

Circular Economy Roadmap für Deutschland



Circular Economy
Initiative
Deutschland

acatech/Circular Economy Initiative
Deutschland/SYSTEMIQ (Hrsg.)



SYSTEMIQ

 **acatech**
DEUTSCHE AKADEMIE DER
TECHNIKWISSENSCHAFTEN



Circular Economy
Initiative
Deutschland

Circular Economy Roadmap für Deutschland

acatech/Circular Economy Initiative
Deutschland/SYSTEMIQ (Hrsg.)



Circular Economy
Initiative
Deutschland

Inhalt

Vorwort	5
Zusammenfassung	7
Projekt	18
1 Einleitung	21
2 Status quo des Ressourcenverbrauchs in Deutschland	25
2.1 Kreislaforientierte Abfallwirtschaft	25
2.2 Ressourceneffizienz als Ansatz der Ressourcenschonung	27
2.3 Notwendigkeit und Potenziale einer systemischen Circular-Economy-Perspektive	29
2.4 Fazit	31
3 Zielbild für ein zirkulär wirtschaftendes Deutschland	33
3.1 Vorgehensweise zur Zielbildentwicklung	33
3.2 Deutschland 2030: Zielbild für die Transformation zu einer Circular Economy	35
3.3 Metriken zur Bemessung des Zielbilds	36
3.4 Quantifizierung des Zielbilds	37
3.4.1 Referenzszenario	38
3.4.2 Circular-Economy-Szenario	38
3.4.3 Fazit	42
4 Transformation zum zirkulären Material- und Produktmanagement	43
4.1 Ergebnisse der Arbeitsgruppe Zirkuläre Geschäftsmodelle	44
4.1.1 Istzustand: aktuelle Herausforderungen für die Transformation zu einer Circular Economy	44
4.1.2 Sollzustand: Kreislaufführung als neues Paradigma der Wirtschaft	45
4.1.3 Lösungsansatz: Circular Economy durch ganzheitliche Betrachtung unternehmerischer Wertschöpfung	46
EXKURS: Circular Society	50



4.2	Ergebnisse der Arbeitsgruppe Verpackung	51
4.2.1	Istzustand: zunehmende Kunststoffverpackungsabfallmengen durch mangelnde Kreislaufführung	51
4.2.2	Sollzustand: defossilierte und materialproduktive Verpackungswirtschaft	51
4.2.3	Lösungsansatz: Qualitätserhalt und Materialreduktion durch kombinierte Circular-Economy-Hebel	52
4.3	Ergebnisse der Arbeitsgruppe Traktionsbatterien	56
4.3.1	Istzustand: Materialfußabdruck als Herausforderung der neuen, klimafreundlichen Mobilität	56
4.3.2	Sollzustand: Lebenszyklus-Materialmanagement verhilft Elektromobilität zum umweltfreundlichen Durchbruch	57
4.3.3	Lösungsansatz: datengetriebene Circular Economy maximiert die Produktivität von Batterien	57
4.4	Zusammenfassung und Gegenüberstellung der Funktionssysteme Verpackungen und Traktionsbatterien	61
5	Handlungsempfehlungen für eine Circular Economy	66
5.1	Zehn Handlungsschwerpunkte zur Erreichung der Transformation	66
5.2	Handlungsempfehlungen für die Politik	70
5.3	Handlungsempfehlungen für die Wirtschaft	74
5.4	Handlungsempfehlungen für die Wissenschaft	78
6	Ausblick	81
Anhang		82
A	Glossar	82
B	Abbildungsverzeichnis	87
C	Tabellenverzeichnis	87
D	Metriken für die Circular Economy	88
E	Methodikbeschreibung für die Quantifizierung der Circular Economy	92
Literatur		93

Vorwort

Spätestens seit dem European Green Deal ist klar: Der Weg zu einem treibhausgasneutralen Europa wird nur über einen grundlegenden Strukturwandel unseres wirtschaftlichen Handelns führen. Der neudeutsche Begriff der Circular Economy setzt einen Rahmen, um diesen notwendigen systemischen Strukturwandel von einer linearen, ressourcenintensiven hin zu einer zirkulären, ressourcenschonenden Wertschöpfung zu lenken und entsprechend zu gestalten.

Mit diesem Ziel vor Augen riefen wir im Jahr 2019 die *Circular Economy Initiative Deutschland* (CEID) ins Leben. Unter der Beteiligung von 3 Ministerien, 24 Unternehmen, 22 Forschungseinrichtungen und weiteren relevanten zivilgesellschaftlichen Organisationen stießen wir einen Dialog darüber an, wie diese umfassende Trendwende vom linearen zum zirkulären Wirtschaften gelingen kann.

Zwei Jahre später können wir nun auf die Ergebnisse dieser umfassenden, gemeinschaftlichen Arbeit blicken, die über 130 Expertinnen und Experten mit großem Engagement zusammengetragen haben. Im Rahmen umfassender Diskussionen im Lenkungs- und Arbeitskreis, bei Reviews und durch die Vorstellung der Ergebnisse auf nationalen wie internationalen Konferenzen sorgten die erarbeiteten Inhalte bereits für neue Diskussionsimpulse und wurden kontinuierlich weiter geschärft. Die detaillierten Ergebnis- und Diskussionsdarstellungen können den jeweiligen Ergebnisberichten der drei Arbeitsgruppen „Zirkuläre Geschäftsmodelle“, „Verpackung“ und „Traktionsbatterien“ entnommen werden. Dort wird unter anderem beschrieben, wie Deutschland durch neue Geschäftsmodelle zu einem Lieferanten von „Zirkulären Dienstleistungen“ (statt Produkten) werden kann, wie eine Kunststoffkreislaufwirtschaft dem Abfallproblem durch die Gestaltung einer neuen zirkulären Industrie begegnen kann und wie zirkuläres Batteriemangement aus einem Ressourcenengpass eine neue Dienstleistungsbranche machen kann.

Der Bericht beschreibt das Potenzial der zirkulären Wertschöpfung nicht nur für die Erreichung ökologischer und wirtschaftlicher Ziele, sondern auch die Perspektive auf lebenswerte Lebensverhältnisse. In der vorliegenden Circular Economy Roadmap für Deutschland wurden die Ergebnisse der Arbeitsgruppen synthetisiert, ein Zielbild für eine Circular Economy in Deutschland entwickelt, mögliche Umsetzungspfade modelliert sowie übergeordnete Handlungsempfehlungen für Politik, Wirtschaft und Wissenschaft abgeleitet. Diese Handlungsempfehlungen zeigen nun den schrittweisen Übergang zu einer Circular Economy bis zum Jahr 2030 auf.

Der Übergang zu einer Circular Economy stellt einen fundamentalen, gesamtgesellschaftlichen Transformationsprozess dar, der nur durch die Beteiligung und Kooperation aller Akteurinnen und Akteure gelingen kann. Vor diesem Hintergrund kann und muss die vorliegende Circular Economy Roadmap als „lebendiges Dokument“ verstanden und genutzt werden. So bietet sie einerseits einen umfassenden Orientierungsrahmen und beschreibt die anstehenden notwendigen Umsetzungsschritte in Politik und unternehmerischer Praxis. Andererseits wird die Beschreibung des Transformationsprozesses mit Erstellung dieser Roadmap nicht abgeschlossen sein. Sie bildet vielmehr das Fundament für die weitere Arbeit an einem konkreten Zielssystem für eine nationale Circular-Economy-Strategie sowie zu Fragen der Fortschrittsbemessung, der Wirkung ökonomischer Anreize, der Übertragbarkeit der Erkenntnisse auf weitere Anwendungsfälle und der Einbettung in einen europäischen Rahmen.

Wir hoffen, dass diese Roadmap eine positive Vision für den Wirtschaftsstandort Deutschland zu einem Zeitpunkt aufzeigen kann, an dem auf deutscher und europäischer Ebene wichtige Richtungsentscheidungen anstehen.

Unser Dank gilt dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), mit dessen Unterstützung der Aufbau einer *Circular Economy Initiative Deutschland* erst möglich war.



Außerdem danken wir unseren Gründungs- und Mitgliedsunternehmen für die Förderung der Initiative sowie dem Sun Institute for Environment and Sustainability – auf dessen Unterstützung beruhen die Arbeiten des Wuppertal Instituts zu den ökologischen und ökonomischen Potenzialen einer Circular Economy. Und nicht zuletzt möchten wir allen Beteiligten für ihre Kooperationsbereitschaft, ihren Ideenreichtum und ihr in vielen Fällen herausragendes Engagement danken!

Die *Circular Economy Initiative Deutschland* wurde unter der Federführung von acatech und in Kooperation mit SYSTEMIQ koordiniert.

Dr. Susanne Kadner

Leitung CEID Geschäftsstelle, acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften

Dr. Jörn Kobus

Programmleiter Zirkuläre Ressourcen und Nachhaltige Digitalisierung, SYSTEMIQ

Prof. Dr. Martin R. Stuchtey

Gründer und geschäftsführender Partner SYSTEMIQ

Prof. Dr.-Ing. Thomas Weber

Vizepräsident acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften

Zusammenfassung

Wir durchleben gerade eine Phase umfassender Dynamik: Diese Zeit ist geprägt durch die rasante Entwicklung innovativer Technologien, neue Muster im Verhalten der Konsumierenden, die Verknüpfung bislang voneinander getrennter Wertschöpfungsketten zu neuen Lösungen, eine von den Kapitalmärkten befeuerte Begeisterung für neue Geschäftsmodelle und nicht zuletzt einen stärker gestaltenden und investierenden Staat.

Gleichzeitig stößt die bisher vorherrschende Produktions- und Konsumlogik des „Take, Make, Waste“ – im deutschen Sprachgebrauch pointiert auch als „Wegwerfgesellschaft“ umschrieben – zunehmend an die planetaren Belastungsgrenzen. Besondere Dringlichkeit erfährt die wirtschaftliche Transformation momentan vor dem Hintergrund sich exponentiell verschärfender, multipler Krisen. Konkret verursacht die Förderung und Veredelung natürlicher Ressourcen 50 Prozent der globalen Treibhausgasemissionen sowie 90 Prozent des Biodiversitätsverlusts und des Wasserstresses.¹

Die Circular Economy bietet für Deutschland in diesem Kontext ein übergeordnetes Narrativ an, das als Antwort auf diese neue Dynamik die Wirtschafts- und Umweltpolitik verbinden kann und somit wesentlich dazu beitragen wird, die Ziele des European Green Deal (insbesondere der Klimaneutralität 2050) zu erreichen. Denn die Circular Economy kann – wenn sie konsequent und rechtzeitig umgesetzt wird – im Sinne einer ganzheitlichen Systemlösung die miteinander verbundenen Systemkrisen Klima, Ressourcennutzung, Biodiversität und globale Gesundheit zugleich adressieren. Somit ist die erfolgreiche Umsetzung einer Circular Economy kein Selbstzweck, sondern verbindet Klima- und Ressourcenschutz mit kulturellem Wandel, der Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit und Rohstoffunabhängigkeit sowie der Schaffung von Arbeitsplätzen und lokaler Wertschöpfung im Sinne nachhaltiger Win-win-Lösungen.

Die Ausgangssituation für Deutschland ist günstig. Als weltweit angesehener Produktionsstandort kann es – wie kaum ein anderes Land – mit digitalen (Industrie 4.0) und gleichzeitig zirkulären (Circular-Economy-)Produkten auch in Zukunft seine Position als Industriestandort sichern, seine Wettbewerbsfähigkeit, Ressourcenproduktivität und die lokale Wertschöpfung steigern sowie hochwertige Arbeitsplätze schaffen. Die Politik kann die durch COVID-19 freigesetzten Stimuli nutzen, um diesen Wandel entschieden zu beschleunigen. In diesem Sinne umfassen die

Vorteile einer erfolgreichen Transformation zu einer Circular Economy für den Standort Deutschland

- ein neues Wertversprechen Deutschlands als politischer und wirtschaftlicher Partner – von „Made in Germany“ hin zu „Made with Germany“ als Sinnbild für verlässliche und partnerschaftliche Kooperation mit deutschen Unternehmen für ressourcenproduktive, hochqualitative zirkuläre Produktlösungen –,
- eine internationale Neupositionierung der deutschen Industrie als Exportweltmeister für profitable Circular-Economy-Lösungen sowie
- eine neue Markenbildung der deutschen Industrien mit Fokus auf zirkulären Geschäftsmodellen via X-as-a-Service und Design für Re-Use/Remanufacturing/Recycling etc.

Ausgehend von dem übergeordneten Narrativ, ökologische, ökonomische und soziale Perspektiven zu vereinen, hat die Circular Economy Initiative Deutschland (CEID) ein Zielbild definiert.

„Eine systemisch gedachte und nachhaltige Circular Economy trägt umfassend zu dem EU-Ziel von Netto-Null-Treibhausgasemissionen bis 2050 bei und ermöglicht eine absolute Entkopplung des Wirtschaftswachstums vom Ressourcenverbrauch. Sie stellt die Einhaltung der planetaren Grenzen und der Nachhaltigkeitsziele sicher und trägt durch kollaborative, unternehmensübergreifende Wertschöpfung und Innovation zur Steigerung der Lebensqualität und Sicherung eines gerechten Wohlstands bei.“

Modellergebnisse verdeutlichen, dass dieses Zielbild eines klimaneutralen und gleichzeitig ressourcenproduktiven Deutschlands nur durch einen umfassenden Transformationsansatz erreicht werden kann. Für die im Rahmen der *Circular Economy Initiative Deutschland* durchgeführte Modellierung wurde für das Jahr 2050 neben Netto-Null-Treibhausgasemissionen eine Reduktion des Verbrauchs natürlicher Ressourcen um 50 Prozent im Vergleich zum Jahr 2018 angenommen. Die Ergebnisse zeigen, dass eine umfassende Anwendung von Circular-Economy-Hebeln zur Nutzungsdauerverlängerung und -intensivierung sowie ein deutlich gesteigertes Recycling bis 2050 (inklusive deutlich erhöhter Energieeffizienz) die gesamte Menge an Primärrohstoffen um 68 Prozent gegenüber 2018 reduzieren würden. Das durch Recycling bereitgestellte Sekundärmaterial

¹ | Vgl. International Resource Panel 2019.

trägt dabei mit knapp 50 Prozent zu den erzielten Ressourceneinsparungen bei. Zudem zeigt sich, dass die notwendigen radikalen Reduktionen der Treibhausgasemissionen eines Zwei-Grad-kompatiblen Entwicklungspfads² nur durch den Einsatz von Circular-Economy-Hebeln erreichbar sind. Der wirtschaftliche Wert beläuft sich gemäß dieser Modellierung bis 2030 allein durch die eingesetzten, qualitativ hochwertigen Sekundärrohstoffe auf kumulative Einsparungen in Höhe von rund 32 Milliarden Euro. Nochmals deutlich höhere Einsparpotenziale wären darüber hinaus durch früher in der Wertschöpfungskette ansetzende Circular-Economy-Hebel möglich: Die damit verbundenen Kosteneinsparungen beziehungsweise volkswirtschaftlichen Produktivitätsgewinne könnten bis 2030 um den Faktor 10 höher liegen als die direkten Kosteneinsparungen durch Recycling. Gleichzeitig sind mit den dafür notwendigen neuen zirkulären Geschäftsmodellen und Innovationsprozessen deutlich höhere Unsicherheiten in der Quantifizierung verbunden und Kompensations-(Rebound-)Effekte zu berücksichtigen.

Die Betrachtung des Status quo zeigt allerdings, dass in Deutschland der Ressourcenverbrauch bisher nicht vom Wirtschaftswachstum entkoppelt wird. Zwar ist die Gesamtrohstoffproduktivität zwischen 2000 und 2016 um 35 Prozent gestiegen, was einem durchschnittlichen Wachstum von 2,4 Prozent pro Jahr entspricht. Diese Steigerung ging allerdings nicht auf eine Reduktion des absoluten Ressourcenverbrauchs, sondern auf das Wachstum des Bruttoinlandsprodukts zurück und entsprach damit einer relativen Entkopplung. Der Einsatz von Sekundärrohstoffen spart in Deutschland derzeit nur etwa 13 Prozent des Ressourcenverbrauchs ein (unter Berücksichtigung globaler Vorketten beträgt die Einsparung 18 Prozent), wobei dieser Anteil für den Zeitraum 2010 bis 2014 nahezu unverändert blieb. Um den absoluten Ressourcenverbrauch zu reduzieren und vom Wirtschaftswachstum zu entkoppeln, bedarf es daher des Übergangs von einer „kreislauforientierten Abfallwirtschaft“ hin zu einer systemisch ausgerichteten Circular Economy.

Die Transformation zu einer Circular Economy kann durch ein klar abgrenzbares Maßnahmenbündel erreicht werden, von dem viele Elemente über Sektoren hinweg und in verschiedene Politikbereiche hineinwirken. Beispielsweise unterstützen übergeordnete ordnungspolitische Maßnahmen wie die Bepreisung von CO₂ und Ressourcennutzung sowohl den Klimaschutz als auch die Entwicklung innovativer digitaler Geschäftsmodelle nach dem Vorbild von Industrie 4.0. Zudem stellen wir fest: Die Bedingungen, um eine Circular Economy zu erreichen, sind vielfach bereits vorhanden – und müssen nun genutzt und entsprechend kombiniert werden, damit sie ihre volle Wirkung entfalten

können. Chancen hierfür bietet unter anderem die Möglichkeit, bereits heute verfügbare digitale Technologien mit geeigneten Standards zur Entwicklung von Produktpässen zu kombinieren – dies erlaubt eine rasche Verbesserung in der Kreislaufführung von Produkten.

Die vorliegende Circular Economy Roadmap für Deutschland versteht sich als wissenschaftlich fundierter Handlungsrahmen, der die erforderlichen Schritte für einen Übergang Deutschlands zu einer Circular Economy systemisch beschreibt. Sie enthält Handlungsempfehlungen, die den Entscheidungsverantwortlichen aus Politik, Wirtschaft und Wissenschaft Orientierung geben sollen.

Der abgeleitete Transformationspfad der Circular Economy Roadmap Deutschland beruht auf den Erkenntnissen dreier Arbeitsgruppen der Circular Economy Initiative Deutschland: einer übergeordneten Perspektive für zirkuläre Geschäftsmodelle sowie sektorspezifischen Perspektiven für die beiden exemplarischen Sektoren Verpackungen und Traktionsbatterien.

Übergeordnete und sektorspezifische Ergebnisse der Arbeitsgruppen

Die Arbeit der Initiative in drei Arbeitsgruppen ermöglichte übergeordnete und sektorspezifische Analysen und Handlungsempfehlungen, die in den jeweiligen Ergebnisberichten ausführlich dargelegt sind. Die zentralen Erkenntnisse sind nachfolgend zusammengefasst:

„Zirkuläre Geschäftsmodelle“

Geschäftsmodelle sind ein zentraler Ansatzpunkt, der Unternehmen dabei hilft, die Circular Economy anzunehmen. Im Idealfall stimmt dabei ein Geschäftsmodell die zirkulären Wertschöpfungsaktivitäten mit den unternehmerischen Chancen ab, um wirtschaftlichen Wert zu schaffen. Die isolierte Optimierung und Gewinnmaximierung der Geschäftsmodelle einzelner Akteure erfüllt jedoch längst nicht mehr die Ansprüche einer Circular Economy. Um bestehende Wertschöpfungsketten effektiv in Wertschöpfungskreisläufe umzuwandeln, bedarf es vielmehr einer ganzheitlichen Betrachtung und der Gestaltung zirkulärer Ökosysteme, in denen sich die wertschöpfenden Akteure gegenseitig ergänzen.

2 | Vgl. Prognos et al. 2020a.

22 exemplarisch veranschaulichte Geschäftsmodellmuster bieten unternehmerischen Entscheidungsverantwortlichen einen Orientierungsrahmen, um systemoptimale Konfigurationen zu bestimmen. Diese setzen sich aus a) der Rolle im Wertschöpfungskreislauf, b) der zirkulären Basisstrategie und c) dem verwandten Service-/Dienstleistungsgrad zusammen. Neben der Betrachtung von Barriere kategorien (regulatorische, finanzielle, technische etc.) wurden für zentrale Circular-Economy-Strategien sich oft wechselseitig verstärkende Barrieren identifiziert: zwischen a) den Anbietern (Lieferanten, Produzenten, Einzelhändlern, Reparaturanbietern, Logistikanbietern etc.), b) den Nutzern (professionellen Anwendern wie Unternehmen sowie Verbraucherinnen und Verbrauchern) und c) dem Produkt (Technologie, Konstruktion) sowie den damit verbundenen Dienstleistungen.

Digitale Technologien bieten von der rückblickenden Auswertung bis hin zur KI-gestützten Vorhersage von Daten weitreichende Potenziale für eine umfassende Vernetzung „smarter“ Circular-Economy-Strategien. Durch die gezielte Bereitstellung relevanter Informationen können digitale Technologien bei der Überwindung von Barrieren für zirkuläre Geschäftsmodelle eine zentrale Rolle spielen und so die Operationalisierung zirkulärer Material-, Bauteil- und Produktflüsse ermöglichen.

Bisher fehlt es noch an einem einheitlichen regulatorischen Rahmen für eine Circular Economy. Stattdessen finden sich die Circular Economy betreffende Aspekte in verschiedenen, sich manchmal sogar widersprechenden rechtlichen Vorgaben wie der Abfallgesetzgebung und der Ökodesign-Richtlinie der Europäischen Union wieder. Daher ist es wichtig, ein ganzheitliches rechtliches Rahmenwerk zu entwickeln, das die Abfallvermeidung in den Mittelpunkt stellt: durch eine Verlängerung der Produktlebensdauer, durch die Wiederverwendung und Wiederaufbereitung sowie durch die Formulierung von Anforderungen und Standards für das Produktdesign.

Die vollständigen Ergebnisse der Arbeitsgruppe einschließlich der hier abgeleiteten Handlungsempfehlungen finden sich im Ergebnisbericht Zirkuläre Geschäftsmodelle.³

„Wertschöpfungssystem Verpackungen“

Verpackungen erfüllen wichtige Funktionen und sind daher nicht aus dem modernen Leben wegzudenken. Jedoch steigen mit zunehmendem Verpackungsverbrauch auch die daraus resul-

tierenden Abfallmengen. Insbesondere Kunststoffverpackungen sind zu einem gesellschaftlich, politisch und ökologisch hoch relevanten Thema geworden, da diese eine erhebliche Belastung für die Umwelt darstellen.^{4,5} In Deutschland gibt es gut funktionierende Sammel-, Sortier- und Verwertungsstrukturen, sodass Verpackungsmüll nicht direkt in die Umwelt gelangt. Allerdings liegen die werkstofflichen Verwertungsquoten von Kunststoffverpackungen auch im „Recyclingland Deutschland“ mit 47 Prozent vergleichsweise niedrig. Zudem ist die überwiegende Mehrheit der Rezyklate von deutlich geringerer Qualität als die Ursprungsmaterialien. Infolgedessen handelt es sich eher um ein Downcycling, das Neuware in der Regel nicht ersetzen kann. Nur 10,9 Prozent der verarbeiteten Kunststoffmengen in der Verpackungsindustrie sind Rezyklate.⁶

Zum Erreichen einer klimaneutralen Circular Economy fokussiert sich das Zielbild für Kunststoffverpackungen auf Vermeidungsstrategien, um den Gesamtverbrauch an Verpackungen zu reduzieren, sowie auf ein effizientes und effektives Ressourcenmanagement in geschlossenen Kreisläufen. Ergebnisse einer Modellrechnung, basierend auf von Fachleuten verifizierten Annahmen, zeigen, dass durch die Erhöhung des Anteils von werkstofflichem Recycling auf 40 Prozent, des Anteils von chemischem Recycling auf 20 Prozent und des Anteils von Re-Use-Verpackungen auf 20 Prozent bis zum Jahr 2050 im Schnitt ungefähr 4 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente jährlich gegenüber dem Business-as-usual-Szenario eingespart werden können. Die Modellierung zeigt damit jedoch auch, dass ohne zusätzliche Maßnahmen sowohl die Klimaneutralität als auch die geschlossene Kreislaufführung selbst im Jahr 2050 noch deutlich verfehlt würden.

Damit die Verpackungsindustrie zu einem System basierend auf zirkulärer Wertschöpfung transformiert wird, müssen Maßnahmen umgesetzt werden, die entlang der gesamten Wertschöpfungskette greifen. Die Arbeitsgruppe Verpackung hat folgende sechs Ansatzpunkte identifiziert:

- Vergleichbarkeit durch eine **allgemein anerkannte Entscheidungshilfe herstellen**,
- konkrete und verbindliche **Ziele setzen, um Verpackungen und Verpackungsabfälle zu vermeiden**,
- **Design for Circularity and Sustainability** durch eine EU-weite Harmonisierung von Verpackungsmaterialien und entsprechende ökonomische Anreize umsetzen,

3 | Vgl. Circular Economy Initiative Deutschland 2020a.

4 | Vgl. Jambeck et al. 2015.

5 | Vgl. Geyer et al. 2017.

6 | Vgl. Conversio 2020.



- die **Sammel- und Sortierinfrastruktur** mit Trennung nach Materialien und unter Nutzung neuer digitaler Möglichkeiten vereinheitlichen,
- die Quellen für **defossilisierte Rohstoffe erweitern** durch Modernisierung bestehender Recyclinginfrastruktur sowie Weiterentwicklung von Recyclingtechnologien,
- die **Nachfrage nach defossilisiertem Material** durch weitere von der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) genehmigte Rezyklateinsatzmöglichkeiten, durch Recycling- und Rezyklatstandards sowie entsprechende ökonomische Anreize stärken.

Die vollständigen Ergebnisse der Arbeitsgruppe einschließlich der hier abgeleiteten Handlungsempfehlungen sind im Ergebnisbericht Verpackungen dargestellt.⁷

„Wertschöpfungssystem Traktionsbatterien“

Die derzeitige und weiter erwartete starke Marktexpansion von Traktionsbatterien weltweit birgt große Potenziale für die Dekarbonisierung des Straßenverkehrs und gleichzeitig für neue wirtschaftliche Wertschöpfungs- und Wohlstandsteigerung. Andererseits gilt es, von Anfang an die ökosozialen Herausforderungen – Umweltbelastungen, Fragen der Arbeitssicherheit, Menschenrechtsverletzungen –, die entlang der internationalen Lieferketten entstehen können, zu minimieren, und zwar vom Abbau der Rohstoffe (vor allem in Produktionsländern mit weniger entwickelten Umwelt- und Sozialstandards) bis hin zum Recycling.

Circular-Economy-Maßnahmen versprechen, hier **signifikante Beiträge leisten zu können**. Ergebnisse einer Modellrechnung basierend auf von Fachleuten verifizierten Annahmen⁸ zeigen, dass insgesamt aus in Deutschland auf den Markt gebrachten Fahrzeugen bis zum Jahr 2030 8.100 Tonnen Lithium, 27.800 Tonnen Kobalt und 25.700 Tonnen Nickel zurückgewonnen werden. Für Lithium beispielsweise könnten auf diese Weise circa 13 Prozent des Bedarfs bis 2030 gedeckt werden. Bis zum Jahr 2050 könnten insgesamt 109.000 Tonnen Lithium, 180.000 Tonnen Kobalt und 576.000 Tonnen Nickel zurückgewonnen werden. Dies entspräche bei den derzeitigen Rohstoffpreisen einem wirtschaftlichen Wert von 1,2 Milliarden Euro bis 2030 beziehungsweise 13,8 Milliarden Euro bis 2050. Die CO₂-Reduktion könnte sich so bis 2030 auf rund 36 Millionen Tonnen belaufen. Durch

die Instandsetzung könnten bis 2050 sogar Einsparungen von etwa 5,3 Milliarden Euro und 282 Petajoule Energiebedarf (das entspricht 31,4 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalenten) möglich sein; durch Second-Life-Anwendungen unter optimistischen Annahmen käme man auf Einsparungen des Kumulativen Energieaufwands (KEA) von 655 Petajoule (73 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente). **Jedoch sind die derzeitigen regulatorischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen nicht geeignet, um eine produktive Nutzung und effektive Kreislaufführung wichtiger Batteriematerialien zu unterstützen.** Zu diesen defizitären Rahmenbedingungen zählen beispielsweise niedrige, nicht nach Materialien differenzierte Rückgewinnungsquoten, mangelnde Wertschöpfungsnetzwerke für zirkuläre Geschäftsmodelle einschließlich Nachnutzungsoptionen sowie fehlende Investitionen in die nötige Infrastruktur. Entsprechend gilt es, diese Rahmenbedingungen neu zu justieren. Der zum Zeitpunkt der Entstehung dieses Berichts (Anfang 2021) diskutierte Entwurf der EU-Kommission⁹ zur Überarbeitung der EU-Batterierichtlinie stellt hier einen vielversprechenden Ansatz dar.

Für den Übergang zu einer zirkulären, nachhaltigen Batteriewertschöpfung müssen Maßnahmen umgesetzt werden, die entlang der gesamten Wertschöpfungskette greifen. Die Mitglieder der Arbeitsgruppe unterstützen dabei die von der Global Battery Alliance genannten Prinzipien und fassen die daraus gewonnenen zentralen Erkenntnisse wie folgt zusammen:

- **Anpassung der Hard- und Software:** Es bedarf der Berücksichtigung sowohl konstruktiver (Design for Repair) als auch destruktiver (Design for Recycling) Designprinzipien und einer Überprüfung, welche Rolle eine größere Modularität dabei spielen kann. Standards zur Bereitstellung relevanter Daten müssen technisch möglich und industrieweit vereinbart werden, damit ein effizientes zirkuläres Management gelingen kann. Material- beziehungsweise Produktpässe (Battery Passport) sind als Lösung hierfür besonders hervorzuheben.
- **Implementierung von Circular-Economy-Strategien und Anpassung politischer Rahmenbedingungen:** Damit Altbatterien für Second-Life-Anwendungen genutzt oder recycelt werden können, ist ihre möglichst vollständige Erfassung eine wesentliche Grundlage; hierzu müssen geeignete politische und wirtschaftliche Strukturen sichergestellt sein. Zentrale Definitionen, wie zum Beispiel rechtliche Bestimmungen für Fahrzeugbatterien, die Standardisierung der

7 | Vgl. Circular Economy Initiative Deutschland 2021.

8 | Für die zugrunde liegenden Annahmen sei auf den Bericht der Arbeitsgruppe Traktionsbatterien verwiesen; aufgrund der signifikanten Unsicherheiten bezüglich der prognostizierten Entwicklung von Technologien und Märkten sind die Werte jedoch nur als indikativ zu betrachten, vgl. Circular Economy Initiative Deutschland 2020b.

9 | Vgl. Europäische Kommission 2020a.

Berechnung von CO₂-Fußabdrücken und Recyclingraten sowie die Nennung von Mindeststandards, beispielsweise bezüglich der Wahrung des Daten- und Arbeitsschutzes sowie verbindlicher Rückgewinnungsraten, sind von großer Bedeutung und müssen entsprechend festgelegt werden.

- **Entwicklung von Prozess- und Produktinnovationen:** Die Entwicklung automatisierter Demontagesysteme, sicherer Entladetechnologien und neuer Recyclingverfahren mit Fokus auf effizienten Recyclingketten sowie robuster Materialsyntheseprozesse ist ebenso von Bedeutung für höherwertige Zirkularität wie die Bereitstellung von effizienten und zuverlässigen Tests zur Second-Life-Eignung von Batterien. Smart Charging, Vehicle-to-Grid und Vehicle-to-X (V1G/V2G/V2X) sind die potenziell erfolgversprechendsten Maßnahmen zur Produktivitätssteigerung durch zusätzliche Umsatzgenerierung über verschiedene Netzdienste.
- **Bildung und Forschung:** Der Aufbau von fundiertem **Grundlagen- und Anwendungswissen** durch die entsprechende Integration in relevante Studiengänge, zum Beispiel mittels Vorlesungen zu Circular Economy, Circular-Economy-bezogener Masterstudiengänge und Studiengangvertiefungen, ist wichtig.

Die vollständigen Ergebnisse der Arbeitsgruppe, inklusive der in Pilotsteckbriefen konkretisierten Themen für die konkrete Umsetzung, und die hier abgeleiteten Handlungsempfehlungen sind detailliert im Ergebnisbericht Traktionsbatterien veranschaulicht.¹⁰

Prinzipien der Transformation

Kurzlebige und geringerwertige sowie langlebige und höherwertige Produkte stellen teils ähnliche, teils grundsätzlich unterschiedliche Anforderungen an ein zirkuläres Produkt- und Materialmanagement. Bei kurzlebigen Produkten wie Verpackungen liegt der Fokus des Lösungsansatzes darauf, für Zirkularität optimierte Produkte in den Kreislauf zu bringen („Designing out Waste and Pollution“) und diese dort möglichst lange und hochwertig zu halten („Keep Products and Materials in Use“). Eine Herausforderung für die Umsetzung liegt in der extrem fragmentierten Industriestruktur, die sowohl die Harmonisierung von Stoffströmen als auch die Entwicklung und den Aufbau von Technologien und Infrastruktur erschwert. Zudem ist die Wirtschaftlichkeit von zirkulären Lösungen oftmals nicht gegeben, da Neumaterial günstiger ist als eine hochwertige Kreislaufführung von Materialien. Bei Traktionsbatterien liegt der Fokus hingegen vor allem darauf, Produkte möglichst produktiv zu nutzen sowie lange und hochwertig im Kreislauf zu halten („Keep

Products and Materials in Use“). Höherwertige und langlebigere Produkte sind sehr viel komplexer; hier zeigen sich mögliche Lösungsansätze vor allem auf Geschäftsmodellebene. Gleichzeitig stellt die lange Lebenszeit (im Mittel länger als zehn Jahre) eine Herausforderung dar – etwa infolge signifikanter Unsicherheiten bezüglich zukünftiger technischer Anforderungen, wenn es um die höherwertige Weiternutzung der Produkte beispielsweise als stationäre Speicher oder um eine künftige Nachfrage und entsprechende Materialwerte der rückgewinnbaren Rezyklate geht.

Auf übergeordneter Ebene zeigt sich, dass sich aus den beiden sektorspezifischen Betrachtungen einerseits besondere Bedürfnisse an die jeweilige Wertschöpfungskette ergeben, damit Wertschöpfungsnetzwerke im Sinne einer Circular Economy zirkulär ausgerichtet werden können. Die Analyse der Circular-Economy-Strategien und der unterschiedlichen Geschäftsmodelltypologien der Arbeitsgruppe Zirkuläre Geschäftsmodelle unterstreicht die Notwendigkeit einer fallspezifischen Betrachtung. Andererseits finden sich zahlreiche universelle Prinzipien, die sich in den Betrachtungsweisen der sektorspezifischen Arbeitsgruppen und der übergeordneten Arbeitsgruppe Zirkuläre Geschäftsmodelle gleichermaßen abbilden. Diese umfassen beispielsweise die Notwendigkeit, einheitliche Begrifflichkeiten und Definitionen sowie Circular-Economy-relevante Industriestandards zu schaffen, fehlsteuernde Subventionen zu korrigieren oder auch die breite Anwendung digitaler Technologien und Geschäftsmodelle für ressourcenproduktives Wirtschaften zu fördern.

Die Analyse der Circular-Economy-Strategien und der unterschiedlichen Geschäftsmodelltypologien der Arbeitsgruppe Zirkuläre Geschäftsmodelle unterstreicht die Notwendigkeit einer fallspezifischen Betrachtung. Andererseits finden sich zahlreiche universelle Prinzipien, die sich in den Betrachtungsweisen der sektorspezifischen Arbeitsgruppen und der übergeordneten Arbeitsgruppe Zirkuläre Geschäftsmodelle gleichermaßen abbilden. Diese umfassen beispielsweise die Notwendigkeit, einheitliche Begrifflichkeiten und Definitionen sowie Circular-Economy-relevante Industriestandards zu schaffen, fehlsteuernde Subventionen zu korrigieren oder auch die breite Anwendung digitaler Technologien und Geschäftsmodelle für ressourcenproduktives Wirtschaften zu fördern.

Roadmap zu einer deutschen Circular Economy

Die *Circular Economy Initiative Deutschland* definiert die folgenden Handlungsschwerpunkte für Entscheidungsverantwortliche aus Politik, Wirtschaft und Wissenschaft. Diesen Handlungsschwerpunkten liegen detailliert ausgearbeitete, akteurspezifische Handlungsempfehlungen zugrunde (siehe Kapitel 5), die in den Abbildungen 1 bis 3 zusammenfassend dargestellt werden.

1. **Zirkuläre Geschäftsmodelle:** Die Wirtschaft sollte aufbauend auf dem Erfolgsmodell Industrie 4.0 ein ressourcenproduktives, datengetriebenes zirkuläres Wirtschaftsmodell entwickeln. Ziel sollte insbesondere sein, entsprechend dem im European Green Deal anvisierten Narrativ **datengetriebene nutzungs- und ergebnisorientierte Dienstleistungs-geschäftsmodelle** entlang zirkulärer Strategien zu entwickeln

¹⁰ | Vgl. Circular Economy Initiative Deutschland 2020b.



und zu skalieren. Wirtschaftliche Akteure sollten sowohl organisationsintern als auch überbetrieblich in Partnerschaften, etwa in geeigneten Industrieallianzen, **neue Innovationsräume schaffen** und **Leuchtturmprojekte starten**, um die Entwicklung dieser Geschäftsmodelle zu unterstützen. Darüber hinaus sollten sie den Aufbau langfristiger Kooperationen und sektorübergreifender Wertschöpfungsnetzwerke sowie das konsequente Design for Circularity fördern.

2. **Standardisierung:** Die Politik sollte wesentliche Zielsetzungen einer Circular Economy definieren, für die die Wirtschaft im Rahmen **etablierter nationaler und internationaler Gremien entsprechende Standards und Normen erarbeitet**. Die Verantwortlichkeiten und Vorgehensweisen zur Entwicklung der Standards und Normen variieren dabei abhängig von den betrachteten Produktsystemen. Ziel solcher Initiativen ist es, synergetische Potenziale auf verschiedenen Wirkungsebenen auszuschöpfen. Dazu gehören unter anderem die Entwicklung von Standards, um den Zustand gebrauchter oder wiederaufbereiteter Produkte zu klassifizieren, die Entwicklung von Qualitätsstandards für wiederaufbereitete Produkte und Rezyklate sowie deren Bereitstellungsprozesse (zum Beispiel geprüfte Wiederaufbereitungsprozesse), Vorgaben zu Rezyklatanteilen und die Entwicklung und Anpassung betriebswirtschaftlicher Messgrößen (zum Beispiel Circular-Economy-Metriken, Key-Performance-Indikatoren – sogenannte KPI –, Incentivierungssysteme, Bilanzierungsansätze). Außerdem sind Grundlagen für offene Datenformate und -träger, wie zum Beispiel Produkt- und Materialpässe, zu definieren.
3. **Transparenz:** Die Politik sollte Maßnahmen entwickeln, damit **Circular-Economy-relevante Informationen¹¹ im Markt verfügbar sind**. Dazu sollte sie Datenschutz und -sicherheit

gewährleisten und wirtschaftliche Akteure dazu aufrufen oder verpflichten, bestimmte Daten und Informationen (auf Grundlage von Standards) bereitzustellen. Wirtschaftliche Akteure sollten einen kollaborativen Austausch **relevanter Informationen und Daten fördern**, zum Beispiel durch neue digitale Systeme (wie Distributed-Ledger-Technologien und Produktpässe). Darüber hinaus müssen die Informationen transparenter, zugänglicher und verständlicher gestaltet werden, um Kaufentscheidungen für nachhaltige Produkte und Geschäftsmodelle zu fördern. Dies sollte durch die konsequente Einführung eines aussagekräftigen Nachhaltigkeitsreportings unterstützt werden.

4. **Ordnungsrechtliche Instrumente:** Die **Politik sollte sowohl auf nationaler als auch auf Ebene der Europäischen Union eine kohärente Produktpolitik im Sinne der Circular Economy** definieren, um den Werterhalt von Produkten zu ermöglichen. Dazu gehört unter anderem, dass 1) klare und verbindliche Vorgaben definiert werden, wie Produkte nach Design-for-Circularity-Prinzipien gestaltet werden, 2) Produktmerkmale durch eine digitale Produkt-ID einfach zugänglich gemacht werden (siehe auch Punkt 3 „Transparenz“), 3) Haftungs- und Gewährleistungsregeln sowie Rückgabe- und Rücknahmepflichten entlang des gesamten Produktlebenszyklus klar definiert werden, 4) eine Beweislastumkehr von dem bisherigen End-of-Waste-Status hin zu einem End-of-Life-Status erfolgt, mit dem Ziel, Produkte möglichst lange zu nutzen, 5) eine Verlängerung von gesetzlichen und/oder gewerblichen Garantien für die Nutzungsdauer von Produkten etabliert wird und 6) qualitative Recyclingquoten (zusätzlich zu den quantitativen Quoten) eingeführt werden. Dies sollte insbesondere im Rahmen der von der EU-Kommission angekündigten Sustainable Product Policy¹² und Sustainable Products Initiative¹³ umgesetzt werden.

11 | Wie etwa im Produkt enthaltene Rohstoffe sowie deren Herkunft und Umweltfußabdrücke, der Rezyklatanteil, entsprechende Reparaturanweisungen et cetera.

12 | Vgl. Europäische Kommission s. a.

13 | Vgl. Europäische Kommission 2020b.

Bis 2024	Bis 2027	Bis 2030
<p>Standardisierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Klare und verbindliche Definitionen und Standards <p>Ökonomische Anreize:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Anreize und gezielte finanzielle Unterstützung für Implementierung von Circular-Economy-Geschäftsmodellen und relevanter F&E • Grundlage für eine Neuausrichtung der finanziellen Anreize insbesondere im Steuersystem • Entwicklung eines Konzeptes zur Abfallvermeidung <p>Ordnungsrechtliche Instrumente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Unterstützung der Reform der EU-Ökodesign-Richtlinie • Klare Definition der Rechte und Pflichten relevanter Akteure innerhalb von Wertschöpfungsnetzwerken • Verlängerung gesetzlicher und/oder gewerblicher Garantien für Produkte <p>Wieder- und Weiterverwendungs- sowie Recyclinginfrastruktur:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung eines verbindlichen EU-weiten gemeinsamen Konzepts zum Ausbau und zur Optimierung von Circular-Economy-Infrastruktur • Investitionsförderung für den Aufbau und Betrieb von Wieder- und Weiterverwendungs- sowie Recyclingnetzwerken <p>Technische Entwicklung und Forschung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Stärkung und Ausbau von F&E im Bereich der Material-, Produkt- und Prozessinnovationen, digitalen Technologien, Entscheidungshilfen und relevanten Metriken • Gezielte Förderung radikaler Innovationen und Geschäftsmodelle <p>Öffentliche Beschaffung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung und Verstärkung von (Mindest-) Zielen und (Mindest-) Quoten für zirkuläre Produkte und Geschäftsmodelle <p>Institutionalisierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Schaffung eines institutionellen Trägers zur Begleitung der Transformation zu einer Circular Economy <p>Bildung und Wissenstransfer:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aus- und Fortbildung und rasche Anwendung von Grundlagen- und Anwendungswissen • Schaffung von Experimentierräumen und Förderung von Bottom-up-Aktivitäten und sozialen Innovationen 	<p>Standardisierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Erhöhung der Transparenz für Akteure in Wertschöpfungsnetzwerken <p>Ökonomische Anreize:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Neuausrichtung der Bepreisungs- und Steuerregularien auf Ressourcennutzung <p>Ordnungsrechtliche Instrumente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Circular-Economy-Kriterien als Voraussetzung für Marktzugang • Anpassung der EPR-Regulierungen zur Rücknahme von langlebigen Konsumgütern und Gebrauchsgütern • Revision der Abfallgesetzgebung (KRWG) • Harmonisierung nationaler und transnationaler Regulatorik • Übergang zu „Safe-by-Design-Chemikalien“ entsprechend technischer Möglichkeit • Einführung von Recyclingquoten differenziert nach einzelnen Materialien inklusive Festlegung von Material- und Prozessqualitäten • Festsetzung eines Mindestanteils von recycelten Bestandteilen in Produkten <p>Technische Entwicklung und Forschung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zielgerichtete Wirtschafts- und Wissenschaftsförderung für Technologien, Geschäftsmodelle sowie für Wissensaufbau, insbesondere in KMU 	<p>Ökonomische Anreize:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Weiterentwicklung von angemessenen Anreizsystemen im Rahmen des Steuerrechts • Anwendung weitergehender ökonomischer Anreizsysteme für Erreichung von Recyclingzielen <p>Ordnungsrechtliche Instrumente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Weitere Erhöhung von Recyclingquoten verbunden mit Anforderungen an Material- und Prozessqualitäten <p>Bildung und Wissenstransfer:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Transfer der Maßnahmen in einem globalen Kontext für Leitmärkte („race to the top“) und für Entwicklungszusammenarbeit

Abbildung 1: Überblick über die kurz-, mittel- und langfristigen Handlungsempfehlungen für die Politik (Quelle: eigene Darstellung)



Bis 2024	Bis 2027	Bis 2030
<p>Zirkuläre Geschäftsmodelle:</p> <ul style="list-style-type: none">• Etablieren eines Designs for Circularity für möglichst langlebige Produkte• Entwicklung und Skalierung von zirkulären (Geschäftsmodell-) Innovationen• Schaffung von Innovationsräumen und Leuchtturmprojekten zur Entwicklung neuer nutzungs- und ergebnisorientierter Geschäftsmodelle• Vorantreiben der Digitalisierung für Datenbereitstellung von Produkten, Komponenten und Materialien <p>Standardisierung:</p> <ul style="list-style-type: none">• Kollaborative Initiierung gemeinsamer (Mindest-) Standards und eines systemischen Designs for Circularity auf Material-, Produkt-, Prozess- und Systemebene• Industrieweite Vereinbarungen zur betrieblichen und volkswirtschaftlichen Messung von Zirkularität <p>Transparenz:</p> <ul style="list-style-type: none">• Bereitstellung relevanter Daten und Angebote zur Unterstützung zirkulärer Geschäftsmodelle• Aktive Kommunikation und Verfügbarmachung von Informationen, um Kundenentscheidungen für Circular-Economy-Angebote zu fördern• Ausbau des Nachhaltigkeitsreportings bezüglich konsistenter und Circular-Economy-relevanter Aspekte <p>Bildung und Wissenstransfer:</p> <ul style="list-style-type: none">• Entwicklung und Umsetzung von Grundlagenwissen, (Aus-) Bildung und (technischen) Schulungen, die die Skalierung von Circular Economy ermöglichen	<p>Zirkuläre Geschäftsmodelle:</p> <ul style="list-style-type: none">• Weiter- und Neuentwicklung sowie Skalierung zirkulärer nutzungs- und ergebnisorientierter Geschäftsmodelle• Formulieren von Anforderungen zur Förderung von neuen Circular-Economy-Geschäftsmodellen• Vorantreiben der Digitalisierung für den vertrauensvollen Austausch von Daten für die Zustandsbewertung von Produkten, Komponenten und Materialien <p>Transparenz:</p> <ul style="list-style-type: none">• Verstärkung von Investitionen in kollaborative Kommerzialisierung und Skalierung von Technologien und Tools zur Schaffung von Transparenz von Materialstoffströmen• Schaffen von Metriken und Bewertungslogiken für das Definieren und Erreichen von Circular-Economy-Zielen <p>Wieder- und Weiterverwendungs- sowie Recyclinginfrastruktur:</p> <ul style="list-style-type: none">• EU-weit abgestimmter Ausbau einer europaweiten Wieder- und Weiterverwendungs- sowie Recyclinginfrastruktur• Demonstration und Verbreitung digitaler Technologien zu Verbesserung von Materialerkennung und -sortierung <p>Technische Entwicklung und Forschung:</p> <ul style="list-style-type: none">• Verstärkung von Investitionen in die kollaborative Entwicklung notwendiger Technologien für die Circular Economy (zum Beispiel Sammel-, Sortier- und Recyclingtechnologien)	<p>Zirkuläre Geschäftsmodelle:</p> <ul style="list-style-type: none">• Nutzen integrierter Entscheidungsprozesse unter Berücksichtigung systemischer Ressourcen-, Energie-, Umwelt- und sozialer Effekte über den gesamten Wertschöpfungskreislauf hinweg• Umfassende Anwendung dienstleistungsorientierter Geschäftsmodelle• Weitgehende Verbreitung kollaborativer Geschäftsaktivitäten und Wertschöpfungsnetzwerke <p>Standardisierung:</p> <ul style="list-style-type: none">• Breite Adaption von Technologien und technischen Standards für die Bereitstellung und den Austausch von digitalen Daten mit Relevanz für R-Strategien <p>Transparenz:</p> <ul style="list-style-type: none">• Einbettung anerkannter Metriken für nachhaltiges, zirkuläres Wirtschaften in ein umfassendes Anreiz- und Steuerungssystem

Abbildung 2: Überblick über die kurz-, mittel- und langfristigen Handlungsempfehlungen für die Wirtschaft (Quelle: eigene Darstellung)

5. **Ökonomische Anreize:** Die Politik sollte sowohl auf nationaler als auch auf Ebene der Europäischen Union **finanzielle Anreize umgestalten, um klima- und ressourcenoptimale Wirtschaftsentscheidungen zu fördern**. Denn grundsätzlich kann ein gezielter Ausbau zirkulärer Geschäftsmodelle dazu beitragen, die Marktposition eines Unternehmens zu stärken. Neben **direkter finanzieller Unterstützung** (unter

anderem für Pilotprojekte oder Forschung) oder der **Förderung neuer Geschäftsmodelle** (zum Beispiel Pfandsysteme und Reparaturangebote) bedarf es auch einer tiefergehenden **Neuausrichtung der Steuerregularien**. Diese sollte das grundsätzliche Ziel verfolgen, Circular-Economy-relevante Produkte und Dienstleistungen durch eine **gezielte Umverteilung der Steuerlast** in der Relation attraktiver zu machen

als die CO₂-intensive Nutzung von Primärrohstoffen. Hierfür könnten einerseits zum Beispiel **höhere Abgaben auf Ressourcen und Emissionen** erhoben sowie **umweltschädliche Subventionen abgebaut** werden. Die daraus resultierenden Mehreinnahmen könnten andererseits zu gezielten **Steuerentlastungen für Unternehmen** (zum Beispiel durch reduzierte Sozialnebenkosten für Personal, Steuergutschriften bei neu eingestellten Mitarbeitenden und Investitionen in Circular-Economy-relevanten Bereichen) und Konsumierende (zum Beispiel durch Reduktion der Mehrwertsteuer auf bestimmte Circular-Economy-Dienstleistungen wie Reparatur und Wartung) führen.¹⁴ Dabei ist der Transfer der genannten Maßnahmen auch jenseits **der Europäischen Union und des europäischen Wirtschaftsraums (European Economic Area, EEA)** zu erwirken, um ein globales Gleichgewicht, ein Level Playing Field, anzustreben.

6. **Wieder- und Weiterverwendungs- sowie Recyclinginfrastruktur:** Politik und Wirtschaft sollten den **Ausbau und die Entwicklung der Wieder- und Weiterverwendungs- sowie Recyclinginfrastruktur** vorantreiben. Denn nur so können die nötigen Netzwerke und Kapazitäten geschaffen werden, damit Produkte am Ende ihres ersten Lebenszyklus effektiv und effizient eingesammelt beziehungsweise gehandhabt werden. Mit einer geeigneten Struktur können die Produkte außerdem im Sinne einer Circular Economy dahingehend bewertet werden, ob sie sich für die Weiter- oder gegebenenfalls Umnutzung eignen oder ein hochwertiges stoffliches Recycling möglich ist. Darüber hinaus müssen **digitale Technologien stärker verbreitet werden**, um die Materialerkennung und -sortierung als Grundlage für ein hochwertiges zirkuläres Management inklusive Recycling zu verbessern.
7. **Technische Entwicklung und Forschung:** Politik, Wirtschaft und Wissenschaft sollten die **Entwicklung von relevanten Material-, Produkt- und Prozessinnovationen technologieoffen fördern – dabei sollten ökologischer Benefit, digitale Technologien zur Erzeugung von Transparenz sowie Methoden und Tools** für die Implementierung von Circular Economy im Vordergrund stehen. Dazu gehören unter anderem die Entwicklung von Metriken (Produkt-, Unternehmens- und Volkswirtschaftsebene), um Circular-Economy-Strategien und -Maßnahmen zu bewerten, die Entwicklung modellbasierter Entscheidungsplattformen für die zirkuläre Nachnutzung von Produkten, die Entwicklung digitaler Technologien für Circular Economy (zum Beispiel digitale Marktplattformen oder Künstliche Intelligenz) sowie die
 8. **Öffentliche Beschaffung:** Die Politik sollte die Nachfrage für zirkuläre Produkte und Geschäftsmodelle erhöhen, indem sie strategische Ziele und Sollvorgaben für gebrauchte, wiederaufbereitete und wiederverwertete Produkte mittels einer wissenschaftsbasierten und praktikablen Entscheidungshilfe festlegt. Die Definition von (Mindest-)Zielen und Quoten sollte auf den unterschiedlichen Ebenen der öffentlichen Hand jeweils Teil der Haushalts- und Budgetplanungen werden.
 9. **Institutionelle Verankerung:** Die Politik sollte einen **zentralen institutionellen Träger** einrichten mit dem Ziel, die Circular-Economy-Transformation in Deutschland sicherzustellen. Der Träger sollte das Thema dieser Transformation in Deutschland über Legislaturperioden hinweg inhaltlich vertiefen, Innovationspotenziale herausarbeiten, neue Verknüpfungspunkte schaffen und Circular Economy somit breiter verankern sowie in einen europäischen Kontext stellen. Der institutionelle Träger könnte die Aktivitäten politischer, wirtschaftlicher und zivilgesellschaftlicher Akteure unterstützend begleiten und sie langfristig aneinander ausrichten. Hierzu können auch die Unterstützung von Wissensaustausch und die Schaffung fachlich fundierter Circular-Economy-bezogener Produkthanforderungen beitragen.
 10. **Bildung und Wissenstransfer:** Politik, Wirtschaft und Wissenschaft müssen eine **Circular-Economy-relevante Bildung und Ausbildung sicherstellen**, um das öffentliche Bewusstsein für Circular Economy zu stärken und Kompetenzen aufzubauen. Dies kann zum Beispiel durch Integration in Lehrpläne, Einrichtung von Circular-Economy-bezogenen Studiengangvertiefungen, Studiengängen und Professuren, Schaffung von Lernfabriken, Verbundforschung sowie Berücksichtigung in Ausbildungsberufen geschehen. Zu

14 | Die genannten Maßnahmen basieren auf den Vorschlägen des sogenannten Ex'tax Project, vgl. The Ex'tax Project 2016.

Bis 2024	Bis 2027	Bis 2030
<p>Technische Entwicklung und Forschung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bereitstellung einer Entscheidungs-basis zur Bewertung möglicher Zielkonflikte • Mitentwicklung betrieblicher und volkswirtschaftlicher Zirkularitäts-indikatoren • (Weiter-) Entwicklung anwendungs-naher, interdisziplinärer (digitaler) Lösungen für die Optimierung der gesamtsystemischen Effekte auf Material-, Produkt- und Prozessebene • Entwicklung einer langfristig angelegten, inter- und transdiszi-plinären Forschungsstrategie zu den gesellschaftlichen Implikationen einer Circular Economy <p>Bildung und Wissenstransfer:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Integration der Circular Economy in diverse Studiengänge • Einrichtung von Professuren/Lehr-stühlen, gezielte Förderung transdiszi-plinärer Forschungsverbände und Reallabore sowie Weiterentwicklung der Forschungsinfrastruktur im Dialog mit der Politik 	<p>Technische Entwicklung und Forschung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung und Bereitstellung von Circular-Economy-relevanten Modellierungen, Simulationen und (digitalen) Tools 	<p>Technische Entwicklung und Forschung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Stetige Weiterentwicklung von Mate-rialen und Prozesstechnologien

Abbildung 3: Überblick über die kurz-, mittel- und langfristigen Handlungsempfehlungen für die Wissenschaft (Quelle: eigene Darstellung)

einem ganzheitlichen Bildungspaket gehört darüber hinaus auch die Förderung von transformativem Lernen im Rahmen von Circular-Economy-relevanten Bottom-up-Aktivitäten und sozialen Innovationen wie Reparaturinitiativen, Offe-

nen Werkstätten, Prosumer-Initiativen und Consumer-Citizenship-Netzwerken. Des Weiteren ist ein **globaler Transfer der Maßnahmen** im Rahmen internationaler Kooperationen und Entwicklungszusammenarbeit zu erwirken.

