Herausragende Masterarbeiten

Autor*in

Elif Kösen

Studiengang

Nachhaltige Entwicklungszusammenarbeit, M.A.

Masterarbeitstitel

Kreislauf der Innovation: Cradle to Cradle als Konzept nachhaltiger Entwicklung

RPTU

Distance and Independent Studies Center
DISC

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis……...III
Tabellenverzeichnis……IV
Abkürzungsverzeichnis……..V

1 Einleitung……..1
2 Die Industrialisierung und ihre Auswirkungen auf Ressourcen und Umwelt... 3
2.1 Vom Agrarsektor zur industriellen Revolution……...3
2.2 Cradle to Grave: Das System Linearwirtschaft…….. 7
2.3 Ökologische Folgen der Industrialisierung…… 10
3 Ressourcennutzung und Nachhaltigkeit: Die Notwendigkeit eines Wandels…. 13
3.1 Die wachsende Nachfrage nach Rohstoffen und Ressourcen…… 13
3.2 Nachhaltiges Ressourcenmanagement……... 16
3.2.1 Das Konzept des Umweltraums und der planetaren Grenzen……. 18
3.2.2 Der sozio-industrielle Metabolismus……... 21
3.3 Die Circular Economy……22
4 Cradle to Cradle als Konzept nachhaltiger Entwicklung…… 25
4.1 Vom Prinzip der Ökoeffizienz zur Ökoeffektivität…….25
4.1.1 Die Ökoeffizienz……..25
4.1.2 Die Ökoeffektivität…….. 27
4.2 Cradle to Cradle – Entstehung und Konzeptualisierung…… 28
4.3 Kernelemente von Cradle to Cradle……... 29
4.3.1 Abfall ist Nahrung……29
4.3.2 Integration erneuerbarer Energien……... 30
4.3.3 Förderung von Vielfalt……30
4.4 Die Kreisläufe von Cradle to Cradle…….. 31
4.5 Die Cradle to Cradle-Produktzertifizierung……... 34
5 Umsetzungen von Cradle to Cradle……... 37
5.1 Bauwesen und Einrichtung……37
5.2 Textilien, Bekleidung und Schuhe……..39
5.3 Konsumgüter…….. 42

5.4 Elektronik……... 44
6 Reflexion und Diskussion…… 47
6.1 Chancen des Cradle to Cradle-Konzepts……47
6.1.1 Ökologische Dimension……...48
6.1.2 Ökonomische Dimension……50
6.1.3 Soziale Dimension……... 52
6.2 Herausforderungen des Cradle to Cradle-Konzepts……... 56
6.2.1 Technologische Herausforderungen……56
6.2.2 Wirtschaftliche Herausforderungen……. 59
6.2.3 Gesellschaftliche Herausforderungen…….. 61
6.3 Handlungsempfehlungen……62
7 Schlussfolgerungen und weiterer Forschungsbedarf……69

Literaturverzeichnis……... VI
Eigenständigkeitserklärung……XXIII

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Darstellung der Basisinnovationen von Industrie 1.0 bis Industrie 4.0…… 4

Abb. 2 Der Zustand der planetaren Grenzen…… 21

Abb. 3 Der biologische und der technische Kreislauf des C2C-Konzepts……... 32

Tabellenverzeichnis

Tab. 1 C2C-Zertifizierungen in der Kategorie Bauwesen und Einrichtung…….38

Tab. 2 C2C-Zertifizierungen in der Kategorie Textilien, Bekleidung und Schuhe…..40

Tab. 3 C2C-Zertifizierungen in der Kategorie Konsumgüter…….. 42

Tab. 4 C2C-Zertifizierungen in der Kategorie Elektronik……... 44

Tab. 5 Chancen des C2C-Konzepts im Kontext der SDGs……..55

Abkürzungsverzeichnis

AR	Augmented Reality
BCSD	Business Council for Sustainable Development
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BMZ	Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
CE	Circular Economy
CPPS	Cyber-Physische Produktionssysteme
CS	Circular Society
C2C	Cradle to Cradle
C2CPII	Cradle to Cradle Products Innovation Institute
EPEA	Environmental Protection Encouragement Agency
EU	Europäische Union
IIoT	Industrial Internet of Things
KI	Künstliche Intelligenz
LCA	Life Cycle Assessment
MBDC	McDonough Braungart Design Chemistry
SDG	Sustainable Development Goal (Nachhaltigkeitsziel)
UNCED	United Nations Conference on Environment and Development
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development
WEF	World Economic Forum

1 Einleitung

„Probleme kann man niemals mit derselben Denkweise lösen, durch die sie entstanden sind.“
Albert Einstein

Die aktuellen ökologischen Herausforderungen sind nicht zu übersehen: In Marokko geht jährlich eine erhebliche Menge Sand verloren, der überwiegend in der Bauindustrie Verwendung findet. Gleichzeitig führt der Abbau von Lithium in der chilenischen Atacama-Wüste zu einem drastischen Absinken des Grundwasserspiegels. In Accra, der Hauptstadt Ghanas, häuft sich Elektroschrott an, der wertvolle Rohstoffe enthält und gleichzeitig die Umwelt erheblich belastet. Diese Beispiele verdeutlichen die negativen Auswirkungen eines linearen Wirtschaftsmodells, das auf dem Prinzip „*Take, Make, Waste*“ basiert und in einem kontinuierlichen Anstieg des Ressourcenverbrauchs sowie des Abfallaufkommens mündet.

Seit Jahrzehnten übersteigt der menschliche Ressourcenverbrauch die Regenerationsfähigkeit der Erde. Das rasante Wachstum der Weltbevölkerung, die zunehmende Nachfrage nach Industrie- und Konsumgütern sowie die fortschreitende digitale Revolution verstärken diesen Trend weiter. Insbesondere Zukunftstechnologien erfordern enorme Mengen an Rohstoffen und tragen so zu einer fortschreitenden Verknappung von Ressourcen bei. Diese Entwicklung birgt nicht nur erhebliche Umweltgefahren, sondern verschärft auch die Belastung der Ökosysteme und gefährdet langfristig die Lebensgrundlage von heutigen sowie zukünftigen Generationen. Angesichts dieser Herausforderungen gewinnt die Suche nach innovativen und nachhaltigen Lösungen zunehmend an Dringlichkeit.

