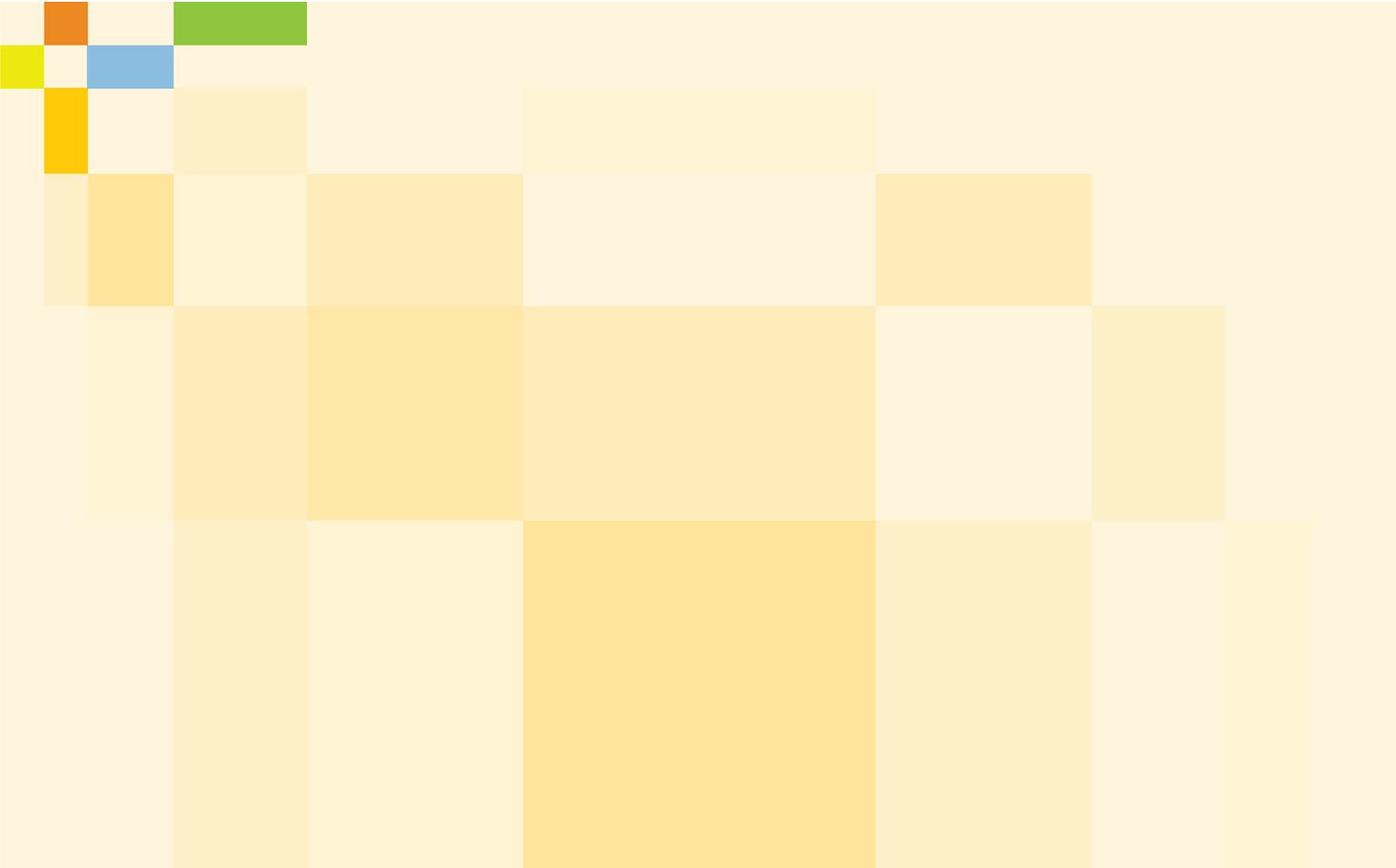
Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf fotomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwendung – vorbehalten.

Copyright © acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften • 2020

Koordination: Florian Süssenguth
Lektorat: Lektorat Berlin
Layout-Konzeption: Groothuis, Hamburg
Titelfoto: shutterstock.com/EtiAmmos
Konvertierung und Satz: Fraunhofer IAIS, Sankt Augustin

Die Originalfassung der Publikation ist verfügbar auf www.acatech.de.





Der europäische Green Deal ist eine wichtige Blaupause für eine auf ökologische, ökonomische und soziale Nachhaltigkeit ausgerichtete Transformation der industriellen Basis Europas. Eine erfolgreiche Umsetzung des Green Deal setzt gerade in Zeiten enger werdender finanzieller Spielräume eine breite Zustimmung und Unterstützung in der Bevölkerung und durch die Unternehmen voraus. Neben Klimaschutz und dem Erhalt der Biodiversität müssen daher weitere Gestaltungziele für den neuen Normalzustand in Europa nach der SARS-CoV-2-Pandemie gelten: eine gestärkte internationale Wettbewerbsfähigkeit Europas und ein nachhaltiger Strukturwandel von Branchen und Regionen, der Beschäftigte einbezieht und Menschen neue Perspektiven eröffnet.

Dieser acatech IMPULS zeigt Wasserstoff und Elektrifizierung aus erneuerbaren Energien, digitale und biologische Transformation und Circular Economy als vielversprechende Hebel für eine nachhaltige Transformation der Industrie auf, bei denen auf die starke deutsche und europäische Forschungsbasis aufgebaut werden kann. Es bedarf hoher Investitionen, um diese Hebel in Bewegung zu setzen. Daher werden neben den technologischen Innovationen auch Ansätze vorgestellt, um Europa zu einem attraktiven Standort für Investitionen in Nachhaltigkeit zu machen.