Fazit und Blick nach vorn ...

Circular Economy ist über bereits bestehende Maßnahmen hinaus ein wichtiges Mittel, um Deutschlands Klima-, Ressourcen- und Entwicklungsziele zu erreichen. Sie ist in einigen Industriesektoren (Verpackungen) eine kritische Voraussetzung für Marktakzeptanz; in weiteren Industriebereichen (Traktionsbatterien) ist sie zudem ein kritischer Wettbewerbsvorteil. Ein konkretes Marktmodell für mehr Zirkularität kann nur gemeinsam von Politik und Wirtschaft entwickelt werden. Daher sollte Circular Economy im Rahmen der politischen Debatte über alle Parteien hinweg eine zentrale Säule für Deutschlands Zukunftsfähigkeit werden. Neue Geschäftsmodelle für mehr Circular Economy und Ressourcenentkopplung setzen dabei einen Handlungsrahmen für Deutschlands Digitalisierung. Die *Circular Economy Initiative Deutschland* hat hierfür den Grundstein gelegt.

Um Leitnation für eine zirkuläre industrielle Entwicklung zu sein, muss sich Deutschland messbare Circular-Economy-Ziele setzen. Hierzu sollte Deutschland innerhalb der Europäischen Union Impulsgeber für eine Circular Economy werden. Unternehmen sollten eine solche industrie- und umweltpolitische Orientierung explizit unterstützen und ihrerseits aktiv werden, um die Umsetzbarkeit der Circular Economy durch Produkt- und Geschäftsmodellinnovationen (insbesondere digital unterstützt) zu ermöglichen.

Die Umsetzung der hier entwickelten Roadmap sollte zeitnah beginnen, um die Potenziale der Circular Economy ausschöpfen zu können – und somit gleichermaßen die deutschen Klima-, Ressourcen- und Nachhaltigkeitsziele zu erreichen sowie die internationale Konkurrenzfähigkeit der deutschen Wirtschaft zu erhalten und weiter auszubauen. Geeignete Maßnahmen in diesem Kontext sind insbesondere

1. die Verankerung der Empfehlungen der *Circular Economy Initiative Deutschland* in einer integrierten, umfassenden Circular-Economy-Strategie für Deutschland – mit konkreten, sich ergänzenden Zielen unter anderem zur Abfallver-

meidung, zum Recycling und zum Gesamtressourcenverbrauch –,

2. die Einrichtung einer ressortübergreifenden Koordination, um die Maßnahmen auf höchstmöglicher Ebene, mit Unterstützung durch einen hochkarätig und transdisziplinär besetzten Expertenbeirat, umzusetzen,
3. die Umsetzung effektiver Pilotprojekte in die Praxis, beispielsweise die durch die Arbeitsgruppe Traktionsbatterien entwickelten Projektskizzen („Kenntnis des Batterielebens“, „Modellbasierte Entscheidungsplattform“ und „Demontagenetzwerk“),
4. die Erkundung, Pilotierung und Skalierung konkreter Geschäftsmodelle, die dazu dienen, höherwertige zirkuläre Strategien sowie nutzen- und ergebnisorientierte Geschäftsmodelle anzustoßen,
5. die Quantifizierung von Circular-Economy-Maßnahmen auf volkswirtschaftlicher und betrieblicher Ebene – dabei sollen vor allem ihre ökologischen, ökonomischen und sozialen Effekte betrachtet sowie die Wirkung von CO₂-Preisen analysiert und die Steuerregularien zur Unterstützung von klima- und ressourcenoptimalen Wirtschaftsentscheidungen neu ausgerichtet werden –,
6. die Vertiefung der im Rahmen der *Circular Economy Initiative Deutschland* begonnenen Vernetzung mit anderen europäischen Initiativen, Wissenschaftsakademien und Forschungsnetzwerken sowie
7. die Durchführung weiterer Leitprojekte analog der *Circular Economy Initiative Deutschland*, um vertiefte Erkenntnisse für weitere Funktionsbereiche (etwa Gebäude und Infrastruktur, Nahrungsmittel, Land- und Forstwirtschaft, Textilien und Bekleidung, Elektrogeräte) in enger Zusammenarbeit mit anderen (auch europäischen) Initiativen zu gewinnen.

Die Mitglieder der *Circular Economy Initiative Deutschland* hoffen, mit der hier vorgelegten Arbeit einen Beitrag zur Circular-Economy-Transformation geleistet zu haben, und stehen bereit, die oben genannten Initiativen zu unterstützen.



Projekt

Herausgeber

- acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften
- Geschäftsstelle Circular Economy Initiative Deutschland (CEID)
- SYSTEMIQ Ltd.

Mitglieder der Circular Economy Initiative Deutschland

Leitung

- Dr. Susanne Kadner, Leitung CEID/acatech Geschäftsstelle
- Dr. Jörn Kobus, SYSTEMIQ
- Prof. Dr. Martin R. Stuchtey, SYSTEMIQ
- Prof. Dr.-Ing. Thomas Weber, acatech

Mitglieder der Arbeitsgruppe „Zirkuläre Geschäftsmodelle“

Leitung

- Patrick Wiedemann, Reverse Logistics Group
- Prof. Dr. Erik G. Hansen, Johannes Kepler Universität Linz (JKU)

Mitglieder

- Ulrich Ahle, Fiware
- Andres Alcayaga, Endowed Institute for Integrated Quality Design, Johannes Kepler University Linz (JKU)
- Prof. Dr. Fenna Blomsma, Universität Hamburg
- Daniel Büchle, AfB Group
- Ann-Kathrin Denker, Interseroh

- Prof. Dr. Klaus Fichter, Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit/Carl von Ossietzky University of Oldenburg
- Karsten Fiolka, SAP
- Prof. Dr. Magnus Fröhling, Technische Universität München (TUM)
- Alexander Häge, Interseroh
- Prof. Dr. Volker Hoffmann, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETH Zürich)
- Prof. Dr. Melanie Jaeger-Erben, Technische Universität Berlin
- Prof. Dr.-Ing. Holger Kohl, Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik (IPK)/Technische Universität Berlin
- Michael Löscher, Schwarz-Gruppe
- Prof. Dr. Florian Lüdeke-Freund, ESCP Business School Berlin
- Tara Nitz, Covestro
- Christian Schiller, Cirplus
- Prof. Dr. Thomas Schomerus, Leuphana Universität Lüneburg
- Rebecca Tauer, WWF
- Ursula Tischner, Econcept/FH Joanneum University of Applied Sciences, Graz
- Dr. Dieter Vollkommer, Siemens
- Dieter Wilhelm, Siemens
- Dr.-Ing. Hartmut Zefferer, Trumpf

Mitglieder der Arbeitsgruppe „Traktionsbatterien“

Leitung

- Dr.-Ing. Christian Hagelüken, Umicore
- Prof. Dr. Arno Kwade, Technische Universität Braunschweig

Mitglieder

- Dr. Matthias Buchert, Öko-Institut e. V.
- Dr. Matteo Carrara, BMW Group
- Steven Daelemans, Covestro
- Prof. Dr. Helmut Ehrenberg, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

- Dr. Sarah Fluchs, PEM Motion
- Prof. Dr.-Ing. Daniel Goldmann, Technische Universität Clausthal
- Georg Henneboel, SAP
- Prof. Dr.-Ing. Christoph Herrmann, Technische Universität Braunschweig
- Dr.-Ing. Julia Hobohm, GRS Batterien
- Prof. Dr.-Ing. Holger Kohl, Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik (IPK)/Technische Universität Berlin
- Dr. Michael Krausa, Kompetenznetzwerk Lithium-Ionen-Batterien
- Johanna Lettgen, Reverse Logistics Group
- Kerstin Meyer, Agora Verkehrswende
- Manuel Michel, Daimler
- Marcel Rakowski, Reverse Logistics Group
- Prof. Dr. Markus Reuter, Helmholtz-Zentrum Dresden Rosendorf (HZDR)
- Prof. Dr. Dirk Uwe Sauer, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen (RWTH)
- Michael Schnell, Daimler
- Magnus Schulz-Möninghoff, Daimler
- Dr. Paul Spurk, Umicore
- Sebastian Taubensee, Siemens
- Wassilij Weber, Interseroh
- Dr.-Ing. Hartmut Zefferer, Trumpf
- Prof. Dr. Claudia Fleck, Technische Universität Berlin
- Prof. Dr. Magnus Fröhling, Technische Universität München (TUM)
- Karl Hagspiel, Alpla
- Prof. Dr. Rüdiger Hahn, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf (HHU)
- Christian Haupts, Recenso
- Dr. Christoph Hoffmann, Alpla
- Dr. Péter Krüger, Covestro
- Marko Lange, SAP
- Dr. Thorsten Leopold, Henkel
- Michael Löscher, Schwarz-Gruppe
- Peter Niedersüß, Borealis
- Tom Ohlendorf, WWF
- Jutta Pattberg, Pacoon
- Dr. Manfred Renner, Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik (UMSICHT)
- Prof. Dr. Alois K. Schlarb, Technische Universität Kaiserslautern
- Dr. Michael Schmidt, Hochland
- Hartmut Siebert, Clariant
- Dr. Bettina A. Siggelkow, Clariant
- Simon Stadelmann, Alpla
- Julian Thielen, Interseroh
- Dr. Henning Wilts, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie

Mitglieder der Arbeitsgruppe „Verpackung“

Leitung

- Prof. Dr. Thomas Müller-Kirschbaum, Henkel
- Prof. Dr. Peter Elsner, Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (ICT)/Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Mitglieder

- Peter Désilets, Pacoon
- Dr. Ralph Detsch, Siegwark
- Prof. Dr. Christina Dornack, Technische Universität Dresden
- Josef Ferber, Hochland

Arbeitskreis der Circular Economy Initiative Deutschland

- Prof. Dr. Peter Elsner, Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (ICT)/Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
- Dr. Irene Feige, BMW Group
- Dr. Kathrin Greiff, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen (RWTH)
- Dr.-Ing. Christian Hagelüken, Umicore
- Prof. Dr. Erik G. Hansen, Johannes Kepler Universität Linz (JKU)
- Prof. Dr.-Ing. Arno Kwade, Technische Universität Braunschweig
- Dr. Natalie Laibach, Universität Bonn, Zentrum für Entwicklungsforschung (ZEF)
- Johanna Lettgen, Reverse Logistics Group
- Dr. Klaus Lützenkirchen, Siemens
- Manuel Michel, Daimler

- Prof. Dr. Thomas Müller-Kirschbaum, Henkel
- Bernd Muschard, Technische Universität Berlin
- Tara Nitz, Covestro
- Dr. Carsten Polenz, SAP
- Marcel Rakowski, Reverse Logistics Group
- Dr. Manfred Renner, Fraunhofer-Institut für Umwelt, Sicherheits- und Energietechnik (UMSICHT)
- Elisa Seiler, Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (ICT)/Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
- Dr. Paul Spurk Umicore
- Rebecca Tauer, WWF
- Dr. Dieter Vollkommer, Siemens Energy
- Patrick Wiedemann, Reverse Logistics Group
- Dr. Henning Wilts, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie

Koordination und Redaktion

- Seda Akinci, CEID/acatech Geschäftsstelle
- Marlene Kick, SYSTEMIQ
- Dr. Jörn Kobus, SYSTEMIQ
- Carl Kühn, SYSTEMIQ
- Dominik Obeth, CEID/acatech Geschäftsstelle
- Katharina Schweitzer, CEID/acatech Geschäftsstelle
- Yvonne Turzer, CEID/acatech Geschäftsstelle
- Tilmann Vahle, SYSTEMIQ
- Dr. Reinhard von Wittken, CEID/acatech Geschäftsstelle
- Dr. Susanne Kadner, Leitung CEID/acatech Geschäftsstelle

Externe Reviewerinnen und Reviewer

- Dr. Britta Bookhagen, Deutsche Rohstoffagentur (DERA)
- Svenja Grauel, Prosperkolleg – Forschungsnetzwerk Zirkuläre Wertschöpfung NRW
- Dr. Martin Hirschnitz-Garbers, Ecologic Institut
- Prof. Dr. jur. Helmut Maurer, Europäische Kommission DG ENV/B2
- Prof. Dr. Dr. Stefan Schaltegger, Leuphana Universität Lüneburg
- Michael Schmidt, Deutsche Rohstoffagentur (DERA)
- Prof. Dr. Stefan Seuring, Universität Kassel
- Ingo Al Barazi Siyamend, Deutsche Rohstoffagentur (DERA)

Projektlaufzeit

März 2019 – Mai 2021

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 033R215 gefördert.



Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

1 Einleitung

Die bisher vorherrschende Produktions- und Konsumlogik des „Take, Make, Waste“ – im deutschen Sprachgebrauch pointiert auch als „Wegwerfgesellschaft“ umschrieben – stößt zunehmend an die planetaren Belastungsgrenzen. Wenige Kennzahlen belegen die besorgniserregenden Auswirkungen linearen Wirtschaftens deutlicher als die Tatsache, dass wir als Menschheit im globalen Durchschnitt momentan die natürlichen Ressourcen von 1,6 Erden verbrauchen.¹⁵ Auch der Blick nach Deutschland mit einem Jahresverbrauch von ungefähr drei Erden^{16, 17} verdeutlicht den dringenden Handlungsbedarf: Wenn wir auch zukünftigen Generationen ein würdevolles Leben auf unserer Erde ermöglichen wollen, dann müssen wir unsere Art zu wirtschaften und unser Konsumverhalten grundsätzlich neu denken – und zwar jetzt.

Das lineare Wirtschaftsparadigma – lange Zeit der Motor für wachsenden wirtschaftlichen Wohlstand – verliert zusehends an gesellschaftlicher Bindekraft und gerät sowohl aus sozialer als auch aus ökologischer Perspektive zunehmend unter Legitimationsdruck. So verdeutlicht beispielsweise der von den Vereinten Nationen zur Zielerreichung der Sustainable Development Goals vorgeschlagene Inclusive Wealth Index die Grenzen und Kosten des bisherigen linearen Wachstumspfad: Ziel dabei ist eine möglichst ganzheitliche Darstellung der Entwicklung gesellschaftlichen Wohlstands, indem ergänzend zum sogenannten „Produced Capital“ (zum Beispiel Straßen, Gebäude, Maschinen oder physische Infrastruktur) auch der Bestand an „Human Capital“ (etwa Wissen, Ausbildung, Fähigkeiten und Gesundheit) und „Natural Capital“ (zum Beispiel Wälder, fossile Energieträger, landwirtschaftliche Nutzflächen oder Ökosystemdienstleistungen) als produktive Basis einer Ökonomie verstanden und einander gegenübergestellt werden. So zeigt sich im globalen Mittel deutlich, dass in den letzten Jahrzehnten das Wachstum des „Produced Capital“ nicht mehr im gleichen Ausmaß mit Wertsteigerungen des „Human Capital“ einherging und zudem mit hohen Kosten – das heißt Wertverlusten an „Natural Capital“ – verbunden war (siehe Abbildung 4). Um die volkswirtschaftliche Entwicklung künftig wieder enger an das gesellschaftliche Wohlstandsversprechen unserer marktwirtschaftlichen Grundordnung zu koppeln und nicht länger „auf Pump kommender

Generationen“ zu leben, bedarf es daher eines umfassenden sozialökologischen Updates unserer Wirtschaft.

Besondere Dringlichkeit erfährt die sozialökologische Transformation unseres Wirtschaftens momentan vor dem Hintergrund sich exponentiell verschärfender, multipler Krisen unseres Ökosystems. Konkret verursacht die Förderung und Veredelung natürlicher Ressourcen (Biomasse, metallische sowie nicht metallische Mineralien und fossile Brennstoffe) 50 Prozent der globalen Treibhausgasemissionen sowie 90 Prozent des Biodiversitätsverlusts und des Wasserstresses.¹⁸ Dass die damit einhergehenden ökologischen Krisen zunehmend auch fundamentale Auswirkungen auf unsere globalisierte und arbeitsteilige Wirtschaft haben, wurde zuletzt in der Corona-Pandemie deutlich, die selbst in der Zerstörung von Ökosystemen ihren mutmaßlichen Ursprung hatte.¹⁹ Allein das Fehlen einer ambitionierten Klimapolitik und ein damit einhergehender Temperaturanstieg von 3,5 Grad Celsius könnte zu einem Verlust von 7 bis 14 Prozent der globalen Wirtschaftsleistung im Jahr 2100 führen, wobei die Schäden auf Ökosysteme und Biodiversität noch gar nicht berücksichtigt sind.²⁰

Das Konzept der Circular Economy kann bei konsequenter und rechtzeitiger Umsetzung im Sinne einer ganzheitlichen Systemlösung viele der oben angesprochenen Krisen gleichzeitig adressieren. Unmittelbar und mit Blick auf die sich verschärfende Ressourcenkrise kann eine Circular Economy dazu beitragen, durch das Etablieren und Schließen von Kreisläufen den Verbrauch natürlicher Ressourcen vom Wirtschaftswachstum zu entkoppeln.²¹ Während hier eine relative Entkopplung auf Basis vorgenommener Effizienzsteigerungen oftmals schon gelingt, bedarf es in Zukunft jedoch umfassenderer Strategien, um bei global steigendem Wohlstandsniveau eine absolute Entkopplung vom Ressourcenverbrauch zu realisieren.

Zunehmend wird jedoch auch ein mittelbarer Bezug zwischen den Potenzialen einer Circular Economy und der Bekämpfung der Klimakrise hergestellt. Beispielsweise deuten Ergebnisse des International Resource Panel darauf hin, dass entsprechende Strategien in der Gruppe der G7-Länder die Treibhausgasemissionen von Gebäuden und Fahrzeugen um bis zu je 40 Prozent bis 2050 senken könnten.²² In einer anderen Studie zeigt Material

15 | Vgl. Earth Overshoot Day 2020a.

16 | Vgl. Earth Overshoot Day 2020b.

17 | Vgl. Earth Overshoot Day s. a.

18 | Vgl. International Resource Panel 2019.

19 | Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit 2020a.

20 | Vgl. Kalkuhl/Wenz 2020.

21 | Siehe Glossar.

22 | Vgl. International Resource Panel 2020.

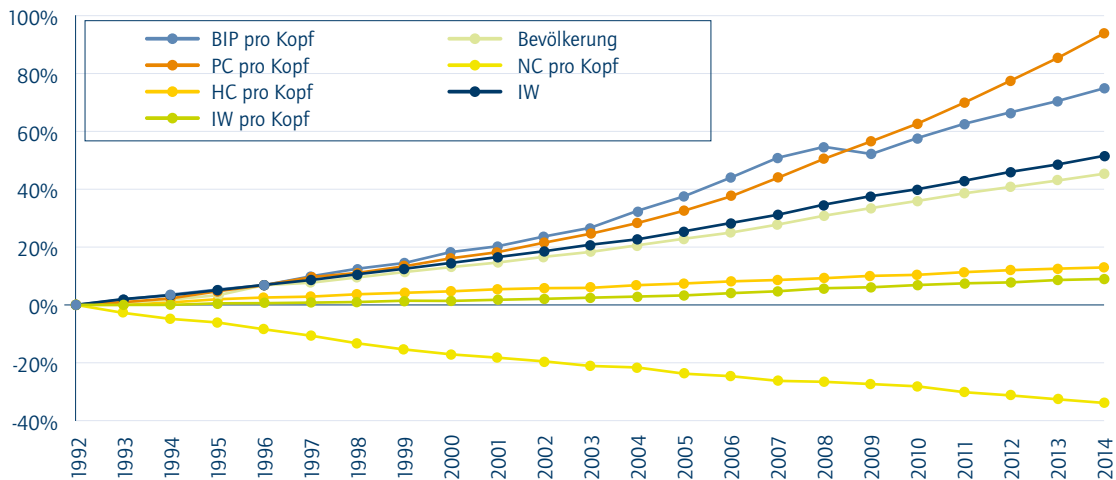


Abbildung 4: Entwicklung des Bruttoinlandsprodukts (BIP) und des sogenannten Inclusive Wealth Index (IW) mitsamt seiner Teilindikatoren „Produced Capital“ (PC), „Natural Capital“ (NC) und „Human Capital“ (HC) im globalen Vergleich; prozentuale Veränderung zum Bezugsjahr 1990 (Quelle: Managi/Kumar 2018)

Economics, dass die europäische Industrie in der Nutzung ihrer 4 emissionsstärksten Materialien (Stahl, Plastik, Aluminium und Zement) im Jahr 2050 bis zu 60 Prozent Treibhausgasersparungen im Vergleich zum Business-as-usual-Szenario erzielen kann, wenn Möglichkeiten zum Schließen von Materialkreisläufen wahrgenommen, die Materialeffizienz erhöht und Potenziale für zirkuläre Geschäftsmodelle genutzt werden.²³

Indem das Konzept der Circular Economy Effizienz, Konsistenz und Suffizienzstrategien integriert, kann es die Zielsetzungen verschiedener gesellschaftlicher Akteure miteinander in Einklang bringen und vermag dadurch scheinbare Gegensätze zwischen ökonomischen, ökologischen und sozialen Belangen zu überwinden.²⁴ Basierend auf dem Ansatz der Konsistenzstrategie zielt eine Circular Economy auf eine naturverträgliche und mit den Ökosystemen im Einklang stehende Gestaltung von Wirtschaftssystemen ab. Dabei geht es um die Nutzung sicherer und unbe-

denklicher Chemikalien in der Material- und Produktentwicklung und um das Schließen von Stoffkreisläufen²⁵ (Redesign, Recycle). Im Sinne einer Suffizienzstrategie und einer Konzentration auf qualitatives Wachstum soll durch Maßnahmen zur Verlängerung der Produktlebensdauer sowie das Angebot entsprechender Dienstleistungen der Neukauf von Produkten so lange wie möglich hinausgezögert werden (Re-Use, Repair, Remanufacturing). Über den Ansatz der Nutzungsintensivierung tragen Suffizienzstrategien ebenso dazu bei, den Fokus auf den Nutzen statt den Besitz von Produkten zu legen (Rethink/Share). Im Einklang mit dem Ansatz der Effizienzstrategie sollen die auf Langlebigkeit ausgerichteten und für geschlossene Materialkreisläufe designeten Produkte mit einem möglichst effizienten Ressourceneinsatz gestaltet werden (Reduce).

Die erfolgreiche Umsetzung einer Circular Economy ist kein Selbstzweck, sondern verbindet Klima- und Ressourcenschutz,

23 | Vgl. Material Economics 2018.

24 | Da der deutsche Begriff der Kreislaufwirtschaft in seiner historischen Entwicklung bisher primär im Sinne einer „recyclingorientierten Abfallwirtschaft“ verstanden wurde, verwendet der Bericht den englischen Begriff einer Circular Economy, um neben der Wiederverwertung (Recycling) auch die Wertschöpfungspotenziale weiterer Zirkularitätsstrategien wie Wartung und Upgrade, Reparatur, Wiederverwendung oder Wiederaufbereitung hervorzuheben. Grundsätzlich sollte sich zukünftig auch für den Begriff der Kreislaufwirtschaft ein solch breiter gefasstes Grundverständnis durchsetzen.

25 | Hierbei ist es nicht ausreichend, sich an bestehendes Chemikalienrecht (etwa REACH, vgl. Europäische Kommission 2006) zu halten, denn Recycling kann zur Akkumulation von ungewollten Schadstoffen und damit zu einer Minderung der Materialqualität führen. Dies wiederum mindert die Anzahl der möglichen Kreislaufführungen. Um also Produkte Circular-Economy-gerecht zu gestalten, müssen Materialien so gewählt werden, dass auch nach mehreren Lebenszyklen keine toxischen Wirkungen auftreten.

kulturellen Wandel, Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit und Rohstoffunabhängigkeit sowie die Schaffung von Beschäftigung und lokaler Wertschöpfung im Sinne nachhaltiger Win-win-Lösungen miteinander. Der Nachweis der ökonomischen Vorteilhaftigkeit wird nicht nur einen Wettbewerbsvorteil für die eigene Wirtschaft zur Folge haben, sondern auch die Umsetzung in globalen, marktwirtschaftlich organisierten Systemen beschleunigen. Eine konstruktiv-kritische Debatte über die Rolle sozialer, politischer und technologischer Innovationen ist dabei Voraussetzung für eine solche Transformation.

Aufgrund der vielfältigen integrativen Potenziale einer Circular Economy als neues gesamtgesellschaftliches Zielbild haben die Europäische Union und zahlreiche Mitgliedsländer bereits strategische Pläne für einen Übergang zu einem ressourcenschonenden Wirtschaften nach den Prinzipien der Circular Economy entwickelt.²⁶ Zuletzt wurden zudem seitens der Europäischen Kommission mit dem European Green Deal²⁷ und dem zweiten Circular Economy Action Plan²⁸ entscheidende Schritte in Richtung einer konkreten Umsetzung zirkulärer Maßnahmen unternommen. Entscheidend für den Gesamterfolg und die tatsächliche Wirksamkeit dieser angestoßenen Initiativen bleibt jedoch ein abgestimmtes Zusammenspiel zwischen nationalen und europäischen Anstrengungen vor dem Hintergrund globaler Lieferketten. Gerade innerhalb der Grenzen des europäischen Binnenmarkts können Stoff-, Material- und Produktkreisläufe wirksam etabliert und geschlossen werden.

Deutschland befindet sich in einer guten Ausgangslage, den eingeschlagenen Weg zu einer europäisch verankerten Circular Economy zu ebnen und aktiv mitzugestalten. Dabei gilt es, vorhandene Stärken, für die Deutschland gerade auch bei seinen europäischen Partnern geschätzt wird, im Sinne einer Circular Economy einzubringen und weiterzuentwickeln. Auf nationaler Ebene hat Deutschland einst mit seiner progressiven Herangehensweise bei der Sammlung und dem Recycling insbesondere von Papier, Glas und Verpackungen einen gewissen Vorbildcharakter erlangt. Tiefergehende Betrachtungen zeigen allerdings, dass man hierzulande noch weit von einer echten Kreislaufführung entfernt ist (siehe Kapitel 2) und dass sich das für die umfassende Etablierung einer Circular Economy notwendige Innovationssystem noch in einer frühen Entwicklungsphase mit geringer Eigendynamik befindet.²⁹ Dennoch kann unsere bereits gesammelte Expertise Ausgangspunkt dafür sein, Kreislaufwirt-

schaft in Zukunft noch umfassender zu denken, die Potenziale einer Circular Economy mit weiteren Zirkularitätsstrategien wie Reparatur, Wiederverwendung oder Wiederaufarbeitung auszuschoöpfen und Recyclingkreisläufe tatsächlich auch physisch auf Stoffebene zu schließen.³⁰ Die Weltmarktführerschaft im Bereich des Anlagen- und Maschinenbaus verbunden mit der fortschreitenden Digitalisierung der industriellen Produktion (Industrie 4.0) eröffnet Deutschland dabei eine zusätzliche Transformativmöglichkeit und einen bedeutenden Exportmarkt. Ob Europa einmal mehr aus Krisen geschmiedet wird, entscheidet sich daher gerade auch anhand der Frage, welche Rolle Deutschland bei der Umsetzung einer europäischen Circular Economy als Antwort auf die multiplen Krisen unserer Zeit spielen wird.

Die vorliegende Circular Economy Roadmap für Deutschland versteht sich als wissenschaftlich fundierter Handlungsrahmen, der die erforderlichen Schritte für einen Übergang Deutschlands zu einer Circular Economy erstmals systemisch beschreibt. Gleichwohl muss diese Roadmap als „lebendiges“ Dokument verstanden werden, denn die notwendige Transformation ist mit einem stetigen Lernprozess verbunden, für den die vorliegende Publikation den Ausgangspunkt darstellt. Als zentrales Abschlussdokument der *Circular Economy Initiative Deutschland* (CEID), die 2019 mit Förderung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) gegründet wurde, synthetisiert es die Erkenntnisse aus den verschiedenen Arbeitsgruppen und fasst sie in einer konsolidierten Stellungnahme mit gesamtgesellschaftlichem Gestaltungsanspruch zusammen. Von einer Vielzahl gesellschaftlicher Akteure aus Wirtschaft, Wissenschaft und Zivilgesellschaft entwickelt und mitgetragen, lag der Schwerpunkt dieser Roadmap damit von Beginn an auf der Ausgestaltung eines einheitlichen, gemeinsamen Zielbilds für eine Circular Economy im Jahr 2030 sowie der Formulierung konkreter Handlungsempfehlungen.

Wird es Deutschland in Zukunft gelingen, seinen gesellschaftlichen Wohlstand und seine wirtschaftliche Prosperität innerhalb der planetaren Grenzen neu zu definieren und seine Wertschöpfung zu erhalten? Die Antwort auf diese Frage haben wir selbst in der Hand, indem wir wirtschaftlichen, sozialen und ökologischen Wohlstand zukünftig mittels mehrdimensionaler und noch weiterzuentwickelnder Indikatorensysteme (zum Beispiel mithilfe des Inclusive Wealth Index) messen und den Umbau unserer Wirtschaft hin zu einer ressourcenschonenden und

26 | Vgl. Weber/Stuchtey 2019.

27 | Vgl. Europäische Kommission 2019a.

28 | Vgl. Europäische Kommission 2020c.

29 | Vgl. Gandenberger 2021.

30 | Vgl. Ellen MacArthur Foundation 2013.



klimaneutralen Ökonomie als gesamtgesellschaftlichen Auftrag verstehen, der energisch vorangetrieben und effizient koordiniert werden muss. Viele Mitglieder der Initiative haben sich bereits auf den Weg gemacht, eine Circular Economy in ihrem jeweiligen Tätigkeitsfeld Realität werden zu lassen. Was es jetzt daher noch zusätzlich braucht, ist eine abgestimmte deutsche Agenda für die Umsetzung einer Circular Economy im besten europäischen Geist, die in Zeiten des wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Umbruchs Orientierung gibt, um das Wohlstandsversprechen unserer Wirtschaft zu erneuern.

Zunächst skizziert der vorliegende Bericht die Ausgangslage in Deutschland mit Blick auf eine Circular Economy (siehe Kapitel 2). Die Chancen, die in der Transformation zu einer Circular Economy liegen, werden für Deutschland im Zielbild 2030 beschrieben (siehe Kapitel 3). Die Erkenntnisse der Arbeitsgruppen Zirkuläre Geschäftsmodelle, Traktionsbatterien und Verpackung zeigen exemplarisch Möglichkeiten zur Gestaltung dieser Transformation (siehe Kapitel 4). Abschließend werden in einer Roadmap mit Handlungsempfehlungen konkrete Maßnahmen für Politik, Industrie und Wissenschaft dargelegt (siehe Kapitel 5).

2 Status quo des Ressourcenverbrauchs in Deutschland

Der Status quo zeigt, dass in Deutschland bisher keine absolute Entkopplung des Ressourcenverbrauchs vom Wirtschaftswachstum stattfindet. Zwar war und ist Deutschland in Bezug auf bislang nur unscharf definierte Recyclingquoten (Quantität), die in der Realität eher Sammelquoten sind, Vorreiter; doch werden zentrale Aspekte einer systemischen Kreislaufwirtschaft wie die Verlängerung und der gezielte Kreislaufschluss von Produktlebenszyklen (Qualität) sowie daraus resultierende gesamtsystemische Effekte (Exergie) noch nicht oder nur unzureichend berücksichtigt.³¹ Momentan kann Deutschlands Kreislaufwirtschaft daher treffender als „kreislauforientierte Abfallwirtschaft“³² bezeichnet werden. Um den für die Einhaltung planetarer Grenzen nötigen Klima- und Ressourcenschutz zu ermöglichen, bedarf es der systemischen Perspektive einer Circular Economy.

2.1 Kreislauforientierte Abfallwirtschaft

Die Maßnahmen des Kreislaufwirtschaftsgesetzes zielen vor allen Dingen auf Vermeidung, Recycling und Entsorgung von Abfällen ab. Die Verlängerung der Nutzungsphase sowie eine bessere Bestandsnutzung in einer Kreislaufwirtschaft werden dabei jedoch derzeit weitgehend ignoriert. Bedingt durch dieses enge Verständnis einer Kreislaufwirtschaft fokussieren sich die Maßnahmen vor allem auf im physischen Sinne nur unzureichend definierte Recyclingquoten und somit auf End-of-Life-Lösungen.

Der ausgewiesene Anteil der stofflich und energetisch verwerteten Abfälle am gesamten Abfallaufkommen in Deutschland ist zwar seit 2006 kontinuierlich gestiegen und beträgt aktuell etwa 81 Prozent (siehe Abbildung 5), das gesamte Abfallaufkommen stieg allerdings ebenfalls und erreichte 2018 den höchsten Zuwachs seit Beginn der Datenerfassung des Statistischen Bundesamts im Jahr 2006.³³ Der Anteil der stofflich ver-

werteten Abfälle am gesamten Abfallaufkommen blieb allerdings in etwa unverändert.

Zudem ist zu beachten, dass der Fokus der Abfallwirtschaft in Deutschland bislang auf Input-Mengen für Recyclinganlagen gerichtet ist und nicht auf die Output-Mengen und deren Qualität für die werkstoffliche Verwertung. Beispielsweise zeigen Berechnungen für die Verwertung von Kunststoffen, dass die Ausgangsmenge der in Deutschland verarbeiteten Kunststoffe im Jahr 2019 lediglich zu etwa sieben Prozent durch den Einsatz von Post-Consumer-Rezyklaten abgedeckt wird.³⁴

Ein erster Schritt zur Umorientierung auf Output-orientierte Verwertungsquoten wurde mit der geänderten EU-Abfallrahmenrichtlinie³⁵ bereits vollzogen. Neben der quantitativen Verfügbarkeit muss dabei auch berücksichtigt werden, dass die Qualität von Sekundärrohstoffen deutlich schwieriger zu beurteilen ist, zugleich aber der Rezyklateinsatz in der Produktion durch ihre Qualität begrenzt wird.³⁶ Die derzeitige Fokussierung auf Quantitäten bei meist reduzierter Materialqualität führt zu eher offenen Kreisläufen beziehungsweise Downcycling.³⁷ Dies ist neben dem Verlust der Materialien auch thermodynamisch kein optimales Ergebnis, weil hierdurch elektrochemischer Wert (Exergie) verloren geht. Die hohen Energieaufwände zur Wiederherstellung von einmal verlorenen Materialqualitäten verschlechtern die Energiebilanz weiter. Um Primärrohstoffe aber tatsächlich in der Produktion ersetzen zu können und einen besseren gesamtsystemischen Energieerhalt zu erreichen (und somit effektiven Klimaschutz und Ressourcenschonung zu ermöglichen), bedarf es möglichst qualitätserhaltender und geschlossener Kreisläufe³⁸ unter Berücksichtigung der thermodynamischen Effekte.³⁹

31 | Vgl. Sachverständigenrat für Umweltfragen 2020a.

32 | Vgl. ebd.

33 | Vgl. Statistisches Bundesamt 2020a.

34 | Vgl. Conversio 2020.

35 | Vgl. Europäische Union 2008.

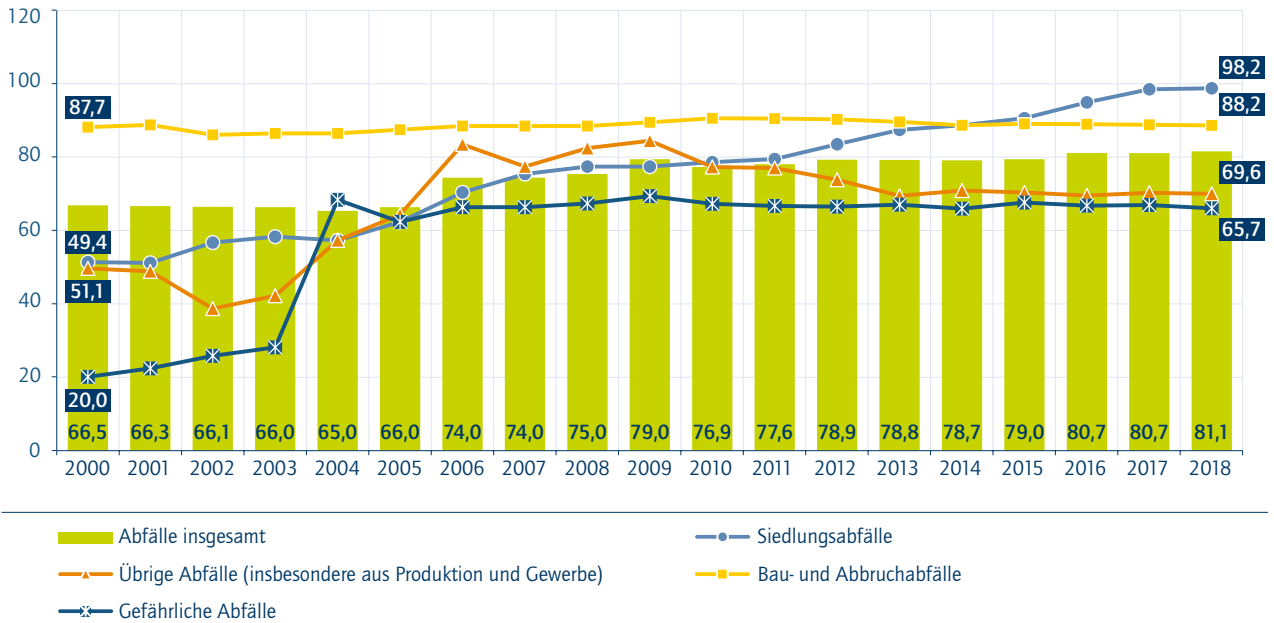
36 | Vgl. BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe 2018.

37 | Siehe Glossar.

38 | Vgl. Hansen/Revellio 2020.

39 | Vgl. Abadías Llamas et al. 2020.

Prozent



2000: Hamburg mit Daten von 1999
 2002: Einführung des Europäischen Abfallverzeichnisses mit Verschiebungen zwischen nicht besonders überwachungsbedürftigen und besonders überwachungsbedürftigen Abfällen sowie innerhalb der Siedlungsabfälle.
 2006: Umstellung der Berechnung der Abfallbilanz vom Nettoprinzip zum Bruttoprinzip.
 Gefährliche Abfälle: Ab 2004 einschließlich Behandlung zur Verwertung.

Quelle: Statistisches Bundesamt, Abfallbilanz, Wiesbaden, verschiedene Jahrgänge; Umweltbundesamt, eigene Berechnungen

Abbildung 5: Verwertungsquoten der wichtigsten Abfallarten (Quelle: Umweltbundesamt 2020a)

Eine alleinige Betrachtung von Recyclingquoten als Indikator für den Fortschritt einer Circular Economy greift somit zu kurz. Die Problematik der Fokussierung auf Input-bezogene Recyclingquoten, ohne dabei die Rezyklatqualität zu berücksichtigen, wird bei den im Ressourceneffizienzprogramm der Bundesregierung genannten Indikatoren DEREc und DIERec⁴⁰ zur Kreislaufführung von Rohstoffen deutlich. Der Einsatz von Sekundärrohstoffen in Deutschland spart nur rund 13 Prozent des Ressourcenverbrauchs ein. Berücksichtigt man auch die Ressourceneinsparungen entlang der globalen Vorketten, so beträgt die Einsparung 18 Prozent.⁴¹ Mit Blick auf den Zeitraum 2010 bis 2014 blieb der Anteil dieser Indikatoren an der gesamten Rohstoffnutzung nahezu unverändert.⁴² Die Kreislaufführung von Rohstoffen

als einer der zentralen Circular-Economy-Hebel hat also noch wesentliches Potenzial.

Während sich im Inland die Einsparungen derzeit noch in erster Linie durch den Einsatz recycelter nicht metallischer Mineralien ergeben,⁴³ sind es in der globalen Perspektive vor allem recycelte Metalle, da diese einen deutlich kleineren ökologischen Fußabdruck als Primärrohstoffe aufweisen. Diese Schließung von Stoffkreisläufen führt derzeit zu einer Einsparung des kumulierten Energieaufwands (inklusive ausländischer Vorketten) von 1.406 Petajoule pro Jahr,⁴⁴ das entspricht rund 12 Prozent des Primärenergieverbrauchs Deutschlands in 2020.⁴⁵ Tatsächlich scheint der Fortschritt in Richtung einer Circular Economy in

40 | DEREc (Direct Effects of Recovery) und DIERec (Direct and Indirect Effects of Recovery) sind Indikatoren zur Verwertung und Rückführung von Sekundärrohstoffen und zu damit verbundenen Einsparungen von Primärrohstoffen. Während der DEREc-Indikator nur die Ressourceneinsparungen der direkten, nationalen Einsparungen berücksichtigt, bezieht der DIERec Ressourceneinsparungen in globalen Wertschöpfungsketten mit ein.

41 | Vgl. Steger et al. 2019.

42 | Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit 2019.

43 | Vgl. Steger et al. 2019.

44 | Vgl. ebd.

45 | Vgl. Umweltbundesamt 2020b.

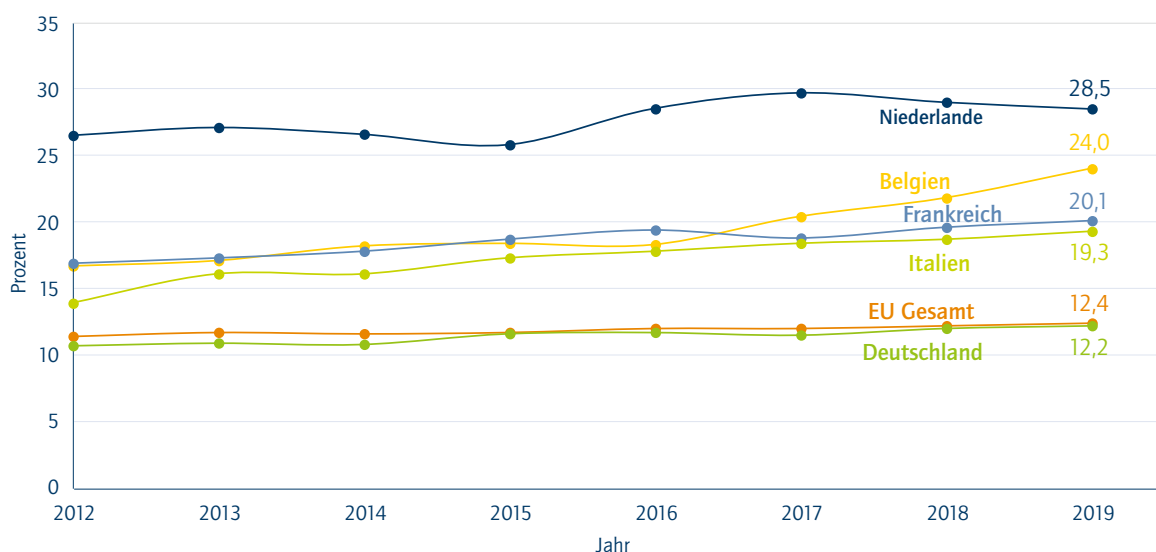


Abbildung 6: Entwicklung der Circular Material Use Rate in ausgewählten EU-Ländern, 2012 bis 2019
(Quelle: eigene Darstellung; Daten: Eurostat 2020)

Deutschland zu stagnieren. Zwar konnte Deutschland im Hinblick auf die Circular Material Use Rate – ein Kernindikator der Europäischen Kommission – den Anteil recycelter Rohstoffe in der Industrie zwischen 2012 und 2017 von 10,7 auf 11,6 Prozent steigern (siehe Abbildung 6). Länder wie die Niederlande weisen hier jedoch deutlich höhere Werte von bis zu 30 Prozent auf, die sich unter anderem durch ein hohes Wertstoffaufkommen aus dem Recycling von Baumaterialien (befördert unter anderem durch auf Zirkularität ausgerichtete Bauweisen und Demontagepraktiken) in Kombination mit einem relativ niedrigen Wert für den inländischen Materialverbrauch ergeben.

Für eine ähnlich differenzierte Betrachtung weiterer Circular-Economy-Hebel wie Wiederverwendung oder Reparatur fehlen bislang noch die Datengrundlagen. So stehen die rechtlichen Grundlagen, auf deren Basis die EU-Mitgliedsstaaten ab 2022 Daten zur Wiederverwendung erheben sollen, Stand Januar 2021 noch aus.⁴⁶ Die über die Circular-Economy-Hebel insgesamt bewirkten Effekte spiegeln sich bisher allenfalls im Gesamtressourcenverbrauch wider. Indikatoren für den Rohstoffkonsum wie der RMC (Primärrohstoffnutzung für inländischen Konsum

und Investitionen, siehe Kapitel 2.3, Abbildung 8) berücksichtigen dabei auch die entlang globaler Vorketten in Anspruch genommenen natürlichen Ressourcen.⁴⁷

2.2 Ressourceneffizienz als Ansatz der Ressourcenschonung

Ergänzend zu den Zielen zur Abfallverwertung hat die Bundesregierung im Februar 2012 das erste Deutsche Ressourceneffizienzprogramm (ProgRes) beschlossen, das darauf abzielt, das Wirtschaftswachstum vom Ressourceneinsatz zu entkoppeln und zu einer verstärkten Kreislaufführung der Ressourcen beizutragen.⁴⁸

Neben den positiven ökologischen Aspekten ist die Entkopplung auch von ökonomischer Relevanz. Die deutsche Industrie ist in starkem Maße abhängig von bestimmten Materialien und Rohstoffen, insbesondere von Metallrohstoffen.⁴⁹ Im Jahr 2015 machten Rohstoffe rund 55 Prozent der gesamten Importmenge in Deutschland aus (etwa 9 Prozent des Gesamtwerts der Importe), während es sich bei circa 77 Prozent aller Exporte um

46 | Vgl. Europäische Union 2018.

47 | Vgl. Umweltbundesamt 2020c.

48 | Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit 2020b.

49 | Vgl. European Environment Agency 2019.



Halb- oder Fertigwaren handelte (etwa 99 Prozent des Gesamtwerts der Exporte).⁵⁰ In den vergangenen Jahren hat sich die Abhängigkeit von Rohstoffimporten und den damit verbundenen Preis- und Lieferrisiken in Deutschland und in der EU nochmals vergrößert.⁵¹ Insbesondere die Verfügbarkeit von Metallen ist für die deutsche Industrie von zentraler Bedeutung, um High-Tech-Produkte für den digitalen Wandel herzustellen.⁵² Die Importabhängigkeit Deutschlands von Metallerzen und -konzentraten liegt bei 100 Prozent.⁵³

Das vierjährlich fortgeschriebene Ressourceneffizienzprogramm strebt deshalb unter anderem an, die Rohstoffproduktivität⁵⁴ bis 2020 gegenüber 1994 zu verdoppeln und die Gesamtrohstoffproduktivität⁵⁵ jährlich um 1,5 Prozent zu steigern,⁵⁶ um perspektivisch unabhängiger von Rohstoffimporten zu werden. Die Rohstoffproduktivität ist zwischen 1994 und 2015 lediglich um circa 56 Prozent gestiegen. Auf Grundlage dieser Daten würde das im Ressourceneffizienzprogramm definierte Ziel deutlich verfehlt.⁵⁷ Dies ist insbesondere auch deshalb kritisch zu bewerten, weil die Erhöhung der Ressourcenproduktivität bislang das einzige Ziel ist, zu dem sich die Bundesregierung im Bereich der Ressourceneffizienz verpflichtet hat.

Auch die Entwicklung der Gesamtrohstoffproduktivität Deutschlands ist differenziert zu bewerten. Einerseits ist die Gesamtrohstoffproduktivität zwischen 2000 und 2016 um 35 Prozent gestiegen, was einem durchschnittlichen Wachstum von 2,2 Prozent pro Jahr entspricht (siehe Abbildung 7).⁵⁸ Damit hat

Deutschland das gesteckte Ziel formell erreicht. Der Grund hierfür ist jedoch nicht die Reduktion des absoluten Ressourcenverbrauchs, sondern das Wachstum des Bruttoinlandsprodukts.^{59, 60} Der Rohstoffkonsum pro Kopf in Deutschland ist immer noch fast doppelt so hoch wie der weltweite Durchschnitt von 12,2 Tonnen pro Einwohner und Jahr.^{61, 62} Die Primärrohstoffnutzung im Inland ist damit immer noch zu hoch.⁶³ Somit bleibt festzuhalten, dass eine gesteigerte Ressourcenproduktivität nicht notwendigerweise zu einer absoluten Reduktion des Ressourceneinsatzes führt, da die gestiegene Produktivität wiederum nicht notwendigerweise mit einer absoluten Reduktion des Primärmaterialsatzes einhergeht, sondern auch durch ein gesteigertes Wirtschaftswachstum erzeugt werden kann.^{64, 65} Das Ziel, den Ressourcenverbrauch vom Wirtschaftswachstum zu entkoppeln, wurde somit nicht erreicht.

Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass bei einer reinen Fokussierung auf Effizienzmaßnahmen Ressourceneinsparungen zu Rebound-Effekten führen und einen höheren Ressourcenkonsum an anderer Stelle bedingen können.⁶⁶ Allerdings bleiben Rebound-Effekte auch in der Circular Economy eine Herausforderung – vor allem, wenn externe Umweltkosten nicht ausreichend berücksichtigt werden und der Fokus allein auf dem Wirtschaftswachstum liegt.⁶⁷ Zudem könnten durch Pfadabhängigkeit und Lock-in durch monetären Erfolg erste Technologien trotz Ineffizienz ihre Marktposition behalten,⁶⁸ weswegen eine systemische Betrachtung hier besonders von Bedeutung ist.⁶⁹

50 | Vgl. Lutter et al. 2018.

51 | Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2010.

52 | Vgl. Diermeier et al. 2017.

53 | Vgl. BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe 2018.

54 | Die Rohstoffproduktivität berechnet sich aus dem Quotienten des Bruttoinlandsprodukts (BIP) und des abiotischen Direkten Materialeinsatzes (inländische Rohstoffentnahmen und importierte Rohstoffe). Der Indikator zeigt an, wie effizient die Ressourcen zur Erreichung des BIP eingesetzt wurden.

55 | Die Gesamtrohstoffproduktivität bezieht auch Rohstoffe mit ein, die bei der Herstellung importierter Güter benötigt wurden. Der Indikator berechnet sich aus der Summe des BIP und dem monetären Wert der Importe, dividiert durch den (abiotischen und biotischen) Primärrohstoffeinsatz.

56 | Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit 2016.

57 | Vgl. Umweltbundesamt 2020d.

58 | Vgl. Umweltbundesamt 2020e.

59 | Vgl. ebd.

60 | Vgl. Umweltbundesamt 2020c.

61 | Vgl. Sachverständigenrat für Umweltfragen 2020a.

62 | Die Berechnungen im hier genannten Kontext basieren auf der Global Material Flows Database des IRP, vgl. International Resource Panel s. a.. Aufgrund unterschiedlicher Datengrundlagen und insbesondere aufgrund unterschiedlicher Berechnungsmethoden für den Rohstoffkonsum entlang globaler Wertschöpfungsketten sind die hier aufgeführten Ergebnisse für den RMC nicht direkt vergleichbar mit den Berechnungen des Umweltbundesamts, die in Abschnitt 2.3 und Abbildung 8 dargestellt sind. So ergibt sich mit der Berechnungsmethode des IRP ein RMC für Deutschland von 22,8 Tonnen pro Kopf für das Jahr 2017.

63 | Vgl. Umweltbundesamt 2020e.

64 | Vgl. Geng et al. 2013.

65 | Vgl. Rodriguez et al. 2020.

66 | Vgl. Golde 2016.

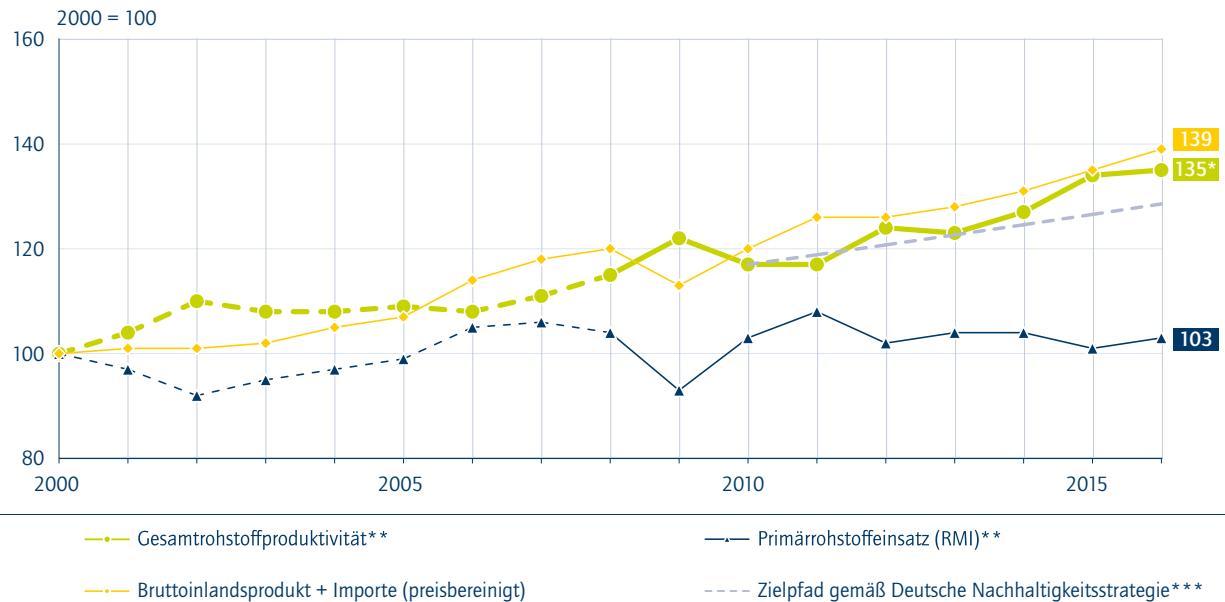
67 | Vgl. Zink/Geyer 2017.

68 | Vgl. Korhonen et al. 2018.

69 | Vgl. Kirchherr et al. 2017.