In diesem Kontext stellt das Cradle to Cradle-Konzept einen vielversprechenden Ansatz dar, der den Übergang von einer linearen zu einer zirkulären Wirtschaftsweise ermöglichen soll. Die vorliegende Arbeit untersucht, ob der Cradle to Cradle-Ansatz einen positiven Beitrag zu einer nachhaltigen Entwicklung leisten kann. Dabei werden sowohl die ökologischen, ökonomischen und sozialen Potenziale des Ansatzes, als auch die Heraus-

forderungen seiner praktischen Umsetzung analysiert. Zudem werden mögliche Lösungsansätze erörtert, um diese Hindernisse zu überwinden und eine erfolgreiche Implementierung von Cradle to Cradle zu gewährleisten.

Im zweiten Kapitel wird die Entwicklung vom Agrarsektor zur industriellen Revolution nachgezeichnet, um die weitreichenden Auswirkungen der Industrialisierung auf Ressourcen und Umwelt zu verstehen. Zunächst wird die Industrialisierung in ihren wesentlichen Aspekten vorgestellt, bevor die lineare Wirtschaftsweise („*Cradle to Grave*“) und die ökologischen Folgen dieses Wandels eingehend analysiert werden. Anschließend erfolgt im dritten Kapitel eine umfassende Betrachtung der Grundlagen eines nachhaltigen Ressourcenmanagements, wobei insbesondere auf die wachsende Nachfrage nach Rohstoffen eingegangen wird. Außerdem werden Konzepte eines nachhaltigen Ressourcenmanagements sowie die Prinzipien der Circular Economy näher beleuchtet. Im vierten Kapitel wird das Cradle to Cradle-Konzept detailliert vorgestellt. Zunächst wird eine thematische Grundlage geschaffen, indem die Prinzipien der Ökoeffizienz und Ökoeffektivität gegenübergestellt werden. Der Fokus liegt weiterhin auf den Kernelementen des Konzepts, den verschiedenen Kreisläufen und der Produktzertifizierung. Um die praktische Umsetzung des Cradle to Cradle-Ansatzes zu veranschaulichen, werden im Rahmen des fünften Kapitels konkrete Fallbeispiele aus vier verschiedenen Produktkategorien präsentiert. Im sechsten Kapitel erfolgt eine kritische Reflexion der Chancen und Herausforderungen des Cradle to Cradle-Modells, mit besonderem Augenmerk auf dessen Beitrag zu einer nachhaltigen Entwicklung. Darauf aufbauend werden zehn zentrale Handlungsempfehlungen formuliert, um eine erfolgreiche Implementierung des Konzepts zu fördern. Die Arbeit wird schließlich im siebten Kapitel mit einer Zusammenfassung der zentralen Erkenntnisse und einem Ausblick auf potenzielle zukünftige Entwicklungen abgeschlossen.

2 Die Industrialisierung und ihre Auswirkungen auf Ressourcen und Umwelt

Bevor im dritten Kapitel der verantwortungsvolle Umgang mit natürlichen Ressourcen[1] im Fokus der Betrachtung steht, soll zunächst ein historischer Kontext geschaffen werden. Hierfür wird zunächst die Industrialisierung, die den Übergang von einer agrarischen zu einer industriellen Gesellschaft kennzeichnet, in ihren wesentlichen Aspekten vorgestellt (2.1). Im Anschluss daran folgt eine eingehende Analyse der Auswirkungen dieses Wandels, wobei insbesondere auf die Entstehung der Linearwirtschaft (2.2) und den damit verbundenen ökologischen Folgen (2.3) eingegangen wird. Das Ziel des zweiten Kapitels besteht darin, die aktuelle Notwendigkeit eines nachhaltigen Paradigmenwechsels als Antwort auf die Folgen der Industrialisierung aufzuzeigen.

2.1 Vom Agrarsektor zur industriellen Revolution

Die Industrialisierung beschreibt den Übergang von einer vorwiegend landwirtschaftlich und handwerklich geprägten zu einer technologiegestützten Gesellschaft. Sie nahm ihren Ursprung Ende des 18. Jahrhunderts in England und entfaltete sich allmählich auch in anderen europäischen Staaten sowie in den USA und Japan. Seither sind im Zuge des industriellen Wandels vier Phasen zu verzeichnen, die aufgrund von Basisinnovationen mit tiefgreifenden wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Veränderungen einhergingen (vgl. Marschall, Meißner & Schmidt 2013: 26).[2]

1 Im Rahmen dieser Arbeit bezieht sich der Begriff *Ressourcen* stets auf *natürliche Ressourcen*, die nach der Definition von Reller et al. (2013: 45) das gesamte bereits genutzte bzw. potenziell nutzbare Naturkapital in Form von Stoffen und Energiearten umfassen. Sie dienen der Bedürfnisbefriedigung des Menschen und schließen mineralische, energetische, pflanzliche und tierische Ressourcen sowie Umweltmedien wie Wasser, Luft und Boden ein.

2 Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die nachfolgende Zusammenfassung lediglich einen kurzen Überblick über die einzelnen Phasen der Industrialisierung bietet und keinesfalls eine umfassende Darstellung der komplexen Thematik darstellt. Detaillierte Informationen können in weiterführender Fachliteratur und Originalquellen gefunden werden.