Gesamtrohstoffproduktivität

Summe von Bruttoinlandsprodukt und Importen im Verhältnis zum Primärrohstoffeinsatz (RMI)



* Wert 2016 vorläufig

** von 2001 bis 2007 liegen keine Werte für die Kennzahl vor; die dargestellte Kurve basiert auf einer Schätzung der fehlenden Datenwerte; RMI = Raw Material Input

*** Ziel „Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Neuauflage 2016“: gewünschtes Wachstum der Gesamtrohstoffproduktivität pro Jahr zwischen 2010 und 2030 entspricht dem durchschnittlichen jährlichen Wachstum zwischen 2000 und 2010 (ca. 1,6 %)

Quelle: Statistisches Bundesamt 2020, Tabelle „Gesamtrohstoffproduktivität und ihre Komponenten, Index 2000 = 100“ auf destatis.de (02.06.2020)

Abbildung 7: Entwicklung Gesamtrohstoffproduktivität in Deutschland (Quelle: Umweltbundesamt 2020e)

2.3 Notwendigkeit und Potenziale einer systemischen Circular-Economy-Perspektive

Im Gegensatz zu den Ressourcenproduktivitätsindikatoren spiegelt der Rohstoffkonsum (RMC) ausschließlich den absoluten Ressourcenverbrauch wider. Der RMC betrug im Jahr 2016 in etwa 1,2 Milliarden Tonnen, was einem Rückgang um 7 Prozent gegenüber dem Jahr 2010 entspricht. Im Vergleich zum Vorjahr ist der RMC jedoch um knapp 2 Prozent gestiegen. Der RMC pro Kopf setzt den Rohstoffkonsum ins Verhältnis zum Bevölkerungswachstum.⁷⁰ Während der Rückgang zwischen den Jahren 2000 und 2010 hauptsächlich auf geringere Bauinvestitionen

zurückgeführt werden kann,⁷¹ ist insbesondere seit der globalen Finanz- und Wirtschaftskrise in den Jahren 2008/2009 kein klarer Entwicklungstrend mehr zu erkennen (siehe Abbildung 8). Um die Überbelastung der Ökosysteme zu vermeiden, muss der RMC pro Kopf jedoch deutlich reduziert werden.⁷² Bislang gibt es allerdings in Deutschland und auf EU-Ebene kein quantitatives Ziel zur Reduktion des Rohstoffkonsums. Die im Deutschen Ressourceneffizienzprogramm⁷³ formulierten Strategien können einer ersten Orientierung dienen, müssen nun aber langfristig ausgerichtet werden.⁷⁴

Eine systemische Perspektive nach den Prinzipien einer Circular Economy trägt dazu bei, den absoluten Ressourcenverbrauch zu

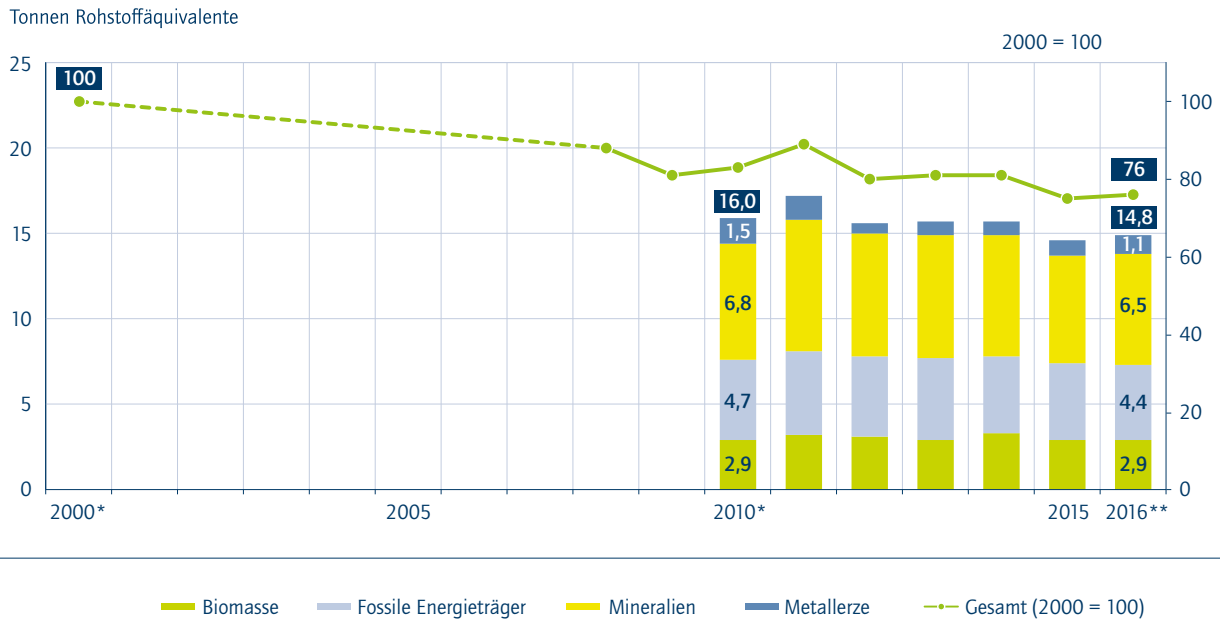
70 | Vgl. Statistisches Bundesamt 2020b.

71 | Vgl. Umweltbundesamt 2020c.

72 | Vgl. ebd.

73 | Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit 2019.

74 | Vgl. Umweltbundesamt 2020c.



* Aus methodischen Gründen können absolute Zahlen für den Rohstoffkonsum erst ab dem Jahr 2010 angegeben werden. Eine Rückrechnung bis 2000 ist nur in Form einer Indexgröße möglich (2000 = 100).
 RMC = Raw Material Consumption
 ** 2016: vorläufige Angaben

Quelle: Statistisches Bundesamt 2020, Umweltökonomische Gesamtrechnung. Aufkommen und Verwendung in Rohstoffäquivalenten Berichtszeitraum 2000 bis 2016

Abbildung 8: Entwicklung Primärrohstoffnutzung für inländischen Konsum und Investitionen (RMC) pro Kopf (Quelle: Umweltbundesamt 2020c)

reduzieren und vom Wirtschaftswachstum zu entkoppeln. Das Monitoring der Fortschritte und die Zielsetzungen der deutschen Kreislaufwirtschaft müssen deshalb erweitert und stärker miteinander verbunden werden. Dabei müssen sie sowohl den absoluten Rohstoffkonsum als auch Indikatoren miteinbeziehen, die eine Umstellung auf Circular-Economy-Geschäftsmodelle und Circular-Economy-Prinzipien berücksichtigen sowie Produkt- und Konsumsysteme überdenken.⁷⁵

Der Rohstoffkonsum steht in direktem Zusammenhang mit Treibhausgasemissionen, da ein steigender Konsum von neuen Produkten CO₂-Emissionen für die Entnahme, die Verarbeitung und den Transport von Rohstoffen entlang der Wertschöpfungskette erzeugt.⁷⁶ Szenariomodellierungen des Umweltbundesamts zeigen, dass aufeinander abgestimmte Maßnahmen zur Redukti-

on der Treibhausgasemissionen sowie des Ressourcenverbrauchs mittelfristig helfen, beide Ziele deutlich effizienter zu erreichen.⁷⁷

Eine Stärkung der Kreislaufwirtschaft im Sinne der Circular Economy, die über die Fokussierung auf eine Abfall- und Recyclingwirtschaft hinausgeht, würde zudem auch neue wirtschaftliche Wachstumsmöglichkeiten erschließen. Obwohl viele Potenziale für eine systemisch gedachte Circular Economy in Deutschland bislang noch nicht umfassend genutzt werden, weisen die ökonomischen Indikatoren in den Marktsegmenten Technik für die Abfallwirtschaft, Sammlung, Transport und Straßenreinigung, Abfallbehandlung und bewertung sowie Großhandel mit Altmaterialien seit dem Jahr 2010 bereits einen deutlich positiven Trend auf (siehe Tabelle 1). Die Zahl der Erwerbstätigen ist durchschnittlich um 1,3 Prozent gestiegen. Analog dazu verzeichnen die Umsätze ein

75 | Vgl. Umweltbundesamt 2020f.

76 | Vgl. Lutter et al. 2018.

77 | Vgl. Purr et al. 2019.



Abbildung 9: Entwicklung des Rohstoffkonsums (RMC) und des CO₂-Fußabdrucks in Deutschland, 1995-2012 (Quelle: Lutter et al. 2018)

Entwicklung wirtschaftlicher Indikatoren der Kreislaufwirtschaft im Überblick							
	2010	2012	2015	2017	2019	Entwicklung (in %) p.a.	
Erwerbstätige	277.300	288.480	289.770	295.360	310.470	12,0	1,3
Umsatz (in 1.000 €)	71.499.000	79.664.800	76.094.400	84.084.200	-	17,6	2,3
Brutowertschöpfung (in 1.000 €)	21.538.400	23.685.800	26.318.400	28.111.800	-	30,5	3,9
Unternehmen	11.600	11.700	11.000	10.700	-	-7,8	-1,1

Tabelle 1: Wertschöpfung und Arbeitsplätze durch Kreislaufwirtschaft in Deutschland⁷⁹ (Quelle: Prognos et al. 2020b)

durchschnittliches jährliches Wachstum von 2,3.⁷⁸ Eine gezieltere Förderung von Circular-Economy-Produkten und Geschäftsmodellen würde dieser Entwicklung einen deutlichen Schub verleihen.

2.4 Fazit

Betrachtet man also den Status quo der Circular Economy in Deutschland, so wird deutlich, dass diese bisher nur in begrenztem Maße zum Klima- und Ressourcenschutz beiträgt. Insgesamt konnten die bislang initiierten Maßnahmen nicht die erhoffte

Wirkung erzielen. Das Zielbild einer treibhausgasneutralen und ressourcenproduktiven Circular Economy erfordert für Deutschland also im Vergleich zu derzeitigen Bemühungen ein deutlich höheres Ambitionslevel. Um die ambitionierten Ziele zu erreichen und die Umweltbelastung wirksam zu reduzieren, sind weitere Maßnahmen notwendig, bei denen der systemische Ansatz eine Circular Economy unterstützt. Circular-Economy-Konzepte können die Produktivität der eingesetzten Materialien und Produkte erhöhen, insbesondere durch die Nutzung von Potenzialen der Digitalisierung, zum Beispiel intelligent vernetzten Wertschöpfungsketten. Die Lebenszeit von Produkten und

78 | Vgl. Prognos et al. 2020b.

79 | Diese beziehen sich auf die Marktsegmente Technik für die Abfallwirtschaft, Sammlung, Transport und Straßenreinigung, Abfallbehandlung und -bewertung sowie Großhandel mit Altmaterialien und spiegeln nicht alle relevanten Geschäftsfelder im Rahmen einer systemisch gedachten Circular Economy wider.



der eingesetzten Materialien kann unter anderem durch neue Geschäftsmodelle und deren Incentivierung verlängert werden. Zudem kann die Rückgewinnungsrate von Materialien erhöht werden – beispielsweise, indem das Produktdesign oder auch Prozesse im After-Sales-Service nach Circular-Economy-Prinzipien gedacht und Altprodukte am Lebensende besser lokalisiert und vollständig erfasst werden. Auch Aspekte der Datenverfügbar-

keit und -qualität entlang der Wertschöpfungskette können hier zu einer weiteren Verbesserung beitragen. Die Entwicklung und rasche Umsetzung innovativer zirkulärer Geschäftsmodelle kann die bereits vielversprechenden Trends der Kreislaufwirtschaft in Deutschland deutlich verstärken, neue Wertschöpfungspotenziale erschließen und zur Sicherung der Rohstoffversorgung beitragen.

3 Zielbild für ein zirkulär wirtschaftendes Deutschland

Im Circular Economy Action Plan der Europäischen Kommission von 2015 wurde bereits das breit angelegte Zielbild der Transformation zu einer Circular Economy formuliert. Neben ihrem ökologischen Mehrwert durch Ressourcenschonung soll die Circular Economy die Wettbewerbsfähigkeit steigern, nachhaltiges Wirtschaftswachstum fördern und neue Arbeitsplätze schaffen.^{80, 81} Die Entkopplung des Wirtschaftswachstums und des menschlichen Wohlbefindens vom Ressourcenverbrauch soll damit maßgeblich dem europäischen Ziel der Treibhausgasneutralität sowie dem Schutz von Ökosystemen dienen. Dieses Verständnis einer breit angelegten Zielbildbeschreibung findet sich auch in den aktuellen Circular-Economy-Definitionen von Wissenschaft und Praxis wieder, entlang derer eine Circular Economy nicht nur zur Ressourcen- und Abfallreduzierung, sondern auch zu regenerativen Ökosystemen, Wohlstandssicherung und Wohlbefinden beitragen soll.^{82, 83} Aufbauend auf diesen beschriebenen ökologischen und sozioökonomischen Auswirkungen der Transformation in Richtung einer Circular Economy wurde im Rahmen der *Circular Economy Initiative Deutschland* das Zielbild für ein zirkulär wirtschaftendes Deutschland im Jahr 2030 und 2050 entwickelt.

3.1 Vorgehensweise zur Zielbildentwicklung

Für die Entwicklung des Zielbilds stehen konkrete, operationalisierbare Zielsetzungen im Vordergrund, die sowohl Fort- als auch Rückschritte messbar und nachvollziehbar machen. Diese konkreten Zielsetzungen spielen für Regierungen eine zentrale Rolle, da sich dank ihres Umsetzungsfokus weitere Akteure motivieren und konkrete Maßnahmen für die Zielerreichung sowie Indikatoren für die Fortschrittmessung ableiten lassen.⁸⁴ Es ist allerdings hervorzuheben, dass für einige Zielsetzungen einer Circular Economy kein ausreichend umfangreiches Indikatoren-Set verfügbar ist. Entsprechend finden derzeit viele Aktivitäten auf nationaler und internationaler Ebene statt, die sich mit der Identifikation und Auswahl geeigneter Indikatoren be-

schäftigen (zum Beispiel Bellagio-Prozess, Circular Economy Monitoring Framework, Circular Economy Financing Expert Group; siehe auch Sektion 3.3). Die für das Zielbild ausgewählten Zielsetzungen sind daher teils quantitativ, teils qualitativ beschreibbar. Mit diesem Vorgehen soll unterstrichen werden, dass für die Transformation zu einer Circular Economy ein breit angelegtes Zielbildverständnis notwendig ist, das über die bestehende Indikatorik hinausgeht. Entsprechend muss die Entwicklung relevanter Indikatoren zum Monitoring der qualitativ beschriebenen Zielsetzungen vorangetrieben werden.

Die Ableitung des Zielbilds erfolgt vor dem Hintergrund internationaler und nationaler Vereinbarungen wie der Sustainable Development Goals und des Paris Agreement der Klimarahmenkonvention (UNFCCC) sowie der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie und des Klimaschutzplans 2050. Des Weiteren wurden der Circular Economy Action Plan und das Circular Economy Monitoring Framework der Europäischen Kommission, das Ressourceneffizienzprogramm (ProgRes III), die Leitsätze einer Kreislaufwirtschaft des Umweltbundesamts, die Deutsche Rohstoffstrategie und die Hightech-Strategie 2025 der Bundesregierung analysiert. Diese Rechercheergebnisse wurden mit den im Rahmen der Arbeitsgruppen- und Arbeitskreissitzungen der *Circular Economy Initiative Deutschland* entwickelten Vorschlägen abgeglichen und zusammengeführt.

Für die Ausarbeitung des Zielbilds wurden in einem ersten Schritt in den Arbeitsgruppen und im Arbeitskreis ökologische, ökonomische und soziale Zielsetzungen identifiziert. In einem zweiten Schritt wurden darauf aufbauend eine umfassende Literaturrecherche und ein Abgleich mit bestehenden nationalen und internationalen Vereinbarungen vorgenommen. In einem dritten Schritt wurden Prozessziele und Ziele zu den Auswirkungen einer Circular Economy definiert und von den Mitgliedern der *Circular Economy Initiative Deutschland* verabschiedet. In der folgenden Sektion wird das ausformulierte Zielbild vorgestellt; ein Überblick über die ökologischen, ökonomischen und sozialen Umsetzungsziele sowie die Ziele zur Auswirkung einer Circular Economy ist im Annex zusammengestellt.

Aus ökologischer Perspektive stellt die Circular Economy einen Transformationsprozess dar, in dem durch eine bessere Kreislaufaufführung von Materialien, Komponenten und Produkten der Ressourcenverbrauch, die Treibhausgasemissionen und das

80 | Vgl. Europäische Kommission 2015.

81 | Vgl. Europäische Kommission 2019b.

82 | Vgl. Ellen MacArthur Foundation 2015

83 | Vgl. Kirchherr et al. 2017.

84 | Vgl. Morsetto 2020.

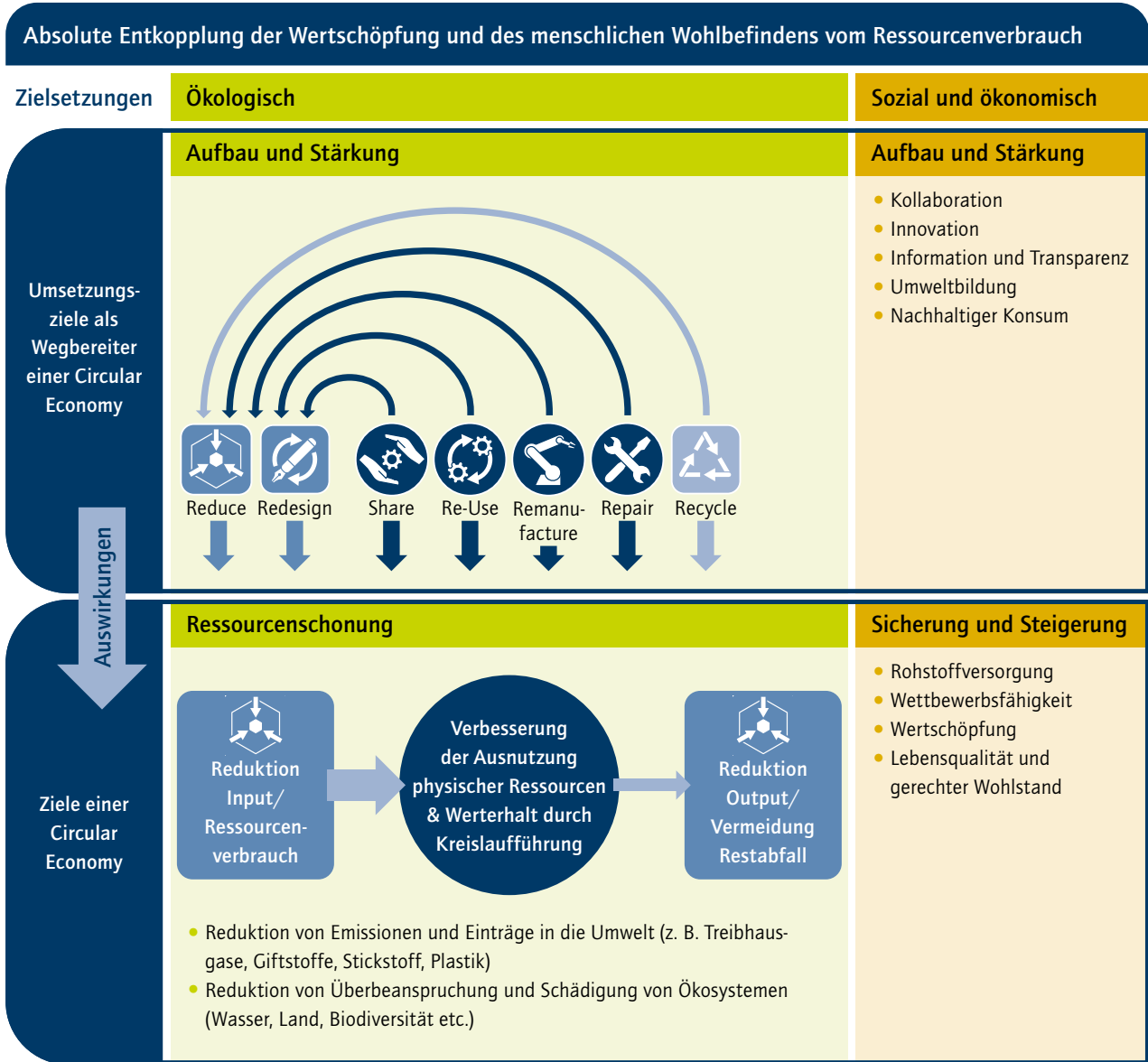


Abbildung 10: Bezugsrahmen für Circular-Economy-Zielsetzungen auf nationaler Ebene (Quelle: eigene Darstellung, angelehnt an Koch/Coelho Megale 2020)

Abfallaufkommen insgesamt reduziert werden sollen. Als sogenanntes Umbrella Concept vereint die Circular Economy dabei alle „Resource Life-Extending Strategies“ (RLES) und Ressourcenmanagement-relevanten Aktivitäten wie Reduce, Re-Use, Repair, Recycling etc.⁸⁵ Um den Erfolg dieser Transformation sicherzustellen, sollten für die **Umsetzung** der zirkulären Strategien **konkrete Prozessziele** formuliert werden. Des Weiteren sollten **konkrete Ziele zu den Auswirkungen** dieser zirkulären Strategien ausgearbeitet werden, um zu gewährleisten, dass diese die ge-

wünschte **Wirkung** erzielen, das heißt zur Ressourcenschonung und zum Rückgang von (Treibhausgas-)Emissionen und Sickerverlusten beitragen sowie die Überbeanspruchung und Schädigung von Ökosystemen reduzieren (siehe Abbildung 10). Aufbauend auf dem Bezugsrahmen des Umweltministeriums der Niederlande⁸⁶ werden die ressourcenbezogenen Zielsetzungen auf nationaler Ebene wie folgt formuliert: a) den Ressourcenverbrauch (Input) minimieren, b) die Kreislaufführung und das Bestandsmanagement physischer Ressourcen maximieren (Ausnutzung

85 | Vgl. Blomsma/Brennan 2017.

86 | Vgl. Koch/Coelho Megale 2020.

und Werterhalt) und c) Abfälle vermeiden (Output, siehe Abbildung 6). In diesem Sinne wird die Transformation zu einer Circular Economy nicht als Selbstzweck gesehen, sondern als Mittel, um die mit der bisherigen, linearen Wertschöpfung verbundenen negativen Umweltwirkungen zu vermeiden.⁸⁷ Entsprechend wird für die Erstellung des Zielbilds der Circular Economy sowie die Entwicklung eines entsprechenden Monitoring-Frameworks zwischen prozessorientierten Zielsetzungen und deren konkreten Auswirkungen unterschieden.^{88, 89}

Zentral für den Erfolg des Circular-Economy-Konzepts war neben der Formulierung der ökologischen Zielsetzungen die Einbindung der sozialen und ökonomischen Perspektive. Deren Beitrag zur Wertschöpfung, zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit und Rohstoffversorgung sowie zum menschlichen Wohlbefinden und zu einem gerechten Wohlstand wurde von den Expertinnen und Experten der *Circular Economy Initiative Deutschland* als wichtige Zielsetzung einer Circular Economy bestätigt. Ebenso wie bei der Formulierung der ökologischen Zielsetzungen wurden zudem auch im sozialen und ökonomischen Bereich konkrete Prozessziele identifiziert (siehe Abbildung 10). Mit dieser Herangehensweise stellt der Zielbild-Bezugsrahmen der *Circular Economy Initiative Deutschland* eine neue Basis dar, um sowohl Maßnahmen für die Gestaltung des Transformationsprozesses abzuleiten als auch geeignete Indikatoren für die Fortschrittmessung auszuwählen (siehe Kapitel 3.3).

3.2 Deutschland 2030: Zielbild für die Transformation zu einer Circular Economy

Im Jahr 2030 befindet sich Deutschland auf dem Weg in eine prosperierende Circular Economy, die eine absolute **Entkoppelung der Wertschöpfung und des menschlichen Wohlbefindens vom Ressourcenverbrauch** ermöglicht.

Die Basis für diesen Erfolg ist das **Erreichen vielfältiger ökologischer Umsetzungsziele** als Wegbereiter für eine Circular Economy. Um den Ressourcenverbrauch zu reduzieren, kommen umfassende Reduce- und Redesignstrategien bei der Produktentwicklung zum Einsatz. Der Anteil erneuerbarer Energien am Brut-

stromverbrauch und am Bruttoendenergieverbrauch beträgt 65 beziehungsweise 30 Prozent,⁹⁰ und der Primärenergieverbrauch ist im Vergleich zu 2008 um 30 Prozent⁹¹ niedriger. Um die Nutzung von Materialien und Produkten zu intensivieren und zu verlängern, haben sich innovative Geschäftsmodelle nach Share/Repair/Maintain-/Upgrade-/Remanufactureprinzipien durchgesetzt. Zudem führen höhere Recyclingraten in Kombination mit einer gesteigerten Rezyklatqualität zu höheren Rückgewinnungsraten von Ressourcen am Produktlebensende (auch als End-of-Life bezeichnet). Schadstoffe in Materialien und Produkten werden vermieden und reduzieren dadurch das Abfallaufkommen (für einen Überblick zu den Zielsetzungen siehe Abbildung 10).

Die **Auswirkungen einer Circular Economy** auf die Ressourcenschonung sind deutlich sichtbar und schlagen sich in einem **absolut reduzierten Ressourcenverbrauch** nieder. Anteil und Nutzung von Sekundärmaterialien sind deutlich erhöht. Die **Ausnutzung physischer Ressourcen** hat sich wesentlich verbessert, und die **Kreislaufführung verlängert den Werterhalt** der Produkte, Komponenten und Materialien. Entsprechend wurde die **(Rest-)Abfallmenge deutlich reduziert**. Die Fortschritte in der Ressourcenschonung machen sich in einer langsamen, aber wahrnehmbaren **Erholung geschädigter und überbeanspruchter Ökosysteme** – auch außerhalb Deutschlands – bemerkbar und tragen zum Erhalt der Artenvielfalt bei. Zudem konnten **(toxische) Emissionen und Einträge in die Umwelt umfassend reduziert werden**, wodurch sich die Eutrophierung der Ökosysteme sowie Plastikeinträge verringert haben und ein deutlicher Beitrag zur Treibhausgasneutralität geleistet wurde. In diesem Sinne hat die Circular Economy dazu beigetragen, ein Wirtschaften in Einklang mit den planetaren Grenzen zu ermöglichen.

Auch in sozialer und ökonomischer Hinsicht wurden wichtige Ziele für die Umsetzung einer Circular Economy erreicht. Die Entwicklung zirkulärer Produkte, Komponenten und Verfahrensweisen für die Circular Economy wird umfassend gefördert, und die Innovationsfähigkeit deutscher Unternehmen bezüglich zirkulärer Produkte, Prozesse und Geschäftsmodelle hat deutlich zugenommen. Kollaborative, intersektorale Akteurskonstellationen und der Zugang zu gemeinsamen Datenplattformen haben zu transparenten, regionalen bis globalen Wertschöpfungsnetzwerken geführt, in denen Menschen- und Arbeitnehmerrechte (zum Beispiel im Kontext eines Responsible Sourcing und Responsible

87 | Vgl. Weber/Stuchtey 2019.

88 | Vgl. Potting/Hanemaaijer 2018.

89 | Vgl. Ellen MacArthur Foundation 2020.

90 | Diese Quantifizierung entspricht den Annahmen der Modellierung des Wuppertal Instituts und basiert auf den Zielen der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie, vgl. Bundesregierung 2018.

91 | Diese Quantifizierung entspricht den Annahmen der Modellierung des Wuppertal Instituts und basiert auf den Zielen der Effizienzstrategie 2050 des BMWi, vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2019.

Recycling) eingehalten werden. Die Integration externer Kosten in die Wirtschaftsrechnung hat die Entwicklung zirkulärer Geschäftsmodelle und vermehrte Investitionen in Circular-Economy-Strategien unterstützt. Dadurch sind neue Wertschöpfungsfelder für Unternehmen entstanden, die eine konsequent nachhaltige Unternehmensführung ermöglichen.

Die Auswirkungen dieser Veränderungen zeigen sich im Beitrag einer Circular Economy zur **Steigerung der Wertschöpfung und Wettbewerbsfähigkeit**. Zudem wurde eine **Sicherung der Rohstoffversorgung** erzielt, indem sowohl die Gefahr der Rohstoffknappheit verringert als auch die Importabhängigkeit von (kritischen) Rohstoffen reduziert werden konnten.

Die gesellschaftliche und politische Unterstützung für den Übergang zu einer Circular Economy wurde durch die Entwicklung von Circular-Economy-relevanten Aus- und Weiterbildungsangeboten sowie eine verstärkte Circular-Economy-Policy-Beratung erzielt. Dies hat eine flächendeckende Umweltbildung inklusive Aus- und Weiterbildung ermöglicht sowie ein breites gesellschaftliches Bewusstsein und Know-how für nachhaltige Wertschöpfung und Ressourceneffizienz geschaffen. Soziale Innovationen wie Reparaturinitiativen, ko-kreative Produktionsmethoden wie FabLabs und Prosumer-Modelle wurden mithilfe neuer Kooperationsformen und Teilhabe in der Wertschöpfungskette und in der Gesellschaft ermöglicht. Bereits abgeschriebene (Aus-)Berufe wie Radio- und Fernsehtechniker zur professionellen Reparatur von Endgeräten erleben eine Renaissance. Schließlich haben sich nachhaltige und suffiziente Konsum- und Nutzungsmuster entwickelt, und die Nachfrage nach Circular-Economy-Produkten und -Dienstleistungen dominiert. Vor allem die öffentliche Beschaffung spielt eine wesentliche Rolle bei der Erhöhung der Nachfrage nach zirkulären Alternativen.

Letztlich hat sich gezeigt, dass die Transformation zu einer Circular Economy eine **nachhaltige Steigerung der Lebensqualität und Sicherung eines gerechten Wohlstands über Deutschland hinaus** bewirkt. Diese positiven Auswirkungen sind beispielsweise auf folgende Veränderungen zurückzuführen: den Schutz der menschlichen Gesundheit durch Vermeidung und Ausschleusung toxischer Materialien und die Entstehung neuer Arbeitsplätze sowie neuer Kollaborations- und Teilhabeformate, die die Teilhabe von Bürgerinnen und Bürgern in der Wertschöpfung erhöhen.

Aufbauend auf den oben beschriebenen Zielsetzungen wird das Zielbild einer Circular Economy für Deutschland zusammenfassend wie folgt definiert:

„Eine systemisch gedachte und nachhaltige Circular Economy trägt umfassend zu dem EU-Ziel von Netto-Null-Treibhausgasemissionen bis 2050 bei und ermöglicht eine absolute Entkopplung des Wirtschaftswachstums vom Ressourcenverbrauch. Sie stellt die Einhaltung der planetaren Grenzen und der Nachhaltigkeitsziele sicher und trägt durch kollaborative, unternehmensübergreifende Wertschöpfung und Innovation zur Steigerung der Lebensqualität und Sicherung eines gerechten Wohlstands bei.“

3.3 Metriken zur Bemessung des Zielbilds

Um die nationalen Fortschritte auf dem Weg zu einer Circular Economy zu bewerten und den Prozess zu steuern, ist ein Kontrollset relevanter Kennzahlen erforderlich. Ein europäischer und nationaler Prozess, der sicherstellen soll, dass die Ziele einer Circular Economy erreicht werden, sollte dem Ansatz folgen, auf Makroebene Metriken sowohl zur Ergebnismessung als auch zur Nachverfolgung des Übergangsprozesses zu einer Circular Economy einzubeziehen. Entsprechend der in Kapitel 3.1 beschriebenen Logik des Zielbilds (siehe auch Abbildung 10) werden die Metriken unterteilt in Messgrößen für Aktivitäten, die den Übergang beziehungsweise die Umsetzung einer Circular Economy ermöglichen, und solche, die die tatsächlichen Auswirkungen einer Circular Economy beschreiben. Die Effektivität einer Circular Economy kann basierend auf der systemischen Betrachtung der thermodynamischen Effizienz (Enthalpie und Entropie (Exergie)) analysiert und beschrieben werden. Derzeit finden viele Aktivitäten auf nationaler und internationaler Ebene statt, die sich mit der Identifikation und Auswahl geeigneter Indikatoren beschäftigen (zum Beispiel Bellagio-Prozess, Circular Economy Monitoring Framework, Circular Economy Financing Expert Group etc.).

Die Resultate einer Analyse bestehender Circular-Economy-Metriken⁹² stimmen mit den Erkenntnissen aus der Literatur überein, dass schon heute viele Metriken zur Bemessung der Ergebnisse

92 | Aufgrund der schnell fortschreitenden Entwicklungen im Bereich der Circular-Economy-Indikatorik und ohne die inhaltliche Fokussierung einer eigenen Arbeitsgruppe auf diese Thematik war es nicht möglich, im Rahmen der *Circular Economy Initiative Deutschland* Empfehlungen für ein geeignetes Indikatorenset zur Fortschrittmessung einer Circular Economy abzuleiten. Die im Annex präsentierten Ergebnisse bilden somit die Basis für die weitere Arbeit an diesem Thema.

einer Circular Economy existieren – insbesondere zur Ressourcen- und Abfallreduzierung. Diese basieren auf Berechnungsmethoden wie der Input-Output-Modellierung, sofern Daten für diese verfügbar sind.^{93, 94} Metriken für zirkuläre Strategien⁹⁵ sind erforderlich, um zu beurteilen, ob bestimmte Circular-Economy-bezogene Aktivitäten zu den gewünschten Umsetzungsergebnissen einer Circular Economy führen. Die Ergebnisse der Analyse sind in den Tabellen 3 bis 5 im Anhang dargestellt.

Die Analyse zeigt jedoch, dass derzeit nur wenige Metriken, hauptsächlich für Recycling und Verwertung, für eine Bewertung auf nationaler Ebene vorgeschlagen werden – und auch diese in den meisten Fällen für die Bewertung der tatsächlichen physischen Zirkularität nur wenig geeignet sind. Darüber hinaus fehlen aktuell sowohl Berechnungsmethoden als auch Daten für die meisten vorgeschlagenen Metriken im Zusammenhang mit den übrigen zirkulären Strategien wie Rethink/Redesign, Repair, Re-Use und Remanufacturing. Zudem werden in der Literatur nur wenige Metriken zur Bewertung der ökologischen, ökonomischen und sozialen Auswirkungen einer Circular Economy vorgeschlagen. Auch ist fraglich, ob die vorgeschlagenen Metriken in der Lage sind, den Beitrag von Circular Economy-Aktivitäten zur Verringerung der Auswirkungen auf nationaler Ebene zu messen.^{96, 97} Dies ist problematisch, da Metriken zur Messung des Erfolgs von Maßnahmen (hier als „Befähiger“ bezeichnet) dazu beitragen würden, die Effektivität der umgesetzten Aktivitäten transparent und somit steuerbar zu machen. Denn die Auswirkungen der Circular-Economy-Aktivitäten werden erst später sichtbar. Bis dahin könnten viele Optionen für Veränderungen bereits verpasst worden sein, wenn keine anderen Kontrollmaßnahmen zur Verfügung stehen.

Während Metriken zur Bestimmung des nationalen Ressourcen-Inputs und -Outputs im Rahmen der Fortschrittmessung zur Verfügung stehen, müssten Metriken zur Bewertung der Circular-Economy-Aktivitäten (zirkuläre Strategien) und der damit verbundenen sozioökonomischen Auswirkungen und Umwelteffekte jedoch noch weiterentwickelt werden. Hierbei ist zu beachten, dass es derzeit noch einen erheblichen Forschungsbedarf zu den Zusammenhängen zwischen der Implementierung von Strategien der Circular Economy und ihren Auswirkungen auf die Gesellschaft gibt. Dies betrifft nicht nur das noch unzureichende

empirische Zusammenhangswissen, sondern auch die gegenwärtig noch fehlenden Konzepte und Instrumente, um soziale Auswirkungen beispielsweise auf die Lebensqualität oder Teilhabe überhaupt beobachten und messen zu können. Erforderlich sind dabei zum einen eine inter- und transdisziplinäre Entwicklung des Zielwissens („Welche sozialen und gesellschaftlichen Ziele sind normativ wünschenswert?“), zum anderen die Weiterentwicklung des Transformationswissens („Wie können Prozesse gestaltet und evaluiert werden, um die normativen Ziele zu erreichen und negative Auswirkungen zu vermeiden?“).

3.4 Quantifizierung des Zielbilds

Wie im vorangegangenen Abschnitt zu Metriken für Circular Economy ausgeführt, lassen sich vergleichbare Aussagen für eine ähnlich differenzierte Betrachtung weiterer Circular-Economy-Hebel wie Wiederverwendung oder Reparatur nicht treffen, da belastbare Daten bislang fehlen. So stehen die rechtlichen Grundlagen, auf deren Basis die EU-Mitgliedsstaaten ab 2022 Daten zur Wiederverwendung erheben sollen, Stand Januar 2021, noch aus.⁹⁸ Nichtsdestotrotz legen Analysen beispielsweise von Material Economics⁹⁹ und dem UN International Resources Panel^{100, 101} nahe, dass insbesondere diese weiteren Circular-Economy-Hebel, die auf eine höherwertige Weiterverwendung von Produkten abzielen, großes Potenzial für die Entkopplung von Wohlstand von Ressourcennutzung aufweisen.

Wie in Kapitel 3.2 beschrieben, stellen Ressourceneinsparungen und der Beitrag zu Emissionsreduktionen zur Erreichung der Treibhausgasneutralität zentrale Zielsetzungen der Auswirkungen einer Circular Economy dar. Mit Blick auf die Ressourceneinsparungen hat die *Circular Economy Initiative Deutschland* die absolute Entkopplung des Wirtschaftswachstums vom Ressourcenverbrauch als Zielbild formuliert. Hierauf aufbauend wird für diese Quantifizierung eine Halbierung des Verbrauchs natürlicher Ressourcen durch Circular Economy bis zum Jahr 2050 als quantitatives Ziel definiert. Diese soll dazu beitragen, das im Klimaschutzplan beschriebene Ziel einer Treibhausneutralität bis zum Jahr 2050 zu erreichen. Um den Weg zu dieser Zielerreichung zu beschreiben, wurde vom Wuppertal Institut

93 | Vgl. Alaerts et al. 2019.

94 | Vgl. Potting/Hanemaaijer 2018.

95 | Eine Beschreibung der unterschiedlichen zirkulären Strategien findet sich im Glossar.

96 | Vgl. Blum et al. 2020.

97 | Vgl. Helander et al. 2019.

98 | Vgl. Europäische Union 2018.

99 | Vgl. Material Economics 2018.

100 | Vgl. International Resource Panel 2020.

101 | Vgl. International Resource Panel 2018.

eine Modellierung inklusive der Zwischenziele für das Jahr 2030 vorgenommen. Die Modellierung baut dabei auf einem ambitionierten Referenzszenario auf, das die aktuellen klimapolitischen Impulse bereits berücksichtigt. In einem ebenfalls ambitionierten, alternativen Circular-Economy-Szenario werden die Potenziale von Zirkularitätshebeln für die Erreichung der gesetzten Ressourcen- und Treibhausgasreduktionen dargestellt.

3.4.1 Referenzszenario

Referenzszenarien zum zukünftigen Ressourcenverbrauch Deutschlands (entwickelt auf Basis globaler, makro-ökonomischer Input-Output-Modelle) zeigen, dass die aktuellen klimapolitischen Impulse in Deutschland zu einer deutlichen Reduktion der CO₂-Emissionen führen können (minus 77 Prozent bis 2050 im Vergleich zu 1990).^{102, 103} Der Ressourcenverbrauch (Rohstoffkonsum – RMC, das heißt inklusive der für einzelne Produkte notwendigen Vorketten) würde in einem solchen Business-as-usual-Szenario jedoch aufgrund inkrementeller Verbesserungen der Recyclingquoten nur sehr eingeschränkt von aktuell 22 Tonnen pro Kopf auf dann 18,5 Tonnen sinken. Dies wäre weit von aktuellen Schätzungen eines nachhaltigen Niveaus des Ressourcenverbrauchs entfernt, das mit einem möglichen Zielkorridor von 5,6 bis 10 Tonnen beziffert wird.^{104, 105, 106, 107} Diese Ergebnisse verdeutlichen, dass das Ziel drastisch reduzierter Treibhausgasemissionen nicht notwendigerweise auch zur ebenfalls erforderlichen Reduktion der Ressourcenverbräuche führen muss.

Allerdings wird in diesem Referenzszenario auch das Ziel einer Klimaneutralität im Jahr 2050 in Kombination mit einer Halbierung des Gesamtressourcenverbrauchs deutlich verfehlt. Hierzu wäre für viele Sektoren eine deutlich umfassendere Transformation der Produktions- und Konsummuster in Deutschland und

damit verbundener globaler Wertschöpfungsketten erforderlich, für die der Übergang zur Circular Economy eine der Kernstrategien darstellen muss.

3.4.2 Circular-Economy-Szenario

Aufbauend auf den vom Umweltbundesamt vorgelegten RESCUE-Szenarien wurden für diesen Bericht Aussagen zu den zentralen Hebeln einer Circular Economy abgeleitet.¹⁰⁸ Abbildung 11 zeigt die Reduktion von Treibhausgasemissionen – als Zielsetzung des Zielbilds der *Circular Economy Initiative Deutschland* – im Referenzszenario (Klimaszenario) mit bestehenden klimapolitischen Impulsen im Vergleich mit einem Alternativszenario (GreenME), das stark auf den Übergang zu einer Circular Economy fokussiert ist.¹⁰⁹ Hier zeigt sich deutlich, dass ohne den Einsatz von Circular-Economy-Hebeln die für das Erreichen eines zwei-Grad-kompatiblen Entwicklungspfads¹¹⁰ notwendigen radikalen Reduktionen der Treibhausgasemissionen keinesfalls erreichbar wären.

Die entsprechend der von der *Circular Economy Initiative Deutschland* genutzten Definition der Circular-Economy-berücksichtigten Hebel beziehungsweise zirkulären Strategien wie etwa Materialeinsparungen durch Lebensdauererlängerungen aufgrund von Reparatur, Design oder Instandsetzung sowie Nutzungsintensivierung sind für die Beschreibung der Ergebnisse der Modellierung unter „Einsparungen“ zusammengefasst. Konkrete Beispiele für enthaltene zirkuläre Ansätze umfassen beispielsweise langlebige Design und Remanufacturing etwa bei der Konstruktion von Infrastrukturen für erneuerbare Energie, Leichtbau und Ressourceneffizienz im Bauwesen und Reparierbarkeit bei Konsumgütern.

102 | Hierzu wurde mit dem Model GINFORS3 ein Szenario „Klimaaktives Deutschland“ modelliert, das die Auswirkungen der energiepolitischen Transformationsbemühungen berücksichtigt, zum Beispiel 100 Prozent Anteil erneuerbarer Energie im Jahr 2045 und ein ETS-CO₂-Zertifikatspreis von 147 Euro im Jahr 2050.

103 | Vgl. Distelkamp/Meyer 2018.

104 | Vgl. Weber/Stuchtey 2019.

105 | Vgl. Schmidt-Bleek 1994.

106 | Vgl. Bringezu 2014.

107 | Vgl. Wuppertal Institut s. a.

108 | Die hier dargestellten Ergebnisse basieren im Wesentlichen auf den Arbeiten im Rahmen des Forschungsvorhabens „Transformationsprozess zum treibhausgasneutralen und ressourcenschonenden Deutschland“ (Forschungskennzahl 3715411150). Dabei wurde ein Modellverbund aus insgesamt fünf Modellen genutzt, die mit sektor- und branchenspezifischen Detailanalysen ergänzt wurden. Die Modellierungen im Verkehrsbereich basieren auf TREMOD (Transport Emission Model), im Bereich Raumwärme und Kältebedarfe auf GEMOD (Gebäudemodell) und im Bereich Landwirtschaft auf ALMOD (Agriculture and LULUCF Model). In Kombination mit den industriellen branchenspezifischen Analysen sowie dem Abfallbereich wurde die Energiemodellierung mit SCOPE (Sektorübergreifende Einsatz- und Ausbauoptimierung für Analysen des zukünftigen Energieversorgungssystems) vorgenommen. Die gesamtwirtschaftliche Rohstoffnutzung sowie die vorgelagerten Emissionen wurden mit dem umweltökonomischen Rohstoff- und THG-Modell (URMOD) modelliert. Vgl. Dittrich et al. 2020 für eine genaue Beschreibung zur Funktionsweise der Modelle.

109 | Vgl. Purr et al. 2019.

110 | Vgl. Prognos et al. 2020a.

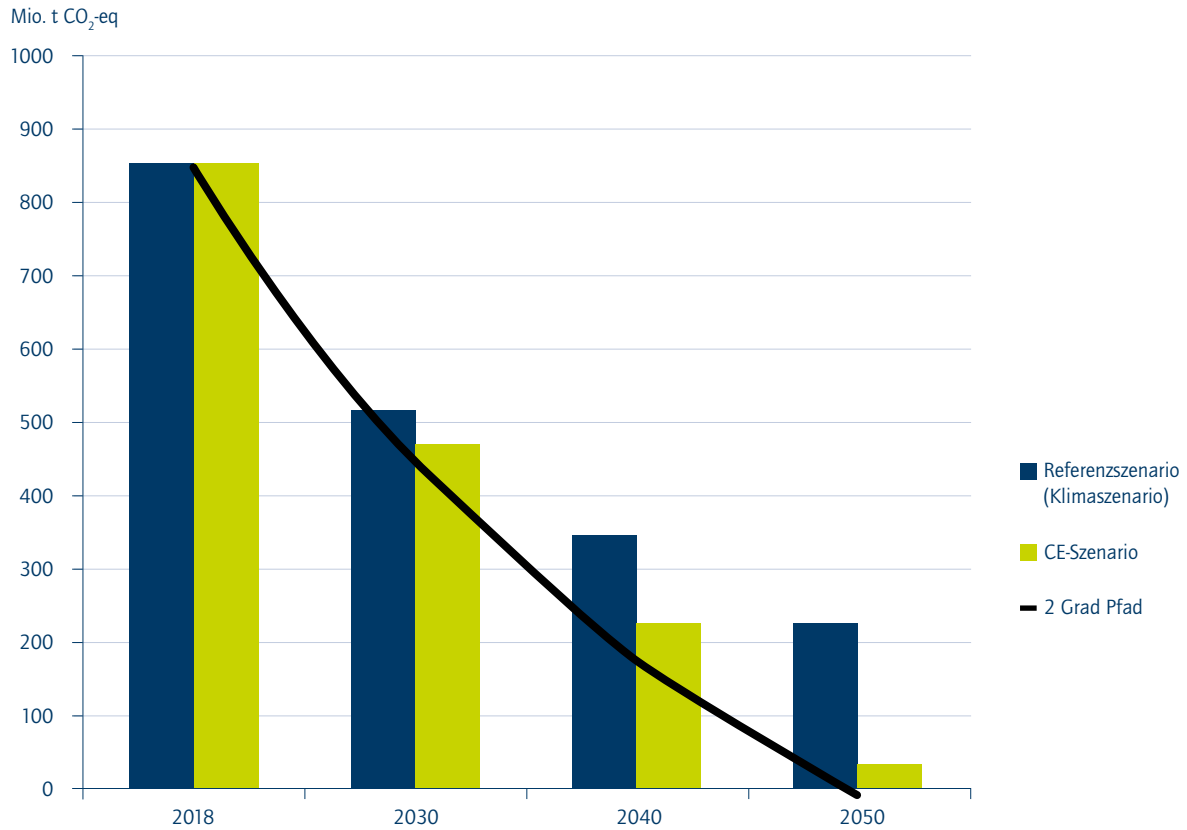


Abbildung 11: Treibhausgasemissionen im klimapolitisch ambitionierten Referenzszenario und einem Circular-Economy-Szenario in Deutschland, 2018–2050, in Millionen Tonnen CO₂-Äquivalenten (Quelle: eigene Darstellung, basierend auf Purr et al. 2019 und Lutter et al. 2018)

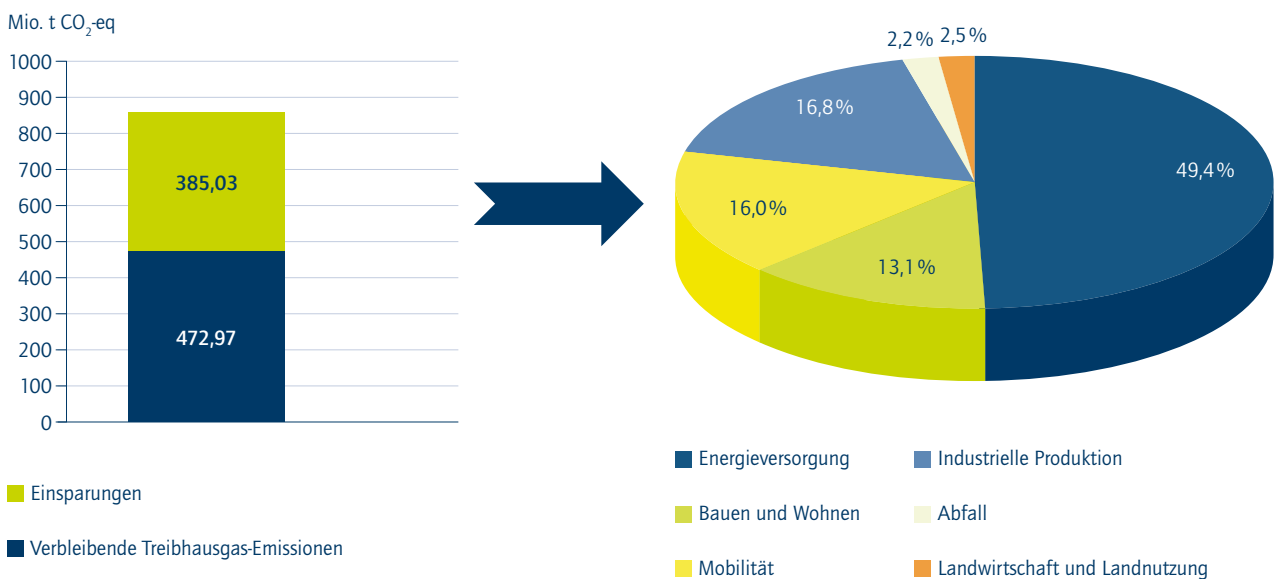


Abbildung 12: Anteile verschiedener Handlungsfelder an den im Circular-Economy-Szenario von 2018 bis 2030 erreichten Treibhausgasreduktionen (in Millionen Tonnen CO₂-Äquivalenten) in Prozent (Quelle: eigene Berechnung, basierend auf von Purr et al. 2019)

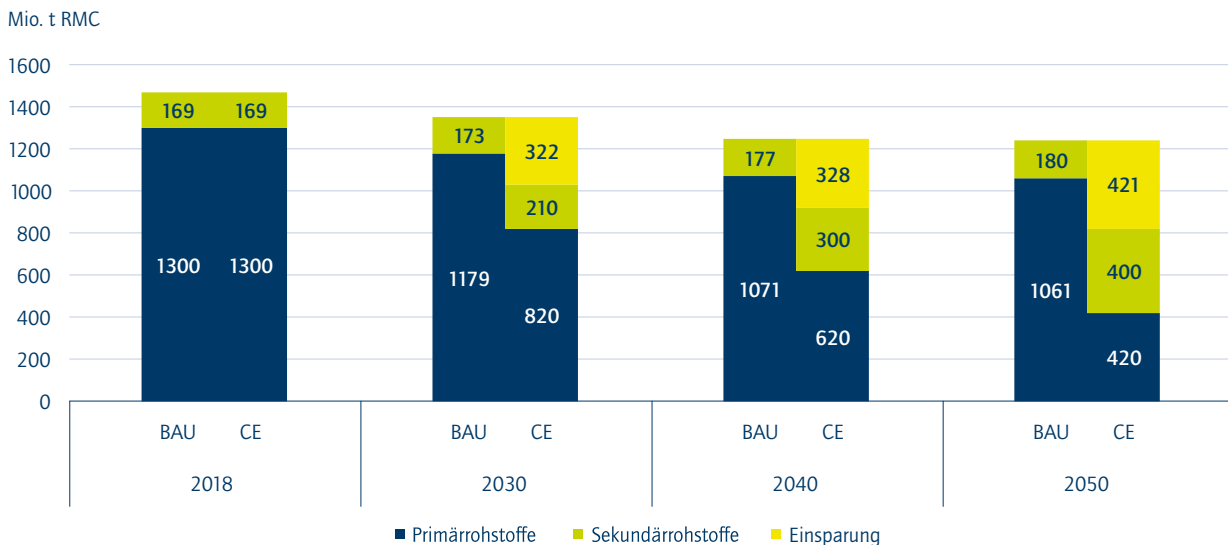


Abbildung 13: Ressourcenverbrauch Deutschlands im Circular-Economy-Szenario (CE) in Millionen Tonnen Rohstoffkonsum (RMC) im Vergleich zum Referenzszenario (Business-as-Usual, BAU). (Quelle: eigene Berechnung, basierend auf Purr et al. 2019 und Lutter et al. 2018)

Die im Circular-Economy-Szenario erreichten Treibhausgaseinsparungen bis zum Jahr 2030 verteilen sich auf unterschiedliche Handlungsfelder (siehe Abbildung 12). Etwa die Hälfte der Einsparungen ergibt sich aus Veränderungen der Energieversorgung; Mobilität, industrielle Produktion und Landwirtschaft sind die weiteren wesentlichen Handlungsfelder. Es zeigt sich also: Circular-Economy-Hebel tragen im Circular-Economy-Szenario signifikant zur Treibhausgasreduktion bei.

Betrachtet man die mit den Szenarien verbundenen Ressourcenverbräuche als zweite Dimension des Zielbilds, so zeigen sich noch signifikantere Unterschiede zwischen Referenz- und Circular-Economy-Szenario: Abbildung 13 zeigt eine mögliche Entwicklung des Rohstoffkonsums in Deutschland bis 2050 in einem Circular-Economy-Szenario und den damit verbundenen Ressourcenverbrauch entlang globaler Wertschöpfungsketten. Die Ressourceneinsparungen im Vergleich zum Referenzszenario verdeutlichen sowohl die steigende Bedeutung des Einsatzes sekundärer Rohstoffe aus dem Recycling als auch die Rolle der weiteren Circular-Economy-Hebel.

- Die umfassende Anwendung von Circular-Economy-Hebeln zur Nutzungsdauerverlängerung und intensivierung sowie ein deutlich erhöhtes Recycling würden (inklusive stark gesteigerter Energieeffizienz) bis 2050 eine Gesamtreaktion der Primärrohstoffinanspruchnahme um 68 Prozent gegenüber 2018 ermöglichen („Einsparungen“ plus Sekundärrohstoffe).¹¹¹
- Die Bereitstellung von Sekundärmaterial durch Recycling trägt dabei knapp 50 Prozent zu den erzielten Ressourceneinsparungen bei; die andere Hälfte wird mit Einsparungen durch die übrigen zirkulären Strategien erzielt.

Hinsichtlich der Verteilung des Ressourcenverbrauchs auf die vier Hauptgruppen Biomasse, Metalle, nicht metallische Mineralien (also insbesondere Baustoffe) und fossile Energieträger bis 2050 zeigen sich der vollständige Verzicht auf fossile Energieträger und darüber hinaus die durch zirkuläre Hebel erreichten Einsparungen bei Baustoffen und Metallen als wesentliche Treiber für die Reduktion des Rohstoffkonsums pro Kopf (siehe Abbildung 14).

111 | Vgl. Purr et al. 2019.

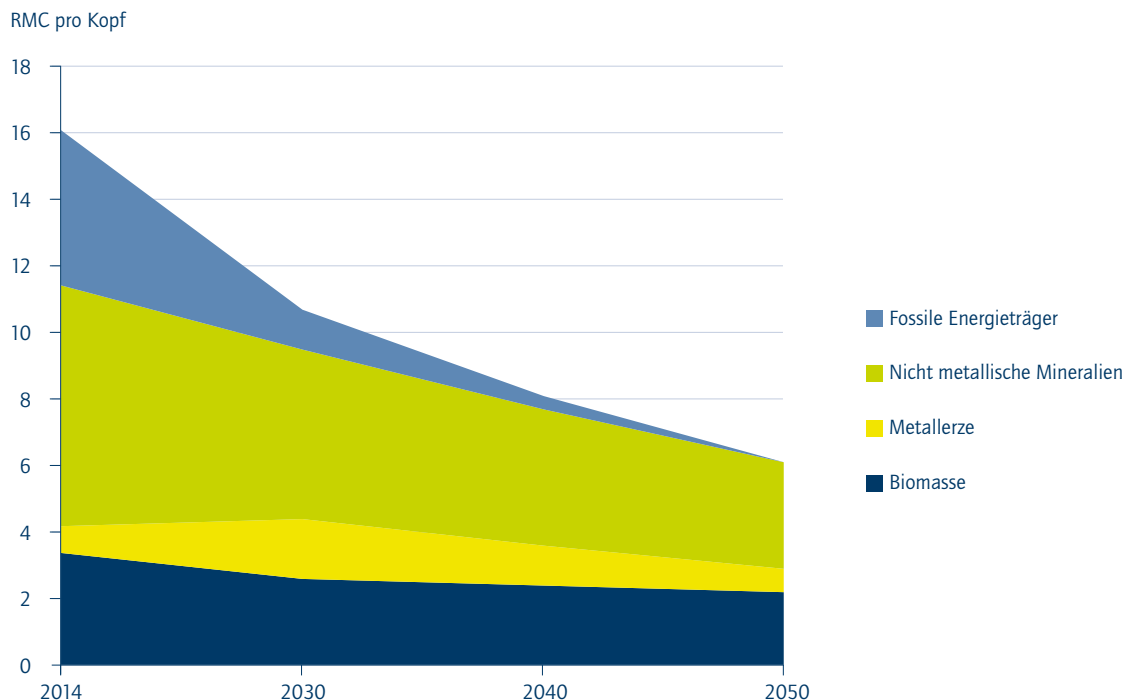


Abbildung 14: Entwicklung des Rohstoffkonsums pro Kopf, differenziert nach Hauptstoffgruppen für Deutschland bis 2050 im Circular-Economy-Szenario (Quelle: eigene Darstellung, basierend auf Purr et al. 2019 und Lutter et al. 2018)

Angesichts der Komplexität und Unsicherheiten, die mit den notwendigen Transformationsprozessen bis 2050 verbunden sind, stellt sich die Bewertung **ökonomischer Gesamteffekte** als herausfordernd dar.¹¹² Betrachtet man die direkten Effekte durch den Einsatz von Sekundärrohstoffen vergleichbarer Qualität, so ergibt sich für das Jahr 2018 eine Einsparung in Höhe von circa 2,2 Milliarden Euro; davon entfallen etwa 1,7 Milliarden Euro auf den Bereich Metalle und rund 500 Millionen Euro auf den Bereich Kunststoffe.^{113, 114} Die kumulierten Effekte bis zum Jahr 2030 ließen sich – unter der Annahme konstanter Rohstoffpreise und Qualitäten – auf circa 32 Milliarden Euro schätzen; diese Summe könnte sich durch bessere Qualität der Recyclingprozesse noch weiter erhöhen.

Deutlich höhere Einsparpotenziale wären durch früher in der Wertschöpfungskette ansetzende Circular-Economy-Hebel möglich. Die Gesamtkosten für den Rohstoffverbrauch im verar-

beitenden Gewerbe in Deutschland lassen sich auf circa 941 Milliarden Euro beziffern (Stand 2018).¹¹⁵ Eine Reduktion des Ressourcenverbrauchs durch Einsparungen von 33 Prozent bis 2030 über Circular-Economy-Hebel jenseits des Recyclings und die damit verbundenen Kosteneinsparungen beziehungsweise volkswirtschaftlichen Produktivitätsgewinne lägen damit um einen Faktor 10 höher als die direkten Kosteneinsparungen durch Recycling. Zudem entsprächen die hierfür notwendigen Aufwendungen beispielsweise für Reparaturen zur Lebenszeitverlängerung oder Personalaufwände zur Bereitstellung von Dienstleistungen zusätzlichen – weniger material- und kostenintensiven – Umsätzen mit entsprechenden Effekten auf das Bruttoinlandsprodukt. Gleichzeitig sind mit den dafür notwendigen neuen zirkulären Geschäftsmodellen und Innovationsprozessen deutlich höhere Unsicherheiten in der Quantifizierung verbunden. Fallbeispiele zeigen allerdings zumindest anekdotisch das Marktpotenzial beispielsweise von Weiternutzung

112 | Die OECD verweist in einer Metastudie zu makroökonomischen Effekten der Kreislaufwirtschaft auf berechnete Anstiege des BIP in einer Größenordnung von 0 bis 15 Prozent, vgl. McCarthy et al. 2018.

113 | Hier betrachtet Stahl, Aluminium, Kupfer, Blei, Zink sowie PE HD, PE LD, PVC und PS.

114 | Vgl. Steger et al. 2019.

115 | Vgl. Statistisches Bundesamt 2019.

(Amazon: plus 26 Prozent Umsatz im Gebrauchtmittelmarkt zwischen 2005 und 2010),¹¹⁶ was durch Analysen des UN International Resource Panel für ausgewählte Sektoren untermauert werden kann.¹¹⁷

Zur Erreichung des in Kapitel 3.2 beschriebenen Zielbilds einer zukünftigen Circular Economy werden **enorme Investitionen** sowohl in neue Recyclingkapazitäten als auch in zirkulär ausgerichtete Produktions- und Managementprozesse notwendig werden, über deren Höhe und insbesondere Verteilung auf konkrete Akteure noch erhebliche Unsicherheiten bestehen. Hinzu kommt, dass die direkten Einspareffekte einerseits durch optimierte Rückführungs-(Einsammel-) und Recyclingquoten ansteigen, durch den Rückgang des Gesamtressourcenverbrauchs aber andererseits die Gesamtmengen reduziert werden, die für ein Recycling zur Verfügung stehen. Aus diesem Grund werden innovative zirkuläre Geschäftsmodelle ein zentraler Baustein dieses Transformationsprozesses sein müssen, die nicht wie in der linearen Wirtschaft auf eine Maximierung des Ressourcendurchsatzes, sondern auf eine Optimierung des Ressourcenumsatzes ausgerichtet sind.¹¹⁸

3.4.3 Fazit

Die hier dargestellte Ressourcenperspektive auf eine Circular Economy verdeutlicht, dass das Zielbild eines klimaneutralen und gleichzeitig ressourcenproduktiven Deutschlands nur durch einen umfassenden Transformationsansatz erreicht werden kann: Allein durch den Übergang zur Circular Economy wird das Ziel der Klimaneutralität nicht zu erreichen sein, gleichzeitig ist die Circular Economy dafür eine zentrale Voraussetzung. Zusätzlich zur Reduktion des Ressourcenbedarfs durch Abfallver-

meidung, Remanufacturing und Nutzungsdauerverlängerung von Produkten trägt auch die Schließung von Stoffkreisläufen zu etwa fünfzig Prozent zu den dafür notwendigen Einsparungen des Primärressourcenverbrauchs bei.

Eine inkrementelle Optimierung bestehender Recyclingtechnologien allein wird dafür nicht ausreichen – unter anderem, weil das Abfallaufkommen deutlich zurückgehen wird: Aus weniger Input-Material für das Recycling müssen dann deutlich mehr und hochwertigere Sekundärrohstoffe gewonnen werden als heute. Dem müsste eine verbesserte Sammelquote entgegenwirken, durch die die Verfügbarkeit von Input-Material erhöht würde. Zwingend notwendig ist die Kombination mit weiteren Circular-Economy-Hebeln wie der gesteigerten Effizienz in der Nutzung natürlicher Ressourcen durch Nutzungsdauerverlängerung und Nutzungsintensivierung von Produkten, auch mit Blick auf steigende Circular-Economy-Anforderungen an Produkte in für die deutsche Industrie wichtigen Exportmärkten. Dabei ist die Wichtigkeit von nutzungs- und ergebnisorientierten Geschäftsmodellen aufgrund ihrer potenziellen Effektivität für die ressourcenentkoppelte Wertgenerierung hervorzuheben. Gleichzeitig ist der Ausbau erneuerbarer Energien eine zentrale Voraussetzung für eine klimaneutrale Circular Economy. Angesichts globaler Wertschöpfungsketten und insbesondere der hohen Anteile möglicher Ressourceneinsparungen bei der Metallverarbeitung außerhalb Deutschlands ist zudem eine globale Perspektive auf die Circular Economy zwingend erforderlich, um eine reine Effektivverlagerung ins Ausland zu vermeiden und gemäß dem Zielbild tatsächlich positive Auswirkungen auf die Einhaltung der planetaren Grenzen und die Sicherung der Lebensqualität zu erreichen.

116 | Vgl. Ellen MacArthur Foundation 2013.

117 | Vgl. International Resource Panel 2018.

118 | Vgl. Circular Economy Initiative Deutschland 2020a.

4 Transformation zum zirkulären Material- und Produktmanagement

Nachdem in Kapitel 3 ein Zielbild für die Circular-Economy-Transformation in Deutschland entwickelt wurde, erfolgt in diesem Kapitel die nähere Betrachtung der damit einhergehenden Transformation und damit verbundener Erfordernisse. Um das Spannungsfeld zwischen Umfang und Komplexität der Circular Economy als Konzept auf der einen Seite und der Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse der näher untersuchten Themenbereiche auf der anderen Seite aufzulösen, hat sich die *Circular Economy Initiative Deutschland* auf zirkuläre Geschäftsmodelle im Allgemeinen sowie auf ausgewählte Produkte, nämlich Verpackungen und Traktionsbatterien, im Speziellen konzentriert.

Als Schlüsselparameter für die Auswahl der Produkte dienten deren Wert und Lebensdauer, da diese maßgeblich den Produktfluss und somit das Material- und Produktmanagement beeinflussen.^{119, 120} Ähnlich wie in Franco¹²¹ wurden Extremszenarien verwendet, um verallgemeinerbare Aussagen über die Transformation verschiedener Produktkategorien zu einer Circular Economy zu treffen: Verpackungsmaterialien und Traktionsbatterien wurden jeweils als Beispiele für Produkte mit niedrigem Wert und kurzer Lebensdauer sowie Produkte mit hohem Wert und langer Lebensdauer gewählt. Als prioritäre Sektoren des EU Circular Economy Action Plan¹²² zeigen sie zudem hohen Handlungsbedarf und strategische Relevanz aus transnationaler politischer Perspektive auf. Gründe hierfür finden sich laut EU unter anderem in hoher gesellschaftlicher Aufmerksamkeit (Umweltverschmutzung durch Verpackungsmüll) und hoher wirtschaftlicher Kritikalität (Abhängigkeit der EU-Automobilwirtschaft von Batterie(material)importen). Darüber hinaus stellt sich bei (Kunststoff-)Verpackungen zunehmend die Entsorgungsfrage,¹²³

und Traktionsbatterien versprechen in den kommenden Jahren eine zentrale Technologie zur Dekarbonisierung des Straßenverkehrs und auch des Energiesektors zu werden.¹²⁴

Die in den Unterkapiteln 4.1 bis 4.3 vorgestellten Ergebnisse wurden aus den jeweils umfangreichen Berichten der Arbeitsgruppen der *Circular Economy Initiative Deutschland* Zirkuläre Geschäftsmodelle, Verpackung und Traktionsbatterien synthetisiert. Ziel dieser Synthese war nicht die detaillierte Wiederholung der dort erarbeiteten Erkenntnisse, sondern eine Ausarbeitung der systemischen Aspekte einer Circular-Economy-Transformation entlang des vorgenannten Zielbilds. Die Gegenüberstellung erfolgt aus der Top-down-Perspektive genereller Ergebnisse der Arbeitsgruppe Zirkuläre Geschäftsmodelle und der Bottom-up-Perspektive produktspezifischer Erkenntnisse der beiden anderen Arbeitsgruppen Verpackung und Traktionsbatterien. Dazu werden jeweils der Istzustand, der zu erreichende Sollzustand und definierte Lösungsansätze vorgestellt:

- In Unterkapitel 4.1.3 werden die Lösungsansätze der Arbeitsgruppe Zirkuläre Geschäftsmodelle vorgestellt. Sie stellen gleichsam den übergeordneten Rahmen für die Präsentation der beiden weiteren Arbeitsgruppen bereit (Top-down-Ansatz). In Unterkapitel 4.2.3 und 4.3.3 werden die sektorspezifischen Lösungsansätze der Arbeitsgruppen Verpackung und Traktionsbatterien anhand dieser Struktur dargestellt (Bottom-up-Ansatz).
- Die Ergebnisse aller Arbeitsgruppen werden zudem der Übersichtlichkeit halber entsprechend dem Multilevel Design Model (MDM)¹²⁵ gegliedert: gesellschaftliche Perspektive, soziotechnische Perspektive, Geschäftsmodellperspektive und Produktperspektive (siehe Abbildung 15).

In Kapitel 4.4 werden die Ergebnisse aus den Kapiteln 4.2 und 4.3 einander vergleichend gegenübergestellt, um verallgemeinerbare Erkenntnisse für das Material- und Produktmanagement über diese Produkte hinaus zu gewinnen.

119 | Vgl. Franco 2019.

120 | Vgl. Gobbi 2011.

121 | Vgl. Franco 2019.

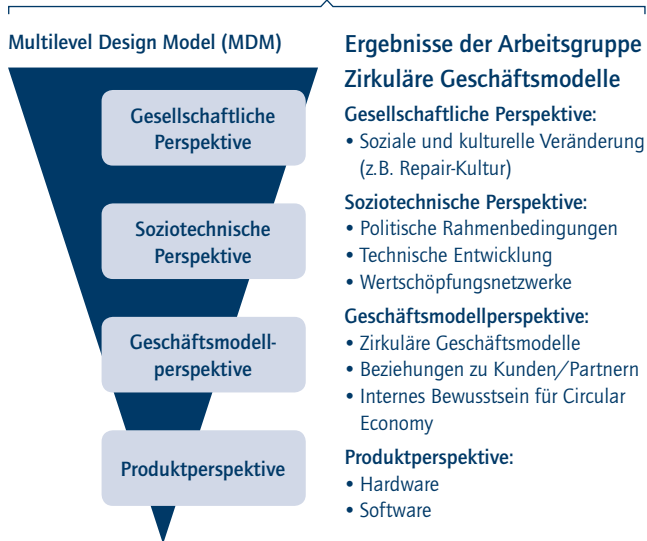
122 | Vgl. Europäische Kommission 2020c.

123 | Vgl. Pew Charitable Trusts/SYSTEMIQ 2020.

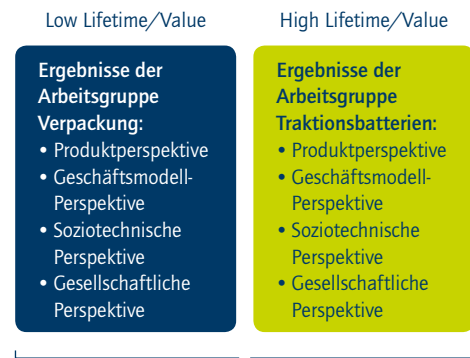
124 | Vgl. Circular Economy Initiative Deutschland 2020b.

125 | Vgl. Joore/Brezet 2015.

4.1) Top-down-Struktur – basiert auf der Arbeitsgruppe Zirkuläre Geschäftsmodelle und dem Multilevel Design Model



4.2–4.3) Bottom-up-Ergebnisse der Arbeitsgruppen Verpackung und Traktionsbatterien



4.4) Zusammenfassung & Gegenüberstellung

- Vergleich der unterschiedlichen Ansätze in den verschiedenen Produktklassen
- Synthese der Erkenntnisse

Abbildung 15: Darstellung der Strukturierung der Ergebnisse der Circular Economy Initiative Deutschland entlang des Rahmenwerks der Arbeitsgruppe Zirkuläre Geschäftsmodelle (Quelle: eigene Darstellung, angelehnt am Multilevel Design Model nach Joore/Brezet 2015)

4.1 Ergebnisse der Arbeitsgruppe Zirkuläre Geschäftsmodelle

In diesem Unterkapitel werden die Ergebnisse der Arbeitsgruppe Zirkuläre Geschäftsmodelle zusammengefasst.¹²⁶ Ziel dieses Abschnitts ist die Entwicklung eines konzeptionellen Analyse Rahmens, um die Transformation zu einem zirkulären Material- und Produktmanagement zu strukturieren sowie die Herausforderungen und Maßnahmen für die Transformation hin zu einer Circular Economy sektorübergreifend darzustellen (siehe dazu auch Abbildung 16). Die detaillierten Ausführungen sowie Quellenangaben sind dem Abschlussbericht der Arbeitsgruppe¹²⁷ zu entnehmen.

4.1.1 Istzustand: aktuelle Herausforderungen für die Transformation zu einer Circular Economy

Die isolierte Optimierung und Gewinnmaximierung der Geschäftsmodelle einzelner Akteure wird den Anforderungen einer

systemischen Circular-Economy-Transformation nicht gerecht, denn die meisten wirtschaftlichen Aktivitäten sind auf Maximierung von (Material-)Umsatz ausgerichtet und führen, wenn überhaupt, zu einem schnellen Downcycling der eingesetzten Rohstoffe. Eine ganzheitliche Betrachtung und Gestaltung zirkulärer Ökosysteme ist daher erforderlich. Einer Änderung dieser wirtschaftlichen Maxime stehen aktorspezifische Herausforderungen und Schwierigkeiten sowie sich wandelnde Rollenforderungen innerhalb neu entstehender Wertschöpfungsnetzwerke entgegen. Die tatsächliche Umsetzung und Verbreitung von Circular Business Models geht immer noch langsam vonstatten und wird durch eine Vielzahl **regulatorischer, finanzieller, organisatorischer, verbrauchsbezogener, technischer oder die Wertschöpfungskette betreffender Barrieren** behindert.

Obwohl Deutschland eine lange Tradition im Abfallrecht hat, gibt es **bis heute noch keinen konsistenten Circular-Economy-Rechtsrahmen**, auch nicht innerhalb der Europäischen Union. Vielmehr sind Circular-Economy-bezogene Aspekte in der Regel

126 | Im Rahmen der Arbeit der Arbeitsgruppe Zirkuläre Geschäftsmodelle wurden folgende zentrale Outputs erarbeitet: eine Typologie mit 22 aktorspezifischen Business Model Patterns, fünf integrierte Lösungsansätze zur Überwindung von Barrieren (entlang der von der Arbeitsgruppe Zirkuläre Geschäftsmodelle definierten Circular-Economy-Strategien Maintenance & Upgrade, Repair, Re-Use, Remanufacture, Recycle), ein „Dashboard“, das die Potenziale digitaler Technologien für die Implementierung intelligenter Circular-Economy-Strategien aufzeigt; 32 detaillierte Handlungsempfehlungen, zusammengefasst in sieben übergeordnete Kernempfehlungen zur weiteren Umsetzung, ein Circular Product-Policy Framework zur zielgerichteten Harmonisierung verschiedener Politikinstrumente und eine Use-Case-Analyse (am Beispiel des Fernsehers) zur Veranschaulichung bestehender Barrieren und Potenziale für Circular Business Models.

127 | Vgl. Circular Economy Initiative Deutschland 2020a.

in der Abfallgesetzgebung kodifiziert, die eher auf Abfallentsorgung denn auf ressourcenproduktives Materialmanagement ausgelegt ist (siehe dazu auch Kapitel 2). Zudem sind die relevanten Aspekte über verschiedene Rechtsgebiete verstreut. Gleichzeitig werden bestehende politische Instrumente auch noch nicht gezielt zur Förderung einer ressourcenproduktiven, kreislauforientierten Wirtschaft genutzt – beispielsweise ist die Ökodesign-Gesetzgebung nach wie vor sehr an der Energieeffizienz auf Einzelproduktebene orientiert. Mit der sogenannten Sustainable Products Initiative startete die Kommission jedoch 2020 eine Überarbeitung der Ökodesign-Gesetzgebung auf EU-Ebene, die diesen engen Fokus zum Teil erweitern soll. Die Möglichkeiten der Digitalisierung – von der digitalen technischen Unterstützung zirkulärer Strategien für das Produktmanagement bis hin zu grundsätzlich digitalen, entmaterialisierten Geschäftsmodellen – sind bei Weitem noch nicht ausgeschöpft. Es sollte also besonderes Augenmerk darauf gerichtet werden, die Einführung geeigneter digitaler Technologien in die Unternehmenspraxis zu fördern und damit den für eine Circular Economy nötigen Daten- und Informationsaustausch zu verbessern. Aktuell rangiert Deutschland **im europäischen Vergleich zur digitalen Wettbewerbsfähigkeit nur auf Platz 12.**¹²⁸ Zirkuläre Geschäftsmodelle basieren momentan immer noch hauptsächlich auf produktorientierten Dienstleistungen und setzen in ihrer Konzeption häufig erst nach der Produktdesignphase an, was ihre Umsetzbarkeit und Profitabilität einschränkt. Die Digitalisierung kann in diesem Zusammenhang dazu genutzt werden, in Zukunft neben produktorientierten Geschäftsmodellen auch die Potenziale von nutzen- und ergebnisorientierten Geschäftsmodellen stärker auszuschöpfen.

4.1.2 Sollzustand: Kreislaufführung als neues Paradigma der Wirtschaft

Für die erfolgreiche Implementierung einer Circular Economy bedarf es eines umfassenden Umdenkens auch auf gesamtgesellschaftlicher Ebene im Sinne einer Circular Society (siehe dazu Exkurs Circular Society, Kapitel 4.1.3). Mit der Implementierung einer Circular Economy soll es Deutschland gelingen, die sich verschärfenden Klima- und Umweltkrisen zu bewältigen, globale Rohstoffabhängigkeiten zu reduzieren, die heimische Wertschöpfung durch regionale Wirtschaftskreisläufe zu erhalten und die Wettbewerbsfähigkeit durch gezielte Technologie- und Marktführerschaft auszubauen (siehe Kapitel 3.2 zum Zielbild einer Circular Economy).

Entscheidend für die erfolgreiche Umsetzung einer Circular Economy wird sein, ob es möglich ist, ökonomische Anreize durch

neue zirkuläre Geschäftsmodelle zu schaffen. Dabei muss die Wertschöpfung insbesondere auch Circular-Economy-Hebel wie Reparatur, Wiederverwendung oder Wiederaufarbeitung miteinschließen. Auf der Ebene von Stoffströmen, dem Recycling, ist ein Umdenken von Downcycling zur Erhaltung qualitativ möglichst hochwertiger, sortenreiner und toxikologisch unbedenklicher Werkstoffe durch Upcycling oder zumindest kontinuierlich geschlossene Kreisläufe auf gleicher Qualitätsebene nötig.

Wesentlich ist ein umfassender Lern- und Umdenkprozess bei allen beteiligten Akteuren, der von der Entwicklung zirkulärer Geschäftsmodelle mit zirkulären Strategien als Kernelement bis hin zu einem zirkulären Redesign von Produkten reicht, was eine konsequente Neuausrichtung aller nachfolgenden Geschäftsprozesse der Wertschöpfung, Auslieferung und Rückgabe erfordert. Im Rahmen dieser Neuausrichtung müssen auch unternehmerische Kernprozesse der Wertschöpfung und das damit verbundene Rollenverständnis in der Wertschöpfungskette eines Unternehmens – sei es bezüglich der Gestaltung seiner Produkte, der Auslegung von Geschäftsmodellen, der Wettbewerbsposition im Wertschöpfungskreislauf oder des Verhaltens in Bezug auf das es umgebende Wertschöpfungsnetzwerk – dynamisch angepasst werden.

In jedem Fall wird es von Bedeutung sein, die Bereitschaft aller Akteure entlang der Wertschöpfungskette dafür zu mobilisieren, ihre Geschäftsmodelle zu überdenken und in „zirkulären Ökosystemen“ zusammenzuarbeiten.

Für die Implementierung einer Circular Economy wird auch entscheidend sein, das Potenzial digitaler Technologien bestmöglich auszuschöpfen, wobei vorrangig umwelt- und klimafreundliche Technologien und Prozesse zum Einsatz kommen sollten. Die Bereitstellung von Produktlebenszyklusdaten kann die Lebensdauer von Produkten verlängern, sie während ihrer Lebensdauer in höchster Qualität halten und schließlich Material- und Energiekreisläufe schließen. Hierzu gehören beispielsweise die Implementierung von Material- und Produktpässen zur Erschaffung digitaler Produkthistorien, die umfassende Nutzung von Sensorik und Konnektivität (Industrie 4.0) und die schnell wachsenden Möglichkeiten des Machine Learning.¹²⁹

Das ausschlaggebende Kriterium für die erfolgreiche Implementierung einer Circular Economy in Deutschland und Europa ist ein ganzheitlicher politischer Rahmen, der die Entstehung von Abfall reduziert – durch die Verlängerung der Lebensdauer sowie die Wiederverwendung und Wiederaufarbeitung von Produkten auf der Grundlage zirkulärer Anforderungen und Normen für

128 | Vgl. Europäische Kommission 2020d.

129 | Siehe Glossar.



die Produktgestaltung. Hierzu gehört auch die Verschiebung der ökonomischen Anreizsetzung beispielsweise durch Anpassung von Steuer- beziehungsweise Abgabesystemen, sodass diese die Ressourcennutzung reflektieren sowie Natur- und Sozialkapitalkosten miteinberechnen. Nur dadurch kann es gelingen, zirkuläre Geschäftsmodelle, die sich auf die werterhaltenden Kreislaufstrategien wie Reparatur, Wiederverwendung, Wiederaufarbeitung und schließlich qualitativ hochwertiges Recycling konzentrieren, attraktiv für Unternehmen zu machen.

4.1.3 Lösungsansatz: Circular Economy durch ganzheitliche Betrachtung unternehmerischer Wertschöpfung

Gesellschaftliche Perspektive

Bildung und Forschung spielen eine besondere Rolle, um das notwendige „Neudenken“ im Sinne einer „Circular Society“ (siehe Exkurs Circular Society in diesem Kapitel) anzustoßen und verschiedene gesellschaftliche Akteure zu aktiven Mitgestaltenden einer Circular Society zu machen.

- **Bildung und Forschung: Neue Teilnehmungsformate sowie die Förderung von Eigeninitiative und sozialer Innovation** können das grundsätzliche Verständnis und die Fähigkeiten der Bürgerinnen und Bürger erhöhen, sich in zirkulären Wertschöpfungsprozessen zurechtzufinden und zu beteiligen. Do-it-yourself-Initiativen oder gemeinschaftliche Reparaturangebote (zum Beispiel in Form eines Reparaturcafés) sind elementar, damit der Wandel von passiven „Verbraucherinnen“ und „Verbrauchern“ zu zirkulären Prosumentinnen und Prosumenten¹³⁰ gelingen kann. Zudem sollte eine höhere Transparenz **durch Produktkennzeichnung und Deklarationen** (auf der Grundlage von Normen) bezüglich der durchschnittlichen Produktlebensdauer und der Reparierbarkeit von Produkten (das heißt der Reparierbarkeitsbewertung) sowie eine **fortgeschrittene Umweltkennzeichnung** solche Teilnehmungsformate flankieren. Die Grundlage für ein zirkuläres Bewusstsein bilden jedoch weiterhin **Schulungs- und Ausbildungsprogramme** in Schulen, Berufsbildungszentren (zum Beispiel Reparatur von Unterhaltungselektronik) und Universitäten (zum Beispiel Masterstudiengänge in Circular Economy). Außerdem muss eine nationale oder europäische Einrichtung etabliert und finanziert werden – mit dem Ziel, die **transdisziplinäre Konsolidierung wissenschaftlicher Erkenntnisse, industrieller Praktiken und gesellschaftlicher Bedürfnisse** innerhalb einer Circular Economy weiter voranzutreiben.

Soziotechnische Perspektive

Auf dieser Ebene wird zwischen den politischen Rahmenbedingungen, der technischen Entwicklung sowie Wertschöpfungsnetzwerken unterschieden. Die gezielte Gestaltung dieser Handlungsschwerpunkte ermöglicht eine unmittelbare Transformation des bisher vorherrschenden soziotechnischen Regimes einer linearen Ökonomie hin zu einer zirkulären industriellen Wertschöpfung.

- **Politische Rahmenbedingungen: Ökonomische Instrumente** können dabei helfen, Circular Economy zu incentivieren. Das kann einerseits durch die Erhöhung der Kosten für die Nutzung natürlicher Ressourcen (zum Beispiel höhere CO₂-Preise) einschließlich der Beseitigung schädlicher Subventionen (zum Beispiel aller Arten von Steuerbefreiungen/-erleichterungen im Zusammenhang mit der Nutzung fossiler Brennstoffe) geschehen. Andererseits können Circular-Economy-Strategien auch direkt gefördert werden, zum Beispiel durch Umlenkung von Subventionen oder Senkung der steuerlichen Belastung (zum Beispiel Mehrwertsteuerbefreiung für Reparatur- und Wartungsdienstleistungen). Hierbei sollte auch der außereuropäische Verbrauch von Ressourcen und CO₂-Emissionen berücksichtigt werden. **Ordnungsrechtliche Instrumente** schaffen gesetzliche Vorschriften oder Verordnungen, die die Hersteller ebenso wie die Verbraucherinnen und Verbraucher zu bestimmten Maßnahmen verpflichten. Hierzu gehören etwa verpflichtende Standards sowie die Stärkung der Verantwortung von Herstellern/Einzelhändlern entlang des Lebenszyklus (zum Beispiel obligatorische Rücknahme). Außerdem können Regierungen und Behörden durch die **öffentliche Beschaffung** sowie den Umgang mit Altprodukten die Nachfrage nach zirkulären Produkten und Geschäftsmodellen erhöhen und somit Innovationen fördern (zum Beispiel durch Einführung eines Mindestanteils an zirkulären Produkten oder Dienstleistungen).
- **Technische Entwicklung:** Technische Entwicklungen können zu **verschiedenen Arten von Innovationen** führen (von Verfahrens- und Materialinnovationen bis hin zu innovativer Neugestaltung von Produkten und Geschäftsmodellen), die wiederum zu einer erfolgreichen Umsetzung einer Circular Economy beitragen. Ein potenzielles Instrument sind **freiwillige Standards**, die von der Industrie, Forschungs- und Hochschuleinrichtungen sowie der Zivilgesellschaft entwickelt werden. Unternehmen übernehmen freiwillig Standards, um Qualität zu demonstrieren (zum Beispiel Entwicklung eines Standards zur Qualität von Wiederaufbereitungsaktivitäten).

130 | Siehe Glossar.

Die Entwicklung solcher Standards muss allerdings offen sein für **Innovationen und technologische Neuerungen mit ökologischem Benefit**. Ein weiterer Technologiehebel ist die intensivere Nutzung digitaler Technologien, Prozesse, Services und Anwendungen einschließlich der dazu nötigen IT-Infrastruktur. Dies setzt neben dem technologischen Wissen insbesondere auch den Willen aller beteiligten Akteure voraus, mit entsprechenden Prozessveränderungen Transparenz entlang der gesamten Wertschöpfungskette zu schaffen. Verbesserte Infrastruktur und digitale Technologien können helfen, zum Beispiel Informationsdefizite zu beheben, die derzeit noch der optimierten Umsetzung zirkulärer Strategien entgegenstehen. Beispielsweise kann ein Produktpass (oder enger gefasst ein Materialpass) allen Akteuren der Wertschöpfungskette Informationen über Herkunft, Verortung, Zusammensetzung (einschließlich bedenklicher Stoffe), Reparatur- und Demontageanweisungen sowie Richtlinien für die Handhabung am Ende des Lebenszyklus bereitstellen. Informationen zum Lebenszyklus spezifischer Produkte könnten ebenfalls aufgezeichnet und in entsprechenden Datenbanken gespeichert werden (zum Beispiel durch die Bewertung der Lebensdauer von Produkten und Komponenten mit Sensoren, um festzustellen, wie lange sie noch verwendet werden können beziehungsweise ob und wie sie instand gesetzt oder recycelt wurden).

Ein weiteres Beispiel für Technologiehebel ist die Weiterentwicklung von **Prozesstechnologien etwa für die Sammlung oder Verwertung von gebrauchten beziehungsweise entsorgten Produkten** (zum Beispiel Recycling).

Um zur Entwicklung einer eigenen digitalen Circular-Economy-Strategie beizutragen, stellt die Arbeitsgruppe Zirkuläre Geschäftsmodelle Unternehmen als Orientierungsrahmen ein sogenanntes **Dashboard** zur Verfügung. Abhängig von der gewählten Smart-Circular-Strategie (entlang der sechs durch die Arbeitsgruppe Zirkuläre Geschäftsmodelle beschriebenen Smart-Circular-Strategien¹³¹) und dem Grad der digitalen Reife des Unternehmens gibt es einen Überblick über den möglichen Nutzen der ausgewählten Circular-Economy-Strategie und bietet eine Entscheidungshilfe sowie Orientierung bei der Ausarbeitung einer eigens auf das Unternehmen zugeschnittenen digitalen Circular-Economy-Strategie.

Geschäftsmodellperspektive

Die Beschreibung der Transformation auf dieser Ebene baut auf den drei Schlüsseldimensionen von zirkulären Geschäftsmodellen auf, die von der Arbeitsgruppe Zirkuläre Geschäftsmodelle definiert wurden.

- **Akteure:** Die Transformation hin zu einer Circular Economy führt zu einem beträchtlichen **dynamischen Wandel** in den Branchen und veranlasst Akteure möglicherweise dazu, über ihre bisherigen Rollen hinauszugehen: Die **Positionierung im Wertschöpfungskreislauf** verändert sich, wenn Akteure zusätzliche Rollen übernehmen (zum Beispiel können Produzenten Recyclingverfahren selbst abdecken oder als kontrollierte Serviceleistungen vergeben) oder wenn völlig neue Akteure und Rollen entstehen. Eng mit der Dimension der Akteure sind die **Wertschöpfungsnetzwerke** verbunden:¹³² Da zirkuläre Lösungen nicht von einzelnen Unternehmen allein bereitgestellt werden können, müssen diese in einem zirkulären Ökosystem zusammenarbeiten. Die Geschäftsmodelle der Partner werden dabei miteinander in Einklang gebracht, sodass jeder seinen Nutzen aus der Zusammenarbeit ziehen kann. Um ihre Geschäftsmodelle mit zirkulären Dienstleistungen wie Reparatur und Wiederaufbereitung zu erweitern und auf weitere **Stufen des Wertschöpfungskreislaufs** auszudehnen, folgen die Akteure vorzugsweise strategischen Entscheidungen der **vertikalen Integration** (Make) oder der **Vernetzung** (Ally). Im Gegensatz zum Outsourcing (Buy) können die Akteure damit Schwachstellen in bisherigen auf die Linearwirtschaft ausgerichteten Produkten und Geschäftsprozessen identifizieren, Feedback für ein verbessertes zirkuläres Redesign in die Produktentwicklungsprozesse einspeisen und organisationales Lernen fördern. Neben dem auf der Mikroebene angesiedelten Unternehmensökosystem, das sich auf unternehmerische Partnerschaften zur Bereitstellung zirkulärer Lösungen konzentriert, kann das Stakeholder-Ökosystem auf der Meso- und Makroebene weitere relevante Akteure in den jeweiligen Gemeinschaften, Kommunen, Nationen und Kulturen umfassen und sollte durch die Etablierung neuer institutioneller Strukturen und Koordinationsmechanismen unterstützt werden.
- **Circular-Economy-Strategien:** Die Circular-Economy-Strategien beschreiben, wie Akteure in Geschäftsmodellen das Konzept der Zirkularität umsetzen. Ausgehend von den identifizierten Circular-Economy-Strategien und weiteren

131 | Vgl. Circular Economy Initiative Deutschland 2020a.

132 | Gemäß dem MDM-Framework können Wertschöpfungsnetzwerke aufgrund ihrer unternehmensübergreifenden Natur auf soziotechnischer Ebene angesiedelt sein, vgl. Joore/Brezet 2015. Im Verständnis der Arbeitsgruppe Zirkuläre Geschäftsmodelle sind sie jedoch in der Geschäftsmodellperspektive angesiedelt und werden in diesem Bericht dort diskutiert.



Überlegungen zu verwandten Ansätzen werden die folgenden zirkulären Kernstrategien in die vorgeschlagene **Typologie** aufgenommen: Wartung und Aufrüstung beziehungsweise Instandsetzung, Reparatur und Wiederverwendung, Wiederaufarbeitung und Recycling.

- **Serviceniveau:** Hinzu kommt ein Wandel von produkt- zu dienstleistungsorientierten Geschäftsmodellen. Die Einführung von **nutzungsorientierten** (zum Beispiel Leasing) oder **ergebnisorientierten** (zum Beispiel Pay-per-Performance) Geschäftsmodellen sowohl im B2B- als auch im B2C-Sektor ist eine potenzielle Maßnahme, um Unternehmen einen Anreiz zu geben, die Lebensdauer der Produkte zu verlängern, diese so intensiv wie möglich zu nutzen und Teile nach dem Ende der Produktlebensdauer bestmöglich wiederzuverwenden.¹³³

Aus der Kombination der drei Dimensionen Akteure, Circular-Economy-Strategien und Serviceniveau kann eine Typologie von 22 Geschäftsmodelltypen mit je drei Servicegraden differenziert und so von den diversen Akteurstypen im Wertschöpfungskreislauf (mit unternehmensspezifischen Anpassungen) übernommen werden.

Wie bereits aus soziotechnischer Perspektive angemerkt, hat die Entwicklung **digitaler Technologien** das Potenzial, eine ganz entscheidende Rolle bei der Umsetzbarkeit zirkulärer Geschäftsmodelle zu spielen. Sie fördern nicht nur die Zirkularität verschiedenster Prozesse in der Wertschöpfungskette eines Produkts, sondern bieten durch ihre Anwendung – etwa Internet der Dinge (IoT), Digitaler Zwilling, digitaler Produktpass, Onlineplattform, Blockchain-Technologie, Big Data, Analytik und Künstliche Intelligenz – auch das Potenzial der Operationalisierung einer Circular Economy. Sie verstärken insbesondere durch die Bereitstellung und effiziente Übertragung von Daten und Informationen die wertgenerierende Funktion von Geschäftsmodellen der Akteure in einem Ökosystem bezogen auf Dienstleistungen, Produkte, Komponenten und Materialien. Zudem können sie als Bausteine auch kombiniert werden, um einen bestimmten Business Case zu ermöglichen. Digitale Technologien sind damit kein Selbstzweck, sondern ein Treiber für die Wandlung bisheriger linearer zu zirkulären Geschäftsmodellen. Darüber hinaus können sie auch dazu beitragen, Barrieren, die die Implementierung von zirkulären Geschäftsmodellen aktuell noch erschweren, zu überwinden.

Auf Basis dieser Dimensionen und der erarbeiteten Ergebnisse leitet die Arbeitsgruppe Zirkuläre Geschäftsmodelle eine ganz essenzielle Aufgabe für die Unternehmen ab: Um Innovationen vor-

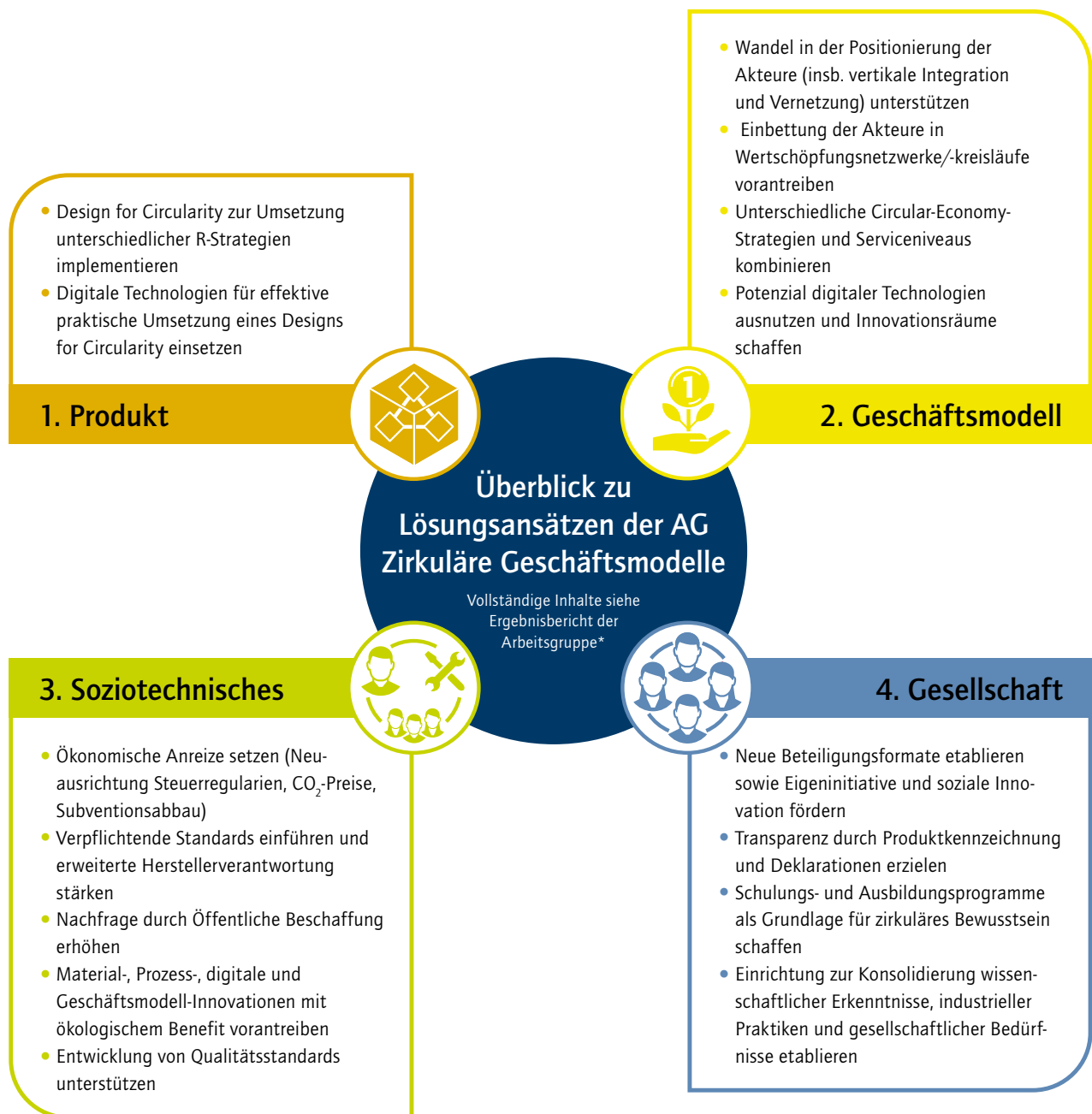
anzutreiben und den Wandel in Richtung einer Circular Economy zu beschleunigen, müssen Unternehmen **den Übergang proaktiv angehen**, ihre Strategien sowie Forschungs- und Entwicklungsziele neu ausrichten und generell mehr Zeit und Ressourcen investieren. Insbesondere sollten sie **Innovationsräume** für die Umgestaltung ihres Unternehmens zu einer Circular Economy etablieren (innerhalb oder unabhängig von Kerngeschäftsbereichen), in denen traditionelle lineare Geschäftsmodelle, bisherige Produktdesigns und damit verbundene Wertschöpfungsketten hinterfragt werden können und vor allem mit radikalen Innovationen bei Servicegeschäftsmodellen experimentiert werden kann.

Produktperspektive

Produkte stehen als Teil des Leistungsversprechens im Zentrum von Geschäftsmodellen. Im Kontext der Circular Economy spielt das Produktdesign eine besondere Rolle. Hier können sowohl Hardware- als auch Softwarekomponenten relevante Bausteine und Bestandteile der Circular-Economy-Transformation sein:

- **Hardware:** Es gibt eine Vielzahl von **Design-for-Circularity**-Strategien, die darauf abzielen, das Circular-Economy-Potenzial von Produkten zu maximieren, wie zum Beispiel Design für Langlebigkeit oder Haltbarkeit, für Aufrüstbarkeit, für Wartungs- und Reparaturfreundlichkeit, für Wiederaufarbeitung, für Recycling oder auch die Vermeidung gesundheitsgefährdender Stoffe (Safe by Design). Dass es auch Grenzen bezüglich der unmittelbaren Ausgestaltung zirkulärer Designaspekte geben kann, zeigt die Arbeitsgruppe Zirkuläre Geschäftsmodelle anhand ihres aufbereiteten Use-Case-Fernseher: Fernsehgeräte für den deutschen Markt werden heute kaum noch in Deutschland oder Europa produziert, das heißt, ein Einwirken in die Produktgestaltungsprozesse ist unter diesen Bedingungen nicht unmittelbar möglich. Eine Renaissance von europäischen Nischenanbietern für Smartphones (zum Beispiel Fairphone) zeigt allerdings auch, dass ein Gegenteil im Bereich elektronischer Produkte möglich ist. Außerdem können sich immer stärker beschleunigende Innovationszyklen und radikale Innovationsumbrüche (wie zum Beispiel der Übergang vom Röhren- zum Flachbildschirm) die langfristigen Potenziale eines Circular-Economy-orientierten Produktdesigns begrenzen.
- **Software:** **Digitale Technologien** spielen außerdem eine wichtige Rolle bei der effektiven praktischen Umsetzung eines Design for Circularity. Beispielsweise können Produkte oder Maschinen (der Use-Case-Fernseher ist ein gutes Beispiel, um den Vorteil der Modularität zu demonstrieren) mit

133 | Darüber hinaus kann durch die Zunahme dienstleistungsorientierter Geschäftsmodelle auch eine entsprechende Kundenerwartung entstehen, die hohe Anforderungen in puncto Zirkularitätskriterien an den Hersteller stellt.



* Circular Economy Initiative Deutschland 2020: *Circular Business Models: Overcoming barriers, unleashing potentials*, acatech/SYSTEMIQ, Munich/London 2020.

Abbildung 16: Überblick zu den Lösungsansätzen der Arbeitsgruppe Zirkuläre Geschäftsmodelle (Quelle: eigene Darstellung)

integrierten Sensoren ausgestattet sein, die es ermöglichen, in Echtzeit Informationen über den aktuellen Status, die Leistung und den Zustand des Produkts oder gegebenenfalls darin enthaltener Module bereitzustellen und entsprechende zirkuläre Strategien, beispielsweise präventive Wartung und Reparatur, daraus abzuleiten.

Die Produktperspektive kann wesentlich durch die Setzung regulatorischer Rahmenbedingungen (wie zum Beispiel die in diesem Abschlussbericht skizzierte Rahmengesetzgebung für eine zirkuläre Produktpolitik) beeinflusst werden.



EXKURS: Circular Society

In neueren kritischen Auseinandersetzungen mit der Circular-Economy-Debatte wird insbesondere hervorgehoben, dass Fragen der sozialen und kulturellen Nachhaltigkeit sowie des sozialen Wandels gegenwärtig zu wenig berücksichtigt werden.^{134, 135} Kritisiert wird zudem, dass Circular Economy hauptsächlich als ökologisches Modernisierungsprojekt konzipiert wird, das weiterhin auf einer kapitalistischen Auslegung von Fortschritt und Wirtschaftswachstum beruht.^{136, 137} Der Begriff „Circular Society“ (CS) oder Kreislaufgesellschaft wird von verschiedenen Akteuren in Forschung und Praxis genutzt, um Diskurse und Ansätze hervorzuheben, die über technologische und marktbasiertere Lösungen hinausgehen und den Übergang zur Zirkularität als tiefgreifende sozial-ökologische Transformation verstehen. Ein gemeinsamer Nenner der verschiedenen CS-Ansätze ist die Vorstellung, dass ein Wandel in Richtung Circular Economy ohne Engagement und Beteiligung der Gesellschaft nicht möglich ist. Die Ansätze unterscheiden sich hinsichtlich der Intensität, in der soziale Nachhaltigkeit und sozialer Wandel sowie die Frage nach einer gesellschaftlichen Neuordnung fokussiert werden.¹³⁸ Als „Circular Economy Plus“ lassen sich Ansätze bezeichnen, die gängige Circular-Economy-Strategien um sozialpolitische Maßnahmen ergänzt sehen wollen, um es Bürgerinnen und Bürgern zu ermöglichen, zirkuläre Produkte und Dienstleistungen zu nutzen.¹³⁹ Dazu gehören beispielsweise Maßnahmen wie die Erhöhung von Transparenz und Zugänglichkeit zu Produkten, die Verringerung von Kosten oder die Ausweitung von Rechten. Über diesen Fokus hinaus gehen Ansätze „ökonomischer Neuordnung“, die das Prinzip der Zirkularität auch auf die Verteilung von Macht und (im) materiellen Ressourcen übertragen sowie betonen, dass Wohlstand, Wissen, Technologien und Produktionsmittel gerechter verteilt werden müssen, um ein nachhaltiges und zukunftsfähiges Wirtschaften in der Circular Economy zu ermöglichen.¹⁴⁰ Mit dem Fokus auf „Neuen Wohlstandsnarrativen“ wird der Begriff der Circular Society mit Narrativen des „Guten Lebens“ verbunden. Auf diese Weise sollen Vorstellungen eines „Guten Lebens“ von der Notwendigkeit des materiellen Wohlstands

und des Wirtschaftswachstums entkoppelt¹⁴¹ und vorherrschende Definitionen der Ziele ökonomischen Handelns durch alternative Erzählungen ersetzt werden. Als „transformative Circular Society“ können Ansätze bezeichnet werden, die ein zirkuläres Konsum- und Produktionssystem beschreiben, das auf partizipativen und solidarischen Praktiken basiert.¹⁴² Unterstrichen wird dabei die wichtige Aufgabe von Bottom-up-Initiativen, sozialer Innovation und emanzipatorischen Bewegungen bei der sozialökologischen Transformation der Wirtschaft. Diese sollten eine zentrale Rolle in politischen Strategien spielen, um langfristig eine Rekonfiguration der Produktions- und Konsumformen in Richtung stärker regionaler und partizipativer Wertschöpfungsnetzwerke zu bewirken, ganz im Sinne der „Small-is-beautiful“-Ökonomie von E. F. Schumacher.¹⁴³

Die Debatte um Circular Society ist noch jung und dynamisch. Aus den verschiedenen Diskurssträngen und dabei betrachteten Praxisbeispielen lassen sich erste Implikationen für die Gestaltung der Transformation ableiten: 1) Gängige Definitionen ökonomischer Wertschöpfung mit ihrem Fokus auf monetären und Unternehmenswerten sind zu erweitern, um sozialökologische Wertschöpfung als Ziel nachhaltigen Wirtschaftens ins Zentrum zu rücken. 2) Die Stärkung von Suffizienzstrategien sollte vermehrt berücksichtigt werden, denn aktuelle Circular-Economy-Debatten konzentrieren sich hauptsächlich auf Effizienz- und Konsistenzstrategien wie Repair und Recycling. Strategien und Geschäftsmodelle, die ein Rethink oder Refuse und damit eine suffiziente materielle Kultur fördern, sind derzeit noch rar, daher sollten insbesondere Innovationen in diesen Bereichen gefördert werden. 3) Die Beteiligung von Bürgerinnen und Bürgern an der Circular Economy sollte sich nicht nur auf erweiterte Verbraucherrechte und mehr Informationsmöglichkeiten beziehen, sondern vor allem auch neue Wege und Formen der Beteiligung an Produktionsprozessen eröffnen, beispielsweise über Mitentscheidungsmöglichkeiten, menschenzentriertes Design und Open Source. Dazu gehört auch die Befähigung zur Eigenarbeit (Reparatur, Do-it-Yourself, Upcycling) und zur Bildung von Produktions- und Nutzungsgemeinschaften.

134 | Vgl. Korhonen et al. 2018.

135 | Vgl. Hofmann 2019.

136 | Vgl. Hobson/Lynch 2016.

137 | Vgl. Valenzuela/Böhm 2017.

138 | Vgl. Calisto Friant et al. 2020.

139 | Vgl. Qiping 2011.

140 | Vgl. Schroeder/Anantharaman 2019.

141 | Vgl. Kothari et al. 2014.

142 | Vgl. Jaeger-Erben/Hofmann 2019.

143 | Vgl. Schumacher 2011.

4.2 Ergebnisse der Arbeitsgruppe Verpackung

In diesem Unterkapitel werden die Ergebnisse der Arbeitsgruppe Verpackung,¹⁴⁴ die eine Circular Economy für Kunststoffverpackungen beschrieben haben, zusammengefasst und anhand des Istzustands, des Sollzustands und des Lösungsansatzes dargestellt. Ziel ist die Anwendung der in der Einleitung von Kapitel 4 vorgestellten Analysestruktur auf ein Produkt mit einem geringen Produktwert und einer kurzen Lebensdauer, großen Herausforderungen für eine systematische Kreislaufführung und signifikanter gesellschaftlicher Sichtbarkeit – in diesem Fall Kunststoffverpackungen. Diese Bottom-up-Logik ist der Grund dafür, dass die Darstellung des Lösungsansatzes in Kapitel 4.2.3 auf der Produktebene beginnt (siehe dazu auch Abbildung 17). Die detaillierten Ausführungen sowie genauen Quellenangaben sind dem Ergebnisbericht der Arbeitsgruppe Verpackung¹⁴⁵ zu entnehmen.

4.2.1 Istzustand: zunehmende Kunststoffverpackungsabfallmengen durch mangelnde Kreislaufführung

In Deutschland fielen im Jahr 2018 18,9 Millionen Tonnen an Verpackungsabfällen an – ein erneuter Höchststand. Vor allem Verpackungen aus Kunststoff stehen im Fokus und stellen eine Herausforderung dar. In den letzten 20 Jahren hat sich das Aufkommen der davon als Kunststoffverpackungen in Deutschland in Verkehr gebrachten Mengen von 1,6 (1998) auf 3,2 Millionen Tonnen (2018) verdoppelt. Ungefähr zwei Drittel dieser Menge fallen als Produktverpackungen in Haushalten und ein Drittel im Bereich der Transport- und Umverpackungen an.

Von den in der Verpackungsindustrie verarbeiteten Kunststoffmengen waren 2019 nur circa 474.000 Tonnen oder 10,1 Prozent Rezyklate, dementsprechend fast 90 Prozent Neumaterial. Die Ursachen hierfür liegen sowohl in einzelnen Wertschöpfungsschritten (beispielsweise für Wiederverwendung beziehungsweise Recycling ungeeignetes Verpackungsdesign, Konflikt zwischen höherwertiger Sortierqualität und schnellerem und günstigerem Sortierprozess, Fehlwurfquoten in der Sammlung) als auch in der **fehlenden Transparenz und mangelnden**

Kompatibilität innerhalb der gesamten Wertschöpfungskette (etwa Vielfalt an Verpackungsdesign, das nicht auf die bestehende Verwertungslandschaft abgestimmt ist, fehlende garantierte Marktnachfrage nach Rezyklat, länderübergreifende Unterschiede in regulatorischen nationalen Zielvorgaben).

4.2.2 Sollzustand: defossilierte und materialproduktive Verpackungswirtschaft

Die Verpackungsindustrie trägt durch den Einsatz defossilierter Materialien, möglichst geschlossener Materialkreisläufe und einer erhöhten Materialproduktivität zum Erreichen einer klimaneutralen Circular Economy bei (siehe Kapitel 3.2 zum Zielbild einer Circular Economy). Verpackungen werden nicht mehr als Wegwerfprodukte betrachtet. Lösungsansätze werden ganzheitlich bewertet und unterliegen entsprechend den der Kreislaufwirtschaftshierarchie folgenden wichtigen Grundsätzen: 1) Die **Vermeidung von Verpackungen** hat oberste Priorität, sofern dadurch nicht der ökologische Fußabdruck des Gesamtprodukts steigt (zum Beispiel durch mehr Lebensmittelabfälle bei weniger/anderer Verpackung). 2) Alle nicht vermeidbaren Verpackungen sind möglichst lange nutzbar, wiederverwendbar sowie hochwertig recycelbar und damit auf ein **effizientes und effektives Ressourcenmanagement** ausgelegt. 3) Das Material- und Produktdesign ist konsequent so gestaltet, dass **keine toxischen Wirkungen** entlang der Wertschöpfungskette auftreten und die unbedenkliche Folgenutzung sichergestellt ist. 4) Wo sinnvoll und möglich, kommen **Sekundärmaterialien oder Alternativen zu fossilem Primärmaterial** zum Einsatz. 5) Alle Zirkularitätshebel unterliegen einer Bewertung der Umweltbilanz (zum Beispiel **LCA-Betrachtung**), um nachhaltige Lösungsansätze fördern zu können.