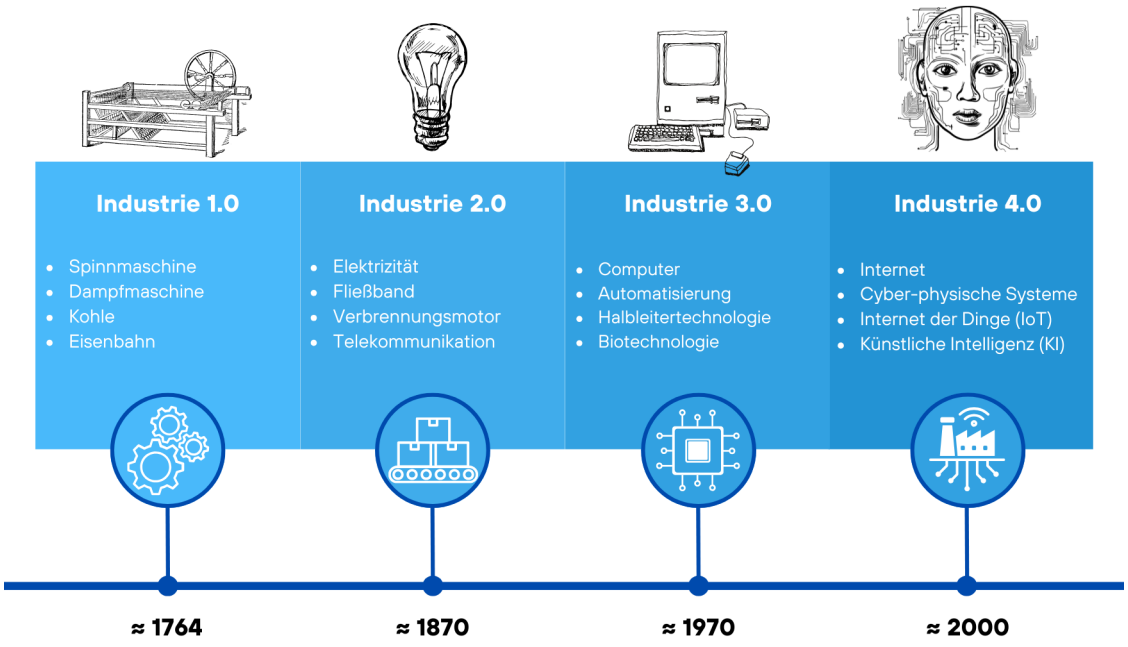

Abbildung 1: Darstellung der Basisinnovationen von Industrie 1.0 bis Industrie 4.0[3]

Die erste industrielle Revolution (Industrie 1.0) legte den Grundstein für die moderne, industriebasierte Gesellschaft. Sie begann in den Textilmanufakturen Englands mit der Einführung handbetriebener Webstühle und Spinnmaschinen (vgl. Hänggi 2011: 33). Die erste industrielle Spinnmaschine („Spinning Jenny“) wurde 1764 von dem britischen Baumwollweber James Hargreaves (1721-1778) erfunden (vgl. Deutsches Museum). Sie ermöglichte das gleichzeitige Spinnen mehrerer Garnspindeln und führte zu einer Verachtfachung der Produktivität einer Arbeitskraft (vgl. Hänggi 2011: 33). Eine weitere zentrale Entwicklung dieser Zeit war die Optimierung der Dampfmaschine durch den schottischen Ingenieur James Watt (1776-1819) (vgl. Hochwarth 2024). Die dampfbetriebenen Pumpen, die in Steinkohlegruben eingesetzt wurden, ermöglichten eine effizientere Entwässerung und trugen zu einer bedeutenden Expansion des Bergbaus bei (vgl. Marschall, Meißner & Schmidt 2013: 19). Infolgedessen stieg die globale Kohleförderung zwischen 1800 und 1900 von zehn Millionen auf eine Milliarde Tonnen an (vgl. McNeill 2003: 28). Des Weiteren fand die Dampfkraft eine breite Anwendung in anderen Schlüsselindustrien, was nicht nur zu einer fortschreitenden Substitution

3 Eigene Darstellung, in Anlehnung an Bundesverband Industrie Kommunikation e.V..

menschlicher und tierischer Arbeitskraft durch Maschinen führte, sondern auch zu einer deutlichen Steigerung der gewerblichen Güterproduktion (vgl. Hochwarth 2024). Nicht zuletzt brachte die Einführung der Eisenbahn tiefgreifende Veränderungen mit sich. Die verbesserten Transportkapazitäten und die erheblich gesenkten Frachtkosten ermöglichten es, große Mengen an Gütern und zahlreiche Menschen binnen weniger Stunden über weite Entfernungen zu befördern. Dadurch vergrößerte sich der Einzugsbereich der Märkte und ebnete sukzessive den Weg zu einer großräumigen und arbeitsteiligen Wirtschaftsweise (vgl. Marschall, Meißner & Schmidt 2013: 19).

Die zweite industrielle Revolution (Industrie 2.0) begann im 19. Jahrhundert und wurde von der verstärkten Nutzung der Elektrizität wie auch der Einführung der Fließbandfertigung geprägt. Wurden Dampf- und Wasserkraft bislang hauptsächlich zur Bereitstellung großer Energiemengen genutzt, eröffnete die Elektrifizierung neue Möglichkeiten für kleinere Anwendungen, die unter anderem den Übergang von der Eisenbahn zum Individualfahrzeug und von der Großwäscherei zur privaten Waschmaschine ermöglichten (vgl. Hänggi 2011: 38). Weiterhin leistete der US-amerikanische Automobilhersteller Henry Ford (1863-1947) einen maßgeblichen Beitrag zur Transformation der industriellen Fertigung. Er adaptierte das ursprünglich in den Schlachthöfen von Chicago entwickelte Konzept der Fließbandproduktion für den Bau von Automobilen. Hierbei wurden die Fahrzeuge in einzelnen Arbeitsschritten am Fließband gefertigt, was den Produktionsprozess nicht nur deutlich beschleunigte, sondern auch kostengünstiger machte (vgl. Cassier 2023). Ab 1908 richtete die Ford Motor Company ihre gesamte Produktion auf ein einziges Modell aus, das Ford Modell T (vgl. Marschall, Meißner & Schmidt 2013: 27). Aufgrund der zunehmenden Optimierung der Fertigung konnte der Verkaufspreis für das T-Modell innerhalb von siebzehn Jahren (1908-1925) von 850 auf 290 US-Dollar gesenkt werden. Folglich kam es zu einem rasanten Anstieg der Verkaufszahlen. Während im Jahr 1911 noch 39.640 Fahrzeuge verkauft wurden, erhöhte sich die Gesamtverkaufszahl bis 1927 auf 15 Millionen Exemplare (vgl. Braungart & McDonough 2020: 43). Diese Entwicklung machte aus dem Auto als einstigem Luxugut ein er-

schwingliches Produkt für die breite Öffentlichkeit und leitete die Ära der Massenmotorisierung ein (vgl. Marschall, Meißner & Schmidt 2013: 28).