Ergebnisse einer Modellrechnung, basierend auf von Fachleuten verifizierten Annahmen, zeigen, dass durch die Erhöhung des Anteils von werkstofflichem Recycling auf 40 Prozent, des Anteils von chemischem Recycling auf 20 Prozent und des Anteils von Re-Use-Verpackungen auf 20 Prozent bis zum Jahr 2050 im Schnitt ungefähr 4 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente jährlich gegenüber dem Business-as-usual-Szenario eingespart werden können. Die Modellierung lässt jedoch auch erkennen, dass ohne zusätzliche Maßnahmen sowohl die Klimaneutralität als

144 | Im Rahmen der Arbeitsgruppe Verpackung der *Circular Economy Initiative Deutschland* wurde eine Roadmap bis 2030 entwickelt, die den Weg der Kunststoffverpackungsindustrie hin zu einer Climate Neutral Circular Economy aufzeigt. Hierfür wurde zunächst analysiert, warum die Verpackungsindustrie bisher weitgehend in linearen Wertschöpfungsketten arbeitet. Die Analyse fand sowohl auf Systemebene der Verpackungsindustrie insgesamt als auch anhand zweier konkreter Anwendungsfälle statt. Zudem wurde ein gemeinsames Zielbild skizziert, das die notwendigen Elemente und Lösungsansätze für eine Climate Neutral Circular Economy für die Verpackungsindustrie genauer beschreibt. Zusätzlich wurde ein Gedankenexperiment betrachtet, das eine klimaschonende Circular Plastic Economy in ihren technologischen, ökonomischen und regulativen Parametern beschreibt. Darauf aufbauend wurden insgesamt 34 Handlungsempfehlungen an Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Zivilgesellschaft erarbeitet und zeitlich priorisiert, wie die Transformation der Verpackungsindustrie gelingen kann.

145 | Vgl. Circular Economy Initiative Deutschland 2021.



auch die geschlossene Kreislaufführung selbst im Jahr 2050 noch deutlich verfehlt würde.

4.2.3 Lösungsansatz: Qualitätserhalt und Materialreduktion durch kombinierte Circular-Economy-Hebel

Produktperspektive

- **Hardware:** Bereits im Produktdesign muss das Lebensende beziehungsweise die Folgenutzung der Verpackung respektive der eingesetzten Materialien verstärkt mitgedacht werden. Das heißt, alle nicht vermeidbaren Verpackungen sollten möglichst lange nutzbar, wiederverwendbar und hochwertig recycelbar sein. Die Verpackungen müssen so designt werden, dass sie innerhalb der in der Praxis vorhandenen Sammel-, Sortier- und Verwertungsstruktur eindeutig zuzuordnen, stofflich trennbar (Design for Sorting) und qualitativ hochwertig recycelbar sind (Design for Recycling). Besonders wichtig dabei ist, Mono- anstatt Verbundmaterialien zu verwenden. Zudem muss sich die Vielzahl eingesetzter Kunststoffvarianten im Verpackungsmarkt insgesamt reduzieren, um die Sortierung und das Recycling wirtschaftlicher zu gestalten. Das bedeutet, dass nicht jeder Hersteller und Inverkehrbringer von Verpackungen eine eigene Verpackungslösung auf den Markt bringen sollte, sondern EU-weite Mindeststandards festgelegt werden sollten, die die Anzahl an Fraktionen in der Sortierung verringern und Mengenströme für das Recycling entsprechend vergrößern. Neben der Auswahl geeigneter Basismaterialien, bei denen immer auch die verwendeten Hilfs- und Zusatzstoffe zu berücksichtigen sind, kann auch deren mögliche Substitution durch ein anderes Material erfolgen, sofern dieses eine verbesserte Gesamtpformance aufweist (Materialsubstitution). Wo sinnvoll, können der Einsatz von Sekundärmaterial oder alternative Ausgangsmaterialien (zum Beispiel biobasierte Kunststoffe¹⁴⁶) Verwendung finden. Hierbei bedarf es immer der Einzelfallbetrachtung unter Berücksichtigung des konkreten Anwendungsfalls. Bioabbaubare Kunststoffe zu nutzen, erscheint derzeit für den deutschen Markt nicht empfehlenswert, da es keine entsprechende Verwertungsinfrastruktur gibt und solche Kunststoffe aktuell verbrannt werden. Damit bleibt insbesondere die ökologische Sinnhaftig-

keit von bioabbaubaren Kunststoffen fraglich. Zudem sollte auch bei Biokunststoffen von möglichst kleinen Kreisläufen ausgegangen werden, denn die Neuherstellung erfordert sowohl Rohstoffe als auch Energie und Wasser. Dementsprechend ist Wiederverwendung oder Recycling einer Kompostierung aus ökologischer Sicht vorzuziehen.

- **Software:** Sortiertechnologien, beispielsweise Markertechnologien oder auf Künstlicher Intelligenz (KI) basierende Technologien, stellen die eindeutige technische Detektierbarkeit von Verpackungen sicher und ermöglichen damit die optimierte Sortierung nach Material (auch Mischmaterialien), entsprechender Verarbeitung und Farbe. Beispielsweise können Marker auf der Verpackung die benötigte Information zur Prozessführung (von Sortierung und Recycling) bereitstellen. Auch bei KI-basierten Systemen, die ohne Marker auskommen, gibt es bereits vielversprechende Testergebnisse.

Geschäftsmodellperspektive

- **Akteure:** Eine stärkere Zusammenarbeit innerhalb der Wertschöpfungskette ist notwendig, da Veränderungen an einzelnen Stellen der Wertschöpfungskette (zum Beispiel Materialwahl, Gestaltung der Verpackung, Verwertungsinfrastruktur) Auswirkungen auf das gesamte System haben. Für die Etablierung neuer Lösungen wie beispielsweise innovativer Mehrwegsysteme müssen sich zudem neue Akteurskonstellationen finden.
- **Circular-Economy-Strategien:** 1) Die **Vermeidung** von Verpackungen und Verpackungsabfällen bedeutet in erster Linie, dass unnötige Verpackungen und Verpackungskomponenten weggelassen werden (Stichwort: Unverpacktläden). Zudem kann durch eine Verkleinerung der Verpackung, beispielsweise indem das Packgut komprimiert oder unnötiges Leervolumen vermieden wird, Verpackungsmaterial eingespart werden. Auch der bereits lange etablierte Materialeffizienzansatz fällt in diese Kategorie. Gerade dieser Ansatz hat aber in der Vergangenheit zu nicht zirkulären Verpackungen geführt (zum Beispiel Multi-Layer-Verpackungen). In dem Zielkonflikt zwischen Materialverbrauch und Recyclingfähigkeit sollte immer dann die weniger effiziente, aber besser recyclingfähige Verpackung präferiert werden, wenn damit eine höhere Effizienz auf Systemebene der Stoffkreisläufe erreicht werden kann. 2) Der Hebel der

146 | Biobasierte Kunststoffe werden nur dann als sinnvoller Ersatz von rohöl-basierten Kunststoffen erachtet, wenn als Rohstoffquelle Biomasse verwendet wird, die nicht in Konkurrenz zum Anbau von Nahrungsmitteln steht. Besonders geeignet dafür sind Sekundärrohstoffe, sekundäres Pflanzenmaterial oder andere Rohstoffe biologischen Ursprungs, für die keine Flächen verbraucht werden, die besser für die Erzeugung von Nahrungsmitteln verwendet werden können. Zudem müssen illegale Landgewinnung (zum Beispiel durch illegitime Abholzung von Regenwald) und gentechnische Manipulation verhindert werden. Das heißt, es ist darauf zu achten, dass die Biomasse nur aus nachvollziehbaren und nachhaltigen Quellen bezogen wird. Weitere zu beachtende Kriterien sind der Rohstoffanbau auf bereits langfristig hierfür genutzten Flächen, gute Arbeitsbedingungen und die Vermeidung einer Übernutzung von Wasserressourcen.

Wiederverwendung (Re-Use) setzt bei der Lebens- und Nutzungsdauer der Verpackung an. Beispiele hierfür sind sowohl etablierte Mehrwegsysteme (Return on the go), zum Beispiel bei Getränkeflaschen oder Paletten, als auch nachfüllbare Mutterverpackungen (Refill at home), Abfüllung in eigene Gefäße aus Großbinden (Refill on the go) oder wiederverwendbare Transportverpackungen, die zu Hause abgeholt werden (Return from home). 3) Bei den **Recyclingverfahren** dominiert derzeit das **werkstoffliche Recycling**. Werkstoffliches Recycling bietet ein hohes Potenzial für die Wiederverwertung von Verpackungsmaterialien. Jedoch sind physikalisch komplett geschlossene Materialkreisläufe für immer gleiche Anwendungen allein durch werkstoffliches Recycling aufgrund verschiedenster physikalisch-technischer Gegebenheiten nicht möglich. Auch in einer Circular Economy für Kunststoffverpackungen müssen daher Material- und Qualitätsverluste durch Kunststoffe mit Neuqualität ausgeglichen werden. **Chemisch** rezyklierte Kunststoffe¹⁴⁷ und **biobasierte Kunststoffe** sind dann bessere Lösungen als fossile Neuware, wenn sie entsprechende ökologische Vorteile gegenüber fossiler Neuware mit sich bringen. Ein **ökologisch optimaler und technisch sinnvoller defossilierter Materialmix**¹⁴⁸ hängt dabei von den Qualitätsanforderungen und der ökologischen Gesamtbetrachtung ab. An Alternativen zu bestehenden Recyclingverfahren und nicht fossilen Quellen sollte deshalb auch in Deutschland intensiv geforscht werden.

Soziotechnische Perspektive

▪ Politische Rahmenbedingungen:

- ▶ **Ökonomische Anreize** können nicht kreislaufkonformes Agieren verteuern beziehungsweise besondere Bemühungen für Kreislauffähigkeit unterstützen. Da Erdöl so günstig ist, dass Rezyklat preislich nicht mit Neuware konkurrieren kann, sind regulatorische Eingriffe notwendig. Dies kann an verschiedenen Stellen in der Wertschöpfungskette geschehen: zum einen im Produktdesign durch das im Paragraphen 21 des Verpackungsgesetzes (VerpackG) bereits angelegte Bonussystem für die ökologische Gestaltung von Verpackungen. Hier muss aller-

dings nachjustiert werden, um Belohnungssysteme ziel führend und konsistent an ökologischen Vorteilen unter Betrachtung des Gesamtsystems Verpackung auszurichten. Damit das Instrument in der Praxis trotz des Wettbewerbs der Dualen Systeme genutzt werden kann, bedarf es schnellstmöglich eines Finanzierungsmechanismus beziehungsweise entsprechender Regeln. Zum anderen würde eine allgemeine, ambitionierte CO₂-Abgabe zu einer Verteuerung von fossiler Neuware führen und somit Anreize für den sinnvollen Einsatz von Rezyklat¹⁴⁹ setzen sowie zur Optimierung von Recyclingtechnologien bezüglich ihres CO₂-Fußabdrucks motivieren.

- ▶ An verschiedenen Stellen in der Wertschöpfungskette bedarf es zudem **ordnungsrechtlicher Instrumente** zur Unterstützung marktbasierter Instrumente. So kann ein EU-weiter Mindeststandard zu einer Harmonisierung von Verpackungsmaterialien, deren Komponenten sowie Hilfs- und Zusatzstoffen beitragen. Eine solche Harmonisierung und Reduktion der Vielzahl unterschiedlicher Verpackungsmaterialien würde die spätere Sortierung erleichtern und die Rezyklatqualität erhöhen. Um Unternehmen die Realisierung von Circular-Economy-Potenzialen zu erleichtern, wäre es zudem hilfreich, wenn rechtliche Anforderungen, die das Produkt und dessen Verpackung betreffen, EU-weit harmonisiert würden, beispielsweise Produkt(schutz)- und Abfallrecht.

Um die Qualität von Rezyklat zu erhöhen, muss der Fokus im Recycling künftig neben der Verbesserung des Input-Stroms in die Recyclingsysteme auch auf der Qualität des Outputs liegen, das heißt, Recyclingquoten sollten an Qualitäten gekoppelt werden. Zudem ist zu prüfen, inwiefern eine Ausweitung der Pfandpflicht auf weitere Produktgruppen sinnvoll ist, deren Verpackungen relevante recycelfähige Massenströme produzieren. Zur Förderung von Rezyklateinsatz sollten EU-weit geltende Sicherheitsanforderungen und -standards für Rezyklate festgelegt werden. Letztlich kann eine schrittweise Einführung eines festgelegten Mindestanteils für den Einsatz von Post-Consumer-Recycling-Kunststoffen¹⁵⁰ in Produkten dabei helfen, die Nachfrage nach Rezyklaten im

147 | Unter dem Begriff „Chemisches Recycling“ werden eine Vielzahl von Recyclingverfahren zusammengefasst. Die Arbeitsgruppe Verpackung definiert den Begriff wie folgt: Chemisches Recycling ist die Gesamtheit von Verfahren, die einerseits mehr als nur werkstoffliche oder physikalische Vorgänge zur Aufbereitung des Ausgangsstoffs nutzen, die aber andererseits nicht zur vollständigen chemischen Umsetzung (Verbrennung) mit Luftsauerstoff führen. Eine ausführliche Übersicht und Erklärung der verschiedenen Verfahren findet sich im Bericht der Arbeitsgruppe Verpackung.

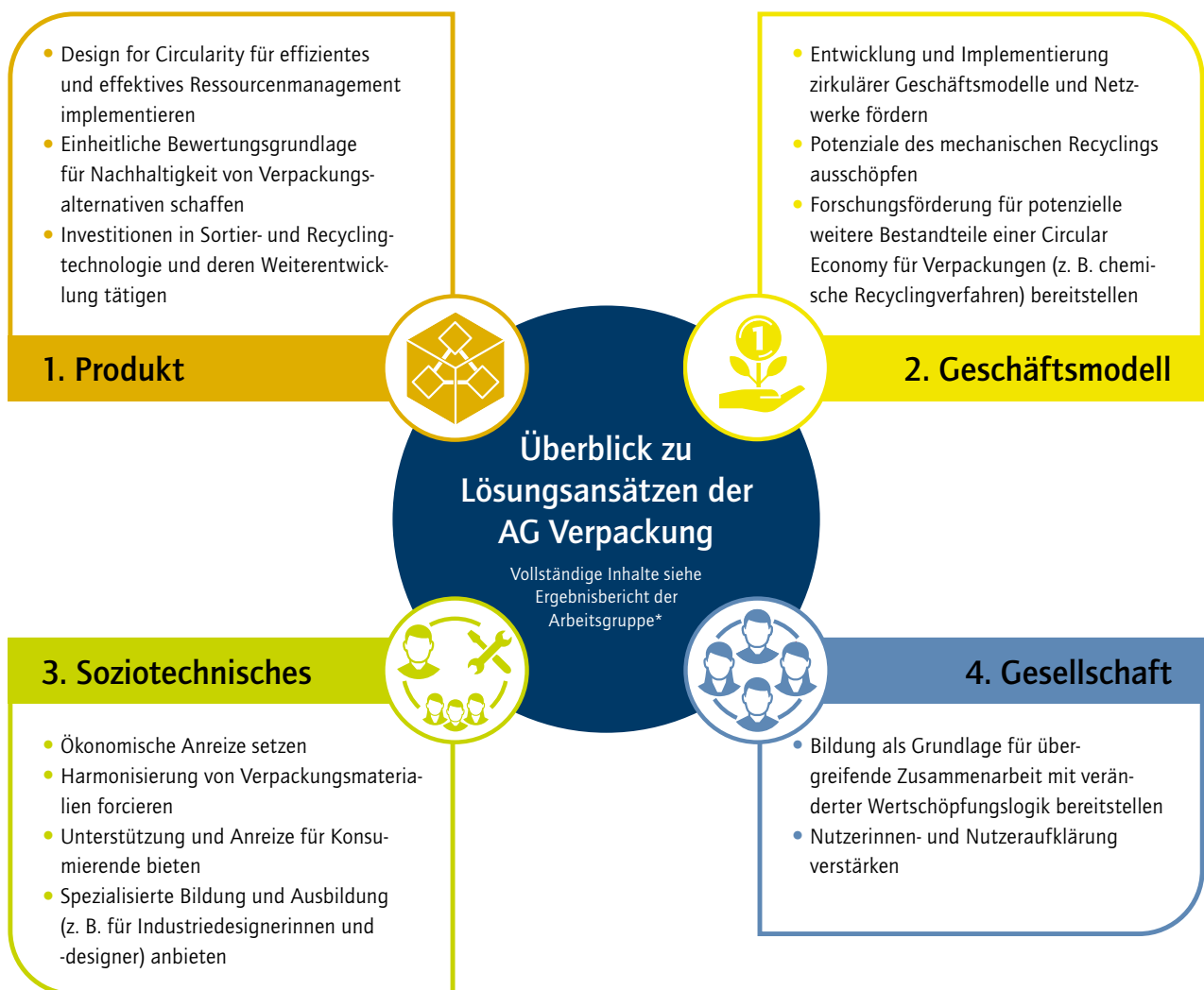
148 | Der Begriff „defossiliertes Material“ wird in diesem Bericht als Sammelbegriff für biobasiertes Neumaterial sowie mechanisches und chemisches Rezyklat genutzt. Er meint also alle Materialalternativen zu erdölbasiertem Neumaterial. Trotz der Energieaufwände bezüglich der Konversion, für die derzeit fossile Energieträger genutzt werden, wurde diese Bezeichnung im Hinblick darauf gewählt, dass mit Erreichen der Treibhausgasneutralität im Jahr 2050 die Stromversorgung zu 100 Prozent aus erneuerbaren Quellen gedeckt werden müsste.

149 | Siehe Glossar.

150 | Siehe Glossar.

erforderlichen Umfang anzukurbeln. Gleichzeitig muss sichergestellt sein, dass die notwendigen Qualitäten und Mengen ausreichend zur Verfügung stehen und dass eine solche Regelung bestehende lebensmittelgeeignete Kreislaufsysteme durch die Entnahme von Rezyklat für andere Verpackungen nicht schwächt. Neben der Verbesserung des Recyclingkreislaufs können ordnungsrechtliche Instrumente auch zur Vermeidung von Verpackungen und Verpackungsabfällen beitragen, beispielsweise durch verbindliche Mehrwegquoten für weitere – über den Getränkebereich hinausgehende – Lebensmittel-, Transport- und Versandverpackungen, wenn hierfür ökologisch vorteilhafte Systeme konzipiert wurden.

- ▶ Auch **Informationsinstrumente** sind ein wichtiger Pfeiler der Transformation. Zum einen sollte eine allgemein anerkannte Entscheidungshilfe zur Bestimmung der ökologisch besten Verpackungsalternative geschaffen werden. Darauf aufbauend können Informationskampagnen die Nachfrage von Nutzerinnen und Nutzern erhöhen, beispielsweise durch ein geeignetes Label. Außerdem wird während des Zeitraums der Transformation der chemischen Prozesse in der Kunststoffindustrie von rein fossilen Rohstoffen zu ausschließlich nicht fossilen Rohstoffen über sicher mehr als eine Dekade ein zertifiziertes Massenbilanzverfahren benötigt, das festlegt, wie die Menge des eingegangenen defossilisierten Materials den Endprodukten zugeordnet werden kann und welche Teilmengen als „recycelt“ vermarktet werden dürfen.



* Circular Economy Initiative Deutschland 2021: *Kunststoffverpackungen im geschlossenen Kreislauf: Potenziale, Bedingungen, Herausforderungen*, München/London: acatech/SYSTEMIQ 2021.

Abbildung 17: Übersicht zu den Lösungsansätzen der Arbeitsgruppe Verpackung (Quelle: eigene Darstellung)

- **Technische Entwicklung:** Im Fokus der technischen Entwicklung für Verpackungen stehen vor allem **Prozessinnovationen**. Für ein qualitatives werkstoffliches Recycling sollte bereits im Sortierprozess Überfüllung vermieden und eine gleichmäßige Stoffstromführung erreicht werden, damit die Sortierqualität steigt. Außerdem kann durch die Integration mehrstufiger Sortierprozesse der technische Wirkungsgrad von modernen Sortieranlagen weiter gesteigert werden. Außerdem können ein Nachrüsten bei Sortier- und Waschtechnologien sowie die Einführung von Verfahren zum Deinking oder zur Delaminierung (auch bei getrennter Sammlung) erheblich zur Dekontamination beitragen und damit die Qualität sowie das Wertstoffausbringen des Rezyklats steigern. Eine Nachsortierung des Restmülls würde die Materialmengen erhöhen, die einem Recyclingprozess zugeführt werden können. Dieses Prinzip kann dort sinnvoll sein, wo die separate Erfassung von Verpackungen problematisch ist. Eine weitere technische Möglichkeit, um die Qualität der Sortierung der Abfallströme zu erhöhen, ist der Einsatz von (Digital-)Markersystemen. Diese befinden sich jedoch noch in der Entwicklungsphase. Für ihre Etablierung am Markt ist ein Zusammenspiel der Akteure in der Produktion und im Recycling nötig: Der Produzent muss die Marker einsetzen und der Recycler entsprechende Sortiermechanismen bei sich installieren. Es gibt jedoch auch vielversprechende Forschungsergebnisse für moderne Sortiertechnologien ohne Marker, wie beispielsweise KI-basierte Technologien. Mit Blick auf die Entwicklung von Recyclingtechnologien gilt es, besser zu verstehen, ob, wofür und in welchen Kapazitäten chemisches Rezyklat und biobasierte Neuware notwendig sind und wie ein ökologisch optimaler und technisch sinnvoller defossiliertes Materialmix aussieht. Zudem ist weitere Forschung notwendig, um die CO₂-Fußabdrücke aller Recyclingtechnologien zu minimieren. Ferner besteht weiterer Forschungsbedarf, um aus biologischen Abfallstoffströmen biobasierte Neuware zu gewinnen.
 - **Wertschöpfungsnetzwerke:**

 - ▶ Zusammenarbeit ist sowohl über Stakeholdergruppen hinweg als auch innerhalb der Wertschöpfungskette wichtig. Es muss eine gemeinsame, einheitliche Stoßrichtung und **Zielsetzung** entwickelt werden, um entsprechende Weichen zu stellen und Sicherheit für Investitionen zu schaffen.
 - ▶ Für die Umsetzung zirkulärer Ansätze müssen der gesamte Produktlebenszyklus und auch damit verbundene Systeme in den Fokus genommen werden, um Wechselwirkungen mitzudenken und ganzheitlich zu optimieren.
- Dies kann nur gemeinschaftlich und im Dreiklang aus Politik, Industrie und Zivilgesellschaft gelingen.
- ▶ Für die Konzeption und Etablierung von ökologisch vorteilhaften Re-Use-Systemen bedarf es neuer Akteurskonstellationen. Da es dabei unter anderem um Änderungen in Geschäftsmodellen und um den Aufbau einer neuen Infrastruktur geht, ist ein solches neues System schwieriger zu etablieren als die Optimierung des Recyclingkreislaufs. Daher sind entsprechende Plattformen, Initiativen und Start-ups zu fördern, die versuchen, skalierbare Re-Use-Systeme zu erschaffen.
 - ▶ Auch für ein hochwertiges Recycling von Verpackungsmaterialien ist die Kooperation in der gesamten Wertschöpfungskette notwendig: Verpackungsdesign und Verwertungsinfrastruktur müssen zusammenpassen. Je standardisierter das Verpackungsdesign (Material, Hilfs- und Zusatzstoffe) ist, desto schlanker kann der Sortier- und Aufbereitungsprozess auch für die Generierung von hochwertigem Rezyklat sein. Hierbei ist neben der Kreislaufführung immer auch der Toxizitätsaspekt zu berücksichtigen. Daraus folgt: Je aufwendiger der Aufbereitungs- und Recyclingprozess gestaltet ist, desto teurer wird das Rezyklat. Diesen Kausalketten ist mitunter geschuldet, dass heute noch keine Sortier- und Recyclingkapazitäten existieren, um im großen Maßstab hochwertiges Rezyklat herzustellen. Recycler sehen sich für diese Investitionen beziehungsweise ihren Return on Invest nicht ausreichend abgesichert. Neben einer optimierten Verpackungsgestaltung ist der Ausbau einer Verwertungslandschaft jedoch erforderlich, um eine Circular Economy für Verpackungsmaterialien zu realisieren. Die Spannungsfelder verdeutlichen, dass die Etablierung eines geschlossenen Kreislaufs nur wertschöpfungskettenübergreifend erfolgen kann.
 - ▶ Es bedarf einer Unterstützung durch Kennzeichnung oder Anreizsysteme (zum Beispiel Pfandsysteme), und es sollten Hürden zur korrekten Entsorgung abgebaut werden. Dies kann durch die Standardisierung der Entsorgungssysteme über Landkreise hinweg, die vermehrte Bereitstellung von Abgabestationen sowie den Einsatz von intelligenten Mülltonnen oder eine digitale Kennzeichnung zur Verwertung in Sortieranlagen erreicht werden.

Gesellschaftliche Perspektive

- **Bildung und Forschung:** Um die **Grundlagen** für eine übergreifende Zusammenarbeit mit **veränderter Wertschöpfungslogik** zu schaffen, sind Bildungseinrichtungen – von

Schulen über Berufsschulen bis hin zu Universitäten – gefragt, entsprechende Lehrinhalte und Fähigkeiten zu vermitteln. Damit beispielsweise Design-for-Circularity-and-Sustainability-Aspekte nachhaltig berücksichtigt werden, müssen die Kerngedanken von Circular Economy in Lehrplänen verankert und entsprechende spezifische **Ausbildungsinhalte**, beispielsweise für angehende Industriedesignerinnen oder Materialentwickler, bereitgestellt werden.

4.3 Ergebnisse der Arbeitsgruppe Traktionsbatterien

In diesem Unterkapitel werden die Ergebnisse der Arbeitsgruppe Traktionsbatterien zusammengefasst.¹⁵¹ Ziel ist die Anwendung der in der Einleitung von Kapitel 4 vorgestellten Analysestruktur auf ein Produkt mit einem hohen Wert und einer langen Lebensdauer – in diesem Fall Traktionsbatterien. Diese Bottom-up-Logik ist der Grund dafür, dass die Darstellung des Lösungsansatzes in Kapitel 4.3.3 auf der Produktebene beginnt (siehe dazu auch Abbildung 18). Die detaillierten Ausführungen sowie genauen Quellenangaben sind dem Ergebnisbericht der Arbeitsgruppe Traktionsbatterien¹⁵² zu entnehmen.

4.3.1 Istzustand: Materialfußabdruck als Herausforderung der neuen, klimafreundlichen Mobilität

Der Verkehrssektor ist heute global für circa 24 Prozent aller CO₂-Emissionen verantwortlich, in Deutschland sind es 19 Prozent. Um die Pariser Klimaziele zu erreichen, ist die rechtzeitige Dekarbonisierung des Transportsektors unabdingbar. Dazu ist eine schnelle Skalierung der Anzahl batterieelektrischer Fahrzeuge für den Individualverkehr von zentraler Bedeutung. Das gesetzte Ziel Deutschlands – gemäß Szenarien der Nationalen Plattform Mobilität – ist, dass 2030 circa 7 bis 10 Millionen Elektrofahrzeuge in Deutschland fahren werden; batterieelektrische Fahrzeuge, also Fahrzeuge mit Traktionsbatterien, werden voraussichtlich langfristig die überwiegende Mehrheit des Pkw-Bestands ausmachen.

Durch dieses **zu erwartende rapide Wachstum** der Marktanteile von batteriebetriebenen und Plug-in-Hybrid-Fahrzeugen wird die **Jahresproduktion von Lithium-Ionen-(Traktions-)Batterien** im kommenden Jahrzehnt voraussichtlich stark ansteigen. Einerseits verspricht diese Marktexpansion weltweit große Potenziale für neue wirtschaftliche Wertschöpfung und Wohlstandssteigerung. Andererseits gilt es, von Anfang an die ökosozialen Herausforderungen, die hierdurch entstehen können – Umweltbelastungen, Herausforderungen der Arbeitssicherheit, Menschenrechtsverletzungen –, entlang der Lieferkette vom Abbau der Rohstoffe bis zum Recycling zu minimieren.

Derzeitige regulatorische Maßnahmen und Rahmenbedingungen (zum Beispiel niedrige, nicht nach Materialien differenzierte Rückgewinnungsquoten) sind nicht geeignet, um eine produktive Nutzung und effektive Kreislaufführung von wichtigen Batteriematerialien zu unterstützen – sie müssen neu justiert werden. Hierzu gehört, dass die nötigen Daten zur effizienten, sicheren und hochwertigen Weiternutzung und zum Recycling von Traktionsbatterien meist unvollständig vorliegen, Wertschöpfungsnetzwerke für zirkuläre Geschäftsmodelle einschließlich Nachnutzungsoptionen noch unzureichend entwickelt sind und die Regulatorik nicht genügend Anreize im Rahmen eines Level Playing Field setzt, um ein zirkuläres Management zu belohnen. Auch der umfassende Einsatz digitaler Technologien ist erforderlich, um ein zirkuläres Management von Traktionsbatterien einschließlich der notwendigen Datentransparenz zu ermöglichen: Ihr konsequenter Einsatz könnte die nachhaltige Herstellung der Batterien sicherstellen, ihre Lebensdauer, Instandsetzung und das Recycling optimieren sowie ressourcenproduktive Geschäftsmodelle und effiziente Regulierung ermöglichen. Der zum Zeitpunkt der Verfassung dieses Berichts Anfang 2021 diskutierte Entwurf der EU-Kommission¹⁵³ zur Überarbeitung der EU-Batterierichtlinie stellt hier einen vielversprechenden Ansatz dar; die Umsetzung der darin formulierten ambitionierten Ziele im Gesetz wäre wichtig, um die erhofften positiven Effekte zu realisieren. Die von der Arbeitsgruppe erarbeiteten Empfehlungen¹⁵⁴ beispielsweise zu individuellen Recyclingzielen für die Batterie-Schlüsselmetalle, zu Definitionen und Systemgrenzen und zur

151 | Die Arbeitsgruppe Traktionsbatterien der *Circular Economy Initiative Deutschland* hat ein gemeinsames Zielbild für die Circular Economy für Traktionsbatterien entwickelt. Dieses beschreibt entlang der fünf Dimensionen Regulatorik, Stoffströme, technische Entwicklung, Wertschöpfungsnetzwerke und innerbetriebliche Umsetzung, wie eine deutsche Circular Economy für Batterien im Jahr 2030 aussehen könnte. Durch die Arbeit an drei Pilotsteckbriefen konkretisiert die Arbeitsgruppe Traktionsbatterien Themen von zentraler Wichtigkeit und skizziert mögliche Schritte für die konkrete Umsetzung, um den Transformationsprozess zu beschleunigen. Durch die Entwicklung von Handlungsempfehlungen für Politik, Wirtschaft und Wissenschaft sowie deren zeitliche Priorisierung stellt die *Circular Economy Initiative Deutschland* eine Roadmap zur Erreichung des Zielbilds vor.

152 | Vgl. Circular Economy Initiative Deutschland 2020b.

153 | Vgl. Europäische Kommission 2020a.

154 | Vgl. Circular Economy Initiative Deutschland 2020b.

Schaffung leistungsstarker digitaler Dateninfrastrukturen etwa durch einen „Batteriepass“ sollten hierbei Anwendung finden.

4.3.2 Sollzustand: Lebenszyklus-Materialmanagement verhilft Elektromobilität zum umweltfreundlichen Durchbruch

Circular-Economy-Maßnahmen verbessern die Ökologie und Ökonomie von Elektrofahrzeugen weiter und können außerdem zusätzliche Mehrwerte wie Kosteneinsparung, Sicherung der Beschäftigung und Steigerung wirtschaftlicher Resilienz bewirken. Kreislaufschließung kann damit signifikant zur Erreichung der Pariser Klimaziele sowie zur Entkopplung der Ressourcennutzung von Wertschöpfung und menschlichem Wohlbefinden beitragen (siehe Kapitel 3.2 zum Zielbild einer Circular Economy). Für Traktionsbatterien umfasst eine Circular Economy insbesondere die produktivitätssteigernde Mehrfachnutzung, die Lebenszeitverlängerung (Reparatur und Instandsetzung) sowie ein effektives und effizientes Recycling mit dem Ziel der hochqualitativen Rückgewinnung aller wichtigen Batteriematerialien – unter Einhaltung hoher Standards hinsichtlich Umwelt- und Sozialeffekten.

Dabei ist Circular Economy kein Selbstzweck, sondern soll Verbesserungen anderer Nachhaltigkeitsziele unterstützen. Durch die Integration der Bedürfnisse verschiedener Interessengruppen und die Wertgenerierung durch Ressourcenschonung kann eine Circular Economy verschiedene Nachhaltigkeitsdimensionen gleichzeitig verbessern. Letztlich muss zur Erreichung der oben genannten Ziele Mobilität integrativ neu gedacht und die Rolle verschiedener Verkehrsträger kritisch beurteilt werden. Circular Economy bietet eine Gelegenheit hierzu: etwa durch das Augenmerk auf die Beschleunigung von Innovationszyklen und höhere Produktnutzungsintensität durch stärkere Produktauslastung, den Ausbau wissens- und arbeitskraftintensiver Arbeitsschritte in Wiederaufbereitung und Recycling und systemische Produktivitätsbesserungen durch Geschäftsmodelle für Mehrfach- und Weiternutzung der Batterien (Second-Life-Anwendungen).

Ergebnisse einer Modellrechnung, basierend auf von Fachleuten verifizierten Annahmen,¹⁵⁵ zeigen, dass insgesamt aus in Deutschland auf den Markt gebrachten Fahrzeugen bis zum Jahr 2030 8.100 Tonnen Lithium, 27.800 Tonnen Kobalt und 25.700 Tonnen Nickel zurückgewonnen werden. Für Lithium beispielsweise könnten so circa 13 Prozent des Bedarfs bis 2030 gedeckt werden. Bis zum Jahr 2050 könnten insgesamt 109.000 Tonnen Lithium, 180.000 Tonnen Kobalt und 576.000 Tonnen Nickel zurückgewonnen werden. Dies entspräche bei derzeitigen Roh-

stoffpreisen einem wirtschaftlichen Wert von 1,2 Milliarden Euro bis 2030 beziehungsweise 13,8 Milliarden Euro bis 2050. Die CO₂-Reduktion könnte sich so bis 2030 auf etwa 36 Millionen Tonnen belaufen. Durch Instandsetzung könnten bis 2050 sogar Einsparungen von circa 5,3 Milliarden Euro und 282 Petajoule Energiebedarf (das entspricht 31,4 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente) möglich sein; durch Second-Life-Anwendungen unter optimistischen Annahmen sind Einsparungen des kumulativen Energieaufwands (KEA) von 655 Petajoule (73 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente) möglich.

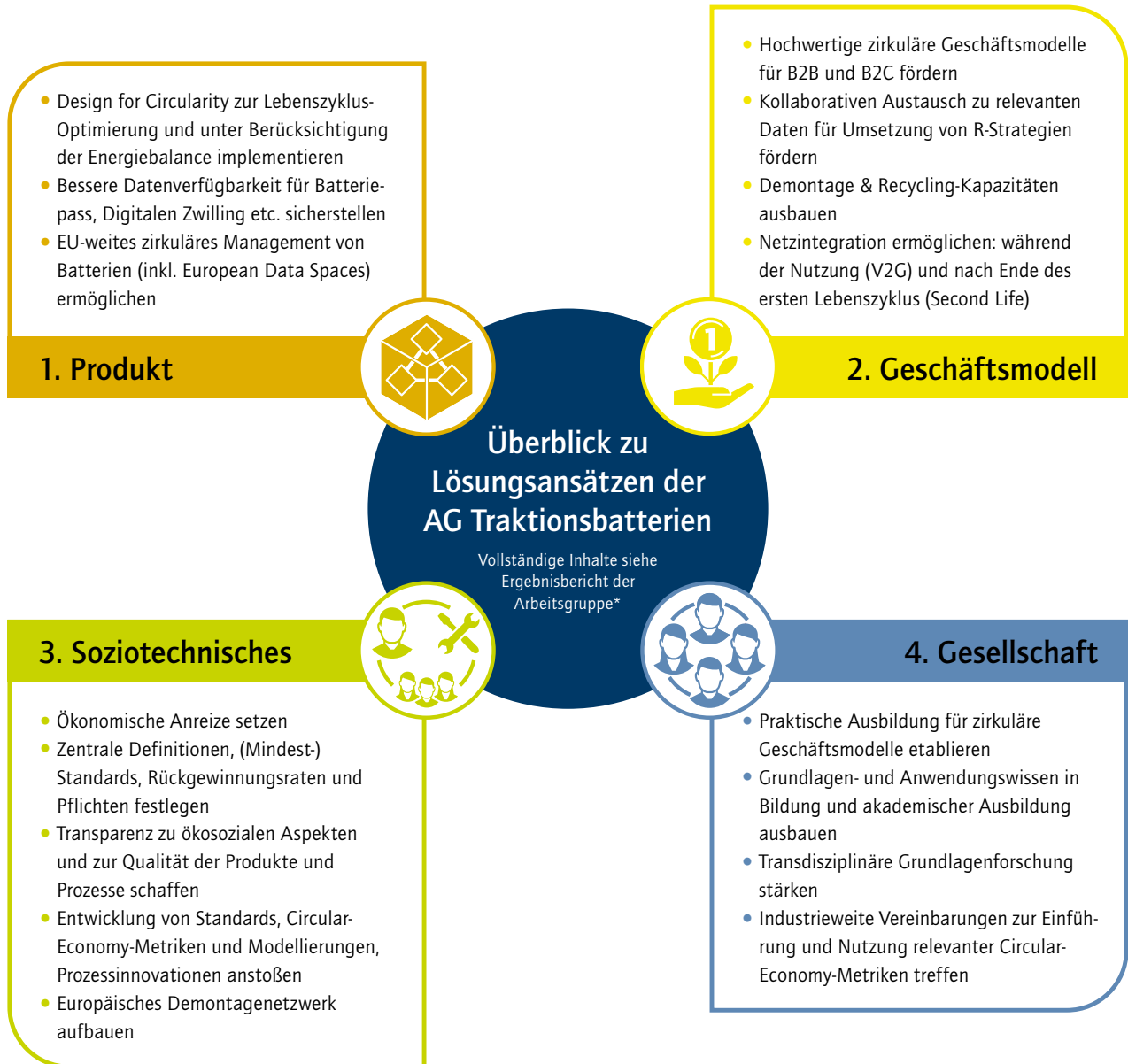
4.3.3 Lösungsansatz: datengetriebene Circular Economy maximiert die Produktivität von Batterien

Die Empfehlungen der Arbeitsgruppe, wie die Transformation zur Circular Economy für Traktionsbatterien erreicht werden kann, lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Produktperspektive

- **Hardware:** Es bedarf der Berücksichtigung sowohl konstruktiver (Design for Repair) als auch destruktiver (Design for Recycling) Designprinzipien und einer Überprüfung, welche Rolle eine größere Modularität dabei spielen kann. Dies umfasst sowohl das Design der Batteriegehäuse als auch eine batterieentnahmefreundliche Konstruktion der Fahrzeuge, um Logistik-, Reparatur- und Demontagerisiken und -kosten zu reduzieren. Hinzu kommt der Beitrag der Wissenschaft zur Optimierung von Materialzusammensetzungen, insbesondere auch im Hinblick auf erreichbare Materialreinheiten durch Recycling unter Berücksichtigung der systemischen Energiebalance. Perspektivisch sollte bei der Weiterentwicklung der Batterietechnologie hin zu Festkörperbatterien und anderen neuen Batteriegenerationen (zum Beispiel Lithium-Schwefel-Batterien) die Kreislaufführung der Materialien von Anfang an mitgedacht werden. So sollte bei der Batterieauslegung auch berücksichtigt werden, dass die Umweltbelastungen der eingesetzten Aktiv- und Passivmaterialien über den gesamten Lebenszyklus hinweg optimiert werden, von der Herstellung bis zum Recycling und erneuten Einsatz der Sekundärrohstoffe.
- **Software:** Standards zur Bereitstellung relevanter Daten müssen technisch ermöglicht und industrieweit vereinbart werden, damit ein effizientes zirkuläres Management gelingen kann. Sie sind beispielsweise notwendig, um den Zustand

155 | Für die zugrunde liegenden Annahmen siehe den Bericht der Arbeitsgruppe Traktionsbatterien; aufgrund der signifikanten Unsicherheiten bezüglich der prognostizierten Entwicklung von Technologien und Märkten sind die Werte jedoch nur als indikativ zu betrachten.



* Circular Economy Initiative Deutschland 2020: *Ressourcenschonende Batteriekreisläufe – mit Circular Economy die Elektromobilität antreiben*, München/London: acatech/SYSTEMIQ 2020.

Abbildung 18: Überblick zu den Lösungsansätzen der Arbeitsgruppe Traktionsbatterien (Quelle: eigene Darstellung)

und die Verortung der Batterie effizient zu ermitteln. Material- beziehungsweise Produktpässe („Battery Passport“) sind als Lösung hierfür besonders hervorzuheben. Diese sollen in Zukunft Informationen über Herkunft, Haltbarkeit, Zusammensetzung, Wiederverwendung, Reparatur- und Demontagemöglichkeiten von Material (Materialpass) beziehungsweise Produkten (Produktpass) sowie Nutzungsdaten/SoH

speichern und bereitstellen und damit die Verortung und Handhabung am Ende der Lebensdauer ermöglichen. Die Einbettung in die geplanten European Data Spaces ist von Bedeutung, um die Nutzung der Daten durch die öffentliche Hand und industrieweit zu ermöglichen. Die spezifischen Daten gilt es zu definieren – unter anderem in Abstimmung mit regulatorischen Anforderungen. Der

Gesetzgeber hat hierfür durch entsprechende Regulierungen den Rahmen zu setzen (siehe hierzu insbesondere Pilotprojekt I der Arbeitsgruppe Traktionsbatterien im entsprechenden Ergebnisbericht).¹⁵⁶

Geschäftsmodellperspektive

- **Akteure:** Zirkuläres Produkt- und Materialmanagement von Traktionsbatterien hängt von einer Vielzahl von Akteuren wie Zulieferern, Logistikern, Fahrzeugherstellern, Nutzerinnen und Nutzern, Reparatur- und Recyclingbetrieben sowie Betreibern stationärer Speicher ab. Um generierte Daten und Informationen effektiv zu nutzen, müssen wirtschaftliche Akteure diese bereitstellen und einen **kollaborativen Austausch** fördern. Dafür bedarf es Anreize für die jeweiligen Stakeholder-Gruppen, die sie in Abhängigkeit ihrer Interessen und Geschäftsmodelle zur Teilnahme motivieren. Geschäftsentscheidungen sollten zunehmend unter Berücksichtigung systemischer ökonomischer Effizienz sowie Ressourcen- und Energieeffizienz (Entropiezuwachs/verbleibende Exergie) getroffen werden. Dabei werden längerfristig orientierte Serviceansätze an Bedeutung gewinnen.
- **Circular-Economy-Strategien: Rücklauf und Demontage:** Die flächendeckende Anwendung digitaler Technologien zur Verortung von Traktionsbatterien zu Entscheidungspunkten (Eigentümerwechsel), insbesondere zum End-of-Life (EoL), und die Expansion notwendiger Demontage- und Logistikkapazitäten sind zu erreichen. **Reparatur und Instandsetzung** beziehungsweise die Ertüchtigung von Batterien können ihre Lebenszeit verlängern. Die Wiedernutzung von Traktionsbatterien in einem **Second Life**, nach Ende ihres ersten nützlichen „Lebens“ in anderen, weniger anspruchsvollen Anwendungen (zum Beispiel stationäre Stromspeicher), gegebenenfalls nach ihrer Wiederaufbereitung, könnte unter Umständen – bei Schaffung geeigneter Strukturen – signifikante Potenziale eröffnen. Die möglichst vollständige Erfassung von Altbatterien und die Überführung für die Nutzung in Second-Life- oder Recycling-geeignete professionelle Strukturen müssen sichergestellt sein. Prozesse für Rücknahme, Prüfung und Bereitstellung für Second-Life-Anwendungen oder Recycling könnten beispielsweise durch Extended-Producer-Responsibility-Systeme (EPR-Systeme) verbindlich

durchgeführt werden. Letztlich müssen alle Batterien am Ende ihrer Lebenszeit – und selbstverständlich auch Produktionsausschüsse – **hochwertig recycelt** werden.

- **Serviceniveau:** Es gibt eine Reihe potenzieller B2B/B2C-Geschäftsmodelle, die die Rückführung, Weiternutzung und Verwertung inklusive Recycling von Batterien verbessern können, zum Beispiel **Pfandmodelle** (B2C) oder **Leasingmodelle** (B2B). Nicht im Fokus der Arbeitsgruppe, aber ebenfalls von potenzieller signifikanter Bedeutung sind **Ride- und Carsharingkonzepte** von (Elektro-)Fahrzeugen, die die Produktivität der eingesetzten Traktionsbatterien steigern, indem eine höhere Fahrzeugauslastung erreicht wird (mehr Personenkilometer pro Kilowattstunde Kapazität). **Smart Charging, Vehicle-to-Grid und Vehicle-to-X (V1G/V2G/V2X)** sind die potenziell größten Hebel zur Produktivitätssteigerung durch zusätzliche Umsatzgenerierung über verschiedene Netzdienste, höhere Produktauslastung und Kosteneinsparungen im Ausbau der Netzinfrastruktur.

Soziotechnische Perspektive

- **Politische Rahmenbedingungen:** Hinsichtlich **ökonomischer Anreize** wurde die Bedeutung der Implementierung angemessener und effektiver Anreize, wie zum Beispiel Pfandsysteme¹⁵⁷ zur Erreichung höherer Produktrückläufe, hervorgehoben. Darüber hinaus ist die Anwendung weitergehender ökonomischer Anreizsysteme hinsichtlich des Erreichens/Verfehlens von Recyclingzielen (beispielsweise Bonus-/Malus-Systeme) zu erwägen. Hierbei ist die Balance zwischen Effektivität und Effizienz zu wahren. Zu den erwähnten **ordnungsrechtlichen Instrumenten** gehören die Festlegung zentraler Definitionen (zum Beispiel rechtliche Definitionen von Fahrzeugbatterien, Standardisierung der Berechnung von CO₂-Fußabdrücken und Recyclingraten) und Mindeststandards (zum Beispiel Wahrung des Datenschutzes, Arbeitsschutz, verbindliche Rückgewinnungsraten). Die Mitglieder der Arbeitsgruppe Traktionsbatterien empfehlen ambitionierte, jedoch in der Praxis realistisch umsetzbare Rückgewinnungsraten.¹⁵⁸ Basis für diese Empfehlungen bilden die im Ergebnisbericht Traktionsbatterien spezifizierten Definitionen, Systemgrenzen und Erläuterungen. Damit Second-Life-Anwendungen möglich gemacht werden können,

156 | Vgl. Circular Economy Initiative Deutschland 2020b.

157 | Angesichts der sehr langen Lebensdauer von Traktionsbatterien und des mehrfachen Eigentümerwechsels ist eine direkte Vergleichbarkeit und Übertragbarkeit des Pfandinstrumentariums aus Sektoren mit kurzlebigen Produkten (etwa dem Verpackungssektor) nicht gegeben. Pfandsysteme für Traktionsbatterien könnten eine Steigerung des Fahrzeugpreises bedeuten, was Kaufentscheidungen zulasten der Elektromobilität negativ beeinflussen könnte. Um eine unangemessene preisliche Mehrbelastung von Elektrofahrzeugen zu vermeiden, gilt es, Effekte beziehungsweise Ausgestaltungsmöglichkeiten eines Pfandsystems auf Traktionsbatterien mit Blick auf die gewünschten Rücklaufquoten und den Markthochlauf der Elektromobilität sachlich zu prüfen.

158 | Vgl. Tabelle 2 in Circular Economy Initiative Deutschland 2020b.



ist der Haftungsübergang (EPR, Schadens- und Produkthaftung) zwischen Erstproduzenten und möglichen Second-Life-Verkäufern einheitlich zu klären und eine angemessene Anreizsetzung sicherzustellen.

Hinzu kommen Definitionen von Berichtspflichten (zum Beispiel zu Herkunft, Umwelteffekten sowie Auswirkungen auf die Menschenrechte bei den verwendeten Batteriematerialien und -stoffen, sicherheitsrelevanten Daten und Verbleib der Batterien am Lebensende) und die Klarstellung von Haftungs- und Gewährleistungsregeln sowie Rückgabe- und Rücknahmepflichten.

Um ein sogenanntes Level Playing Field zu schaffen, wird zur Harmonisierung nationaler und transnationaler Regulatorik geraten (insbesondere auf EU-Ebene). Nicht zuletzt ist die Harmonisierung batterierelevanter Regulatorik mit angelehnter Gesetzgebung, etwa der Energiemarkt-, Infrastruktur-, Produkt- und Mobilitätsregulierung, unter Berücksichtigung von Lebenszykluseffekten wichtig.

Informationsinstrumente können dabei helfen, die Transparenz für Konsumierende zu erhöhen, zum Beispiel durch die Einführung von Labels zur ökosozialen Leistung der Batterie oder durch die Schaffung von Zertifizierungsmöglichkeiten für hochqualitative Produkte und Prozesse. Eine weitere Maßnahme ist der Wissenstransfer im Rahmen internationaler Kooperation und Entwicklungszusammenarbeit, um Circular Economy für Traktionsbatterien auch in weniger weit entwickelten Ökonomien zu fördern.

- **Technische Entwicklung:** Um transparente Stoffströme zu ermöglichen, bedarf es der **Entwicklung von Datenplattformen und -standards**, insbesondere auch für die Speicherung der Daten während der Nutzungsphase. Durch die kollaborative Initiierung **freiwilliger (Mindest-)Standards** (zum Beispiel Design for Circularity) kann die Industrie synergetische Potenziale auf verschiedenen Ebenen ausschöpfen. Hier können sowohl einzelne Akteure als auch Industrieverbände und Standardisierungsvereinigungen tätig werden.

Außerdem sind **Prozessinnovationen** von Bedeutung. Dazu zählen die Entwicklung automatisierter Demontagesysteme, die Bereitstellung effizienter und zuverlässiger Tests hinsichtlich der Second-Life-Eignung von Batterien, die Entwicklung sicherer Entladetechnologien, die Optimierung bestehender und die Entwicklung neuer Recyclingverfahren mit Fokus auf effizienten Recyclingketten sowie der Aufbau robuster Materialsyntheseprozesse.

Außerdem kommt der **Entwicklung von Circular-Economy-relevanten Modellierungen, Simulationen und Tools** eine

zentrale Bedeutung zu. Die stärkere Nutzung von Simulationen und Big-Data-Analysen zur Verbesserung der Entscheidungsfindung wird empfohlen: Daher wurde eine modellbasierte Entscheidungsplattform (siehe Pilotsteckbrief II¹⁵⁹ im Ergebnisbericht Traktionsbatterien) konzeptioniert, um zur optimierten Entscheidungsfindung (Second Life oder verschiedene Recyclingrouten) für die Behandlung von gebrauchten Traktionsbatterien beizutragen. Außerdem bedarf es der Entwicklung akzeptierter Messgrößen etwa zur Bestimmung der Zirkularität, des CO₂-Fußabdrucks sowie der Material- und Energieeffizienz. Nicht zuletzt ist auch noch weitere Forschung und empirische Erfahrung nötig, um das tatsächliche Potenzial von Second-Life-Batterien wie auch Vehicle-to-X-Anwendungen verlässlich abschätzen und lösungsnah weiterentwickeln zu können.

- **Wertschöpfungsnetzwerke:** Zielgerichtete Wirtschafts- und Wissenschaftsförderung der Circular Economy wird empfohlen, insbesondere zur Sicherstellung des erforderlichen Wissensaufbaus vor allem in kleinen und mittelständischen Unternehmen. Durch die kollaborative Initiierung gemeinsamer (Mindest-)Standards und ein systemisches Design for Circularity kann die Industrie synergetische Potenziale auf verschiedenen Wirkungsebenen ausschöpfen.

Der **Aufbau eines europaweiten Netzwerks von leistungsfähigen Demontageanlagen** für Traktionsbatterien ist essenziell für den Erfolg der gesamten Wiederverwendungskette. Erfolgskritisch für die Implementierung ist es, Investitionsentscheidungen für neue Demontageanlagen auf einer validen Datengrundlage zu treffen, um die Recyclinginfrastruktur passgenau zu verbessern und im europäischen Maßstab skalierbar zu machen. Die Rahmenbedingungen für die Entwicklung des Demontagenetzwerks für Traktionsbatterien waren Inhalt des Pilotsteckbriefs III im Ergebnisbericht Traktionsbatterien.¹⁶⁰ Neben dem Aufbau eines solchen Netzwerks ist außerdem der **Ausbau von Ladeinfrastruktur** und Mobilitätssystemen notwendig, damit Vehicle-to-X(V2X)- sowie Car- und Ridesharingkonzepte für die maximal produktive Nutzung der Traktionsbatterien während ihres ersten Lebens ermöglicht werden können.

Um Investitionen in Entwicklung, Kommerzialisierung und Skalierung erforderlicher Technologien und Geschäftsmodelle zu fördern, bedarf es der **Beteiligung öffentlicher Finanzierungsmöglichkeiten, internationaler Kapitalmärkte und Querfinanzierung** durch Anreizsysteme (zum Beispiel Pfandsysteme).

159 | Vgl. Circular Economy Initiative Deutschland 2020b.

160 | Vgl. ebd.

Gesellschaftliche Perspektive

- **Bildung und Forschung:** Der Aufbau von fundiertem **Grundlagen- und Anwendungswissen** durch Integration in relevante Studiengänge, zum Beispiel Vorlesungen zu Circular Economy, Circular-Economy-bezogene Masterstudiengänge und Studiengangvertiefungen, ist wichtig, um Circular Economy in der Gesellschaft zu verankern.

Dazu gehören auch die Bildung der Bevölkerung und des Fachpersonals zu Grundprinzipien der Circular Economy (etwa zu den Themen Ressourcenschonung und Klimaschutz, mit dem Ziel, das Nutzungsverhalten und die Akzeptanz gegenüber anderen Produkt- beziehungsweise Geschäftsmodellen sowie volks- und betriebswirtschaftlichen Qualifikationen zu verändern) sowie die Weiterentwicklung und Öffnung von Ausbildungsberufen (zum Beispiel Produktionstechnologie) für die Circular Economy. Letztlich bedarf es auch der verstärkten **transdisziplinären Grundlagenforschung** und institutionellen Einbettung, zum Beispiel durch die Einrichtung von Professuren/Lehrstühlen.

- **Technische Entwicklung:** Es sind industrieweite Vereinbarungen zu treffen, die spezifizieren, **durch welche betrieblichen und volkswirtschaftlichen Indikatoren Zirkularität** gemessen werden kann und wie sich diese Indikatoren zueinander verhalten.

4.4 Zusammenfassung und Gegenüberstellung der Funktionssysteme Verpackungen und Traktionsbatterien

In diesem Unterkapitel werden die Ergebnisse der Arbeitsgruppen Verpackung und Traktionsbatterien miteinander verglichen und einander gegenübergestellt. Das Ziel ist es, verallgemeinerbare Erkenntnisse für systemisch zirkuläres Material- und Produktmanagement über diese Funktionssysteme hinaus abzuleiten. Tabelle 2 fasst die Ergebnisse der Arbeitsgruppen Verpackung und Traktionsbatterien aus den Kapiteln 4.2 und 4.3 zusammen und vergleicht diese.



Verpackungen (niedriger Wert, kurze Lebensdauer)	Traktionsbatterien (hoher Wert, kurze Lebensdauer)	Gegenüberstellung und Synthese
Produktperspektive		
<ul style="list-style-type: none"> • Reduce: Vermeidung (höhere Materialeffizienz; Weglassen). In dem Zielkonflikt zwischen Materialverbrauch und Recyclingfähigkeit sollte immer dann die weniger effiziente, aber besser recyclingfähige Verpackung präferiert werden, wenn damit eine höhere Effizienz auf Systemebene der Stoffkreisläufe erreicht werden kann. • Substitution durch andere (erneuerbare) Materialien, Rezyklate oder biobasierte Kunststoffe 	<ul style="list-style-type: none"> • Potenzial von Batterien für höherwertige Mehrfach-, Zusatz- und Nachnutzung • Design, um Reparatur, Instandsetzung, Ertüchtigung und Recycling zu erleichtern • Weiterentwicklung der Batterietechnologie zwecks Substitution kritischer oder bedenklicher Materialien lediglich als potenzieller zukünftiger Hebel 	<ul style="list-style-type: none"> • Gemeinsamkeit: Schon beim Produktdesign muss das optimale Recycling berücksichtigt werden, um eine möglichst hohe Ausbeute und hochwertige Rezyklate zu erreichen • Unterschied: mehr End-of-Life-Optionen bei Traktionsbatterien, da diese komplexere Produkte darstellen (Reparatur, Disassembly, Maßnahmen zur Produktivitätssteigerung und Sektorkopplung möglich (zum Beispiel Smart Charging)) • Unterschied: Begrenzte Reduce- und Substitutionsmöglichkeiten bei Traktionsbatterien, durch Hochleistungsauslegung • Unterschied: Non-Toxizität bei Batterien nur langfristig möglich aufgrund Leistungsanforderung • Unterschied: Substitution einfacher bei Verpackungen, allerdings Potenzial bei Traktionsbatterien durch technologische Weiterentwicklung
<ul style="list-style-type: none"> • Markersysteme, wie digitale Wasserzeichen auf der Verpackung, stellen Informationen zur Verfügung (zum Beispiel Materialzusammensetzung, Art der Verpackung) 	<ul style="list-style-type: none"> • Produkt- und Materialpässe sind für sichere und produktive Handhabung sowie Analytik zur Bestimmung von Zustand und Restwert notwendig; Benötigte Daten: State-of-Health, Zustands- und Sicherheitsinformationen, Demontageanleitung, Verortung und Verwertungsstatus 	<ul style="list-style-type: none"> • Gemeinsamkeit: Erhebung und Speicherung von Produktinformationen in beiden Fällen essenziell, um Kreislaufführung zu gewährleisten • Unterschied: Umfang an gesammelten Daten bei komplexen Produkten sehr viel höher, da Produkte und Entscheidungsfindung nach dem ersten Lebenszyklus sehr viel komplexer sind und Datenverfügbarkeit akut sicherheitsrelevant (bei Verpackungen hingegen unter Umständen relevant bezüglich Humantoxizität)
<p>Synthese: Mit steigender Komplexität, Wertigkeit und Lebensdauer von Produkten nimmt die Bedeutung von produktbezogenen Zustandsinformationen und Analytik zu, da diese neben sicherer Handhabung auch lebenszeit- und produktivitätssteigernde Maßnahmen ermöglichen. Gleichzeitig werden gegebenenfalls das Potenzial für Materialsubstitution und die Möglichkeit der Reduktion von Toxizität aufgrund komplexerer technischer Anforderungen an die enthaltenen Materialien eingeschränkt. Eine Herausforderung bei geringerwertigen Produkten stellen geringe Differenzierbarkeit und damit einhergehende kleine Margen dar, die den finanziellen Spielraum für Circular-Economy-Maßnahmen stark begrenzen.</p> <p>Maßnahmen sollten sich für höherwertige, langlebige Produkte daher insbesondere auf digitale Datenerhebung und -analytik bezüglich des Produktzustands, sicherheitsrelevante Maßnahmen und Erzeugung in geeigneten Ökosystemen für produktive Weiternutzung konzentrieren. Für geringerwertige, kurzlebige Produkte lässt sich dagegen die Veränderung der genutzten Materialien oder die Vermeidung der Produktnutzung an sich anpeilen.</p>		
Geschäftsmodellperspektive		
<ul style="list-style-type: none"> • Das Verhalten von Nutzerinnen und Nutzern spielt eine große Rolle. Deren Aktivierung ist wichtig, um Quantität und Qualität der Wertstoffströme sicherzustellen. • Eine stärkere Zusammenarbeit innerhalb der Wertschöpfungskette über den gesamten Produktlebenszyklus ist notwendig (zum Beispiel Materialwahl, Gestaltung der Verpackung). 	<ul style="list-style-type: none"> • Die Nutzung von Daten und Informationen aus den Batterielebenszyklen ist von zentraler Bedeutung für die Umsetzung unternehmens- und lieferkettenübergreifender Zusammenarbeit. • Kollaborative Entscheidungsfindung für die Behandlung von gebrauchten Traktionsbatterien (zum Beispiel durch Entscheidungsunterstützung, Anreizsetzung für Akteure) 	<ul style="list-style-type: none"> • Gemeinsamkeit: in beiden Fällen Fokus auf kollaborativer Wertschöpfung • Unterschied: hoher Rücklauf und Einsammlung leichter bei Traktionsbatterien aufgrund Größe, Materialwert und Gefährdungspotenzial; gleichzeitig höhere Kosten und Risiken

Verpackungen (niedriger Wert, kurze Lebensdauer)	Traktionsbatterien (hoher Wert, kurze Lebensdauer)	Gegenüberstellung und Synthese
<ul style="list-style-type: none"> • Wiederverwendung: Es gibt verschiedene Modelle, um Re-Use zu ermöglichen (Refill on the go, Refill at home, Return on the go, Return from home). • Recycling: Potenziale von mechanischem Recycling ausschöpfen und die Etablierung von CO₂-einsparendem chemischen Recycling und biobasierter Rohstoffgewinnung fördern, um qualitative defossilierte Materialien zu erhalten. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reparatur, Instandsetzung, Ertüchtigung: kann Lebenszeit verlängern • Second Life: Wiedernutzung von Traktionsbatterien in einer weniger anspruchsvollen Anwendung (zum Beispiel stationäre Stromspeicher) • Recycling: weitere Prozessinnovation nötig aufgrund Größe, Komplexität, Energieinhalt und Toxizität von Batterien 	<ul style="list-style-type: none"> • Mehr Optionen zur produktiven und Weiternutzung von Batterien aufgrund von Langlebigkeit und Wert • Stärkere „horizontale Verknüpfung“ von Wertschöpfungsketten durch Second Life von Traktionsbatterien
<ul style="list-style-type: none"> • Neue Lösungen wie „Packaging as a Service“ sind zu erwähnen, aber müssen noch entwickelt werden. • Mehrwegsysteme bedürfen punktuell noch der Weiterentwicklung, um massentauglich zu werden (zum Beispiel reCup). 	<ul style="list-style-type: none"> • Leasingmodelle könnten Rücklauf- beziehungsweise Sammelquoten erhöhen, die Erhebung von Daten vereinfachen und gegebenenfalls versicherungstechnische Verantwortlichkeiten klären, da die Batterie Eigentum des Betreibers bleibt. Zusätzlich werden (Design-)Anreize für Langlebigkeit, Reparatur- und Recyclingfähigkeit geschaffen. 	<ul style="list-style-type: none"> • Gemeinsamkeit: Geschäftsmodellinnovation ist notwendig, um insbesondere höherwertige Zirkularität zu ermöglichen. • Unterschied: serviceorientierte Geschäftsmodelle (zum Beispiel Leasing) eignen sich eher für Traktionsbatterien als für Verpackungen aufgrund von Wert. • Unterschied: Kapitalbedarf und Unsicherheiten zu Profitabilität aufgrund langer Lebensdauern bei Batterien (nicht bei Verpackungen)
<p>Synthese : In beiden Funktionssystemen kommt es zu einer Neuausrichtung von Geschäftsmodellen. Mit steigender Komplexität, Wertigkeit und Lebensdauer von Produkten ergeben sich zusätzliche Optionen für die Wiederverwendung und Wiederaufbereitung. Daraus resultieren komplexere Wertschöpfungsnetzwerke. Herausforderungen bei höherwertigen Produkten sind die Koordinierung komplexer Wertschöpfungsnetzwerke und die optimierte Entscheidungsfindung bei gebrauchten Produkten.</p> <p>Außerdem eignen sich serviceorientierte Geschäftsmodelle eher für Produkte mit hoher Komplexität, Wertigkeit und Lebensdauer und insbesondere für Business-to-Business-Anwendungen. Geschäftsmodelle zur Erhöhung der Zirkularität kurzlebigerer Produkte hingegen konzentrieren sich vor allem auf das Endnutzerinnen- und Endnutzersegment und sind abhängig von angepasstem Nutzungsverhalten, um zum Beispiel Rücklauf- beziehungsweise Sammelquoten zu erhöhen. Hierzu sind jedoch insbesondere Anreizsysteme, wie zum Beispiel Pfandsysteme, von Bedeutung, die auf der soziotechnischen Ebene betrachtet werden. Geschäftsmodell-orientierte Maßnahmen sollten daher darauf abzielen, Unternehmen bei der Einführung und Skalierung neuer Geschäftsmodelle zu unterstützen.</p>		
<p>Soziotechnische Perspektive</p>		
<ul style="list-style-type: none"> • Anreize (Pfand- oder Belohnungssysteme, Gebühren) sind wichtig, um Nutzerinnen und Nutzer zu aktivieren. • Standardisierung und Harmonisierung der Verpackungsvielfalt, um Mengenströme zu schaffen, die ein hochwertiges Recycling wirtschaftlich machen • Verbindliche Quoten (zum Beispiel Einsatz von Rezyklaten) • Produktlabel, um Nutzerinnen und Nutzer zu informieren 	<ul style="list-style-type: none"> • Anreize (zum Beispiel können Pfandsysteme Anreize zur Rückgabe setzen) • Die Entwicklung von relevanten Standards und Definitionen ist essenziell, um ein Level Playing Field zu schaffen. • Setzen von Recyclingzielen. • Labels und Zertifizierungen sind wichtig, um ökosoziale Leistung und Qualität zu kommunizieren. 	<ul style="list-style-type: none"> • Gemeinsamkeit: In beiden Fällen werden Anreize (zum Beispiel Pfandsysteme) als wichtige Maßnahmen hervorgehoben, um die Rückgabe von Produkten, vor allem in B2C-Märkten, sicherzustellen. • Gemeinsamkeit: In beiden Fällen werden Mindeststandards im Produktdesign durch die Industrie definiert, um Produktvielfalt zu reduzieren. Die Politik hingegen definiert Standards hinsichtlich End-of-Life-Behandlung, um die Funktionalität von Märkten (zum Beispiel für Rezyklate) sicherzustellen. • Gemeinsamkeit: Labels werden in beiden Funktionssystemen als Hebel für Transparenz genannt, um zum Beispiel ökosoziale Gesamtbewertungen von Produkten zu kommunizieren. Unabhängig vom Produkt müssen diese leicht verständlich und glaubhaft sein.



Verpackungen (niedriger Wert, kurze Lebensdauer)	Traktionsbatterien (hoher Wert, kurze Lebensdauer)	Gegenüberstellung und Synthese
<ul style="list-style-type: none"> • Prozessinnovation: Technische Entwicklung, um End-of-Life-Behandlung und Logistik zu vereinfachen (zum Beispiel Nachsortierung des Restmülls, Nachrüsten bei Sortier- und Waschtechnologie) 	<ul style="list-style-type: none"> • Transparente Stoffströme: Entwicklung von Datenplattformen sowie (freiwilligen und verpflichtenden) Standards, um transparente Stoffströme zu gewährleisten • Prozessinnovationen: Ausbau von Unternehmenskooperationen und effizienteren (digitalen) Marktstrukturen, die Angebot und Nachfrage verknüpfen und Transaktionskosten senken • Modellierungen und Tools: Fokus auf Entscheidungsfindungsunterstützung 	<ul style="list-style-type: none"> • Unterschied: bei Traktionsbatterien stärkerer Fokus auf Verbesserung der Nachnutzungsphase, da hier gegebenenfalls zusätzlicher Mehrwert in weiteren Lebenszyklen möglich ist (Second Life). Bei Verpackungen hingegen liegt der Schwerpunkt auf Prozessoptimierung, die die End-of-Life-Sortierung verbessert.
<ul style="list-style-type: none"> • Bedeutung des Aufbaus und Weiterentwicklung der Verwertungsinfrastruktur (zum Beispiel Aufbau entsprechender Aufbereitungskapazitäten) 	<ul style="list-style-type: none"> • Aufbau eines europaweiten Netzwerks von leistungsfähigen Demontageanlagen • Finanzierungsbedarf durch hohe Kapital- und Gewährleistungsrisiken für produzierende Unternehmen 	<ul style="list-style-type: none"> • Gemeinsamkeit: In beiden Fällen mangelt es an nötigen Demontage- und Recyclingnetzwerken. • Unterschied: Signifikanter Finanzierungsbedarf bei Traktionsbatterien aufgrund von langer Lebensdauer, Produktwert, Komplexität der erforderlichen Infrastruktur
<ul style="list-style-type: none"> • Spezialisierte Bildung und Ausbildung zu Circular Economy (zum Beispiel für Industriedesigner) 	<ul style="list-style-type: none"> • Spezialisierte Bildung und Ausbildung zu Circular Economy 	<ul style="list-style-type: none"> • Gemeinsamkeit: In beiden Funktionssystemen wurde die Bedeutung von Bildung und Ausbildung hervorgehoben, um einerseits Nutzerinnen und Nutzer zu informieren und andererseits die für Circular Economy benötigten Fachkräfte zur Verfügung zu stellen.
<p>Synthese: Obwohl der jeweilige Kontext der beiden ausgewählten Funktionssysteme sehr unterschiedlich ist, zeigt die Gegenüberstellung, dass es ähnliche Anforderungen an die soziotechnischen Rahmenbedingungen gibt. In beiden Fällen wurde die Bedeutung von ökonomischen Anreizen hervorgehoben (zum Beispiel Pfandsysteme), vor allem um Nutzerinnen und Nutzer zu aktivieren.</p> <p>Außerdem leisten regulatorische Rahmenbedingungen einen wichtigen Beitrag zur Schaffung eines Level Playing Field, zum Beispiel durch die Definition von Standards. Ferner wurde die Bedeutung von Informationsinstrumenten in beiden Funktionssystemen unterstrichen, um Transparenz zu erhöhen. Hinsichtlich der technischen Entwicklung bedarf es mit steigender Komplexität, Wertigkeit und Lebensdauer von Produkten vor allem Technologien, die eine höhere Transparenz von Stoffströmen ermöglichen.</p> <p>Bei weniger komplexen, wertigen und langlebigen Produkten ist die Weiterentwicklung von Recyclingtechnologien von großer Bedeutung. Außerdem wurde in beiden Funktionssystemen hervorgehoben, dass es aktuell an den nötigen Netzwerken und Infrastrukturen für die End-of-Life-Behandlung von Produkten (zum Beispiel Demontage oder Recycling) fehlt.</p>		
<p>Gesellschaftliche Perspektive</p>		
<ul style="list-style-type: none"> • Bedeutung von Bildung als Grundlage für übergreifende Zusammenarbeit mit veränderter Wertschöpfungslogik • Bedeutung von Nutzeraufklärung 	<ul style="list-style-type: none"> • Bedeutung von inhaltlicher Grundlagenforschung und Geschäftsmodellforschung • Bedeutung der Entwicklung von relevanten Circular-Economy-Indikatoren • Bedeutung der Bereitschaft von Nutzerinnen und Nutzer, neue Geschäftsmodelle (Leasing, Sharing, etc.) anzunehmen 	<ul style="list-style-type: none"> • Gemeinsamkeit: Bildung wurde in beiden Fällen als wichtiger Bestandteil erwähnt, jedoch mit unterschiedlichen Schwerpunkten. • Unterschied: (1) Nutzeraufklärung wichtiger bei Verpackungen als bei Traktionsbatterien, da sich das Verhalten für verbesserte Zirkularität für Verpackungen „jeden Tag“ verändern muss (2) „Inhaltliche Forschung/Grundlagenforschung“ in beiden Fällen nötig, jedoch fundamental verschieden, beispielsweise Entwicklung chemischen Recyclings versus neuer Batteriezusammensetzung

Verpackungen (niedriger Wert, kurze Lebensdauer)	Traktionsbatterien (hoher Wert, kurze Lebensdauer)	Gegenüberstellung und Synthese
<p>Synthese: Die Analyse und Gegenüberstellung beider Produktsysteme zeigt, dass die Transformation zu Circular Economy einen grundlegenden gesellschaftlichen Wandel erfordert. Dieser erstreckt sich über sämtliche gesellschaftliche Systeme und Akteure und verlangt ein neues Verständnis von Wertschöpfung und Werterhalt. Dies ist besonders relevant für Funktionssysteme in B2C-Märkten, die in hohem Maße auf die Unterstützung und Aktivierung von Verbraucherinnen und Verbrauchern angewiesen sind, um den Werterhalt und eine Schließung von Ressourcenkreisläufen zu ermöglichen.</p> <p>Der Bildungspolitik spielt eine Schlüsselrolle, um diesen Übergang zu einem breiten gesellschaftlichen Bewusstsein für Circular Economy zu unterstützen. Sie kann dazu beitragen, einerseits das Bewusstsein zu schärfen und andererseits die richtigen Fähigkeiten für die Circular Economy aufzubauen. Darüber hinaus bedarf es einer Institutionalisierung von Circular Economy in Politik, Wirtschaft und Wissenschaft.</p>		

Tabelle 2: Zusammenfassung und Gegenüberstellung der Ergebnisse der Arbeitsgruppen Verpackung und Traktionsbatterien (Quelle: eigene Darstellung)

Die Gegenüberstellung zeigt somit, dass es zwischen kurzlebigen und geringerwertigen sowie langlebigen und höherwertigen Produkten sowohl teils ähnliche als auch teils grundsätzlich unterschiedliche Anforderungen für zirkuläres Produkt- und Materialmanagement auf soziotechnischer und gesellschaftlicher Ebene gibt. Hinsichtlich der von der Ellen MacArthur Foundation definierten Circular-Economy-Prinzipien¹⁶¹ ist Folgendes festzuhalten:

Bei kurzlebigen Produkten wie Verpackungen liegt der Fokus des Lösungsansatzes darauf, möglichst für Zirkularität optimierte Produkte in den Kreislauf zu bringen („Designing out Waste and Pollution“) und diese dort möglichst lange und hochwertig zu halten („Keep Products and Materials in Use“). Eine Herausforderung für die Umsetzung liegt in der extrem fragmentierten Industriestruktur, die sowohl die Harmonisierung von Stoffströmen als auch die Entwicklung und den Aufbau von Technologien und Infrastruktur erschwert. Zudem ist die Wirtschaftlichkeit von zirkulären Lösungen oftmals nicht gegeben, da der Einsatz von Neumaterial günstiger ist als eine hochwertige Kreislaufführung. Bei Traktionsbatterien liegt der Fokus hingegen vor allem darauf, Produkte möglichst produktiv zu nutzen sowie lange und hochwertig im Kreislauf zu halten („Keep Products and Materials in Use“). Als sehr viel komplexere, höherwertige und langlebigere Produkte zeigen sich die Unterschiede bei Traktionsbatterien hinsichtlich der möglichen Hebel und Lösungsansätze; dies wird vor allem auf Produkt- und Geschäftsmodellperspektive deutlich.

Gleichzeitig ist die lange Lebenszeit (im Mittel länger als zehn Jahre) auch mit Herausforderungen verbunden: So bestehen signifikante Unsicherheiten, was zukünftige Anforderungen einer höherwertigen Weiternutzung der Produkte (beispielsweise im Rahmen einer Anwendung als stationäre Speicher), die künftige Nachfrage und die entsprechenden Materialwerte der rückgewinnbaren Rezyklate betrifft.

Übergeordnet zeigt sich, dass sich aus den beiden sektorspezifischen Betrachtungen einerseits **spezifische Bedürfnisse** zur Umgestaltung der jeweiligen Wertschöpfungskette zu auf Zirkularität ausgerichteten Wertschöpfungsnetzwerken im Sinne einer Circular Economy ergeben. Die Notwendigkeit einer fallspezifischen Betrachtung wird durch die Analyse der Circular-Economy-Strategien und unterschiedlichen Geschäftsmodelltypologien der Arbeitsgruppe Zirkuläre Geschäftsmodelle unterstrichen. Andererseits finden sich zahlreiche universelle Prinzipien, die sich in den Betrachtungsweisen der sektorspezifischen Arbeitsgruppen und der übergeordneten Arbeitsgruppe Zirkuläre Geschäftsmodelle gleichermaßen abbilden. Dies umfasst beispielsweise die Notwendigkeit, einheitliche Begrifflichkeiten und Definitionen sowie Circular-Economy-relevante Industriestandards zu etablieren, fehlsteuernde Subventionen zu korrigieren oder auch eine umfassende Anwendung digitaler Technologien und Geschäftsmodelle für ressourcenproduktives Wirtschaften zu fördern. Die sich aus den drei Arbeitsgruppen gemeinsam ergebenden Handlungsempfehlungen werden in Kapitel 5 dargestellt.

161 | Vgl. Ellen MacArthur Foundation 2017.



5 Handlungsempfehlungen für eine Circular Economy

Wie die Analysen der Arbeitsgruppen zeigen, lassen sich übergeordnete Handlungsbedarfe ableiten, um das in Kapitel 3 dargestellte Zielbild zu erreichen. Sie ermöglichen damit, gleichzeitig Ressourcen- und Klimaschutzziele sowie industriepolitische Absichten zu adressieren. Die Circular Economy bietet für Deutschland also ein übergeordnetes Narrativ an, das Wirtschafts- und Umweltpolitik vereinen kann und somit wesentlich zur Erreichung der Ziele des European Green Deal (insbesondere der Klimaneutralität 2050) beitragen wird.

Die Berechnungen des Wuppertal Instituts veranschaulichen, dass für das sektorübergreifende Ziel der Treibhausgasneutralität neben dem Fokus auf fossiler Ressourcennutzung auch der Ressourcenverbrauch insgesamt adressiert werden muss (siehe Kapitel 3.4). Die Ausgangssituation für Deutschland ist günstig: Als weltweit angesehener Produktionsstandort kann Deutschland – wie kaum ein anderes Land – mit digitalen (Industrie 4.0) und gleichzeitig zirkulären (Circular-Economy-)Produkten auch in Zukunft seine Position als Industriestandort sichern, seine Wettbewerbsfähigkeit, Ressourcenproduktivität und die lokale Wertschöpfung steigern sowie hochwertige Arbeitsplätze schaffen. Die Politik kann die durch COVID-19 freigesetzten Stimuli nutzen, um diesen Wandel entschieden zu beschleunigen.

Die Vorteile einer erfolgreichen Transformation in Richtung einer Circular Economy liegen auf der Hand:

1. Sie erzeugt ein neues Wertversprechen Deutschlands als politischer und wirtschaftlicher Partner – von „Made in Germany“ hin zu „Made with Germany“ als Sinnbild für verlässliche und partnerschaftliche Kooperation mit deutschen Unternehmen für ressourcenproduktive und hochqualitative zirkuläre Produktlösungen.
2. Sie schafft eine internationale Neupositionierung der deutschen Industrie als Exportweltmeister für profitable Circular-Economy-Lösungen.
3. Sie ermöglicht eine neue Markenbildung der deutschen Industrien mit Fokus auf zirkulären Geschäftsmodellen via X-as-a-Service und Design für Recycling/Re-Use/Remanufacturing etc.

Die Arbeit der *Circular Economy Initiative Deutschland* zeigt, dass die Ausgestaltung einer Circular Economy durch ein klar abgrenzbares Maßnahmenbündel erreicht werden kann, von dem viele

Elemente über Sektoren hinweg und in andere Politikbereiche hineinwirken. Beispielsweise unterstützen übergeordnete ordnungspolitische Maßnahmen wie die Bepreisung von CO₂ und Ressourcennutzung sowohl den Klimaschutz als auch die Entwicklung innovativer digitaler Geschäftsmodelle nach dem Vorbild von Industrie 4.0. Zudem stellen wir fest: Die Bedingungen, um eine Circular Economy zu erreichen, sind vielfach bereits vorhanden – sie müssen nun umgesetzt und sinnvoll kombiniert werden.

Die im Folgenden formulierten Handlungsempfehlungen können Entscheidungsverantwortlichen aus Politik, Wirtschaft und Wissenschaft Orientierung geben (in verschiedenen Detailgraden):

- In Unterkapitel 5.1 werden zehn übergeordnete Handlungsschwerpunkte definiert (siehe Abbildung 19). Diese resultieren aus den Ergebnissen der drei Arbeitsgruppen sowie der quantitativen Modellierung aus Kapitel 3 (siehe Unterkapitel 3.4) und zeigen die notwendigen Stoßrichtungen auf.
- In den Unterkapiteln 5.2 bis 5.4 werden darauf aufbauend Handlungsempfehlungen für Politik, Wirtschaft und Wissenschaft ausgesprochen und entlang einer Zeitleiste (2021 bis 2030) dargestellt.

Die Adressatinnen und Adressaten der vorliegenden Empfehlungen sind Entscheidungsverantwortliche aus Politik, Wirtschaft und Wissenschaft. Für Erstere gilt: Sowohl im europäischen als auch im nationalen Kontext sollte die Bandbreite ressourcenpolitischer Instrumente (das heißt ökonomische, ordnungsrechtliche, informatorische Instrumente sowie Bildung und Forschung) ausgeschöpft werden, um den Transformationsprozess in Richtung einer Circular Economy zu beschleunigen. Der deutsche Gesetzgeber ist als zentraler Akteur aufgerufen, sowohl beherzt innerhalb des nationalen Handlungsspielraums aktiv zu werden als auch im europäischen Prozess ambitionierte Impulse zu setzen.

5.1 Zehn Handlungsschwerpunkte zur Erreichung der Transformation

Aus den Ergebnissen der Arbeitsgruppen in Kapitel 4 sowie der quantitativen Modellierung aus Kapitel 3 ergeben sich Handlungsschwerpunkte für die Transformation zu einer Circular Economy.

1. **Zirkuläre Geschäftsmodelle:** Die Wirtschaft sollte aufbauend auf dem Erfolgsmodell Industrie 4.0 ein ressourcenproduktives, datengetriebenes zirkuläres Wirtschaftsmodell

- entwickeln. Ziel sollte insbesondere sein, entsprechend dem im European Green Deal anvisierten Narrativ **datengetriebene nutzungs- und ergebnisorientierte Dienstleistungsgeschäftsmodelle** entlang der zirkulären Strategien zu entwickeln und zu skalieren. Wirtschaftliche Akteure sollten sowohl organisationsintern als auch überbetrieblich in Partnerschaften, etwa in geeigneten Industrieallianzen, **neue Innovationsräume schaffen und Leuchtturmprojekte starten**, um die Entwicklung dieser Geschäftsmodelle zu fördern. Darüber hinaus sollten wirtschaftliche Akteure den Aufbau langfristiger Kooperationen und sektorübergreifender Wertschöpfungsnetzwerke sowie das konsequente Design for Circularity vorantreiben.
2. **Standardisierung:** Die Politik sollte wesentliche Zielsetzungen einer Circular Economy definieren, für die die Wirtschaft im Rahmen **etablierter nationaler und internationaler Gremien entsprechende Standards und Normen erarbeitet**. Die Verantwortlichkeiten und Vorgehensweisen, derartige Standards und Normen zu entwickeln, variieren dabei in Abhängigkeit der betrachteten Produktsysteme. Ziel solcher Initiativen ist es, synergetische Potenziale auf verschiedenen Wirkungsebenen auszuschöpfen. Dazu gehören unter anderem die Entwicklung von Standards, um den Zustand gebrauchter oder wiederaufbereiteter Produkte zu klassifizieren, Qualitätsstandards für wiederaufbereitete Produkte und Rezyklate und deren Bereitstellungsprozesse (zum Beispiel geprüfte Wiederaufbereitungsprozesse), Vorgaben zu Rezyklatanteilen sowie die Entwicklung und Anpassung betriebswirtschaftlicher Messgrößen (zum Beispiel Circular-Economy-Metriken, Key-Performance-Indikatoren – sogenannte KPI –, Incentivierungssysteme, Bilanzierungsansätze). Außerdem sind Grundlagen für offene Datenformate und -träger, wie zum Beispiel Produkt- und Materialpässe, zu definieren.¹⁶²
 3. **Transparenz:** Die Politik sollte Maßnahmen erarbeiten, damit **Circular-Economy-relevante Informationen**¹⁶³ **im Markt verfügbar sind**. Dazu sollte sie Datenschutz und -sicherheit gewährleisten sowie wirtschaftliche Akteure dazu aufrufen oder verpflichten, bestimmte Daten und Informationen (auf Grundlage von Standards) verfügbar zu machen. Wirtschaftliche Akteure sollten einen kollaborativen Austausch **relevanter Informationen und Daten fördern**, zum Beispiel durch den Einsatz neuer digitaler Systeme wie Distributed-Ledger-Technologien und Produktpässe. Darüber hinaus bedarf es der Optimierung von Transparenz, Zugänglichkeit und Verständlichkeit von Informationen, um Kaufentscheidungen zugunsten nachhaltiger Produkte und Geschäftsmodelle zu fördern. Dies sollte durch die konsequente Einführung eines aussagekräftigen Nachhaltigkeitsreportings unterstützt werden.
 4. **Ordnungsrechtliche Instrumente:** Die **Politik sollte sowohl auf nationaler als auch auf Ebene der Europäischen Union eine kohärente Produktpolitik im Sinne der Circular Economy definieren**, um den Werterhalt von Produkten zu ermöglichen. Dazu gehört unter anderem, dass 1) klare und verbindliche Vorgaben definiert werden, wie Produkte nach Design-for-Circularity-Prinzipien gestaltet werden, 2) Produktmerkmale durch eine digitale Produkt-ID einfach zugänglich gemacht werden (siehe auch Punkt 3 „Transparenz“), 3) Haftungs- und Gewährleistungsregeln sowie Rückgabe- und Rücknahmepflichten entlang des gesamten Produktlebenszyklus klar definiert werden, 4) eine Beweislastumkehr von dem bisherigen End-of-Waste-Status zu einem End-of-Life-Status mit dem Ziel erfolgt, Produkte möglichst lange zu nutzen, 5) eine Verlängerung von gesetzlichen und/oder gewerblichen Garantien für die Nutzungsdauer von Produkten etabliert wird und 6) qualitative Recyclingquoten (zusätzlich zu den quantitativen Quoten) eingeführt werden. Dies sollte insbesondere im Rahmen der von der EU-Kommission angekündigten Sustainable Product Policy¹⁶⁴ und Sustainable Products Initiative¹⁶⁵ umgesetzt werden.
 5. **Ökonomische Anreize:** Die Politik sollte sowohl auf nationaler als auch auf Ebene der Europäischen Union **finanzielle Anreize so setzen, dass klima- und ressourcenoptimale Wirtschaftsentscheidungen gefördert werden**. Denn grundsätzlich kann ein gezielter Ausbau zirkulärer Geschäftsmodelle dazu beitragen, die Marktposition eines Unternehmens zu stärken. Neben **direkter finanzieller Unterstützung** (unter anderem für Pilotprojekte oder Forschung) oder der **Förderung neuer Geschäftsmodelle** (zum Beispiel Pfandsysteme und Reparaturangebote) bedarf es auch einer tieferehenden **Neuausrichtung der Steuerregularien**. Mit dieser sollte das grundsätzliche Ziel verfolgt werden, Circular-Economy-relevante Produkte und Dienstleistungen durch eine **gezielte Umverteilung der Steuerlast** in der Relation attraktiver zu machen als die CO₂-intensive Nutzung von Primärrohstoffen. Hierfür könnten einerseits zum Beispiel **höhere Abgaben auf Ressourcen und Emissionen** erhoben

162 | Der sich derzeit etablierende Fachbeirat von DIN/DKE stellt einen wichtigen Schritt in diese Richtung dar.

163 | Wie etwa im Produkt enthaltene Rohstoffe sowie deren Herkunft und Umweltfußabdrücke, der Rezyklatanteil, entsprechende Reparaturanweisungen et cetera.

164 | Vgl. Europäische Kommission s. a.

165 | Vgl. Europäische Kommission 2020b.



sowie **umweltschädliche Subventionen abgebaut** werden. Die daraus resultierenden Mehreinnahmen könnten andererseits zu gezielten **Steuerentlastungen für Unternehmen** (zum Beispiel durch reduzierte Sozialnebenkosten für Personal, Steuergutschriften bei neu eingestellten Mitarbeitenden und Investitionen in Circular-Economy-relevanten Bereichen) und Konsumierende (zum Beispiel durch Reduktion der Mehrwertsteuer bei bestimmten Circular-Economy-Dienstleistungen wie Reparatur und Wartung) führen.¹⁶⁶ Dabei ist der Transfer der genannten Maßnahmen auch außerhalb der Europäischen Union und des europäischen Wirtschaftsraums (European Economic Area, EEA) zu erwirken, um ein globales Gleichgewicht, ein Level Playing Field, anzustreben.

6. **Wieder- und Weiterverwendungs- sowie Recyclinginfrastruktur:** Politik und Wirtschaft sollten den **Ausbau und die Entwicklung der Wieder- und Weiterverwendungs- sowie Recyclinginfrastruktur** vorantreiben. Denn nur so können die nötigen Netzwerke und Kapazitäten gewährleistet werden, damit Produkte am Ende ihres ersten Lebenszyklus effektiv und effizient eingesammelt, gehandhabt und hinsichtlich ihrer Eignung für die Weiter- oder gegebenenfalls Umnutzung sowie das hochwertige stoffliche Recycling im Sinne einer Circular Economy richtig bewertet werden.¹⁶⁷ Darüber hinaus bedarf es der **Verbreitung digitaler Technologien**, um die Materialerkennung und -sortierung als Grundlage für ein hochwertiges zirkuläres Management inklusive Recycling zu verbessern.
7. **Technische Entwicklung und Forschung:** Politik, Wirtschaft und Wissenschaft sollten die **Entwicklung von relevanten Material-, Produkt- und Prozessinnovationen mit ökologischem Benefit, digitalen Technologien zur Erzeugung von Transparenz sowie Methoden und Tools** für die Implementierung von Circular Economy technologieoffen fördern. Dazu gehören unter anderem die Entwicklung von Metriken (Produkt-, Unternehmens- und Volkswirtschaftsebene), um Circular-Economy-Strategien und -Maßnahmen zu bewerten, die Entwicklung modellbasierter Entscheidungsplattformen für die zirkuläre Nachnutzung von Produkten, die Entwicklung digitaler Technologien für Circular Economy (zum Beispiel digitale Marktplattformen oder Künstliche Intelligenz) sowie die Weiterentwicklung von Produkt- und Materialtech-

nologien. Zudem sollte die Politik zielgerichtete Wirtschafts- und Wissenschaftsförderung der Circular Economy betreiben. Dies umfasst die Unterstützung konkreter Projekte zur (Weiter-)Entwicklung von Circular-Economy-relevanten Technologien und Geschäftsmodellen durch die Bereitstellung notwendiger finanzieller Mittel (unter anderem durch Gründungsförderung) und eine geeignete (interorganisationale) Infrastruktur (zum Beispiel durch den Aufbau sogenannter Innovation Spaces zur gezielten Förderung radikaler Innovationen und Geschäftsmodelle). In diesem Zuge sind ebenso die umfassenden Fragestellungen zu den gesellschaftlichen Implikationen einer Circular Economy zu adressieren.

8. **Öffentliche Beschaffung:** Die Politik sollte die Nachfrage für zirkuläre Produkte und Geschäftsmodelle erhöhen, indem sie strategische Ziele und bindende Sollvorgaben für gebrauchte, wiederaufbereitete und wiederverwertete Produkte mittels einer wissenschaftsbasierten und praktikablen Entscheidungshilfe festlegt.¹⁶⁸ Die Entwicklung von (Mindest-)Zielen und Quoten sollte auf den unterschiedlichen Ebenen der öffentlichen Hand jeweils Teil der Haushalts- und Budgetplanungen werden.
9. **Institutionelle Verankerung:** Die Politik sollte einen **zentralen institutionellen Träger** mit dem Ziel ins Leben rufen, die Circular-Economy-Transformation in Deutschland sicherzustellen. Dieser Träger sollte das Thema der erforderlichen Transformation in Deutschland über Legislaturperioden hinweg inhaltlich vertiefen, Innovationspotenziale herausarbeiten, neue Verknüpfungspunkte schaffen, Circular Economy somit breiter verankern und in einen europäischen Kontext stellen. Der institutionelle Träger könnte die Aktivitäten politischer, wirtschaftlicher und zivilgesellschaftlicher Akteure unterstützend begleiten und sie langfristig aneinander ausrichten. Hierzu können auch die Unterstützung von Wissensaustausch und die Schaffung fachlich fundierter Circular-Economy-bezogener Produktanforderungen beitragen.
10. **Bildung und Wissenstransfer:** Politik, Wirtschaft und Wissenschaft müssen **Circular-Economy-relevante Bildung und Ausbildung sicherstellen**, um das öffentliche Bewusstsein für Circular Economy zu stärken und Kompetenzen aufzubauen. Dies kann zum Beispiel durch die Integration in Lehrpläne, die Einrichtung von Circular-Economy-bezogenen

166 | Vgl. The Ex'tax Project 2016.

167 | Speziell bei Kunststoffverpackungen bietet das werkstoffliche Recycling ein hohes und bisher bei Weitem nicht ausgeschöpftes Potenzial für die Wiederverwertung von Verpackungsmaterialien. Jedoch ist eine dauerhaft geschlossene Kreislaufführung von Verpackungsmaterialien für gleiche Anwendungen allein mit werkstofflichem Recycling nicht möglich. In einem geschlossenen Kreislaufmodell werden Material- und Qualitätsverluste im werkstofflichen Recycling durch defossilierte Kunststoffe mit Neuqualität ausgeglichen werden müssen. Hierfür gilt es, einen ökologisch optimalen und technisch sinnvollen defossilierten Materialmix aus werkstofflichen und chemischen Rezyklaten sowie biobasierten Kunststoffen zu definieren.

168 | Wichtig dabei ist, dass eine solche Entscheidungshilfe eine Bewertung nicht nur auf Produktebene vornimmt, sondern auch Nachhaltigkeitspotenziale aus an Produkte gekoppelten Dienstleistungen und produktersetzenenden Dienstleistungsgeschäftsmodellen zulässt beziehungsweise gezielt fördert (zum Beispiel Abschätzung systemtransformierender Wirkung aus Mietmodellen).



Abbildung 19: Wirkung der Handlungsschwerpunkte entlang der Multilevel-Design-Model(MDM)-Perspektiven (Quelle: eigene Darstellung, angelehnt am Multilevel Design Model nach Joore/Brezet 2015)

Studiengangvertiefungen, Studiengängen und Professuren, den Aufbau von Lernfabriken, Verbundforschung sowie die Berücksichtigung in Ausbildungsberufen geschehen. Zu einem ganzheitlichen Bildungspaket gehört darüber hinaus auch die Förderung von transformativem Lernen im Rahmen von Circular-Economy-relevanten Bottom-up-Aktivitäten

und sozialen Innovationen wie Reparaturinitiativen, Offenen Werkstätten, Prosumer-Initiativen und Consumer-Citizenship-Netzwerken. Ferner ist ein **Transfer der Maßnahmen in einen globalen Kontext** zu erwirken, etwa im Rahmen internationaler Kooperationen und Entwicklungszusammenarbeit.



5.2 Handlungsempfehlungen für die Politik

Die Handlungsempfehlungen für die Politik ergeben sich aus den Resultaten der drei Arbeitsgruppen Zirkuläre Geschäftsmodelle, Verpackung und Traktionsbatterien. Sie wurden entlang einer Zeitleiste (2021 bis 2030) verortet sowie den in Kapitel 5.1 definierten Handlungsschwerpunkten zugeordnet (siehe Abbildung 20).

Bis 2024: Kurzfristig „Grundlagen legen“

Standardisierung:

1. **Klare und verbindliche Definitionen und Standards** sind zum Aufbau eines „Level Playing Field“ notwendig. Der Gesetzgeber sollte durch etablierte Standardisierungs- und Normungsgremien Aktivitäten initiieren und unterstützen. Folgende Aspekte sind damit verbunden:
 - Festlegung zentraler Definitionen: beispielsweise durch klare rechtliche Definitionen von Produkten in Abgrenzung zu Abfall (End-of-Life-/End-of-Waste-Status), sodass ein besitzerseitiges „Sich-Entledigen“ von einem Stoff oder Produkt die Ausnahme bleibt und die Entstehung von Abfall entsprechend vermieden wird.
 - Einführung von Mindeststandards: diese sollten sowohl befähigende als auch schützende Parameter umfassen (insbesondere Wahrung des Daten- und Arbeitsschutzes, verbindliche Rückgewinnungsraten).
 - Förderung der Entwicklung sicherer Standards für offene Datenformate (zum Beispiel Produktpässe)
 - Unterstützung der Entwicklung neuer und/oder Harmonisierung bestehender Qualitätsstandards für Sekundärmaterialien
 - Entwicklung von Vorgaben für Rezyklatanteile in Endprodukten unter Betrachtung der Rezyklatherkunft, -qualität und -menge sowie des tatsächlichen Anwendungsfalls
 - Etablierung einer Punktebewertung für die Reparierbarkeit eines Produkts einschließlich physischer und digitaler Komponenten (das heißt Aufrüstbarkeit) und der damit verbundenen (obligatorischen) Produktkennzeichnung
 - Initiierung der Entwicklung einer allgemein anerkannten und praktikablen Entscheidungsgrundlage beziehungsweise -hilfe zur Nachhaltigkeitsbewertung verschiedener Circular-Economy-Alternativen
 - Förderung von Industriestandards in Abstimmung mit der Wirtschaft sowie Berücksichtigung von Da-

ten- und IP-Sicherheit sowie Innovationseffekten. Hierzu sollte auf State-of-the-Art-Technologien wie zum Beispiel Blockchain und End-to-End-verschlüsselte Datentransfers und Datenbanken zurückgegriffen werden. Diese Punkte sind auf EU-Ebene in Kooperation mit den anderen Mitgliedsstaaten zu gestalten sowie durch den nationalen Gesetzgeber zu unterstützen und jeweils landesweit umzusetzen.

Ökonomische Anreize:

2. Der nationale Gesetzgeber sollte angemessene und effektive **Anreize (zum Beispiel Pfandsysteme, Förderung von Mehrwegsystemen) und gezielte finanzielle Unterstützung** (unter anderem für Pilotprojekte) einführen, um die Implementierung von Circular-Economy-Geschäftsmodellen sowie relevante Forschung und Entwicklung zu unterstützen. Er sollte zudem gezielt darauf hinwirken, dass bestehende Barrieren für eine Umstellung auf Circular-Economy-bezogene Product-as-a-Service-Geschäftsmodelle (zum Beispiel Rundum-Leasing) beseitigt werden, die mit Wartung, Reparatur und Produktrücknahme zur Wiederaufarbeitung und zum Recycling einhergehen.
3. Der nationale Gesetzgeber sollte die **Grundlage für eine Neuausrichtung der finanziellen Anreize insbesondere im Steuersystem schaffen**, um die Steuerlast von Arbeit auf die Nutzung natürlicher Ressourcen und negative Externalitäten zu verlagern und dadurch Anreize für die Circular-Economy-Transformation zu schaffen. Diese Punkte sind auf EU-Ebene mit den anderen Mitgliedsstaaten abzustimmen.
4. **Entwicklung eines Konzepts zur Abfallvermeidung** mit konkreten Zielen, Maßnahmen, klugen ökonomischen Anreizsystemen und Zeitvorgaben.

Ordnungsrechtliche Instrumente:

5. **Unterstützung der Reform der EU-Ökodesign-Richtlinie** hinsichtlich Einführung von Circular-Economy-relevanten Kriterien (zum Beispiel Langlebigkeit, Wiederverwendbarkeit). Diese Punkte sind auf EU-Ebene in Kooperation mit den anderen Mitgliedsstaaten zu gestalten sowie durch den nationalen Gesetzgeber zu unterstützen und jeweils landesweit umzusetzen.
6. Der Gesetzgeber sollte die **Rechte und Pflichten relevanter Akteure** innerhalb von Wertschöpfungsnetzwerken klar definieren – unter anderem durch eine Definition von Berichtspflichten und einer sukzessiven Entwicklung von Sanktionsmechanismen, um die effiziente Implementierung der

Bis 2024	Bis 2027	Bis 2030
<p>Standardisierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Klare und verbindliche Definitionen und Standards <p>Ökonomische Anreize:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Anreize und gezielte finanzielle Unterstützung für Implementierung von Circular-Economy-Geschäftsmodellen und relevanter F&E • Grundlage für eine Neuausrichtung der finanziellen Anreize insbesondere im Steuersystem • Entwicklung eines Konzeptes zur Abfallvermeidung <p>Ordnungsrechtliche Instrumente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Unterstützung der Reform der EU-Ökodesign-Richtlinie • Klare Definition der Rechte und Pflichten relevanter Akteure innerhalb von Wertschöpfungsnetzwerken • Verlängerung gesetzlicher und/oder gewerblicher Garantien für Produkte <p>Wieder- und Weiterverwendungs- sowie Recyclinginfrastruktur:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung eines verbindlichen EU-weiten gemeinsamen Konzepts zum Ausbau und zur Optimierung von Circular-Economy-Infrastruktur • Investitionsförderung für den Aufbau und Betrieb von Wieder- und Weiterverwendungs- sowie Recyclingnetzwerken <p>Technische Entwicklung und Forschung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Stärkung und Ausbau von F&E im Bereich der Material-, Produkt- und Prozessinnovationen, digitalen Technologien, Entscheidungshilfen und relevanten Metriken • Gezielte Förderung radikaler Innovationen und Geschäftsmodelle <p>Öffentliche Beschaffung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung und Verstärkung von (Mindest-) Zielen und (Mindest-) Quoten für zirkuläre Produkte und Geschäftsmodelle <p>Institutionalisierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Schaffung eines institutionellen Trägers zur Begleitung der Transformation zu einer Circular Economy <p>Bildung und Wissenstransfer:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aus- und Fortbildung und rasche Anwendung von Grundlagen- und Anwendungswissen • Schaffung von Experimentierräumen und Förderung von Bottom-up-Aktivitäten und sozialen Innovationen 	<p>Standardisierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Erhöhung der Transparenz für Akteure in Wertschöpfungsnetzwerken <p>Ökonomische Anreize:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Neuausrichtung der Bepreisungs- und Steuerregularien auf Ressourcennutzung <p>Ordnungsrechtliche Instrumente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Circular-Economy-Kriterien als Voraussetzung für Marktzugang • Anpassung der EPR-Regulierungen zur Rücknahme von langlebigen Konsumgütern und Gebrauchsgütern • Revision der Abfallgesetzgebung (KRwG) • Harmonisierung nationaler und transnationaler Regulatorik • Übergang zu „Safe-by-Design-Chemikalien“ entsprechend technischer Möglichkeit • Einführung von Recyclingquoten differenziert nach einzelnen Materialien inklusive Festlegung von Material- und Prozessqualitäten • Festsetzung eines Mindestanteils von recycelten Bestandteilen in Produkten <p>Technische Entwicklung und Forschung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zielgerichtete Wirtschafts- und Wissenschaftsförderung für Technologien, Geschäftsmodelle sowie für Wissensaufbau, insbesondere in KMU 	<p>Ökonomische Anreize:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Weiterentwicklung von angemessenen Anreizsystemen im Rahmen des Steuerrechts • Anwendung weitergehender ökonomischer Anreizsysteme für Erreichung von Recyclingzielen <p>Ordnungsrechtliche Instrumente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Weitere Erhöhung von Recyclingquoten verbunden mit Anforderungen an Material- und Prozessqualitäten <p>Bildung und Wissenstransfer:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Transfer der Maßnahmen in einem globalen Kontext für Leitmärkte („race to the top“) und für Entwicklungszusammenarbeit

Abbildung 20: Überblick über die kurz-, mittel- und langfristigen Handlungsempfehlungen für die Politik (Quelle: eigene Darstellung)



Maßnahmen zu gewährleisten. Diese Punkte sind auf EU-Ebene in Kooperation mit den anderen Mitgliedsstaaten zu gestalten sowie durch den nationalen Gesetzgeber zu unterstützen und jeweils landesweit umzusetzen.

7. **Verlängerung von gesetzlichen und/oder gewerblichen Garantien** für die geplante technische Nutzungsdauer auf drei Jahre für alle Produkte beziehungsweise auf fünf Jahre für ausgewählte Produkte als Anreiz zum Einsatz von Dienstleistungsgeschäftsmodellen.

Wieder- und Weiterverwendungs- sowie Recyclinginfrastruktur:

8. **Entwicklung eines verbindlichen EU-weiten gemeinsamen Konzepts zum Ausbau und zur Optimierung der Sammel-, Sortier-, Weiternutzungs- und Recyclingtechnologien**, um Skaleneffekte kosteneffizient nutzen und die Vorteile des EU-Binnenmarkts ausschöpfen zu können.
9. **Investitionsförderung für Aufbau und Betrieb von Wieder- und Weiterverwendungs- sowie Recyclingnetzwerken**, um (Kapital-)Kosten und Risiken für einzelne Akteure zu reduzieren und somit die Entwicklung einer „Circular-Economy-Industrie“ zu unterstützen.

Technische Entwicklung und Forschung:

10. **Stärkung und Ausbau von Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Circular Economy:** Dies umfasst insbesondere die Circular-Economy-bezogene, technologieoffene Forschungsförderung mit ökologischem Benefit im Bereich der Material-, Produkt- und Prozessinnovationen und digitaler Technologien, den Ausbau der Forschungsinfrastruktur, die Bereitstellung von Mitteln, um Forschungsergebnisse umzusetzen, die Einrichtung eines fachlichen Beirats zur Entwicklung von und Beratung zu Förderkonzepten und -maßnahmen, die Erarbeitung von Entscheidungshilfen für Wirtschaft und Politik inklusive Entwicklung betrieblicher und volkswirtschaftlicher Zirkularitätsindikatoren sowie die Schaffung der notwendigen Datenbasis. Dies ist sowohl auf Ebene der Europäischen Union als auch durch den nationalen Gesetzgeber zu gestalten; in Deutschland auf Bund- und Länderebene.
11. **Gezielte Förderung radikaler Innovationen und Geschäftsmodelle** durch Unterstützung von Pilotprojekten von Unternehmen sowie die Bereitstellung notwendiger finanzieller Mittel (unter anderem durch Gründungsförderung) und einer geeigneten (interorganisationalen) Infrastruktur (zum

Beispiel durch den Aufbau sogenannter Innovation Spaces). Dies ist sowohl auf Ebene der Europäischen Union als auch durch den nationalen Gesetzgeber zu gestalten; in Deutschland auf Bund- und Länderebene.

Öffentliche Beschaffung:

12. **Entwicklung und sukzessive Verstärkung von (Mindest-) Zielen und bindenden Quoten für zirkuläre Produkte und Geschäftsmodelle** (Bevorzugung von Verträgen im Rahmen des Product-as-a-Service-Geschäftsmodells) im öffentlichen Beschaffungswesen mittels einer wissenschaftsbasierten und praktikablen Entscheidungshilfe.¹⁶⁹ Die Entwicklung von (Mindest-)Zielen und Quoten sollte auf den unterschiedlichen Ebenen der öffentlichen Hand jeweils Teil der Haushalts- und Budgetplanungen werden.

Institutionalisierung:

13. **Schaffung eines zentralen institutionellen Trägers für die Circular-Economy-Transformation:** Dieser sollte ein kontinuierliches Monitoring durchführen, Innovationspotenziale herausarbeiten, Perspektiven von Politik, Wirtschaft und Gesellschaft konsolidieren sowie Programme, Piloten und Trainings durchführen. Auch die Schaffung eines entsprechenden Akteurs auf europäischer Ebene ist zu prüfen.

Bildung und Wissenstransfer:

14. **Aufbau von Angeboten zur Aus- und Fortbildung sowie rasche Anwendung von Grundlagen- und Anwendungswissen**, die die Skalierung von Circular Economy in Kooperation von Politik, Wirtschaft und Wissenschaft ermöglichen. Hierzu gehören die Integration von Circular Economy in (frühkindliche) Bildungs- und Lehrpläne, die Berücksichtigung von Circular Economy bei relevanten Ausbildungsberufen (zum Beispiel Reparaturinnen/Reparateure), die Einrichtung von Circular-Economy-bezogenen Studiengangvertiefungen, Studiengängen und Professuren, der Aufbau von Lernfabriken für die Circular Economy, die Schaffung von Experimentierräumen sowie die intensive Förderung von Circular-Economy-relevanten Bottom-up-Aktivitäten und sozialen Innovationen, in denen Bürgerinnen und Bürger als Prosumentinnen und Prosumenten eigeninitiativ transformative Lernprozesse für die Circular Economy vorantreiben und wichtige zirkuläre Fähigkeiten und Praktiken fördern.

169 | Wichtig dabei ist, dass eine solche Entscheidungshilfe eine Bewertung nicht nur auf Produktebene vornimmt, sondern auch Nachhaltigkeitspotenziale aus an Produkte gekoppelten Dienstleistungen und produktersetzenenden Dienstleistungsgeschäftsmodellen zulässt beziehungsweise gezielt fördert (zum Beispiel Abschätzung systemtransformierender Wirkung aus Mietmodellen).

Bis 2027: Mittelfristig „Struktur schaffen“

Standardisierung:

15. **Transparenz für Akteure in Wertschöpfungsnetzwerken erhöhen:** für Konsumierende zum Beispiel durch (verpflichtende) Einführung von Produktlabels (zum Beispiel Reparierbarkeit oder durchschnittliche Lebensdauer), für wirtschaftliche Akteure durch Bestimmung der verpflichtend zu berichtenden Daten sowie die digitale Bereitstellung relevanter Informationen durch die rechtlich verbindliche Beschreibung von Material- beziehungsweise Produktpässen und durch Schaffung von Zertifizierungsmöglichkeiten für hochqualitative Produkte (zum Beispiel wiederaufbereitete Produkte) und Prozesse (zum Beispiel Recycling).

Ökonomische Anreize:

16. **Gestaltung der für klima- und ressourcenoptimale Wirtschaftsentscheidungen notwendigen Neuausrichtung der Abgaben- und Steuerregularien:** Die genaue Ausgestaltung solcher marktlichen Rahmenbedingungen ist noch zu konkretisieren, sollte jedoch das grundsätzliche Ziel verfolgen, Circular-Economy-relevante Produkte und Dienstleistungen durch eine gezielte Umverteilung der Steuerlast relativ attraktiver zu machen als die CO₂-intensive Nutzung von Primärrohstoffen. Hierfür könnten einerseits zum Beispiel höhere Abgaben auf Ressourcen und Emissionen erhoben sowie umweltschädliche Subventionen abgebaut werden. Die daraus resultierenden Mehreinnahmen könnten andererseits zu gezielten Steuerentlastungen führen – für Unternehmen zum Beispiel durch reduzierte Sozialnebenkosten für Personal, Steuergutschriften bei neu eingestellten Mitarbeitenden sowie Investitionen in Circular-Economy-relevanten Bereichen und für Konsumierende zum Beispiel durch Reduktion der Mehrwertsteuer im Fall bestimmter Circular-Economy-Dienstleistungen wie Reparatur und Wartung.¹⁷⁰ Auch entsprechende Bonus-/Malus-Systeme, die Hersteller zur Einhaltung von Ökodesignprinzipien und Schließung von Stoffkreisläufen motivieren, könnten zur erforderlichen Ausweitung finanzieller Anreizsysteme beitragen.

Ordnungsrechtliche Instrumente:

17. **Bewertung von Circular-Economy-Kriterien (zum Beispiel Reparierbarkeit, Recyclingfähigkeit) im EU-Produktregis-**

ter (Conformité Européenne/CE-Marking) als Voraussetzung für Marktzugang zum Aufbau eines Level Playing Field.