Die dritte industrielle Revolution (Industrie 3.0) begann in den 1970er Jahren und zeichnete sich durch Erfindungen im Bereich der Elektronik und Informationstechnologie aus, die eine weitgehende Automatisierung und zentrale Steuerung in der Produktion ermöglichten (vgl. Scheer 2013: 8). Die konzeptionellen Grundlagen wurden allerdings bereits im 19. Jahrhundert gelegt. Der britische Mathematiker Charles Babbage (1791-1871) entwarf zusammen mit der Mathematikerin Ada Lovelace (1815-1852) eine mechanische Rechenmaschine („Analytical Engine“), die als Vorläufer des modernen Computers gilt (vgl. Max-Planck-Gesellschaft). Im 20. Jahrhundert wurden diese frühen Konzepte erstmalig in die Praxis umgesetzt. Der deutsche Bauingenieur Konrad Zuse (1910-1995) konstruierte im Jahr 1941 die erste funktionsfähige, programmierbare Rechenmaschine („Z3“) und wurde dadurch als „Vater des Computers“ anerkannt (vgl. Landesverband Industriekultur Sachsen). Mit der fortschreitenden Computerisierung vollzog sich in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts ein grundlegender Wandel in der industriellen Produktion. Die Einführung fortschrittlicher Elektrotechnik ermöglichte die umfassende Automatisierung komplexer Produktionsprozesse, wodurch Fertigungsabläufe zunehmend ohne menschliches Einschreiten realisiert werden konnten. Insbesondere die Entwicklung prozessorbasierter Industrieroboter, die präzise und konsistente Aufgaben autonom ausführten, veranschaulicht diesen Fortschritt. Diese technologischen Errungenschaften führten zu beträchtlichen Effizienzgewinnen und einer deutlichen Reduktion der Produktionskosten, wodurch der Bedarf an menschlicher Arbeitskraft in der Fertigung signifikant zurückging. Fachkräfte verschoben ihren Fokus von manuellen Tätigkeiten hin zu komplexen Entwicklungs- und Planungsaufgaben. Insgesamt trugen diese Entwicklungen zur Bildung globaler Produktionsnetzwerke bei, da Unternehmen ihre Fertigungsprozesse verstärkt international verlagerten, um von globalen Kostenvorteilen und Märkten zu profitieren. Dadurch etablierte sich eine global vernetzte Wirtschaft, in der nationale Marktgrenzen immer mehr an Bedeutung verloren (vgl. Feld, Hoffmann & Schmidt 2013: 37).

Die vierte industrielle Revolution (Industrie 4.0) entwickelte sich ab den frühen 2000er Jahren und baut systematisch auf den Fortschritten der dritten industriellen Revolution auf. Angetrieben durch die rasante Entwicklung und Verbreitung des Internets markiert sie den Übergang zu einer umfassend digitalisierten und vernetzten Produktionslandschaft (vgl. Kagermann 2013: 30). Im Zentrum der Industrie 4.0 stehen neun Schlüsseltechnologien: Big-Data-Analysen und Künstliche Intelligenz (KI), vertikale und horizontale Integration, Datenverarbeitung in der Cloud (*Cloud Computing*), erweiterte Realität (*Augmented Reality* – AR), das industrielle Internet der Dinge (*Industrial Internet of Things* – IIoT), additive Fertigung, autonome Roboter, Simulationen oder digitale Zwillinge sowie Cybersicherheit (vgl. SAP). Diese Innovationen bilden die Grundlage für sogenannte Cyber-Physische Produktionssysteme (CPPS), in denen alle Elemente der Produktion – von Menschen über Maschinen bis hin zu Produkten und der Logistik – miteinander vernetzt sind und Informationen nahtlos austauschen können (vgl. Schlick, Stephan & Zühlke 2013: 12). Auf diese Weise entstehen intelligente Produkte, Anlagen sowie Fabriken (*Smart Factories*), die neue Dimensionen der Automatisierung, Flexibilität und Effizienz erreichen (vgl. SAP).

Zweifellos brachte die Industrialisierung in vielen Ländern bedeutende ökonomische und soziale Fortschritte mit sich. Die gesteigerte Produktivität und Effizienz führten zu einem erheblichen Wirtschaftswachstum und zur Schaffung zahlreicher Arbeitsplätze. Gleichzeitig verbesserte sich der Lebensstandard vieler Menschen durch einen erweiterten Zugang zu Waren, Dienstleistungen, Bildung und Gesundheitsversorgung, was letztlich auch eine längere Lebenserwartung nach sich zog (vgl. Braungart 2007: 216 f.). Doch das Konzept der industriellen Revolution beruhte seit Anbeginn auch auf inhärenten Schwächen, die im weiteren Verlauf dieser Arbeit näher betrachtet werden.

2.2 Cradle to Grave: Das System Linearwirtschaft

Mit dem Übergang von agrarischen zu industriellen Gesellschaften entwickelte sich eine industrielle Infrastruktur, die auf linearen Materialströmen basiert. Dies führte zu Produktionsprozessen, die „von der Wiege bis zur Bahre“ (*from Cradle to Grave*) organi-

siert sind. Das Modell beruht auf dem Paradigma *„Take, Make, Waste“* und beschreibt einen Lebenszyklus von Produkten, der die Phasen der Rohstoffgewinnung, Produktion, Nutzung und schließlich der Entsorgung in Mülldeponien oder Müllverbrennungsanlagen umfasst (vgl. Braungart 2007: 217; Braungart & McDonough 2020: 47).

Die Linearwirtschaft, auch als „Wegwerfwirtschaft“ bekannt, dominiert bis heute die globale Ökonomie. Sie ist nicht nur für eine übermäßige Nutzung natürlicher Ressourcen verantwortlich, sondern trägt auch wesentlich zur Expansion des Abfallaufkommens bei. Allein im 20. Jahrhundert vervielfachte sich die weltweite Rohstoffentnahme um den Faktor 34 (vgl. Oehlmann 2017: 17). Zugleich nahm die Menge der mondialen Abfallerzeugnisse stetig zu, sodass heutzutage innerhalb eines Jahres etwa zwei Milliarden Tonnen Abfall entstehen (vgl. Umweltbundesamt 2022: 19). Dabei verzeichnet der Bereich Elektro- und Elektronikschrott (ohne Solarzellen) gegenwärtig die größten Zunahmen (vgl. Kosmos 2023: 565). Die Menge hat sich zwischen 2010 und 2022 von 34 auf 62 Millionen Tonnen erhöht (vgl. Baldé et al. 2024: 10). Folglich deuten Prognosen darauf hin, dass das globale Abfallaufkommen bis 2050 auf insgesamt 3,4 Milliarden Tonnen anwachsen wird (vgl. Umweltbundesamt 2022: 19).[4]

Neben den linearen Produktionsprozessen tragen auch veränderte Konsummuster zur Verstärkung der ressourcenintensiven Wirtschaftsweise bei. In Deutschland formte sich in den 1950er und 1960er Jahren das Modell des Massenkonsums, das zu einem markanten Anstieg des Güterverbrauchs führte (vgl. Reller et al. 2013: 17). Während es im Jahr 1952 noch möglich war, das Konsumverhalten eines durchschnittlichen Vier-Personen-Haushalts in Deutschland mit 335 Waren und Dienstleistungen abzubilden, waren 1970 bereits 725 Positionen erforderlich (vgl. Andersen 1999: 20). In den letzten Jahrzehnten haben sich die Konsumgewohnheiten weiter intensiviert und maßgeblich zur

4 An dieser Stelle sollte nicht unerwähnt bleiben, dass sowohl die Steigerung des Rohstoffbedarfs als auch der Anstieg des Abfallaufkommens ebenfalls durch das exponentielle Wachstum der Weltbevölkerung seit Ende des 18. Jahrhunderts beeinflusst werden. Wurde um 1800 erstmals die Milliardengrenze überschritten, zählte die Erde 150 Jahre später bereits rund 2,5 Milliarden Menschen (vgl. Reller et al. 2013: 23 f.). Bis 1990 wuchs die Weltbevölkerung auf 5,3 Milliarden an und Mitte 2024 umfasste sie knapp 8,2 Milliarden (vgl. Statistisches Bundesamt 2024). Schätzungen zufolge könnte diese Zahl bis 2050 auf etwa 9,7 Milliarden ansteigen (vgl. Kosmos 2023: 26).

Entstehung globaler Phänomene wie der Fast Fashion beigetragen. Die Fast Fashion-Industrie nahm ihren Anfang in den 1980er Jahren, als der verstärkte Einsatz kostengünstiger fossiler Fasern die Textilproduktion erheblich beschleunigte. Im Zuge dessen wurde eine fortwährende Versorgung der Verbraucher:innen mit immer neuen sowie preiswerten Produkten ermöglicht (vgl. Röderer & Zanini-Freitag 2023: 6). Dies hatte zur Folge, dass sich die weltweite Textilproduktion im Zeitraum von 2000 bis 2014 verdoppelte, sodass im Jahr 2014 nahezu 14 Kleidungsstücke pro Person angefertigt wurden (vgl. Gözet & Wilts 2022: 176).

Schließlich wird die Linearwirtschaft auch mittels betriebswirtschaftlicher Strategien, wie etwa der geplanten Obsoleszenz, gefestigt. Es handelt sich hierbei um die gezielte Konstruktion von Produkten mit einer verkürzten Lebensdauer. Ein bekanntes Beispiel ist das im Jahr 1924 gegründete Phoebuskartell, eine Allianz führender Hersteller:innen von Beleuchtungssystemen. Diese einigten sich darauf, die Brenndauer von Glühlampen international von 2500 auf 1000 Stunden zu reduzieren. Weitere Beispiele umfassen die Begrenzung der Betriebsstunden und Arbeitszyklen bei Elektronikprodukten (Drucker, Waschmaschinen) sowie den erschwerten Austausch von Ersatzteilen (Akkus in Smartphones und Laptops). Da Reparaturen in der Regel teurer sind als ein Neukauf, sehen sich die Verbraucher:innen letztlich dazu gezwungen, regelmäßig neue Produkte zu erwerben (vgl. Reller et al. 2013: 35).

Insgesamt ist im Zuge der Industrialisierung ein lineares Wirtschaftssystem entstanden, das auf einer intensiven Nutzung natürlicher Ressourcen beruht und zugleich beträchtliche Abfallmengen generiert. Im Vordergrund steht hierbei die Maximierung ökonomischer Gewinne, die sowohl anhand optimierter Produktionsprozesse als auch durch ein verstärktes Konsumverhalten vorangetrieben wird. Nachstehend werden die daraus resultierenden ökologischen Auswirkungen exemplarisch beleuchtet, um die weitreichenden Konsequenzen dieser Wirtschaftsweise auf die Umwelt zu verdeutlichen.

2.3 Ökologische Folgen der Industrialisierung

Die ökologischen Folgen der Industrialisierung traten schon früh in Erscheinung, insbesondere in Großbritannien, der Wiege der industriellen Revolution. Aufgrund der extensiven Nutzung von Kohle wurde das stark industrialisierte Mittelengland auch als „Schwarzes Land“ bezeichnet. Um 1870 waren dort bereits rund 100.000 kohlebetriebene Dampfmaschinen im Einsatz, die immense Mengen an Rauch und Schwefeldioxid sowie andere Schadstoffe freisetzten. Dies führte häufig zur Bildung dichter Nebelbänke, welche die Sichtverhältnisse stark beeinträchtigten. Angesichts der weitverbreiteten Kohlenutzung in privaten Haushalten verschlechterte sich die ohnehin schon kritische Luftqualität weiter (vgl. McNeill 2003: 72). Ein eindrückliches Beispiel für die verheerenden Folgen der Luftverschmutzung liefert der „Great Smog“ von London im Dezember 1952, der binnen weniger Tage etwa 12.000 Todesopfer forderte (vgl. Kleikamp 2022). Auch in anderen Teilen Großbritanniens hinterließ die Industrialisierung tiefgreifende ökologische Spuren. So führte die Kupferverhüttung im walisischen Swansea-Tal zu saurem Regen, der weite Teile der lokalen Vegetation zerstörte (vgl. McNeill 2003: 72).