18. **Allgemeine Verpflichtung der Hersteller zur Rücknahme von langlebigen Konsum- und Gebrauchsgütern** (kombiniert mit Extended Producer Responsibility, EPR) zur möglichst langen Vermeidung des Abfallstatus von Produkten. Es sollte die Möglichkeit gegeben sein, EPR-Pflichten von Herstellern an Weiternutzerinnen und -nutzer (insbesondere für Weiternutzungsoptionen (Second Life)) weiterzugeben. Zudem sind Übergänge von Haftungs- und Gewährleistungsregeln zwischen Herstellern und Weiternutzerinnen und -nutzern klarer zu regeln.
19. **Revision der Abfallgesetzgebung (KrWG)**, um zu vermeiden, dass gebrauchte, aber wiederverwendbare, reparierbare oder instandsetzbare Produkte überhaupt erst den Abfallstatus erhalten. Dazu gehören die explizite Integration von Circular-Economy-relevanten Definitionen/Standards (sowohl zur Wiederaufbereitung/Instandsetzung als auch zum Recycling) in die Abfallgesetzgebung, um zu verhindern, dass der Export für Re-Use oder Recycling als Schlupfloch für eine minderwertige Verwertung genutzt wird, die Regulierung des internationalen Handels zur Vermeidung des Abfallstatus von zurückgegebenen (Alt-)Produkten/Komponenten („Kerne“), sofern die Verbringung in zertifizierte Verwertungsbetriebe nachgewiesen werden kann, und die Harmonisierung auf internationaler Ebene zur Beseitigung von Handelsbarrieren.
20. **Harmonisierung nationaler und transnationaler Regularien**, unter anderem zu Prozessen und Anforderungen bei grenzüberschreitenden Transporten von End-of-Life(EoL)-Produkten und Materialien, Definitionen der für die Bestimmung von Rückgewinnerfolg zentralen Begriffe und Systemgrenzen, Produktschutz, Offenlegungspflichten und Akkreditierungsmöglichkeiten von zentralen Messgrößen
21. Wo technisch möglich: **Übergang zu „Safe-by-Design-Chemikalien“** mit der fortschreitenden Substitution gefährlicher Stoffe – zu behandeln an der Schnittstelle von REACH, Ökodesign/Produkt- und Abfallgesetzgebung
22. **Einführung von Recyclingquoten**,¹⁷¹ die ambitionierte, in der Praxis umsetzbare Ziele je Materialtyp definieren. Hierbei sind über quantitative Zielwerte hinaus insbesondere Anforderungen an die Qualität der Prozesse und der resultierenden Rezyklate festzulegen sowie zur Erhebung zentrale Begrifflichkeiten EU-weit einheitlich und klar zu definieren.
23. Festsetzung eines **Mindestanteils recycelter Bestandteile in Produkten**, wo technisch möglich, ökologisch sinnvoll und ökonomisch verträglich (wie beispielsweise für

170 | Die genannten Maßnahmen basieren auf den Vorschlägen des sogenannten Ex'tax Projects, vgl. The Ex'tax Project 2016

171 | Siehe Glossar.



PET-Getränkeflaschen von der EU-Kommission schon beschlossen). Das Vorhandensein der benötigten Rezyklatmengen und Qualitäten, die Möglichkeit des Nachweises sowie eine präzise Definition der Rezyklatherkunft, die zum Beispiel berücksichtigt, dass Rezyklat nicht höherwertigen Stoffkreisläufen entnommen werden darf und dass ausschließlich Post-Consumer-Rezyklate in der Quote zählen, ist für eine ökologisch sinnvolle Einführung einer Rezyklateinsatzquote entscheidend.

Technische Entwicklung und Forschung:

24. **Zielgerichtete Wirtschafts- und Wissenschaftsförderung** der Circular Economy: Dies umfasst zum einen die Förderung konkreter Projekte zur (Weiter-)Entwicklung von Circular-Economy-relevanten Technologien und Geschäftsmodellen durch die Bereitstellung notwendiger finanzieller Mittel (unter anderem durch Gründungsförderung) und eine geeignete (interorganisationale) Infrastruktur (zum Beispiel durch Aufbau sogenannter Innovation Spaces zur gezielten Förderung radikaler Innovationen und Geschäftsmodelle). Zum anderen sind die Sicherstellung des erforderlichen Wissensaufbaus in kleinen und mittelständischen Unternehmen sowie die Weiterführung und der Ausbau der Fördermaßnahmen im akademischen Umfeld mit Blick auf eine erfolgreiche Implementierung der Circular Economy sicherzustellen (siehe Punkt 10 in „Kurzfristige Maßnahmen“). Insbesondere bei der Förderung angewandter Forschungsprojekte sollten Circular-Economy-Anforderungen standardmäßig zu den Ausschreibungskriterien gehören, da diese bei allen neuen Technologien mitgedacht werden müssen. Zudem sollten sozialwissenschaftliche Forschungsansätze zur Begleitung der Circular-Economy-Entwicklung berücksichtigt werden.

Bis 2030: Langfristig „Durchbruch erwirken“

Ökonomische Anreize:

25. **Weiterentwicklung von angemessenen Anreizsystemen im Rahmen des Steuerrechts**, sodass Circular-Economy-Prinzipien durch sämtliche Steuerarten wie Einkommen- oder Konsumsteuern gefördert werden. Hierbei ist die Balance zwischen Effektivität und Effizienz zu wahren.
26. **Die Anwendung weitergehender ökonomischer Anreizsysteme** im Fall der (Über-)Erreichung beziehungsweise der Verfehlung von Recyclingzielen (beispielsweise Bonus-/Malus-Systeme) ist zu erwägen.

Ordnungsrechtliche Instrumente:

27. **Langfristige Erhöhung von Recyclingquoten – differenziert nach einzelnen Materialien**, gekoppelt an klare Definitionen der für die Bestimmung des Rückgewinnungserfolgs zentralen Begrifflichkeiten wie etwa Systemgrenzen oder Rezyklate sowie an Mindestqualitäten für Materialien und Prozesse. Hierzu sollte auf EU-weit einheitliche Regelungen abgezielt werden.

Bildung und Wissenstransfer:

28. **Transfer der Maßnahmen in einen globalen Kontext** für Leitmärkte einerseits („Race to the top“) und für sich entwickelnde Ökonomien andererseits durch Harmonisierung der Regulatorik, Vernetzung von Regierungen und relevanten anderen Akteuren aus Drittstaaten jenseits der Europäischen Union sowie Wissenstransfer und Kooperation im Rahmen von internationalen Kooperationen und Entwicklungszusammenarbeit.

5.3 Handlungsempfehlungen für die Wirtschaft

Die Handlungsempfehlungen für die Wirtschaft ergeben sich aus den Resultaten der drei Arbeitsgruppen Zirkuläre Geschäftsmodelle, Verpackung und Traktionsbatterien. Sie wurden entlang einer Zeitleiste (2021 bis 2030) verortet sowie den in Kapitel 5.1 definierten Handlungsschwerpunkten zugeordnet (siehe Abbildung 21).

Bis 2024: Kurzfristig „Grundlagen legen“

Zirkuläre Geschäftsmodelle:

1. Etablierung eines **Design for Circularity** in der Produktentwicklung, um die Langlebigkeit und Recyclingfähigkeit von Produkten zu stärken. Ziel ist, dass Produkte möglichst lange durch zirkuläre Strategien genutzt werden und der End-of-Life-Status vermieden wird. Das End-of-Life soll konsequent schon beim Design mitberücksichtigt werden, inklusive Rücknahmelogistik, Wieder- und Weiterverwendung, Wiederverwertung und hochwertigen Recyclings. Dazu sind wertschöpfungsnetzwerkübergreifende Zusammenarbeit und darauf basierende Netzwerke zu etablieren und zu nutzen.
2. **Entwicklung und Skalierung von zirkulären (Geschäftsmodell-)Innovationen**, insbesondere solcher, die über Recycling

Bis 2024	Bis 2027	Bis 2030
<p>Zirkuläre Geschäftsmodelle:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Etablieren eines Designs for Circularity für möglichst langlebige Produkte • Entwicklung und Skalierung von zirkulären (Geschäftsmodell-) Innovationen • Schaffung von Innovationsräumen und Leuchtturmprojekten zur Entwicklung neuer nutzungs- und ergebnisorientierter Geschäftsmodelle • Vorantreiben der Digitalisierung für Datenbereitstellung von Produkten, Komponenten und Materialien <p>Standardisierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kollaborative Initiierung gemeinsamer (Mindest-) Standards und eines systemischen Designs for Circularity auf Material-, Produkt-, Prozess- und Systemebene • Industrieweite Vereinbarungen zur betrieblichen und volkswirtschaftlichen Messung von Zirkularität <p>Transparenz:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bereitstellung relevanter Daten und Angebote zur Unterstützung zirkulärer Geschäftsmodelle • Aktive Kommunikation und Verfügbarmachung von Informationen, um Kundenentscheidungen für Circular-Economy-Angebote zu fördern • Ausbau des Nachhaltigkeitsreportings bezüglich konsistenter und Circular-Economy-relevanter Aspekte <p>Bildung und Wissenstransfer:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung und Umsetzung von Grundlagenwissen, (Aus-) Bildung und (technischen) Schulungen, die die Skalierung von Circular Economy ermöglichen 	<p>Zirkuläre Geschäftsmodelle:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Weiter- und Neuentwicklung sowie Skalierung zirkulärer nutzungs- und ergebnisorientierter Geschäftsmodelle • Formulieren von Anforderungen zur Förderung von neuen Circular-Economy-Geschäftsmodellen • Vorantreiben der Digitalisierung für den vertrauensvollen Austausch von Daten für die Zustandsbewertung von Produkten, Komponenten und Materialien <p>Transparenz:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verstärkung von Investitionen in kollaborative Kommerzialisierung und Skalierung von Technologien und Tools zur Schaffung von Transparenz von Materialstoffströmen • Schaffen von Metriken und Bewertungslogiken für das Definieren und Erreichen von Circular-Economy-Zielen <p>Wieder- und Weiterverwendungs- sowie Recyclinginfrastruktur:</p> <ul style="list-style-type: none"> • EU-weit abgestimmter Ausbau einer europaweiten Wieder- und Weiterverwendungs- sowie Recyclinginfrastruktur • Demonstration und Verbreitung digitaler Technologien zu Verbesserung von Materialerkennung und -sortierung <p>Technische Entwicklung und Forschung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verstärkung von Investitionen in die kollaborative Entwicklung notwendiger Technologien für die Circular Economy (zum Beispiel Sammel-, Sortier- und Recyclingtechnologien) 	<p>Zirkuläre Geschäftsmodelle:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nutzen integrierter Entscheidungsprozesse unter Berücksichtigung systemischer Ressourcen-, Energie-, Umwelt- und sozialer Effekte über den gesamten Wertschöpfungskreislauf hinweg • Umfassende Anwendung dienstleistungsorientierter Geschäftsmodelle • Weitgehende Verbreitung kollaborativer Geschäftsaktivitäten und Wertschöpfungsnetzwerke <p>Standardisierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Breite Adaption von Technologien und technischen Standards für die Bereitstellung und den Austausch von digitalen Daten mit Relevanz für R-Strategien <p>Transparenz:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Einbettung anerkannter Metriken für nachhaltiges, zirkuläres Wirtschaften in ein umfassendes Anreiz- und Steuerungssystem

Abbildung 21: Überblick über die kurz-, mittel- und langfristigen Handlungsempfehlungen für die Wirtschaft (Quelle: eigene Darstellung)

- beziehungsweise die Nutzung von Rezyklaten hinausgehen und höherwertige zirkuläre Strategien wie Wartung und Upgrade, Reparatur, Wiederaufbereitung oder Wiederverwendung anwenden
- Die wirtschaftlichen Akteure sollten sowohl organisationsintern als auch überbetrieblich in Partnerschaften **neue Innovationsräume schaffen** und **Leuchtturmprojekte starten**, die Firmen die Möglichkeit bieten, neue nutzungs- und ergebnisorientierte Dienstleistungsgeschäftsmodelle entlang der zirkulären Strategien zu entwickeln. Die Möglichkeiten umfassen insbesondere Sharing- und Pay-per-Performance-Modelle. Idealerweise können hier auch zwischenbetriebliche Koalitionen getestet und etabliert werden.
 - Die Wirtschaft soll die **Digitalisierung** als wesentliches Werkzeug für die Etablierung von zirkulären Geschäftsmodellen vorantreiben. Ziel ist die **Bereitstellung relevanter Daten**, die Standortverfolgung sowie Tracking und Tracing von Produkten, Komponenten und Materialien erlaubt.



Damit sollen eine möglichst hochwertige Weiternutzung sowie Materialrückgewinnung nach dem Lebensende ermöglicht, das Auftreten toxischer Wirkungen entlang der Wertschöpfungskette vermieden und die Folgenutzung nicht negativ beeinträchtigt werden.

Standardisierung:

5. Durch die **kollaborative Initiierung gemeinsamer (Mindest-)Standards** und entsprechender Zertifizierungsmöglichkeiten sowie eines systemischen Design for Circularity kann die Industrie synergetische Potenziale auf verschiedenen Wirkungsebenen ausschöpfen. Sowohl einzelne Akteure als auch Industrieverbände und Standardisierungsvereinigungen können hier tätig werden, insbesondere:

- auf Materialebene: Einerseits könnten durch die Festsetzung von standardisierten Qualitäten für Input-Materialien (beispielsweise bei Verpackungsabfällen) Skaleneffekte und hieraus resultierende Kostendegressionen in Recyclinganlagen besser erreicht werden; außerdem könnten hierdurch höhere Input-Materialreinheiten und somit bessere Erfolge beim Recycling erzielt werden. Andererseits böte die Mandatierung ambitionierter Rückgewinnungsraten gemäß den definierten Rezyklatqualitäten für spezifische Materialien einen wichtigen Anreiz, um die Gewinnung hochwertiger Rezyklate zu unterstützen.
- auf Produktebene: Dies erfordert den Fokus eines Design for Circularity von Produkten (zum Beispiel Design for Remanufacturing, Re-Use oder Recycling). Außerdem bedarf es der Entwicklung von Standards, um bessere Aussagen über den Zustand wiederverwendeter, wiederaufbereiteter Produkte/Komponenten sowie Rezyklate auf Basis rückverfolgbarer Daten (zum Beispiel mit Product History Tracking, Produktpässen) zu treffen und somit das Vertrauen der Marktteilnehmenden in gebrauchte Produkte zu erhöhen. Wo sinnvoll, sollte auch die Vielfalt von Produkttypen (beispielsweise bei Traktionsbatterien) harmonisiert werden.
- auf Unternehmensebene: Produktlebenszyklusdaten sollten verstärkt genutzt werden – in Programmen zur Unternehmensführung und -verwaltung genauso wie auch zur Entwicklung und Anpassung von zentralen steuerungsrelevanten betriebswirtschaftlichen Messgrößen (KPI sowie darauf aufbauende Incentivierungssysteme) und zur Anpassung von Bilanzierungsansätzen, damit verschiedene zirkuläre Strategien konsistent bewertet und incentiviert werden.

- auf Prozessebene: Dies kann zum Beispiel die Initiierung von Instandsetzungs-, Remanufacturing- und Recyclingstandards sowie Mindeststandards zur Recyclingfähigkeit umfassen.
- auf Systemebene: Produkte und Prozesse sollten in ressourcenentkoppelte und nachhaltige Prozessketten und über die Wertschöpfungskette hinweg eingebettet werden, zum Beispiel durch Entwicklung neuer plattformbasierter Geschäftsmodelle. Diese werden in der Regel nationale Grenzen überschreiten und sollten daher in ein gesamteuropäisches System eingebettet werden, in dem die deutsche Politik und deutsche Unternehmen Vorreiterrollen übernehmen sollten.

6. Es bedarf **industrieweiter Vereinbarungen**, die spezifizieren, durch welche betrieblichen Indikatoren Zirkularität gemessen werden kann und wie sich diese Indikatoren zueinander und zu volkswirtschaftlichen Metriken verhalten. Insbesondere über Industriekooperationen und einschlägige Fachgremien sind Einigungen hierüber zu treffen:

- Unterscheidung zwischen ökonomischen (zum Beispiel ROI auf Dienstleistungsgeschäftsmodelle), ökologischen (zum Beispiel Rückgewinnungsraten) und sozialen (zum Beispiel geschaffene Arbeitsplätze) Metriken sowie Berücksichtigung möglicher Interaktionen.
- Die Bereitstellung der hierfür notwendigen Daten kann dabei sowohl dem externen Reporting als auch dem internen Monitoring im Sinne einer innerbetrieblichen Entscheidungsfindung (zum Beispiel im Rahmen eines Forecasting von Rücklaufmengen) zugutekommen. Hierzu gehört auch die Festlegung von Abschreibungsregeln, die die Bewertung von Circular-Economy-Maßnahmen in Unternehmen erleichtern.
- Auf diesem Gebiet kommt der Entwicklung digitaler Material- und Produktpässe eine zentrale Bedeutung zu, die statische (Materialfußabdruck, Seriennummern, Fertigungsinformationen etc.) und dynamische (jeweilige Besitzerinnen und Besitzer, Wartungsmaßnahmen, Zustand (State of Health, SoH) etc.) Daten effizient, sicher und anwenderbezogen über die Lebenszeit und die enthaltenen Materialien bereitstellen können. Die spezifischen Daten gilt es unter anderem in Abstimmung mit regulatorischen Anforderungen zu definieren.

Transparenz:

7. Wirtschaftliche Akteure sollten entsprechend den regulatorischen Anforderungen und darüber hinaus **relevante Informationen und Daten bereitstellen und einen**

kollaborativen Austausch fördern, der die Ressourcenproduktivität steigernde Geschäftsmodelle unterstützt. Um einem Konflikt mit dem Datenschutz vorzubeugen, sollte der Hersteller nur Daten sammeln und weitergeben, die dafür relevant sind. Dies erfordert eine Positive-Sum-Game-Einstellung¹⁷² und die Identifikation geteilter Interessen, um die Offenlegung nutzbarer Informationen sowie einen transparenten Informationsaustausch anzuregen.

8. Aktive **Kommunikation und Marketing** der Circular-Economy-Themen sowie der Hintergründe und Zusammenhänge von neuen Angeboten und Geschäftsmodellen: Dazu ist die **Optimierung der Transparenz, Zugänglichkeit und Verständlichkeit** von Informationen (zum Beispiel wahre Kosten, Ökobilanz sowie Auswirkungen von Kaufentscheidungen) notwendig – gegebenenfalls auch unter Beteiligung von Bürgerinnen und Bürgern –, um Entscheidungen zugunsten nachhaltiger, zirkulärer Produkte und Dienstleistungen zu fördern.
9. Konsequente **Einführung eines aussagekräftigen Nachhaltigkeitsreportings** bezüglich Circular-Economy-relevanter Metriken und Inhalte nach internationalen Standards (zum Beispiel UN Global Compact, Global Reporting Initiative – GRI), um die Effekte von Maßnahmen transparent zu machen.

Bildung und Wissenstransfer:

10. Die **Entwicklung und Umsetzung von Grundlagenwissen, (Aus-)Bildung und (technischen) Schulungen**, die die Skalierung von Circular Economy ermöglichen, ist in Kooperation mit Politik und Wissenschaft anzugehen. Hierzu gehören:
 - Verbundforschung mit Hochschulen und anderen Einrichtungen in den Bereichen Grundlagen- und Anwendungsforschung, nicht zuletzt inklusive transferorientierter sozialwissenschaftlicher Forschung unter anderem bezüglich Kundenverhalten sowie Vermittlung von Circular-Economy-Produkten und Circular-Economy-Praktiken
 - technische Schulungen, insbesondere um Arbeitsschutz und -sicherheit bei der Handhabung von End-of-Life(EoL)-Batterien sowie die Verfügbarkeit von geschultem Personal sicherzustellen
 - Weiterentwicklung und Öffnung von Ausbildungsberufen (zum Beispiel Produktionstechnologie) für die Circular Economy
 - die Bildung der Bevölkerung und des Fachpersonals zu Grundprinzipien der Circular Economy (etwa zu den Themen Ressourcenschonung und Klimaschutz sowie volks- und betriebswirtschaftliche Qualifikationen)

- die Intensivierung der Finanzierung von Kinder- und Jugendbildung, zum Beispiel um das Verständnis über Vermeidung, zirkuläre Produkte und Geschäftsmodelle sowie die Auswirkungen von Kaufentscheidungen zu fördern

Bis 2027: Mittelfristig „Strukturen schaffen“

Zirkuläre Geschäftsmodelle:

11. Nutzen der Erkenntnisse der ersten Leuchtturmprojekte und Innovation Spaces, damit **zirkuläre, insbesondere nutzungs- und ergebnisorientierte Geschäftsmodelle konsequent weiter- beziehungsweise neu entwickelt und skaliert werden** – unter Sicherstellung ihrer Effektivität hinsichtlich Ressourcenschonung, Klimaschutz und Inklusivität. Neuartige Geschäftsmodelle wie Leasing oder Sharing setzen dabei jedoch zum Teil neue Eigentumsverhältnisse voraus, die es im Dialog mit allen beteiligten Akteuren transparent auszuhandeln gilt und deren Effekte auf zum Beispiel Wertzuteilung und Haftung zu klären sind. Durch die Aushandlung konkreter Anforderungen und Richtlinien beziehungsweise Umgangsformen für langfristige Kooperationen sollte für alle relevanten Akteure der Anreiz hierzu gesetzt werden.
12. **Im Rahmen von zum Beispiel Industrieverbänden sollen Anforderungen an die Politik** formuliert werden, um Barrieren für Circular-Economy-Geschäftsmodelle abzubauen und solche zu fördern, die die vollständige Herstellerverantwortung während des Produktlebens bis End-of-Life unterstützen. Dazu können insbesondere **nutzungs- und ergebnisorientierte Geschäftsmodelle** wie Sharing oder Pay-per-Performance-Modelle eine konsequente Hinführung beziehungsweise Umsetzungsform sein.
13. Die **Digitalisierung** soll durch den **vertrauensvollen Austausch von Daten** über Produkte, Komponenten und Materialien mithilfe des Einsatzes neuer digitaler Systeme wie Distributed-Ledger-Technologien und Produktpässe vorangetrieben werden. Dazu ist die Entwicklung von digitalen Tools wie Machine Learning zur **Bewertung des Zustands** von Produkten, Komponenten und Materialien aus den ausgetauschten Daten zu forcieren.

Transparenz:

14. Die **Verbesserung der Transparenz von komplexen Wertschöpfungsnetzwerken und Materialstoffströmen ist nötig, indem verstärkt Investitionen in kollaborative Kommerzialisierung und Skalierung von relevanten Technologien und Tools getätigt werden**. Dazu sollten digitale

172 | Eine kooperative Einstellung von Marktakteuren mit dem Ziel, gemeinsame Vorteile oder „Win-wins“ zu erzielen.



Technologien verstärkt eingeführt und angewendet werden. Produktpässe, Machine-Learning-Algorithmen oder Internet-of-Things sind hier als Beispiele zu nennen, da sie die Rückverfolgbarkeit von Produkten, Komponenten und Materialien entlang des Wertezyklus ermöglichen.

15. Schaffen von **Metriken und Bewertungslogiken für die Definition und Erreichung von Circular-Economy-Zielen** wie etwa Steigerung der Langlebigkeit von Produkten, Wiederverwendung von Komponenten und hochwertiges Recycling.

Wieder- und Weiterverwendungs- sowie Recyclinginfrastruktur:

16. EU-weit abgestimmter **Ausbau einer europaweiten Wieder- und Weiterverwendungs- sowie Recyclinginfrastruktur** und Skalierung der Kapazitäten in Deutschland und EU-weit
17. Unterstützung der **Demonstration und Verbreitung digitaler Technologien (zum Beispiel der Künstlichen Intelligenz) im Verwertungssektor**, um die Materialerkennung und -sortierung als Grundvoraussetzung für ein hochwertiges zirkuläres Management inklusive Recycling zu verbessern

Technische Entwicklung und Forschung:

18. **Intensivierung von Investitionen in eigene und kollaborative Entwicklung notwendiger Technologien** für die Circular Economy (zum Beispiel Sammel-, Sortier- und Recyclingtechnologien): Dies sollte unter Berücksichtigung anerkannter Standards (insbesondere der EU-Taxonomie für nachhaltige Investitionen) und weiterer Circular-Economy-spezifischer Empfehlungen geschehen.

Bis 2030: Langfristig „Durchbruch erwirken“

Zirkuläre Geschäftsmodelle:

19. **Wirtschaftliche Akteure sollten integrierte Entscheidungsprozesse nutzen**, in denen Auswirkungen auf den Wertschöpfungskreislauf – und die damit verbundenen Effekte auf Ressourcen, Energie (beziehungsweise Exergie), Umwelt und soziale Implikationen auf Ebene des Gesamtsystems – systematisch Berücksichtigung finden. Diese Entscheidungsprozesse sollten auf wissenschaftlichen Prinzipien beziehungsweise Erkenntnissen beruhen, gesellschaftliche Interessen innerhalb und außerhalb Deutschlands berücksichtigen sowie kollaboratives Geschäftsgebaren innerhalb zirkulärer Wertschöpfungsnetzwerke priorisieren.

20. **Umfassende Anwendung dienstleistungsorientierter Geschäftsmodelle** sowohl durch individuelle Unternehmen als auch durch kollaborative Geschäftsaktivitäten und Wertschöpfungsnetzwerke.

Standardisierung:

21. **Breite Adaption von Technologien und technischen Standards** für die Bereitstellung und den Austausch von digitalen Daten mit Relevanz für zirkuläre Strategien.

Transparenz:

22. **Einbettung anerkannter Metriken für nachhaltiges, zirkuläres Wirtschaften in ein umfassendes Anreiz- und Steuerungssystem**: Dadurch sollen die externen Belastungen der Ressourcen in das Wirtschaften verursachergerecht internalisiert und die neuen Circular-Economy-Geschäftsmodelle optimal gefördert werden.

5.4 Handlungsempfehlungen für die Wissenschaft

Die Handlungsempfehlungen für die Wissenschaft ergeben sich aus den Resultaten der drei Arbeitsgruppen Zirkuläre Geschäftsmodelle, Verpackung und Traktionsbatterien. Sie wurden entlang einer Zeitleiste (2021 bis 2030) verortet sowie den in Kapitel 5.1 definierten Handlungsschwerpunkten zugeordnet (siehe Abbildung 22).

Bis 2024: Kurzfristig „Grundlagen legen“

Technische Entwicklung und Forschung:

1. Durch eine ganzheitliche Betrachtung wirtschaftlicher, ökologischer und sozialer Zielgrößen sowie Mess- und Bewertungsmethoden sollte die Wissenschaft eine **Entscheidungsbasis zur Bewertung möglicher Zielkonflikte** (Trade-offs) herstellen und Optionen für deren Auflösung aufzeigen. Für die beiden Funktionssysteme der Kunststoffverpackungen und Traktionsbatterien wurde die Bedeutung einer Bewertungs- und Entscheidungsgrundlage hervorgehoben, um die Nachhaltigkeit von Produkten zu steigern und potenzielle Maßnahmen unter Berücksichtigung gesamtsystemischer Effekte zu bewerten. Außerdem sollte die Wissenschaft in enger Abstimmung mit Politik und Wirtschaft **betriebliche und volkswirtschaftliche Zirkularitätsindikatoren**

Bis 2024	Bis 2027	Bis 2030
<p>Technische Entwicklung und Forschung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bereitstellung einer Entscheidungs-basis zur Bewertung möglicher Zielkonflikte • Mitentwicklung betrieblicher und volkswirtschaftlicher Zirkularitäts-indikatoren • (Weiter-) Entwicklung anwendungs-naher, interdisziplinärer (digitaler) Lösungen für die Optimierung der gesamtsystemischen Effekte auf Material-, Produkt- und Prozessebene • Entwicklung einer langfristig angelegten, inter- und transdisziplinären Forschungsstrategie zu den gesellschaftlichen Implikationen einer Circular Economy <p>Bildung und Wissenstransfer:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Integration der Circular Economy in diverse Studiengänge • Einrichtung von Professuren/Lehrstühlen, gezielte Förderung transdisziplinärer Forschungsverbünde und Reallabore sowie Weiterentwicklung der Forschungsinfrastruktur im Dialog mit der Politik 	<p>Technische Entwicklung und Forschung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung und Bereitstellung von Circular-Economy-relevanten Modellierungen, Simulationen und (digitalen) Tools 	<p>Technische Entwicklung und Forschung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Stetige Weiterentwicklung von Materialien und Prozesstechnologien

Abbildung 22: Überblick über die kurz-, mittel- und langfristigen Handlungsempfehlungen für die Wissenschaft (Quelle: eigene Darstellung)

- mitentwickeln und validieren sowie die Schaffung der notwendigen Datenbasis unterstützen.
- Die Wissenschaft kann durch **anwendungsnahe interdisziplinäre Forschung und Entwicklung** die erfolgreiche Implementierung einer Circular Economy auf verschiedenen Ebenen unterstützen. Insbesondere die (Weiter-)Entwicklung technischer, interdisziplinärer Lösungen, um die gesamtsystemischen Effekte auf Material-, Produkt- und Prozessebene zu optimieren, ist zu forcieren, etwa durch die (Weiter-) Entwicklung von kreislauffähigen Materialien, Datenplattformen und automatisierten Prozesstechnologien, Modellen für Circular Economy wie zum Beispiel zur (genaueren) Vorhersage von Produktlebensdauern oder auch durch ökonomische Analysen von Pfadabhängigkeiten und Transaktionskosten.
 - Entwicklung einer langfristig angelegten, **inter- und transdisziplinären Forschungsstrategie, um die umfassenden Fragestellungen zu den gesellschaftlichen Implikatio-**

nen einer Circular Economy zu adressieren („Circular Society“): Neben sozialwissenschaftlichen Erkenntnissen über Nutzungsmuster oder die Nutzung zirkulärer Produkte und Geschäftsmodelle müssen vor allem auch empirische Zusammenhänge untersucht sowie notwendige Konzepte und Messinstrumente entwickelt werden. Zudem bedarf es eines Wissensaufbaus zu den angestrebten sozialen und gesellschaftlichen Zielen, damit die erforderlichen transformativen Prozesse gestaltet werden können.

Bildung und Wissenstransfer:

- Durch **Integration der Circular Economy in diverse Studiengänge** sollte der Aufbau von fundiertem Grundlagen- und Anwendungswissen der zukünftigen gesellschaftlichen Akteure gefördert werden. Dazu gehören sowohl die Bereitstellung entsprechender Ausbildungsinhalte (zum Beispiel kreislauffähiges Produktdesign) als auch die Einrichtung

von Circular-Economy-bezogenen Masterstudiengängen und Studiengangvertiefungen. Neben der Neueinführung von Professuren, Studiengängen, Spezialisierungen und Lehrveranstaltungen sollte aber auch die Integration in bestehende klassische Fächer in den Curricula gefördert werden (zum Beispiel Auslobung von Preisen, Fördergelder zur Lehrintegration etc.), damit die klassische Lehre (zum Beispiel Betriebswirtschaftslehre) nicht im Widerspruch zu neuen Prinzipien der Zirkularität steht. Mittelfristig sollten Circular-Economy-relevante Studien- und Ausbildungsinhalte zum Standard von Bildungseinrichtungen gehören.

5. Durch **verstärkte** Grundlagen- und **transdisziplinäre Anwendungsforschung** sollte die Wissenschaft die Weiterentwicklung von Circular Economy vorantreiben. Mögliche Maßnahmen sind eigens eingerichtete **Professuren und Lehrstühle**, **gezielt geförderte transdisziplinäre Forschungsverbünde und Reallabore** sowie eine Forschungsinfrastruktur, die im Dialog mit der Politik weiterentwickelt wird.

Bis 2027: Mittelfristig „Struktur schaffen“

Technische Entwicklung und Forschung:

6. Der Wissenschaft kommt außerdem eine zentrale Bedeutung bei **Circular-Economy-relevanten Modellierungen, Simulationen und Tools** zu. Insbesondere beinhaltet dies die Be-

reitstellung von praktisch anwendbaren Modellen und Prognosetools zur Abschätzung der physischen Stoffflüsse (zum Beispiel für die Reduktion des Materialaufkommens und zur Steigerung der systemischen Energieeffizienz), der zu erwartenden Nutzungsdauer von Produkten sowie der Bedarfsentwicklung und Entscheidungsoptimierung im Re-Use. Der Digitale Zwilling ist auf Basis validierter Modelle aufzubauen. Zudem gilt es, eine zugehörige, möglichst webbasierte Simulationsplattform zu entwickeln, um robuste Vorhersagen über Materialkreisläufe treffen zu können. Für die robuste und valide Messung beispielsweise der Recycling- und Energieeffizienz sind neue Methoden zu entwickeln und zu validieren. Auf dieser Basis sind dann gesamtsystemische, marktorientierte Lösungsansätze zu entwerfen sowie deren stufenweise Umsetzung zu konzipieren und letztlich zu begleiten.

Bis 2030: Langfristig „Durchbruch erwirken“

Technische Entwicklung und Forschung:

7. **Materialien und Prozesstechnologien müssen stetig weiterentwickelt werden.** Hierzu gehören einerseits die Fähigkeit, die Stoffe mit hohen Recyclingquoten und Materialreinheiten ohne Qualitätsverlust im Kreislauf zu führen, und andererseits die Entwicklung ökonomisch und ökologisch zukunftweisender Materialien und Prozesse.

6 Ausblick

Zusammenfassend lässt sich die Bedeutung der Circular Economy für Entscheidungsverantwortliche aus Politik, Wirtschaft und Wissenschaft wie folgt beschreiben:

Circular Economy ist über existierende Maßnahmen hinaus eine wichtige Herangehensweise, um Deutschlands Klima-, Ressourcen- und Entwicklungsziele zu erreichen. In einigen Industrien (Verpackungen) ist sie eine kritische Voraussetzung für die Marktakzeptanz; in weiteren Industrien (Traktionsbatterien) ist sie zudem ein kritischer Wettbewerbsvorteil. Ein konkretes Marktmodell für mehr Zirkularität kann nur in Zusammenarbeit zwischen Politik und Wirtschaft entwickelt werden. Daher sollte Circular Economy im Rahmen der politischen Debatte über alle Parteien hinweg eine zentrale Säule für Deutschlands Zukunftsfähigkeit werden. Neue Geschäftsmodelle für mehr Circular Economy und Ressourcenentkopplung setzen dabei einen Handlungsrahmen für Deutschlands Digitalisierung. Die *Circular Economy Initiative Deutschland* hat hierfür den Grundstein gelegt.

Um Leitnation für eine zirkuläre industrielle Entwicklung zu sein, muss sich Deutschland messbare Circular-Economy-Ziele setzen. Hierzu sollte Deutschland innerhalb der Europäischen Union Impulsgeber für eine Circular Economy werden. Unternehmen sollten eine solche industrie- und umweltpolitische Orientierung explizit fördern und ihrerseits aktiv werden, um die Umsetzbarkeit der Circular Economy durch Produkt- und Geschäftsmodellinnovationen (insbesondere digital unterstützt) zu ermöglichen.

Die Umsetzung der hier entwickelten Roadmap sollte zeitnah begonnen werden, um die Potenziale der Circular Economy zu verwirklichen und somit einerseits die deutschen Klima-, Ressourcen- und Nachhaltigkeitsziele zu erreichen sowie andererseits die internationale Konkurrenzfähigkeit der deutschen Wirtschaft zu erhalten und weiter auszubauen. Hierzu gehören insbesondere

1. die Verankerung der Empfehlungen der *Circular Economy Initiative Deutschland* in einer integrierten, umfassenden Circular-Economy-Strategie für Deutschland mit konkreten, sich ergänzenden Zielen, unter anderem zur Abfallvermeidung, zum Recycling und zum Gesamtressourcenverbrauch,
2. die Einrichtung einer ressortübergreifenden Koordination der Maßnahmenumsetzung auf höchstmöglicher Ebene, die von einem hochkarätig und transdisziplinär besetzten Expertenbeirat begleitet wird,
3. die Umsetzung effektiver Pilotprojekte in die Praxis, beispielsweise die durch die Arbeitsgruppe Traktionsbatterien entwickelten Projektskizzen („Kenntnis des Batterielebens“, „Modellbasierte Entscheidungsplattform“ und „Demontage-Netzwerk“),
4. die Erkundung, Pilotierung und Skalierung konkreter Geschäftsmodelle, die höherwertige zirkuläre Strategien sowie nutzen- und ergebnisorientierte Geschäftsmodelle in die Umsetzung bringen,
5. die Optimierung der Quantifizierung von Circular-Economy-Maßnahmen auf volkswirtschaftlicher und betrieblicher Ebene bezüglich ihrer ökologischen, ökonomischen und sozialen Effekte sowie die Analyse der Wirkung von CO₂-Preisen und einer Neuausrichtung der Steuerregularien zur Unterstützung von klima- und ressourcenoptimalen Wirtschaftsentscheidungen,
6. die Vertiefung der im Rahmen der *Circular Economy Initiative Deutschland* begonnenen europäischen Vernetzung mit anderen europäischen Initiativen, Wissenschaftsakademien und Forschungsnetzwerken sowie
7. die Durchführung weiterer Leitprojekte analog der *Circular Economy Initiative Deutschland* zur Generierung vertiefter Erkenntnisse für weitere Funktionsbereiche (etwa Gebäude und Infrastruktur, Nahrungsmittel sowie Land- und Forstwirtschaft, Textilien und Bekleidung, Elektrogeräte) in enger Zusammenarbeit mit anderen (auch europäischen) Initiativen.

Die Mitglieder der *Circular Economy Initiative Deutschland* hoffen, mit der hier vorgelegten Arbeit einen Beitrag zur Circular-Economy-Transformation geleistet zu haben, und stehen bereit, die oben genannten Initiativen zu unterstützen.

Anhang

A Glossar

Die folgenden Begriffe sind thematisch sortiert:

Begriff	Definition	Kommentar
Circular Economy	Die Circular Economy zielt darauf ab, durch die Einnahme einer Systemperspektive – etwa unter Einsatz von digitalen Technologien, einer Produktumgestaltung und der Rekonfiguration von Wertschöpfungsketten – den maximalen Werterhalt von eingesetzten Rohstoffen zu gewährleisten. Sie betont damit die Bedeutung höherer Ressourcenproduktivität und letztlich der Entkopplung von Wertschaffung. Somit folgt sie konsequent der Abfallhierarchie, in der die Vermeidung von Abfällen an erster, die Verbrennung und Deponie hingegen an letzter Stelle stehen. Hierdurch sollen nicht zuletzt negative Umwelteffekte (zum Beispiel CO ₂ -Emissionen und Ökotoxizität) vermieden werden. Zu betonen ist insbesondere die Abgrenzung von dem in Deutschland genutzten Konzept der „Kreislaufwirtschaft“, das bis dato vielmehr eine recyclingorientierte Abfallwirtschaft ist. ¹⁷³	Vergleiche Vorstudie der <i>Circular Economy Initiative Deutschland</i> (CEID). ¹⁷⁴
(Ressourcen-) Entkopplung	Entkopplung von Wirtschaftsleistung und Wohlbefinden von Ressourcennutzung und Externalitäten. Es wird zwischen relativer und absoluter Entkopplung unterschieden. Eine relative Entkopplung findet statt, wenn das Wirtschaftswachstum stärker zunimmt als die damit verbundenen Umwelt- und Sozialfolgen. Eine absolute Entkopplung tritt erst auf, wenn Ressourcennutzung und Externalitäten bei anhaltendem Wirtschaftswachstum abnehmen.	Vergleiche International Resource Panel. ¹⁷⁵
Lebenszyklus	„Die Gesamtheit der aufeinander folgenden und miteinander verknüpften Existenzphasen eines Produkts von der Verarbeitung des Rohmaterials bis zur Entsorgung.“ ¹⁷⁶	
End-of-Life	Die End-of-Life-Phase im Lebenszyklus beginnt, wenn das betrachtete Produkt und seine Verpackung durch die Nutzerin/den Nutzer entsorgt werden, und endet, wenn das Produkt als Abfall in die Natur zurückgegeben wird oder in den Lebenszyklus eines anderen Produkts eingeht (zum Beispiel als recycelter Input). ¹⁷⁷	
Abfall	„Ein Stoff oder Gegenstand im Sinne des Anhangs I der Richtlinie 2006/12/EG, dessen sich sein Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muss.“ ¹⁷⁸	
Design for Circularity	Übergreifende Berücksichtigung von CE-Prinzipien im Produktdesign. Design-for-Circularity-Strategien zielen darauf ab, die Langlebigkeit und Recyclingfähigkeit von Produkten zu stärken. Mögliche Design-for-Circularity-Strategien umfassen unter anderem: ¹⁷⁹ 1) Design for Reliability and Durability (Langlebigkeit), 2) Design for Ease of Maintenance and Repair (Reparierbarkeit), 3) Design for Upgradability and Adaptability (Aufrüstbarkeit), 4) Design for Standardisation (Standardisierung), 5) Design for Dis- and Reassembly, 6) Design for Refurbishment/Remanufacturing (Aufbereitung/Wiederaufbereitung), 7) Design for Recycling, 8) Safe by Design, sprich die Vermeidung toxischer oder gesundheitsgefährdender Stoffe.	
Re-Use (Wiederverwendung)	„Maßnahme, durch die ein Produkt, das das Ende seiner Erstnutzung erreicht hat, erneut für denselben Zweck verwendet wird, für den es ursprünglich bestimmt war, einschließlich der weiteren Nutzung eines Produkts, das bei einer Rücknahmestelle, einem Verteiler, Recyclingbetrieb oder Hersteller abgegeben wurde, sowie die erneute Nutzung eines Produkts nach seiner Aufarbeitung“ ¹⁸⁰	

173 | Vgl. Sachverständigenrat für Umweltfragen 2020b.

174 | Vgl. Weber/Stuchtey 2019.

175 | Vgl. International Resource Panel 2019.

176 | Vgl. Europäisches Parlament/Rat der Europäischen Union 2009.

177 | Vgl. Zampori/Pant 2019.

178 | Vgl. Europäisches Parlament/Rat der Europäischen Union 2009.

179 | Vgl. Bocken et al. 2016.

180 | Vgl. Europäisches Parlament/Rat der Europäischen Union 2009.

Begriff	Definition	Kommentar
Maintenance (Wartung)	Kombination aller technischen und verwaltungstechnischen Maßnahmen, die dazu dienen, einen Gegenstand in einem Zustand zu erhalten oder wiederherzustellen, in dem er die geforderte Leistung erbringen kann ¹⁸¹	
Repair (Reparatur)	Prozess der Rückführung eines fehlerhaften Produkts in einen Zustand, in dem es seine bestimmungsgemäße Verwendung erfüllen kann ¹⁸²	
Upgrade (Aufrüstung)	Verfahren zur Verbesserung der Funktionalität, Leistung, Kapazität oder Ästhetik eines Produkts ¹⁸³	
Refurbishment (Aufbereitung)	Funktionelle oder ästhetische Instandhaltung oder Reparatur eines Gegenstands, um diesen in seine ursprüngliche oder verbesserte oder eine andere vorgegebene Form und Funktionalität zu bringen ¹⁸⁴	
Remanufacturing (Wiederaufbereitung)	Industrielles Verfahren, bei dem ein zuvor gebrauchtes oder nicht funktionsfähiges Produkt oder eine Komponente wieder in einen „neuwertigen“ oder „Besser-als-neu“-Zustand versetzt wird ¹⁸⁵	
Recycling	Die industrielle Wiederaufbereitung von Abfallmaterialien für den ursprünglichen oder einen anderen Zweck, jedoch mit Ausnahme der energetischen Verwertung ¹⁸⁶	
Closed-Loop-/Open-Loop-Recycling	Closed-Loop-Recycling bedeutet die Wiederverwendung von Rezyklaten in der gleichen Anwendung, aus der die Input-Materialien stammen. Beim Open-Loop-Recycling hingegen werden die Rezyklate auch in anderen Anwendungen verwendet.	Das Open-Loop-Recycling ermöglicht ein breiteres Anwendungsspektrum der Rezyklate, was einen größeren Markt und damit gegebenenfalls eine höhere Nachfrage mit sich bringt – aber auch das Risiko für höhere Qualitätsverluste im Recycling. Ein Closed Loop im Sinne hundertprozentiger permanenter Kreislaufführung aller Materialien ist physikalisch nicht möglich und eine Annäherung daran thermodynamisch zunehmend suboptimal. Diese Idealvorstellung ist daher nicht erstrebenswert.
Upcycling	Ein Verfahren zur Umwandlung von Materialien in neue Materialien mit höherer Qualität und gesteigerter Funktionalität ¹⁸⁷	
Downcycling	Ein Verfahren zur Umwandlung von Materialien in neue Materialien mit geringerer Qualität und reduzierter Funktionalität ¹⁸⁸	
Werkstoffliches Recycling	Die Gesamtheit an rein mechanischen und physikalischen Aufbereitungsprozessen von gebrauchten Kunststoffen. Die Molekularstruktur des Polymermoleküls wird beim werkstofflichen Recycling beibehalten.	Vergleiche Arbeitsgruppe Verpackung. ¹⁸⁹
Chemisches Recycling	Die Gesamtheit von Verfahren, die einerseits mehr als nur werkstoffliche oder physikalische Vorgänge zur Aufbereitung des Ausgangsstoffs nutzen, die aber andererseits nicht zur vollständigen chemischen Umsetzung (Verbrennung) mit Luftsauerstoff führen	Vergleiche Arbeitsgruppe Verpackung. ¹⁹⁰
Post-Consumer-Material	Material, das von Haushalten oder von gewerblichen, industriellen und institutionellen Einrichtungen in ihrer Rolle als Endverbraucher des Produkts erzeugt wird und nicht mehr für den vorgesehenen Zweck verwendet werden kann ^{191, 192}	

181 | Vgl. International Organization for Standardization 2020a.

182 | Vgl. ebd.

183 | Vgl. ebd.

184 | Vgl. ebd.

185 | Vgl. Thierry et al. 1995.

186 | Vgl. Europäisches Parlament/Rat der Europäischen Union 2009.

187 | Vgl. Ellen MacArthur Foundation 2013.

188 | Vgl. ebd.

189 | Vgl. Circular Economy Initiative Deutschland 2021.

190 | Vgl. ebd.

191 | Vgl. International Organization for Standardization 2020a.

192 | Vgl. International Organization for Standardization 2020b.



Begriff	Definition	Kommentar
Post-Industrial-Material	Material, das während eines Herstellungsprozesses dem Abfallstrom entzogen wird, mit Ausnahme der Wiederverwendung von Materialien wie Nacharbeit, Mahlgut oder Schrott, die in einem Prozess anfallen und innerhalb desselben Prozesses, in dem sie entstanden sind, wiederverwendet werden können ¹⁹³	
Rezyklat	Material, das durch einen Herstellungsprozess aus zurückgewonnenem (aufgearbeitetem) Material wiederaufbereitet und zu einem Endprodukt oder zu einer Komponente für den Einbau in ein Produkt verarbeitet wurde. Unter zurückgewonnenen Materialien werden in diesem Bericht Post-Consumer-Materialien verstanden. Damit sind Materialien gemeint, die von Haushalten oder von gewerblichen, industriellen und institutionellen Einrichtungen in ihrer Rolle als Endverbraucher des Produkts erzeugt werden und nicht mehr für den vorgesehenen Zweck verwendet werden können.	Die Entscheidung, sich ausschließlich auf Post-Consumer-Rezyklate zu fokussieren, wird dadurch begründet, dass der Zweck des Schließens von Ressourcenkreisläufen in einer Circular Economy also auf den Kreislauf zwischen Post-Consumer und Produktion fokussiert ist. ¹⁹⁴
Recyclingrate = Rückgewinnungsrate (RR) = Recyclingquote	Die RR beschreibt den Quotienten aus der Masse des physisch wieder einsetzbaren Rezyklats und der Masse des Inputs in den Recycling-Gesamtprozess. Zu erheben als das Mittel über ein Geschäftsjahr einer operativen Einheit (Recyclingstandort oder Geschäftseinheit). Bei mehrstufigen Recyclingprozessen müssen die Verluste jeder einzelnen Stufe berücksichtigt werden, das heißt, die Gesamt-RR/Ausbeute ist das Produkt der Ausbeuten/Wirkungsgrade jedes einzelnen Schritts.	An die Recyclingraten im Sinne der physischen Kreislaufwirtschaft sind höhere Anforderungen gestellt als an die derzeitige in der Abfallgesetzgebung festgesetzte RR. Letztere beziehen sich in der Regel nicht auf die wieder einsetzbaren Output-Ströme des Gesamtprozesses, sondern meist auf Input-Ströme in die finale Prozessstufe.
Zirkuläres Geschäftsmodell (Circular Business Model)	Ein zirkuläres Geschäftsmodell (Circular Business Model (CBM)) ist ein Geschäftsmodell, bei dem die konzeptionelle Logik für Wertschöpfung auf der Nutzung des wirtschaftlichen Werts basiert, der in den Produkten nach der Nutzung für die Produktion neuer Angebote erhalten bleibt. ¹⁹⁵	Folglich impliziert ein zirkuläres Geschäftsmodell einen Rückfluss von den Nutzerinnen/Nutzern zum Produzenten, wobei es zwischen den beiden Parteien Zwischenhändler geben kann. Der Begriff zirkuläres Geschäftsmodell (CBM) überschneidet sich daher mit dem Konzept der geschlossenen Lieferketten und beinhaltet stets Recycling, Wiederaufbereitung, Wiederverwendung oder ein ihnen nahestehendes Verfahren (zum Beispiel Aufarbeitung, Renovierung, Reparatur). Wiederverwendung und Wiederaufbereitung sind aus wirtschaftlichen Gründen dem Recycling dabei stets vorzuziehen, da ein Großteil der Wertschöpfung bei den Komponenten verbleibt. Die Zirkularität des Geschäftsmodells wird durch den Anteil der neuen Produkte bestimmt, die aus gebrauchten Produkten stammen.
Zirkuläres Ökosystem	Ein zirkuläres Ökosystem definiert sich über die Geschäftsmodelle verschiedener sich gegenseitig ergänzender Akteure, um nachhaltige Wertangebote mit geschlossenen Ressourcenkreisläufen zu schaffen, die wiederum auf einem abgestimmten Produktdesign basieren. Darauf aufbauend kann Circular Economy als das Zusammenspiel von sich ergänzenden Geschäftsmodellen entlang eines zirkulären Ökosystems betrachtet werden. ¹⁹⁶	
Nutzungsorientierte Geschäftsmodelle	Dienstleistungsgeschäftsmodelle, in denen das Produkt im Besitz des Anbieters bleibt und dieses vom Anbieter der Nutzerin/dem Nutzer zur Verfügung gestellt und teilweise von mehreren gemeinsam genutzt wird. ¹⁹⁷	Dies kann zum Beispiel Leasing- oder Sharing-Modelle wie Carsharing oder Bikesharing umfassen.

193 | Vgl. International Organization for Standardization 2020b.

194 | Vgl. Bocken et al. 2016.

195 | Vgl. Linder/Williander 2017.

196 | Vgl. Takacs et al. 2020.

197 | Vgl. Tukker 2004.

Begriff	Definition	Kommentar
Ergebnisorientierte Geschäftsmodelle	Dienstleistungsgeschäftsmodelle, in denen sich Kunde und Anbieter prinzipiell auf ein Ergebnis und nicht auf ein vorher festgelegtes Produkt einigen. ¹⁹⁸	Dies kann zum Beispiel Pay-per-Performance-Geschäftsmodelle umfassen.
Kollaboration	Freiwilliger Austausch von Informationen, Änderung von Aktivitäten, gemeinsame Nutzung von Ressourcen und die Bereitschaft, die Fähigkeiten eines anderen zum gegenseitigen Nutzen und für einen gemeinsamen Zweck zu verbessern. ¹⁹⁹ Im Kontext einer CE drückt sich kollaboratives Wirtschaften zum Beispiel durch die Bereitstellung von Daten und Informationen über Zustand, Status und Verwendung von Produkten aus. Auf Grundlage dieser Daten können Geschäftsentscheidungen zunehmend systemische ökonomische Effizienz sowie Ressourcen- und Energieeffizienz (Entropiezuwachs/verbleibende Exergie) berücksichtigen. Eine engere Zusammenarbeit innerhalb der Wertschöpfungskette ist notwendig, da Veränderungen an einzelnen Stellen (zum Beispiel Materialwahl, Produktgestaltung, Verwertungsinfrastruktur) Auswirkungen auf das gesamte System haben.	
Positive-Sum-Game-Einstellung	In der Spieltheorie wird ein Positive Sum-Game als ein Spiel bezeichnet, bei dem alle Spielerinnen und Spieler Vorteile erhalten. ²⁰⁰ Eine Positive-Sum-Game-Einstellung beschreibt daher eine kooperative Einstellung von Marktakteuren mit dem Ziel, gemeinsame Vorteile oder „Win-wins“ zu erzielen.	
Digitaler Zwilling	Ein Digitaler Zwilling ist ein virtuelles Gegenstück zu einem Produkt. Mit ihm können Simulationen der Funktionsweise des Produkts durchgeführt werden. ^{201, 202}	
Machine Learning (Maschinelles Lernen)	Bei Maschinellen Lernen und Deep Learning handelt es sich um Ansätze, die es Maschinen ermöglichen, Aufgaben, die auf wiederkehrenden Mustern und Inferenz beruhen, ohne spezifische menschliche Anweisungen auszuführen. ²⁰³	
Material-beziehungsweise Produktpass (hier insbesondere: Batteriepass; englisch: Battery Passport)	Digitales Tool zur Speicherung und Bereitstellung von Informationen über die Herkunft, Haltbarkeit, Zusammensetzung, Wiederverwendung, Reparatur- und Demontagemöglichkeiten von Material (Materialpass) beziehungsweise eines Produkts (Produktpass) sowie Nutzungsdaten/SoH und die Verortung und die Handhabung am Ende der Lebensdauer	Vergleiche EU-Kommission Strategy for Data. ²⁰⁴
Consumer Citizenship	Der Begriff „Consumer Citizen“ oder Konsumentenbürgerin/-bürger ist ein vorwiegend normatives Konstrukt und deutet sowohl auf die moralische Verantwortung von Bürgerinnen und Bürgern für ihr Entscheiden und Handeln in einer zunehmend durch Konsum geprägten Gesellschaft hin als auch auf die Rechte, die ihnen zugestanden werden müssen, um dieser Verantwortung nachzukommen. ²⁰⁵ Das Consumer Citizenship Network (CCN) stellt folgende Pflichten von Konsumentenbürgerinnen und bürgern heraus: Sie sollen ethische, soziale, ökonomische und ökologische Probleme berücksichtigen, um auf der Grundlage dieser Überlegungen eine aktive Entscheidung zu treffen. Um überhaupt in der Lage zu sein, freie und moralische Entscheidungen zu treffen, sind grundlegende Rechte wie das Recht auf Sicherheit, das Recht auf umfassende Information sowie das Recht auf Einspruch und Interessenvertretung Voraussetzung.	

198 | Vgl. Tukker 2004.

199 | Vgl. Himmelman 2001.

200 | Vgl. Nielsen 1988.

201 | Vgl. Gabor et al. 2016.

202 | Vgl. Negri et al. 2017.

203 | Vgl. Kristoffersen et al. 2020.

204 | Vgl. Europäische Kommission 2020e.

205 | Vgl. Schrader 2007.