Mittlerweile sind die ökologischen Auswirkungen der Industrialisierung nicht mehr auf einzelne Regionen beschränkt, sondern haben vielmehr eine globale Dimension angenommen. Sie reichen von der Verschmutzung von Böden und Gewässern über die stetige Anreicherung von Treibhausgasen in der Atmosphäre bis hin zum Rückgang der Flora und Fauna (vgl. Giljum et al. 2009: 3).

Ein zentraler Aspekt der Industrialisierung ist die intensive Entnahme und Verarbeitung natürlicher Ressourcen. Diese Vorgänge sind mit einem hohen Verbrauch an Energie, Land und Wasser verbunden und ziehen schwerwiegende Umweltprobleme nach sich (vgl. Giljum et al. 2009: 10). So hat beispielsweise die ungefilterte Einleitung von Industrieabwasser viele Flüsse in Kloaken verwandelt, was die Verfügbarkeit von sauberem Trinkwasser für zahlreiche Menschen substanziell beeinträchtigt (vgl. Glaubrecht 2023: 169 ff.). Weiterhin beruht die technologische Entwicklung überwiegend auf fossi-

len Energieträgern, deren Verbrennung sowohl lokale Luftverschmutzungen als auch globale Klimaveränderungen zur Folge hat. Vor allem langlebige Treibhausgase wie CO_2 und Methan reichern sich in der Atmosphäre an und beschleunigen die Erderwärmung (vgl. Reller et al. 2013: 59 f.). Der Industriesektor, insbesondere die Produktion von Gütern und Dienstleistungen des täglichen Bedarfs, ist derzeit für etwa 45 % der weltweiten CO_2-Emissionen verantwortlich (vgl. Hauff 2024: 55).

Der Klimawandel selbst wirkt sich drastisch auf Mensch und Umwelt aus. Seit Beginn der Industrialisierung ist die globale Durchschnittstemperatur um über ein Grad Celsius gestiegen, was zu einer deutlichen Zunahme extremer Wetterereignisse geführt hat. So vervielfachte sich die Anzahl wetterbedingter Katastrophen innerhalb der letzten fünf Jahrzehnte um das Fünffache (vgl. BMZ 2023a). Viele Regionen Afrikas sind von anhaltenden Dürreperioden betroffen, die erheblich zur Verbreitung von Armut und Unterernährung beitragen (vgl. Glaubrecht 2023: 164). Neben akuten Katastrophen gehen mit dem Klimawandel allmähliche Umweltveränderungen einher: Gletscher schmelzen, der Meeresspiegel steigt, die Ozeane versauern, die Böden werden salzhaltiger, der Grundwasserspiegel sinkt und die Wüstengebiete dehnen sich aus (vgl. BMZ 2023a). In Nigeria etwa führt die fortschreitende Desertifikation jedes Jahr zum Verlust mehrerer Hunderttausend Hektar landwirtschaftlicher Flächen (vgl. Reller et al. 2013: 51).

Eine weitere ökologische Konsequenz der Industrialisierung zeigt sich im weltumspannenden Rückgang der Biodiversität. Untersuchungen legen nahe, dass die Extraktion und Verarbeitung natürlicher Ressourcen für bis zu 90 % des globalen Artensterbens verantwortlich sind (vgl. Hauff 2024: 18). Die Ausweitung der industriellen Landwirtschaft, der Rohstoffabbau sowie die Schaffung urbaner Infrastrukturen schränken die Lebensräume von Tieren und Pflanzen folgenschwer ein (vgl. Glaubrecht 2023: 246). Schätzungen zufolge könnten in den kommenden Jahrzehnten bis zu einer Million Arten aussterben, was nicht nur die biologische Vielfalt, sondern zugleich die globale Ernährungssicherheit bedroht (vgl. Kosmos 2023: 16).

Letztendlich verschärfen wachsende Abfallmengen sowie deren zunehmend komplexe Zusammensetzung die ökologischen Herausforderungen der Industrialisierung. Vielerorts wird Abfall nach wie vor auf Deponien gelagert. Während der Zersetzung organischer Stoffe entstehen Deponiegase wie CO_2 und Methan (vgl. mdr 2022). Darüber hinaus kann Sickerwasser die umliegenden Böden und Gewässer kontaminieren, was zu langfristigen Umweltschäden führt (vgl. Langer 2024). Auch Müllverbrennungsanlagen tragen zur Freisetzung von Schadstoffen bei (vgl. Arnold et al. 2022: 10), weshalb der Abfallsektor für rund 18 % der weltweiten anthropogenen Emissionen verantwortlich ist (vgl. mdr 2022). Vor allem Kunststoffe stellen ein ernstes Problem dar, da sie sich nicht vollständig zersetzen. Stattdessen zerfallen sie in immer kleinere Partikel, die als Mikroplastik bezeichnet werden (vgl. Multhaupt 2021). Schätzungen zufolge gelangen jährlich zwischen 9 und 14 Millionen Tonnen Plastikabfall in die Ozeane, wo sie sich in sogenannten Müllstrudeln ansammeln (vgl. BMZ 2023b). Auf diese Weise ist unter anderem ein schwimmender Müllteppich im Nordpazifik entstanden, dessen Fläche mittlerweile der Größe Zentraleuropas entspricht (vgl. Reller et al. 2013: 36).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Industrialisierung umfassende und weitreichende Folgen nach sich zieht, welche die Stabilität der Ökosysteme der Erde und damit einhergehend die Grundlage des menschlichen Lebens bedrohen. Besonders stark betroffen sind die Länder des globalen Südens, in denen vergleichsweise niedrigere ökologische und soziale Standards die negativen Auswirkungen zusätzlich verstärken (Giljum et al. 2009: 10). Im Jahr 1972 veröffentlichte der Club of Rome den Bericht „Die Grenzen des Wachstums“, der eindringlich aufzeigt, dass eine unbegrenzte, ausschließlich wachstumsorientierte Wirtschaftsweise zwangsläufig mit den ökologischen Kapazitäten der Erde kollidiert (vgl. Umweltbundesamt 2022). Der Bericht legte den Grundstein für das Konzept der nachhaltigen Entwicklung, welches ökologische, soziale und ökonomische Dimensionen als interdependente Aspekte begreift (vgl. Hauff 2019: 2). Ein zentrales Element der nachhaltigen Entwicklung ist der verantwortungsvolle Umgang mit natürlichen Ressourcen (vgl. Oehlmann 2017: 7), der im nachstehenden Kapitel eingehend erörtert wird.

3 Ressourcennutzung und Nachhaltigkeit: Die Notwendigkeit eines Wandels

Jede wirtschaftliche Aktivität erfordert den Einsatz von Rohstoffen[5], die als grundlegende Basis sämtlicher Produktionsprozesse den Ausgangspunkt der Wertschöpfung darstellen. Im zweiten Kapitel wurde bereits aufgezeigt, dass mit der Industrialisierung ein lineares Wirtschaftssystem etabliert wurde, das eine kontinuierliche Zunahme des Ressourcenverbrauchs sowie des Abfallaufkommens zur Folge hatte und gravierende ökologische Konsequenzen nach sich zog. Infolgedessen rückt im dritten Kapitel der Ansatz eines nachhaltigen Ressourcenmanagements in den Mittelpunkt der Betrachtung. Zunächst wird eine eingehende Analyse der aktuellen Trends hinsichtlich der wachsenden Nachfrage nach Rohstoffen und Ressourcen vorgenommen (3.1). Darauf aufbauend folgt eine vertiefte Erörterung des nachhaltigen Ressourcenmanagements sowie der Strategien und Ansätze, die zu dessen Umsetzung entwickelt wurden (3.2). Abgerundet wird dieses Kapitel durch die Vorstellung der Circular Economy, die als zukunftsweisendes Gegenmodell zur traditionellen Linearwirtschaft fungiert (3.3).

3.1 Die wachsende Nachfrage nach Rohstoffen und Ressourcen

Der *Earth Overshoot Day* (Erdüberlastungstag) kennzeichnet den Zeitpunkt, an dem der menschliche Ressourcenverbrauch die regenerative Kapazität der Erde für das laufende Kalenderjahr überschreitet.[6] Dieses Phänomen trat erstmals in den frühen 1970er Jahren auf und fällt seither zunehmend auf einen früheren Zeitpunkt im Jahr (vgl. Petrischak 2021: 31). Während der Earth Overshoot Day im Jahr 1971 noch auf den 25. Dezember datiert wurde, verschob sich dieser zwanzig Jahre später bereits auf den 20. Oktober. Schließlich wurde er im Jahr 2024 schon am 1. August erreicht. Insofern ist der Erd-

5 *Rohstoffe* bezeichnen natürliche, noch unverarbeitete Substanzen, die für industrielle Produktionsprozesse entnommen werden. Dazu zählen unter anderem Erze, Mineralien, fossile Energieträger, Biomasse, Boden sowie Luft und Wasser (vgl. Bleischwitz, Bringezu & Fischer 2016: XIV). Dabei wird zwischen *nachwachsenden Rohstoffen*, die sich innerhalb menschlicher Zeiträume regenerieren und *nicht erneuerbaren Rohstoffen* unterschieden (vgl. Reller et al. 2013: 46).

6 Der *Earth Overshoot Day* wird seit 1961 vom Global Footprint Network berechnet und erfolgt nach der Formel: Earth Overshoot Day = Biokapazität der Erde ÷ Ökologischer Fußabdruck der Menschheit x Tage des Jahres (vgl. Earth Overshoot Day 2024a). Die Berechnung basiert auf Datensätzen der Vereinten Nationen und anderen Quellen. Da diese oftmals mit einer Zeitverzögerung von drei bis vier Jahren verbunden sind, wird das Konzept des „*Nowcastings*“ verwendet, um aktuelle Schätzungen zu erstellen. Daher sollten die Ergebnisse stets mit Vorsicht behandelt werden (vgl. Lin & Wackernagel 2024: 1 f.).

überlastungstag innerhalb der letzten fünf Jahrzehnte um etwa vier Monate nach vorn gerückt (vgl. Earth Overshoot Day 2024a). Neben dem globalen Earth Overshoot Day werden weiterhin länderspezifische Erdüberlastungstage berechnet, die erhebliche Unterschiede zwischen den einzelnen Ländern aufzeigen. Danach fällt der Erdüberlastungstag in Ecuador sowie Indonesien erst auf den 24. November, während er in Katar bereits am 11. Februar und in Deutschland am 2. Mai 2024 erreicht wurde (vgl. Earth Overshoot Day 2024b). Würde die gesamte Weltbevölkerung auf dem deutschen Ressourcenniveau leben, wären langfristig drei Erden erforderlich. Bei einem US-amerikanischen Konsumverhalten wären sogar fünf Erden notwendig (vgl. Earth Overshoot Day 2024c).

Vor diesem Hintergrund wird ersichtlich, dass der kontinuierlich steigende Ressourcenverbrauch hauptsächlich auf die industrialisierten Gesellschaften zurückzuführen ist (vgl. Hauff 2024: 17). Angesichts der wachsenden Relevanz von Zukunftstechnologien, insbesondere im Rahmen der Energiewende, Digitalisierung und Elektromobilität, ist auch zukünftig eine fortdauernde Zunahme des Ressourcenbedarfs zu erwarten (vgl. Kosmos 2023: 563). Nach Einschätzungen der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) ist beispielsweise für den Ausbau der Elektromobilität eine Steigerung der Lithiumförderung um den Faktor vier bis sieben erforderlich (ebd.: 14). Zudem benötigt die Herstellung eines Elektroautos dreimal so viel Kupfer wie die eines Fahrzeugs mit Verbrennungsmotor (vgl. Jensen 2023: 35). Neben der quantitativen Zunahme des Ressourcenverbrauchs zeichnen sich Zukunftstechnologien auch anlässlich der Vielfalt der nachgefragten Rohstoffe aus. So bestehen moderne elektronische Geräte häufig aus über siebzig verschiedenen Metallen, einschließlich seltener Metalle wie Indium, Gallium, Europium, Neodym oder Scandium (vgl. Reller et al. 2013: 31).