Begriff	Definition	Kommentar
Prosumerinnen und Prosumer	Der Begriff „Prosumer“ wurde bereits in den 1980er Jahren von Alvin Toffler ²⁰⁶ geprägt, um vor allem die gängige Trennung zwischen der Produktions- und der Konsumtions-sphäre als eine künstliche zu kritisieren und hervorzuheben, dass Konsumierende immer auch einen gewissen Anteil an der Produktion eines Guts oder einer Dienstleistung haben (zum Beispiel gekaufte Möbel selbst zusammenbauen, Essen aus frischen Zutaten zubereiten). Durch technologische und soziale Veränderungen wie die Digitalisierung (vor allem Web 2.0) und die zunehmende Aufmerksamkeit für soziale Innovationen, zum Beispiel im Bereich der Eigenarbeit und gemeinschaftlicher Produktion (wie solidarische Landwirtschaft, Offene Werkstätten, FabLabs), ist das Interesse an dem Begriff in den vergangenen zehn Jahren stark gewachsen. ²⁰⁷ Mit Prosuming werden vermehrt auch solche Aktivitäten bezeichnet, bei denen Bürgerinnen und Bürger selbst Angebote schaffen und beispielsweise über „Crowdsourcing“, das heißt das Zusammentragen der Angebotselemente durch viele Beteiligte, dazu beitragen, dass Plattformen wie Wikipedia oder Navigationshilfen wie Google Maps entstehen. ²⁰⁸	
EU-Ökodesign-Richtlinie	Die EU-Ökodesign-Richtlinie bildet den europäischen Rechtsrahmen für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte. Das Energieverbrauchsrelevante-Produkte-Gesetz (EVPG) setzt diese Richtlinie in deutsches Recht um. Die bisherigen Regelungen konzentrierten sich hauptsächlich auf die Energieeffizienz. Das Potenzial der Richtlinie, weitergehende Umweltauswirkungen über den gesamten Lebenszyklus von Produkten zu adressieren, wurde bisher kaum ausgeschöpft. Im Rahmen des Circular Economy Action Plan (CEAP) will die EU-Kommission nun für das Jahr 2021 einen Legislativvorschlag für eine Initiative zur nachhaltigen Produktpolitik (Sustainable Products Initiative) vorlegen, um einige dieser Defizite zu beheben.	
Sustainable Products Initiative	Die Sustainable Products Initiative, in deren Rahmen die Ökodesign-Richtlinie überarbeitet wird und gegebenenfalls zusätzliche Legislativmaßnahmen vorgeschlagen werden, zielt darauf ab, in der EU in Verkehr gebrachte Produkte nachhaltiger zu machen. ²⁰⁹ Sie wird sich auch mit dem Vorhandensein schädlicher Chemikalien in Produkten befassen, etwa in Elektronikgeräten und IKT-Ausrüstung, Textilien, Möbeln, Stahl, Zement und Chemikalien.	

206 | Vgl. Toffler 1980.

207 | Vgl. Blättel-Mink/Hellmann 2010.

208 | Vgl. Tapscott/Williams 2007.

209 | Vgl. Europäische Kommission 2020b.

B Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Überblick über die kurz-, mittel- und langfristigen Handlungsempfehlungen für die Politik	13
Abbildung 2:	Überblick über die kurz-, mittel- und langfristigen Handlungsempfehlungen für die Wirtschaft	14
Abbildung 3:	Überblick über die kurz-, mittel- und langfristigen Handlungsempfehlungen für die Wissenschaft	16
Abbildung 4:	Entwicklung des Bruttoinlandsprodukts (BIP) und des sogenannten Inclusive Wealth Index (IW) mitsamt seiner Teilindikatoren „Produced Capital“ (PC), „Natural Capital“ (NC) und „Human Capital“ (HC) im globalen Vergleich; prozentuale Veränderung zum Bezugsjahr 1990	22
Abbildung 5:	Verwertungsquoten der wichtigsten Abfallarten	26
Abbildung 6:	Entwicklung der Circular Material Use Rate in ausgewählten EU-Ländern, 2012 bis 2019	27
Abbildung 7:	Entwicklung Gesamtrohstoffproduktivität in Deutschland	29
Abbildung 8:	Entwicklung Primärrohstoffnutzung für inländischen Konsum und Investitionen (RMC) pro Kopf	30
Abbildung 9:	Entwicklung des Rohstoffkonsums (RMC) und des CO ₂ -Fußabdrucks in Deutschland, 1995–2012	31
Abbildung 10:	Bezugsrahmen für Circular-Economy-Zielsetzungen auf nationaler Ebene	34
Abbildung 11:	Treibhausgasemissionen im klimapolitisch ambitionierten Referenzszenario und einem Circular-Economy-Szenario in Deutschland, 2018–2050, in Millionen Tonnen CO ₂ -Äquivalenten	39
Abbildung 12:	Anteile verschiedener Handlungsfelder an den im Circular-Economy-Szenario von 2018 bis 2030 erreichten Treibhausgasreduktionen (in Millionen Tonnen CO ₂ -Äquivalenten) in Prozent	39
Abbildung 13:	Ressourcenverbrauch Deutschlands im Circular-Economy-Szenario (CE) in Millionen Tonnen Rohstoffkonsum (RMC) im Vergleich zum Referenzszenario (Business-as-Usual, BAU)	40
Abbildung 14:	Entwicklung des Rohstoffkonsums pro Kopf, differenziert nach Hauptstoffgruppen für Deutschland bis 2050 im Circular-Economy-Szenario	41
Abbildung 15:	Darstellung der Strukturierung der Ergebnisse der Circular Economy Initiative Deutschland entlang des Rahmenwerks der Arbeitsgruppe Zirkuläre Geschäftsmodelle	44
Abbildung 16:	Überblick zu den Lösungsansätzen der Arbeitsgruppe Zirkuläre Geschäftsmodelle	49
Abbildung 17:	Übersicht zu den Lösungsansätzen der Arbeitsgruppe Verpackung	54
Abbildung 18:	Überblick zu den Lösungsansätzen der Arbeitsgruppe Traktionsbatterien	58
Abbildung 19:	Wirkung der Handlungsschwerpunkte entlang der Multilevel-Design-Model(MDM)-Perspektiven	69
Abbildung 20:	Überblick über die kurz-, mittel- und langfristigen Handlungsempfehlungen für die Politik	71
Abbildung 21:	Überblick über die kurz-, mittel- und langfristigen Handlungsempfehlungen für die Wirtschaft	75
Abbildung 22:	Überblick über die kurz-, mittel- und langfristigen Handlungsempfehlungen für die Wissenschaft	79

C Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Wertschöpfung und Arbeitsplätze durch Kreislaufwirtschaft in Deutschland	31
Tabelle 2:	Zusammenfassung und Gegenüberstellung der Ergebnisse der Arbeitsgruppen Verpackung und Traktionsbatterien	62
Tabelle 3:	Überblick über ökologische Umsetzungsziele als Wegbereiter einer Circular Economy	88
Tabelle 4:	Überblick über die ökonomischen Umsetzungsziele als Wegbereiter einer Circular Economy	90
Tabelle 5:	Überblick über soziale Umsetzungsziele als Wegbereiter einer Circular Economy	91

D Metriken für die Circular Economy

Tabelle 3 zeigt den Überblick über ökologische Umsetzungsziele als Wegbereiter einer Circular Economy (hellgrüne Zeilen) und Ziele zu den Auswirkungen einer Circular Economy (grüne Zeilen; siehe Abbildung 10 in Kapitel 3.1). Abgebildet sind eben-

falls die Ergebnisse einer Literaturrecherche zu möglichen Indikatoren; diese Indikatoren stellen keine Empfehlungen der *Circular Economy Initiative Deutschland* dar. Die Verfügbarkeit der jeweiligen Indikatoren („available“) oder die Notwendigkeit, sie zur Fortschrittsbemessung einer Circular Economy zu entwickeln („needed“), wurde in der zweiten Spalte von rechts angegeben.

Umsetzungsziele für Maßnahmen		Indikatoren	Available/ needed	Ebene
Aufbau und Stärkung	Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien	Anteil Bruttoendenergieverbrauch (30 % bis 2030), ²¹⁰ Anteil Bruttostromverbrauch (65 % bis 2030) ²¹¹	+/+	Makro
	Reduktion des Primärenergieverbrauchs	Senkung des Primärenergieverbrauchs um 30 % bis 2030 gegenüber 2008, ²¹² kumulierter Energieverbrauch ²¹³	+/+	Makro
	Qualitative Abfallvermeidung (Minderung des Schadstoffgehalts in Materialien und Produkten)	Gefährliche Substanzen in der Produktion ²¹⁴	-	Mikro
	Nutzungsintensivierung durch Sharing	Carsharing – Häufigkeit von Carsharing nach Art der Fahrt und Alter ²¹⁵	+	Makro
	Nutzungsverlängerung durch Repair, Maintain, Upgrade	Ausgaben der Haushalte für die Reparatur und Wartung von Produkten, ²¹⁶ Langlebigkeitsindikator ²¹⁷	+/+	Makro; Produkt
	Nutzungsverlängerung durch Re-Use	Re-Use-Potenzial-Indikator ²¹⁸	+	Produkt
	Nutzungsverlängerung durch Remanufacturing	Anteil des Remanufacturing-Geschäfts in der verarbeitenden Wirtschaft ²¹⁹	-	Makro
	Steigerung der Recyclingraten	Recycling-Quote, ²²⁰ Recycling-Quote aller Abfälle (ohne größere mineralische Abfälle), ²²¹ wertbasierter Recycling-Index, ²²² End-of-Life-Recycling-Input-Quote ²²³	+/+/+/+	Makro
	Steigerung der Rezyklatqualität	Materialqualitätsindikator ²²⁴ , Substitutionsquote ²²⁵	+/+	Produkt
	Steigerung der Rückgewinnungsraten	Effizienzrate des Recyclingprozesses ²²⁶	+	Mikro

210 | Vgl. Europäische Kommission 2014.

211 | Vgl. Bundesregierung 2018.

212 | Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2019.

213 | Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit 2016.

214 | Vgl. European Environment Agency 2016.

215 | Vgl. Magnier et al. 2017.

216 | Vgl. ebd.

217 | Vgl. Franklin-Johnson et al. 2016.

218 | Vgl. Park/Chertow 2014.

219 | Vgl. European Environment Agency 2016.

220 | Vgl. Graedel et al. 2011.

221 | Vgl. Europäische Kommission 2018.

222 | Vgl. Reuter et al. 2018.

223 | Vgl. Graedel et al. 2011.

224 | Vgl. Steinmann et al. 2019.

225 | Vgl. Ressourcenkommission am Umweltbundesamt 2019.

226 | Vgl. Graedel et al. 2011.

Ziele für Auswirkungen		Indikatoren	Available/ needed	Ebene	
Ressourcenschonung					
Absolute Reduktion des Ressourcenverbrauchs (Input)	Reduktion des Rohstoff-/Ressourcen-/Materialverbrauchs durch Reduce- und Redesign-Strategien	Wertbasierter Ressourceneffizienz-Indikator, ²²⁷ Gesamtmaterialbedarf, ²²⁸ Gesamtrohstoffproduktivität ²²⁹	+/+/+	Makro	
	Steigerung des Sekundärmaterial-Anteils	DERec/DIERec ²³⁰ , Substitutionsquote ²³¹	+/+	Makro	
Verbesserung der Ausnutzung physischer Ressourcen und Werterhalt durch Kreislauf-führung		Rohstoffverbrauch pro Kopf, ²³² verbrauchs-bezogene Materialproduktivität, ²³³ Circular Material Use Rate ²³⁴	+/+/+	Makro	
Reduktion des Abfalls (Output)	Quantitative Abfallvermeidung	Abfallaufkommen der Unternehmen und Haushalte kg/Jahr/Kopf, Abfall/BIP ²³⁵	+/+/+	Makro	
Reduktion der Überbeanspruchung und Schädigung von Ökosystemen	Artenvielfalt erhalten	Anstieg auf den Indexwert 100 bis zum Jahr 2030 ²³⁶	+	Makro	
	Reduktion des Verbrauchs von Boden/Fläche und Wasser	Flächeninanspruchnahme, ²³⁷ Flächenfußabdruck; Wasserausbeutungsindex, ²³⁸ Wasserverbrauch pro Kopf	+/+/+	Makro; Person	
Reduktion der Emissionen und Einträge in die Umwelt	Beitrag zur Treibhausgasneutralität	Treibhausgasemissionen in Deutschland (Reduktion um 55 % bis 2030 gegenüber 1990), ²³⁹ CO ₂ -Fußabdruck von Materialien/Produkten	+/+	Makro; Produkt	
	Verringerung der Kunststoff-einträge in die Umwelt	-			
	Verringerung der Eutrophierung der Ökosysteme	SDG 15 – Landökosysteme: Nitrat – bis 2030 Verringerung um 35 Prozent gegenüber 2005		+	Makro
		SDG 6 – Wasser: Phosphor – an allen Messstellen werden bis 2030 die gewässertypischen Orientierungswerte eingehalten oder unterschritten; Nitrat – bis 2030 Einhaltung des „50 mg/l“-Nitrat-Schwellenwerts im Grundwasser		+/+	Makro
	SDG 12 – Einhaltung des guten Zustands nach Oberflächengewässerverordnung (Jahresmittelwerte für Gesamtstickstoff bei in die Ostsee mündenden Flüssen sollen 2,6 mg/l Ostsee bzw. 2,8 mg/l Nordsee nicht überschreiten).		+/+	Makro	

Tabelle 3: Überblick über ökologische Umsetzungsziele als Wegbereiter einer Circular Economy (Quelle: eigene Darstellung)

227 | Vgl. Di Maio et al. 2017.

228 | Vgl. Mayer et al. 2019.

229 | Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit 2016.

230 | Vgl. ebd.

231 | Vgl. Ressourcenkommission am Umweltbundesamt 2019.

232 | Vgl. Haas et al. 2015.

233 | Vgl. Europäische Kommission 2014.

234 | Vgl. Eurostat s. a.

235 | Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit 2019.

236 | Vgl. Bundesregierung 2018.

237 | Vgl. ebd.

238 | Vgl. Europäische Kommission 2014.

239 | Vgl. Bundesregierung 2018.

Tabelle 4 zeigt den Überblick über die ökonomischen Umsetzungsziele als Wegbereiter einer Circular Economy (hellblaue Zeilen) und die Ziele zu den Auswirkungen einer Circular Economy (blaue Zeilen; siehe Abbildung 10 in Kapitel 3.1). Abgebildet sind ebenfalls die Ergebnisse einer Literaturrecherche zu möglichen Indikatoren; diese Indikatoren stellen keine Empfehlungen

der *Circular Economy Initiative Deutschland* dar. Die Verfügbarkeit der jeweiligen Indikatoren („available“) oder die Notwendigkeit, sie zur Fortschrittsbemessung einer Circular Economy zu entwickeln („needed“), wurde in der zweiten Spalte von rechts angegeben.

Umsetzungsziele für Maßnahmen		Indikatoren	Available/ needed	Ebene
Stärkung Innovation	Förderung von technischen Innovationen für die Circular Economy	Anteil an Circular-Economy-relevanter Förderung am F&E-Budget; Anzahl an Circular-Economy-relevanten Publikationen und Patenten	-/+	Makro
	Steigerung von Circular-Economy-Innovationen in Unternehmen	Eco-Innovation Index, ²⁴⁰ Anteil an Produkten mit „Zirkularitätslabel“; 34 % Marktanteil an Produkten mit staatlichem/unabhängig zertifizierten Umweltzeichen bis 2030, ²⁴¹ Arbeitsgruppe Zirkuläre Geschäftsmodelle; ²⁴² Anteil Circular-Economy-bezogener Innovationsprojekte am gesamten Innovationsportfolio	+/-/+/-	Makro; Mikro
Stärkung der unternehmensübergreifenden Kollaboration	Aufbau transparenter Wertschöpfungsnetzwerke/Datentransparenz	Anteil an Produkten mit Produktpass	-	Makro
	Ausbau kollaborativer und intersektoraler Akteurskonstellationen	Beteiligung von Unternehmen in CE-Netzwerken ²⁴³	-	Meso
	Verantwortungsvolle Wertschöpfungsnetzwerke (Einhaltung Menschen- und Arbeitnehmerrechte)	s-LCA (social LCA) für bestimmte Material- und Produktgruppen; Mitglieder im Textilbündnis	+/+	Produkt
	Entwicklung zirkulärer Geschäftsmodelle	Umsatz mit neuen Wartungs-/Reparatur-Servicepaketen; Anzahl der „Total Care“-Verträge	-/-	Mikro
	Erhöhung der Investitionen in Circular-Economy-Strategien	Anteil der Circular-Economy-Ausgaben; Vollzeitbeschäftigte in CE-relevanten Feldern ²⁴⁴	+/+	Mikro
	Nachhaltige Unternehmensführung	Anzahl der Unternehmen mit Zero-Waste-Programm ²⁴⁵	-	Makro
Ziele für Auswirkungen		Indikatoren	Available/ needed	Ebene
Rohstoffversorgung				
Rohstoffimportabhängigkeit		Versorgungssicherheit mit Ressourcen innerhalb der EU ^{246, 247}	+	Makro
Steigerung der Wertschöpfung und Wettbewerbsfähigkeit		Beitrag der Circular Economy zur Wertschöpfung ²⁴⁸	-	Makro

Tabelle 4: Überblick über die ökonomischen Umsetzungsziele als Wegbereiter einer Circular Economy (Quelle: eigene Darstellung)

240 | Vgl. Smol et al. 2017.

241 | Vgl. Bundesregierung 2018.

242 | Vgl. Circular Economy Initiative Deutschland 2020a.

243 | Vgl. Smol et al. 2017.

244 | Vgl. Ellen MacArthur Foundation 2020.

245 | Vgl. Smol et al. 2017.

246 | Vgl. Potting/Hanemaaijer 2018.

247 | Vgl. Europäische Kommission 2017.

248 | Vgl. Potting/Hanemaaijer 2018.

Tabelle 5 zeigt den Überblick über soziale Umsetzungsziele als Wegbereiter einer Circular Economy (hellorangefarbene Zeilen) und die Ziele zu den Auswirkungen einer Circular Economy (orangefarbene Zeilen; siehe Abbildung 10 in Kapitel 3.1). Abgebildet sind ebenfalls die Ergebnisse einer Literaturrecherche zu möglichen Indikatoren; diese Indikatoren stellen keine Emp-

fehlungen der *Circular Economy Initiative Deutschland* dar. Die Verfügbarkeit der jeweiligen Indikatoren („available“) oder die Notwendigkeit, sie zur Fortschrittsbemessung einer Circular Economy zu entwickeln („needed“), wurde in der zweiten Spalte von rechts angegeben.

Umsetzungsziele für Maßnahmen		Indikatoren	Available/ needed	Ebene
Aufbau flächendeckender, umweltspezifischer Aus- und Weiterbildung	Entwicklung Circular-Economy-relevanter Aus- und Weiterbildungsangebote	Anzahl an Circular-Economy-Kursen; Ausgaben für Umweltbildung ²⁴⁹	-/-	Makro
	Stärkung der Circular-Economy-Policy-Beratung	Anzahl der Berater für die Circular Economy ²⁵⁰	-	Makro
	Nachhaltiger Konsum durch Substitution – Erhöhung der Nachfrage nach umwelt/sozialverträglicheren Alternativen	Umweltfreundliche öffentliche Beschaffung; ²⁵¹ Anteil des Papiers mit dem Blauen Engel am Gesamtpapierverbrauch der unmittelbaren Bundesverwaltung ²⁵²	+/+	Makro
Steigerung Teilhabe und Innovation	Soziale Innovation durch neue Kooperationsformen in der Wertschöpfung (Co-Creation/ Prosumer/Repair-Cafés etc.)	Anzahl an Repair-Cafés/Tauschplattformen; Umsatzsteigerung der Plattformen, Weiterverkauf ²⁵³	+/+	Makro
Ziele für Auswirkungen		Indikatoren	Available/ needed	Ebene
Sicherung Lebensqualität				
Arbeitsplätze		Beschäftigte in den Bereichen Reparatur, Wiederverwendung und Recycling ²⁵⁴	+	Makro

Tabelle 5: Überblick über soziale Umsetzungsziele als Wegbereiter einer Circular Economy (Quelle: eigene Darstellung)

249 | Vgl. Potting/Hanemaaijer 2018.

250 | Vgl. ebd.

251 | Vgl. Europäische Kommission 2018.

252 | Vgl. Bundesregierung 2018.

253 | Vgl. Magnier et al. 2017.

254 | Vgl. Eurostat s. a.



E Methodikbeschreibung für die Quantifizierung der Circular Economy

Die im Kapitel 3.4 dargestellten Ausführungen zur Quantifizierung eines Zielbilds einer ressourcenleichten und (weitestgehend) klimaneutralen Circular Economy basieren auf einer Reihe von Modellierungen und Annahmen, die im Folgenden dargestellt werden sollen. Der hier verfolgte Ansatz baut auf verschiedenen etablierten Modellen auf, die sowohl die aktuelle als auch die zukünftige Ressourceninanspruchnahme in Deutschland abschätzen.

Das Referenzszenario baut auf dem mit dem Modell GINFORS3 entwickelten Szenario „Klimaaktives Deutschland“ auf, das im Rahmen des Forschungsprojekts „Langfristszenarien und Potenziale zur Ressourceneffizienz in Deutschland im globalen Kontext“²⁵⁵ entwickelt wurde und verschiedene Auswirkungen der energiepolitischen Transformationsbemühungen berücksichtigt, zum Beispiel 100 Prozent Anteil erneuerbarer Energie im Jahr 2045 und ein ETS-CO₂-Zertifikatspreis von 147 Euro in 2050.²⁵⁶

Das Alternativszenario verwendet Grundlagen aus dem Projekt „Transformationsprozess zum treibhausgasneutralen und ressourcenschonenden Deutschland“ im Auftrag des Umweltbundesamts²⁵⁷, die aus der spezifischen Perspektive des Übergangs zur Circular Economy analysiert wurden. Dort wurde ein Modellverbund aus insgesamt fünf Modellen genutzt, die mit sektor- und branchenspezifischen Detailanalysen ergänzt wurden. Die Modellierungen im Verkehrsbereich basieren auf TREMOD (Trans-

port Emission Model), im Bereich Raumwärme und Kältebedarfe auf GEMOD (Gebäudemodell) und im Bereich Landwirtschaft auf ALMOD (Agriculture and LULUCF Model). In Kombination mit den industriellen, branchenspezifischen Analysen sowie dem Abfallbereich wurde die Energiemodellierung mit SCOPE (Sektorübergreifende Einsatz- und Ausbauoptimierung für Analysen des zukünftigen Energieversorgungssystems) durchgeführt. Die gesamtwirtschaftliche Rohstoffnutzung sowie die vorgelagerten Emissionen wurden mit dem umweltökonomischen Rohstoff- und Treibhausgasmodell (URMOD) modelliert.²⁵⁸ Für den Abgleich mit einem Zwei-Grad-Pfad wurden Daten des von Prognos, Öko-Institut und Wuppertal Institut (2020) entwickelten „Klimaneutral 2050“-Szenarios verwendet.²⁵⁹

Für die Quantifizierung der Ressourcen- und Klimaeffekte der Kreislaufwirtschaft wurde auf das vom Wuppertal Institut koordinierte Forschungsprojekt „Ressourcenschonung durch eine stoffstromorientierte Sekundärrohstoffwirtschaft“²⁶⁰ aufgebaut, das im Kern die Stoffflüsse für Deutschland abgeschätzt hat, um auf Grundlage dieser Daten zu bestimmen, wie viele Primärrohstoffe durch die Verwertung der wichtigsten Sekundärrohstoffe und Nebenprodukte substituiert werden können. Um diese Substitutionspotenziale und ihre Auswirkungen auf der Ebene des kumulierten Rohstoffaufwands abschätzen zu können, wurden die Bilanzindikatoren DIERec (Direct and Indirect Effects of Recovery) und DERec (Direct Effects of Recovery) konzipiert. Mithilfe dieser beiden Indikatoren ist es möglich, die rohstofflichen und energetischen Effekte der Verwertungsprozesse der Sekundärmaterialien den jeweils entsprechenden Prozessen der substituierten Primärmaterialien gegenüberzustellen und so für jeden Rohstoff beziehungsweise jedes Material die tatsächlichen Beiträge der Sekundärrohstoffwirtschaft zur Ressourcenschonung abzubilden.

255 | Vgl. Distelkamp/Meyer 2018.

256 | Für methodische Details vgl. Distelkamp/Meyer 2018.

257 | Vgl. Dittrich et al. 2020.

258 | Eine genaue Beschreibung zur Funktionsweise der Modelle ist in Dittrich et al. (2020) zu finden.

259 | Vgl. Prognos et al. 2020a.

260 | Vgl. Steger et al. 2019.

Literatur

Abadías Llamas et al. 2020

Abadías Llamas, A./Bartie, N. J./Heibeck, M./Stelter, M./Reuter, M. A.: „Simulation-Based Exergy Analysis of Large Circular Economy Systems: Zinc Production Coupled to CdTe Photovoltaic Module Life Cycle“. In: *Journal of Sustainable Metallurgy*, 6: 1, 2020, S. 34–67.

Alaerts et al. 2019

Alaerts, L./van Acker, K./Rousseau, S./Jaeger, S. de/Moraga, G./Dewulf, J./Meester, S. de/van Passel, S./Compernelle, T./Bachus, K./Vrancken, K./Eyckmans, J.: „Towards a More Direct Policy Feedback in Circular Economy Monitoring via a Societal Needs Perspective“. In: *Resources, Conservation and Recycling*, 149, 2019, S. 363–371.

BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe 2018

BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe: *Deutschland – Rohstoffsituation 2018*, Hannover, 2018.

Blättel-Mink/Hellmann 2010

Blättel-Mink, B./Hellmann, K.-U. (Hrsg.): *Prosumer Revisited*. Zur Aktualität einer Debatte, Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften 2010.

Blomsma/Brennan 2017

Blomsma, F./Brennan, G.: „The Emergence of Circular Economy: A New Framing Around Prolonging Resource Productivity“. In: *Journal of Industrial Ecology*, 21: 3, 2017, S. 603–614.

Blum et al. 2020

Blum, N. U./Haupt, M./Bening, C. R.: „Why ‚Circular‘ doesn't always Mean ‚Sustainable‘“. In: *Resources, Conservation and Recycling*, 162, 2020.

Bocken et al. 2016

Bocken, N. M. P./Pauw, I. de/Bakker, C./van der Grinten, B.: „Product Design and Business Model Strategies for a Circular Economy“. In: *Journal of Industrial and Production Engineering*, 33: 5, 2016, S. 308–320.

Bringezu 2014

Bringezu, S.: „Carbon Recycling for Renewable Materials and Energy Supply“. In: *Journal of Industrial Ecology*, 18: 3, 2014, S. 327–340.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit 2019

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit: *Referentenentwurf für die Fortschreibung des Deutschen Ressourceneffizienzprogramms ProgRes III*, Berlin, 2019.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit 2020a

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit: „Schulze: Weltweiter Naturschutz kann Risiko künftiger Seuchen verringern“ (Pressemitteilung vom 02.04.2020). URL: <https://www.bmu.de/pressemitteilung/schulze-weltweiter-naturschutz-kann-risiko-kuenftiger-seuchen-verringern/> [Stand: 02.12.2020].

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit 2020b

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit: *Überblick zum Deutschen Ressourceneffizienzprogramm (ProgRes)*, 2020. URL: <https://www.bmu.de/themen/wirtschaft-produkte-ressourcen-tourismus/ressourceneffizienz/deutsches-ressourceneffizienzprogramm/> [Stand: 15.07.2020].

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit 2016

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: *Deutsches Ressourceneffizienzprogramm II*, Berlin, 2016.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2010

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: *Rohstoffstrategie der Bundesregierung*, Berlin, 2010.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2019

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: *Energieeffizienzstrategie 2050*, Berlin, 2019.

Bundesregierung 2018

Bundesregierung: *Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Aktualisierung 2018*, Berlin, 2018.

Calisto Friant et al. 2020

Calisto Friant, M./Vermeulen, W. J.V./Salomone, R.: „A Typology of Circular Economy Discourses: Navigating the Diverse Visions of a Contested Paradigm“. In: *Resources, Conservation and Recycling*, 161, 2020, S. 104917.



Circular Economy Initiative Deutschland 2020a

Circular Economy Initiative Deutschland: *Circular Business Models: Overcoming Barriers, Unleashing Potentials*, München/London: acatech/SYSTEMIQ 2020.

Circular Economy Initiative Deutschland 2020b

Circular Economy Initiative Deutschland: *Ressourcenschonende Batteriekreisläufe – mit Circular Economy die Elektromobilität antreiben*, München/London: acatech/SYSTEMIQ 2020.

Circular Economy Initiative Deutschland 2021

Circular Economy Initiative Deutschland: *Kunststoffverpackungen im geschlossenen Kreislauf – Potenziale, Bedingungen, Herausforderungen*, München/London: acatech/SYSTEMIQ 2021.

Conversio 2020

Conversio: *Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland 2019*. Kurzfassung der Conversio Studie, 2020. URL: https://www.conversio-gmbh.com/res/Kurzfassung_Stoffstrombild_2019.pdf [Stand: 05.01.2021].

Di Maio et al. 2017

Di Maio, F./Rem, P. C./Baldé, K./Polder, M.: „Measuring Resource Efficiency and Circular Economy: A Market Value Approach“. In: *Resources, Conservation and Recycling*, 122, 2017, S. 163–171.

Diermeier et al. 2017

Diermeier, M./Goecke, H./Neligan, A.: *Rohstoffbezug deutscher Unternehmen in globalen Wertschöpfungsketten*, 2017. URL: <https://www.wirtschaftsdienst.eu/inhalt/jahr/2017/heft/7/beitrag/rohstoffbezug-deutscher-unternehmen-in-globalen-wertschoepfungsketten.html> [Stand: 02.12.2020].

Distelkamp/Meyer 2018

Distelkamp, M./Meyer, M.: *Langfristszenarien und Potenziale zur Ressourceneffizienz in Deutschland im globalen Kontext – quantitative Abschätzungen mit dem Modell GINFORS* (Texte 50/2018), Dessau-Roßlau, 2018.

Dittrich et al. 2020

Dittrich, M./Gerhardt, N./Schoer, K./Dünnebeil, F./Becker, S./Oehsen, A. v./Auberger, A.: *Transformationsprozess zum treibhausgasneutralen und ressourcenschonenden Deutschland – GreenMe* (Climate Change 03/2020), Dessau-Roßlau, 2020.

Earth Overshoot Day s. a.

Earth Overshoot Day: *Data and Methodology*, s. a. URL: <https://www.footprintnetwork.org/resources/data/> [Stand: 02.12.2020].

Earth Overshoot Day 2020a

Earth Overshoot Day: „Der diesjährige Earth Overshoot Day / Erdüberlastungstag ist am 22. August mehr als drei Wochen später als letztes Jahr“ (Pressemitteilung vom 05.06.2020). URL: <https://www.overshootday.org/newsroom/press-release-june-2020-german/> [Stand: 02.12.2020].

Earth Overshoot Day 2020b

Earth Overshoot Day: *Country Overshoot Days*, 2020. URL: <https://www.overshootday.org/newsroom/country-overshoot-days/> [Stand: 02.12.2020].

Ellen MacArthur Foundation 2013

Ellen MacArthur Foundation: *Towards the Circular Economy Vol. 1. Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition*, 2013. URL: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an-accelerated-transition> [Stand: 31.08.2020].

Ellen MacArthur Foundation 2015

Ellen MacArthur Foundation: *Growth Within: A Circular Economy Vision for a Competitive Europe*, 2015. URL: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/growth-within-a-circular-economy-vision-for-a-competitive-europe> [Stand: 07.12.2020].

Ellen MacArthur Foundation 2017

Ellen MacArthur Foundation: *What is a Circular Economy?*, 2017. URL: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/concept> [Stand: 21.01.2021].

Ellen MacArthur Foundation 2020

Ellen MacArthur Foundation: *Circulytics: Method Introduction*, 2020. URL: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/resources/apply/circulytics-measuring-circularity/resources> [Stand: 19.01.2021].

Europäische Kommission s. a.

Europäische Kommission: *Quick Reference on CEAP Implementation*, s. a. URL: https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/implementation_tracking_table.pdf [Stand: 25.01.2021].

Europäische Kommission 2006

Europäische Kommission: *Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (REACH-Verordnung)*, 2006. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A02006R1907-20140410> [Stand: 20.01.2021].

Europäische Kommission 2014

Europäische Kommission: *Study on Modelling of the Economic and Environmental Impacts of Raw Material Consumption*, 2014. URL: https://ec.europa.eu/environment/enveco/resource_efficiency/pdf/RMC.pdf [Stand: 19.01.2021].

Europäische Kommission 2015

Europäische Kommission: *Den Kreislauf schließen – ein Aktionsplan der EU für die Kreislaufwirtschaft*, 2015. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A52015DC0614> [Stand: 11.11.2020].

Europäische Kommission 2017

Europäische Kommission: *Study on the Review of the List of Critical Raw Materials*, 2017. URL: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/08fdab5f-9766-11e7-b92d-01aa75ed71a1/language-en> [Stand: 19.01.2021].

Europäische Kommission 2018

Europäische Kommission: *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. On a Monitoring Framework for the Circular Economy*, 2018. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2018%3A29%3AFIN> [Stand: 21.01.2021].

Europäische Kommission 2019a

Europäische Kommission: *Der europäische Grüne Deal*, Brüssel, 2019.

Europäische Kommission 2019b

Europäische Kommission: *Political guidelines of the Commission 2019–2024*, 2019. URL: https://ec.europa.eu/commission/priorities/jobs-growth-and-investment/towards-circular-economy_de [Stand: 07.12.2020].

Europäische Kommission 2020a

Europäische Kommission: *Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council Concerning Batteries and Waste Batteries, Repealing Directive 2006/66/EC and Amending Regulation (EU) No 2019/1020 (COM/2020/798)*, Brüssel, 2020.

Europäische Kommission 2020b

Europäische Kommission: *Sustainable Products Initiative*, 2020. URL: <https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12567-Sustainable-products-initiative> [Stand: 25.01.2021].

Europäische Kommission 2020c

Europäische Kommission: *A New Circular Economy Action Plan. For a Cleaner and more Competitive Europe*, 2020. URL: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9903b325-6388-11ea-b735-01aa75ed71a1.0017.02/DOC_1&format=PDF [Stand: 11.06.2020].

Europäische Kommission 2020d

Europäische Kommission: *Digital Economy and Society Index (DESI)*, 2020. URL: https://ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?doc_id=66916 [Stand: 03.09.2020].

Europäische Kommission 2020e

Europäische Kommission: *Eine europäische Datenstrategie*, Brüssel, 2020.

Europäische Union 2008

Europäische Union: *Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien*. Richtlinie 2008/98/EG, 2008. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32008L0098> [Stand: 23.06.2020].

Europäische Union 2018

Europäische Union: *Richtlinie (EU) 2018/851 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 zur Änderung der Richtlinie 2008/98/EG über Abfälle* 2018.

Europäisches Parlament/Rat der Europäischen Union 2009

Europäisches Parlament/Rat der Europäischen Union: *Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte*, 2009. URL: <https://eurlex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0125&from=EN> [Stand: 21.01.2021].

European Environment Agency 2016

European Environment Agency: *Circular Economy in Europe. Developing the Knowledge Base*, Luxembourg: Publications Office of the European Union 2016.

European Environment Agency 2019

European Environment Agency: *Resource Efficiency and Circular Economy in Europe – even More from Less* (Eionet Report – ETC/WMGE 2019 4), Mol, 2019.



Eurostat s. a.

Eurostat: *Circular Economy Monitoring Framework*, s. a. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/circular-economy/indicators/monitoring-framework> [Stand: 21.01.2021].

Eurostat 2020

Eurostat: *Circular Material Use Rate*, 2020. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_ac_cur/default/table?lang=entable?lang=en [Stand: 02.12.2020].

Franco 2019

Franco, M. A.: „A System Dynamics Approach to Product Design and Business Model Strategies for the Circular Economy“. In: *Journal of Cleaner Production*, 241, 2019, S. 118327.

Franklin-Johnson et al. 2016

Franklin-Johnson, E./Figge, F./Canning, L.: „Resource Duration as a Managerial Indicator for Circular Economy Performance“. In: *Journal of Cleaner Production*, 133, 2016, S. 589-598.

Gabor et al. 2016

Gabor, T./Belzner, L./Kiermeier, M./Beck, M. T./Neitz, A.: „A Simulation-Based Architecture for Smart Cyber-Physical Systems“. In: IEEE (Hrsg.): *International Conference on Autonomic Computing (ICAC)*, Würzburg 2016, S. 374-379.

Gandenberger 2021

Gandenberger, C.: *Innovationen für die Circular Economy – aktueller Stand und Perspektiven* (Umwelt, Innovation, Beschäftigung 01/2021), Dessau-Roßlau, 2021.

Geng et al. 2013

Geng, Y./Sarkis, J./Ulgiati, S./Zhang, P.: „Measuring China's Circular Economy“. In: *Science*: 339, 2013, S. 1526-1527.

Geyer et al. 2017

Geyer, R./Jambeck, J. R./Law, K. L.: „Production, Use, and Fate of all Plastics ever Made“. In: *Science Advances*, 3: 7, 2017, e1700782.

Gobbi 2011

Gobbi, C.: „Designing the Reverse Supply Chain: The Impact of the Product Residual Value“. In: *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 41: 8, 2011, S. 768-796.

Golde 2016

Golde, M.: *Rebound-Effekte*. Empirische Ergebnisse und Handlungsstrategien, 2016. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/rebound-effekte> [Stand: 20.01.2021].

Graedel et al. 2011

Graedel, T. E./Allwood, J./Birat, J.-P./Buchert, M./Hagelüken, C./Reck, B. K./Sibley, S. F./Sonnemann, G.: „What Do We Know About Metal Recycling Rates?“. In: *Journal of Industrial Ecology*, 15: 3, 2011, S. 355-366.

Haas et al. 2015

Haas, W./Krausmann, F./Wiedenhofer, D./Heinz, M.: „How Circular is the Global Economy?: An Assessment of Material Flows, Waste Production, and Recycling in the European Union and the World in 2005“. In: *Journal of Industrial Ecology*, 19: 5, 2015, S. 765-777.

Hansen/Revellio 2020

Hansen, E. G./Revellio, F.: „Circular Value Creation Architectures: Make, Ally, Buy, or Laissez-faire“. In: *Journal of Industrial Ecology*, 2020, S. 1-24.

Helander et al. 2019

Helander, H./Petit-Boix, A./Leipold, S./Bringezu, S.: „How to Monitor Environmental Pressures of a Circular Economy: An Assessment of Indicators“. In: *Journal of Industrial Ecology*, 23: 5, 2019, S. 1278-1291.

Himmelman 2001

Himmelman, A. T.: „On Coalitions and the Transformation of Power Relations: Collaborative Betterment and Collaborative Empowerment“. In: *American Journal of Community Psychology*, 29: 2, 2001, S. 277-284.

Hobson/Lynch 2016

Hobson, K./Lynch, N.: „Diversifying and De-growing the Circular Economy: Radical Social Transformation in a Resource-scarce World“. In: *Futures*, 82, 2016, S. 15-25.

Hofmann 2019

Hofmann, F.: „Circular Business Models: Business Approach as Driver or Obstructor of Sustainability Transitions?“. In: *Journal of Cleaner Production*, 224, 2019, S. 361-374.

International Organization for Standardization 2020a

International Organization for Standardization: *Environmental Management Systems – Guidelines for Incorporating Material Circulation in Design and Development*, 2020. URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14009:ed-1:v1:en:term:3.2.30> [Stand: 21.01.2021].

International Organization for Standardization 2020b

International Organization for Standardization: *Rubber-Vocabulary*, 2020. URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:1382:ed-7:v1:en:term:3.375> [Stand: 21.01.2021].

International Resource Panel s. a.

International Resource Panel: *Global Material Flows Database*, s. a. URL: <https://www.resourcepanel.org/global-material-flows-database> [Stand: 19.04.2021]

International Resource Panel 2018

International Resource Panel: *Re-defining Value – The Manufacturing Revolution*, Nairobi, Kenia, 2018.

International Resource Panel 2019

International Resource Panel: *Global Resources Outlook*, Nairobi, Kenia, 2019.

International Resource Panel 2020

International Resource Panel: *Resource Efficiency and Climate Change*, Nairobi, Kenya, 2020.

Jaeger-Erben/Hofmann 2019

Jaeger-Erben, M./Hofmann, F.: *From Take-Make-Dispose to a Circular Society – Introduction of a New Vision in Six Propositions*, Berlin, 2019.

Jambeck et al. 2015

Jambeck, J. R./Geyer, R./Wilcox, C./Sieglar, T. R./Perryman, M./Andrady, A./Narayan, R./Law, K. L.: „Marine Pollution. Plastic Waste Inputs from Land into the Ocean“. In: *Science (New York, N.Y.)*, 347: 6223, 2015, S. 768-771.

Joore/Brezet 2015

Joore, P./Brezet, H.: „A Multilevel Design Model: the mutual relationship between product-service system development and societal change processes“. In: *Journal of Cleaner Production*, 97, 2015, S. 92-105.

Kalkuhl/Wenz 2020

Kalkuhl, M./Wenz, L.: „The Impact of Climate Conditions on Economic Production. Evidence from a Global Panel of Regions“. In: *Journal of Environmental Economics and Management*, 103, 2020, S. 102360.

Kirchherr et al. 2017

Kirchherr, J./Reike, D./Hekkert, M.: „Conceptualizing the Circular Economy“. An Analysis of 114 Definitions. In: *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 2017, S. 221-232.

Koch/Coelho Megale 2020

Koch, J./Coelho Megale, P.: *International Workshop on Targets for a Circular Economy*, 2020. URL: https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2020-international_ce_workshop_4100.pdf [Stand: 14.08.2020].

Korhonen et al. 2018

Korhonen, J./Honkasalo, A./Seppälä, J.: „Circular Economy: The Concept and its Limitations“. In: *Ecological Economics*, 143, 2018, S. 37-46.

Kothari et al. 2014

Kothari, A./Demaria, F./Acosta, A.: „Buen Vivir, Degrowth and Ecological Swaraj: Alternatives to Sustainable Development and the Green Economy“. In: *Development*, 57: 3-4, 2014, S. 362-375.

Kristoffersen et al. 2020

Kristoffersen, E./Li, Z./Li, J./Jensen, T. H./Pigosso, D. C. A./McAloon, T. C.: *Smart Circular Economy: CIRCit Workbook 4*, Kongens Lyngby, Dänemark, 2020.

Linder/Williander 2017

Linder, M./Williander, M.: „Circular Business Model Innovation: Inherent Uncertainties“. In: *Business Strategy and the Environment*, 26: 2, 2017, S. 182-196.

Lutter et al. 2018

Lutter, S./Giljum, S./Gözet, B./Wieland, H./Manstein, C.: *Die Nutzung natürlicher Ressourcen. Bericht für Deutschland 2018*, Dessau-Roßlau, 2018.



Magnier et al. 2017

Magnier, C./Auzanneau, P./Calatayud, P./Gauche, M./Ghewy, X./Granger, M./Margontier, S./Pautard, E.: *10 Key Indicators for Monitoring the Circular Economy*, 2017. URL: http://temis.documentation.developpement-durable.gouv.fr/docs/Temis/0086/Temis-0086452/22978_2017_ENG.pdf [Stand: 19.01.2021].

Managi/Kumar 2018

Managi, S./Kumar, P.: *Inclusive Wealth Report 2018*, London: Taylor and Francis 2018.

Material Economics 2018

Material Economics: *The Circular Economy – a Powerful Force for Climate Mitigation*, 2018. URL: <https://materialeconomics.com/publications/the-circular-economy> [Stand: 02.12.2020].

Mayer et al. 2019

Mayer, A./Haas, W./Wiedenhofer, D./Krausmann, F./Nuss, P./Blengini, G. A.: „Measuring Progress towards a Circular Economy: A Monitoring Framework for Economy-wide Material Loop Closing in the EU28“. In: *Journal of Industrial Ecology*, 23: 1, 2019, S. 62–76.

McCarthy et al. 2018

McCarthy, A./Dellink, R./Bibas, R.: *The Macroeconomics of the Circular Economy Transition: A Critical Review of Modelling Approaches*, 2018. URL: [http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=ENV/WKP\(2018\)4&docLanguage=En](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=ENV/WKP(2018)4&docLanguage=En) [Stand: 07.12.2020].

Morseletto 2020

Morseletto, P.: „Restorative and Regenerative“. Exploring the Concepts in the Circular Economy. In: *Journal of Industrial Ecology*, 37: 2, 2020, S. 384.

Negri et al. 2017

Negri, E./Fumagali, L./Macchi, M.: „A Review of the Roles of Digital Twin in CPS-based Production Systems“. In: *Procedia Manufacturing*, 11, 2017, S. 939–948.

Nielsen 1988

Nielsen, R. P.: „Cooperative Strategy“. In: *Strategic Management Journal*, 9: 5, 1988, S. 475–492.

Park/Chertow 2014

Park, J. Y./Chertow, M. R.: „Establishing and Testing the ‚Reuse Potential‘ Indicator for Managing Wastes as Resources“. In: *Journal of environmental management*, 137, 2014, S. 45–53.

Pew Charitable Trusts/SYSTEMIQ 2020

Pew Charitable Trusts/SYSTEMIQ: *Breaking the Plastic Wave: Top Findings for Preventing Plastic Pollution*. First-of-its-kind modeling analysis describes actions needed to stop plastic from entering the ocean, 2020. URL: <https://www.pewtrusts.org/en/research-and-analysis/articles/2020/07/23/breaking-the-plastic-wave-top-findings> [Stand: 09.12.2020]

Potting/Hanemaaijer 2018

Potting, J./Hanemaaijer, A.: *Circular Economy: What We Want to Know and Can Measure*, Den Haag, 2018.

Prognos et al. 2020a

Prognos/Öko-Institut/Wuppertal Institut: *Klimaneutrales Deutschland. Klimaneutralität*. Studie im Auftrag von Agora Energiewende, Agora Verkehrswende und Stiftung Klimaneutralität, 2020. URL: https://static.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2020/2020_10_KNDE/A-EW_195_KNDE_WEB_V111.pdf [Stand: 07.12.2020].

Prognos et al. 2020b

Prognos/INFA GMBH/Faulstich, M.: *Statusbericht der deutschen Kreislaufwirtschaft*, 2020. URL: <https://www.bde.de/themen/statusbericht-kreislaufwirtschaft/?tag=kreislaufwirtschaft> [Stand: 07.12.2020].

Purr et al. 2019

Purr, K./Günther, J./Lehmann, H./Nuss, P.: *Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität* (Climate Change 36/2019), Dessau-Roßlau, 2019.

Qiping 2011

Qiping, R.: „Circular Economy Action Programs and Countermeasures for Small and Medium-sized Resource-based Cities of China-Case Study of Zibo City of Shandong Province“. In: *Energy Procedia*, 5, 2011, S. 2183–2188.

Ressourcenkommission am Umweltbundesamt 2019

Ressourcenkommission am Umweltbundesamt: *Substitutionsquote: Ein realistischer Erfolgsmaßstab für die Kreislaufwirtschaft*. URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/421/publikationen/190722_uba_kompp_substitutionsquote_bf.pdf [Stand: 21.01.2021].

Reuter et al. 2018

Reuter, M. A./van Schaik, A./Ballester, M.: „Limits of the Circular Economy: Fairphone Modular Design Pushing the Limits“. In: *Metallurgy-ERZMETALL*: 71 (2), 2018.

Rodriguez et al. 2020

Rodriguez, M./Pansera, M./Lorenzo, P. C.: „Do Indicators Have Politics? A Review of the Use of Energy and Carbon Intensity Indicators in Public Debates“. In: *Journal of Cleaner Production*, 243, 2020, S. 118602.

Sachverständigenrat für Umweltfragen 2020a

Sachverständigenrat für Umweltfragen: *Kreislaufwirtschaft: Von der Rhetorik zur Praxis*, Berlin, 2020.

Sachverständigenrat für Umweltfragen 2020b

Sachverständigenrat für Umweltfragen: *Umweltgutachten 2020: Für eine entschlossene Umweltpolitik in Deutschland und Europa*, Berlin, 2020.

Schmidt-Bleek 1994

Schmidt-Bleek, F.: *Wieviel Umwelt braucht der Mensch? MIPS – Das Maß für ökologisches Wirtschaften*, Basel: Birkhäuser Basel 1994.

Schrader 2007

Schrader, U.: „The Moral Responsibility of Consumers as Citizens“. In: *International Journal of Innovation and Sustainable Development*, 2: 1, 2007, S. 79.

Schroeder/Anantharaman 2019

Schroeder, P./Anantharaman, M.: *The Circular Economy and the Global South. Sustainable Lifestyles and Green Industrial Development*, London: Routledge 2019.

Schumacher 2011

Schumacher, E. F.: *Small Is Beautiful. A Study of Economics as if People Mattered*, London: Vintage Digital 2011.

Smol et al. 2017

Smol, M./Kulczycka, J./Avdiushchenko, A.: „Circular Economy Indicators in Relation to Eco-Innovation in European Regions“. In: *Clean Technologies and Environmental Policy*, 19: 3, 2017, S. 669–678.

Statistisches Bundesamt 2019

Statistisches Bundesamt: *Kostenstruktur der Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes* (Fachserie 4.3.), s. I., 2019.

Statistisches Bundesamt 2020a

Statistisches Bundesamt: „Abfallaufkommen in Deutschland 2018 bei 417,2 Millionen Tonnen“ (Pressemitteilung vom 02.06.2020). URL: https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2020/06/PD20_195_321.html;jsessionid=FCFC4E43C292103B0578C77B85AA15F3.internet8712 [Stand: 02.12.2020].

Statistisches Bundesamt 2020b

Statistisches Bundesamt: *Aufkommen und Verwendung in Rohstoffäquivalenten 2000 bis 2016*, 2020. URL: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/UGR/rohstoffe-materialfluesse-wasser/Publikationen/Downloads/rohstoffaequivalente-5853101169004.html> [Stand: 15.01.2021].

Steger et al. 2019

Steger, S./Ritthoff, M./Bulach, W./Schüler, D./Kosinska, I./De-greif, S./Dehoust, G./Bergmann, T./Krause, P./Oetjen-Dehne, R.: *Stoffstromorientierte Ermittlung des Beitrags der Sekundärrohstoffwirtschaft zur Schonung von Primärrohstoffen und Steigerung der Ressourcenproduktivität* (Texte 34/2019), Dessau-Roß-lau, 2019.

Steinmann et al. 2019

Steinmann, Z. J. N./Huijbregts, M. A. J./Reijnders, L.: „How to Define the Quality of Materials in a Circular Economy?“. In: *Resources, Conservation and Recycling*, 141, 2019, S. 362–363.

Takacs et al. 2020

Takacs, F./Stechow, R./Frankenberger, K.: *Circular Ecosystems* (White Paper of the Institute of Management & Strategy, St. Gallen, 2020).

Tapscott/Williams 2007

Tapscott, D./Williams, A. D.: *Wikinomics. How Mass Collaboration Changes Everything*, New York, NY: Portfolio 2007.

The Ex'tax Project 2016

The Ex'tax Project: *New era. New plan. Europe. A Fiscal Strategy for an Inclusive Circular Economy*, 2016. URL: <http://www.newera-newplan.com/wp-content/uploads/2016/12/New-Era-New-Plan-Europe-Extax-Report-DEF.compressed.pdf> [Stand: 25.01.2021].

Thierry et al. 1995

Thierry, M./Salomon, M./van Nunen, J./van Wassenhove, L. N.: „Strategic Issues in Product Recovery Management“. In: *California Management Review*, 37: 2, 1995, S. 114–135.



Toffler 1980

Toffler, A.: *The Third Wave*, New York, NY: Morrow 1980.

Tukker 2004

Tukker, A.: „Eight Types of Product-Service System: Eight Ways to Sustainability? Experiences from SusProNet“. In: *Business Strategy and the Environment*, 13: 4, 2004, S. 246–260.

Umweltbundesamt 2020a

Umweltbundesamt: *Verwertungsquoten der wichtigsten Abfallarten*, 2020. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertungsquoten-der-wichtigsten-abfallarten> [Stand: 02.12.2020].

Umweltbundesamt 2020b

Umweltbundesamt: *Primärenergieverbrauch*, 2020. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/primaerenergieverbrauch#definition-und-einflussfaktoren> [Stand: 07.12.2020].

Umweltbundesamt 2020c

Umweltbundesamt: *Indikator: Rohstoffkonsum*, 2020. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/indikator-rohstoffkonsum#die-wichtigsten-fakten> [Stand: 02.12.2020].

Umweltbundesamt 2020d

Umweltbundesamt: *Rohstoffproduktivität*, 2020. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/rohstoffe-als-ressource/rohstoffproduktivitaet> [Stand: 15.07.2020].

Umweltbundesamt 2020e

Umweltbundesamt: *Indikator: Gesamtrohstoffproduktivität*, 2020. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/indikator-gesamtrohstoffproduktivitaet#die-wichtigsten-fakten> [Stand: 15.07.2020].

Umweltbundesamt 2020f

Umweltbundesamt: *Leitsätze einer Kreislaufwirtschaft*, 2020. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/leitsaetze-einer-kreislaufwirtschaft> [Stand: 07.12.2020].

Valenzuela/Böhm 2017

Valenzuela, F./Böhm, S.: „Against Wasted Politics: A Critique of the Circular Economy“. In: *Ephemera: Theory & Politics in Organization*: 1, 2017, S. 23–60.

Weber/Stuchtey 2019

Weber, T./Stuchtey, M.: *Deutschland auf dem Weg zur Circular Economy – Erkenntnisse aus europäischen Strategien (Vorstudie)*, München, 2019.

Wuppertal Institut s. a.

Wuppertal Institut: *Ressourcen sind endlich*, s. a. URL: <https://wupperinst.org/themen/ressourcen/> [Stand: 07.12.2020].

Zampori/Pant 2019

Zampori, L./Pant, R.: *Suggestions for Updating the Product Environmental Footprint (PEF) Method*, Luxemburg, 2019.

Zink/Geyer 2017

Zink, T./Geyer, R.: „Circular Economy Rebound“. In: *Journal of Industrial Ecology*, 21: 3, 2017, S. 593–602.



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:

**acatech – Deutsche Akademie
der Technikwissenschaften**
Karolinenplatz 4
80333 München

**Geschäftsstelle Circular Economy
Initiative Deutschland**
Karolinenplatz 4
80333 München

SYSTEMIQ Ltd
69 Carter Lane
London EC4V
Vereinigtes Königreich

Reihenherausgeber:

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, 2021

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: Karl-Heinz Streibich, Prof. Dr.-Ing. Johann-Dietrich Wörner, Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier, Prof. Dr. Reinhard F. Hüttl (Amt ruht derzeit), Dr. Stefan Oschmann, Dr.-Ing. Reinhard Ploss, Prof. Dr. Christoph M. Schmidt, Prof. Dr.-Ing. Thomas Weber, Manfred Rauhmeier, Prof. Dr. Martina Schraudner

Empfohlene Zitierweise:

Circular Economy Initiative Deutschland (Hrsg.): *Circular Economy Roadmap für Deutschland*, *Kadner, S., Kobus, J., Hansen, E., Akinci, S., Elsner, P., Hagelüken, C., Jaeger-Erben, M., Kick, M., Kwade, A., Kühl, C., Müller-Kirschbaum, T., Obeth, D., Schweitzer, K., Stuchtey, M., Vahle, T., Weber, T., Wiedemann, P., Wilts, H., von Wittken, R. acatech/SYSTEMIQ, München/London 2021.

* Alle Autoren außer SK, JK und EH werden in alphabetischer Reihenfolge gelistet.

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 • 2021

Koordination und Text: Geschäftsstelle Circular Economy Initiative Deutschland und SYSTEMIQ

Redaktion: Alrun Straudi

Lektorat: Lektorat Berlin

Logogestaltung: Lisa Metzger

Covergestaltung: Britta Stammeier

Titelfoto: BillionPhotos.com/AdobeStock

Konvertierung und Satz: GROOTHUIS. Gesellschaft der Ideen und Passionen mbH für Kommunikation und Medien, Marketing und Gestaltung; groothuis.de

Die Originalfassung der Publikation ist verfügbar auf www.circular-economy-initiative.de und www.acatech.de