Auch Kobalt spielt eine zentrale Rolle in modernen Schlüsseltechnologien. Neben seiner Verwendung in der medizinischen Diagnostik und Strahlentherapie, ist das Schwermetall für die Produktion von Lithium-Ionen-Akkumulatoren unentbehrlich. Kobalt ist jedoch ein seltener Rohstoff und circa zwei Drittel der weltweiten Lagerstätten befinden

sich in der Demokratischen Republik Kongo. In den kongolesischen Minen sind die Arbeitsbedingungen allerdings höchst bedenklich. Sogenannte *creuseurs* (Schürfer:innen) arbeiten oft unter lebensgefährlichen Bedingungen, meist mit dürftigen Hilfsmitteln und ohne jegliche Schutzvorkehrungen. Hinzu kommt der Einsatz von Kinderarbeit, die insbesondere im kleingewerblichen Bergbau weit verbreitet ist (vgl. Bredenfeld 2023: 51).

Schließlich stößt der fortschreitende Ressourcenverbrauch zunehmend an Grenzen der Verfügbarkeit und führt mithin zu einer Zunahme globaler Verteilungskonflikte (vgl. D'Aprile, Farah & Lerch 2023: 3). Ein Beispiel hierfür sind die sogenannten Seltenen Erden, bei denen China mit einem Marktanteil von über 60 Prozent als weltweit führender Produzent agiert (vgl. Jensen 2023: 36). Die chinesische Regierung verhängt regelmäßig Exportbeschränkungen auf Metalle, die in der Halbleiterproduktion unverzichtbar sind, um die Chipproduktion in anderen Ländern einzuschränken (vgl. D'Aprile, Farah & Lerch 2023: 3). Darüber hinaus zeichnen sich auch bei anderen Rohstoffen bereits Versorgungsengpässe und steigende Preise ab, was vor allem für importabhängige Wirtschaftsstandorte wie Deutschland eine erhebliche Herausforderung darstellt (vgl. Kosmos 2023: 563).

Insgesamt zeigt sich, dass die stetig wachsende Nachfrage nach Rohstoffen und Ressourcen zunehmend in einer multiplen Krise mündet. Neben den ökologischen Folgen treten auch soziale und wirtschaftspolitische Herausforderungen verstärkt in den Vordergrund. Angesichts dieser Entwicklungen steht die internationale Gemeinschaft vor der dringenden Aufgabe, tragfähige Strategien zu entwickeln, die einen verantwortungsvollen Umgang mit Ressourcen ermöglichen. Insbesondere wird hierbei die Notwendigkeit eines nachhaltigen Ressourcenmanagements deutlich, das sowohl ökologische Belastungsgrenzen achtet als auch soziale Gerechtigkeit und ökonomische Stabilität gewährleistet.

3.2 Nachhaltiges Ressourcenmanagement

Im Rahmen der Konferenz der Vereinten Nationen über Umwelt und Entwicklung (*United Nations Conference on Environment and Development* – UNCED, 1992) in Rio de Janeiro wurde das Konzept der nachhaltigen[7] Entwicklung von 178 Nationen als zukunftsweisendes Leitbild verabschiedet. Um dieses auf lokaler, nationaler und globaler Ebene umzusetzen, diente die Agenda 21 als erster Handlungsrahmen mit konkreten Maßnahmen und Zielen[8] (vgl. Hauff 2019: 13). Ein zentraler Bezugspunkt in der Diskussion über nachhaltige Entwicklung ist die Definition des Brundtland-Berichts (*Our Common Future*, 1987). Darin wird nachhaltige Entwicklung als „eine Entwicklung, die die Bedürfnisse der gegenwärtigen Generation befriedigt, ohne zu riskieren, dass künftige Generationen ihre eigenen Bedürfnisse nicht befriedigen können“ beschrieben. Dementsprechend folgt das Leitbild der nachhaltigen Entwicklung einem dreidimensionalen Ansatz, der die ökonomische, ökologische und soziale Dimension gleichermaßen integriert. Die sogenannten drei Säulen der Nachhaltigkeit (Ökologie, Ökonomie und Soziales) sind als gleichwertig zu betrachten (ebd.: 2). Darüber hinaus strebt die nachhaltige Entwicklung eine inter- sowie intragenerationelle Gerechtigkeit an, die als übergreifende Anforderung in allen Dimensionen berücksichtigt werden sollte (ebd.: 78).

Nachhaltiges Ressourcenmanagement ist ein essenzieller Bestandteil der nachhaltigen Entwicklung und umfasst weit mehr als die traditionelle Rohstoffpolitik, die ihren Fokus ausschließlich auf die Sicherstellung des Angebots und den Zugang zu Rohstoffen legt. Es geht vielmehr um die Entwicklung und Implementierung von Strategien, die eine zukunftsfähige Nutzung natürlicher Ressourcen gewährleisten. Zugleich ist ein ver-

7 Ursprünglich lässt sich der deutsche Begriff „Nachhaltigkeit“ auf die Forstwirtschaft im 18. Jahrhundert zurückführen. Der sächsische Bergrat Johann Carl von Carlowitz (1645 – 1714) formulierte in seinem Werk *Sylvicultra oeconomica – Anweisungen zur wilden Baumzucht* (1713) das Prinzip, nur so viel Holz zu schlagen, wie durch Aufforstung wieder nachwachsen kann (vgl. Häusler & Hirschhausen 2023: 45 f.).

8 Die Agenda 21 wurde durch die Agenda 2030 konkretisiert, die am 25. September 2015 auf dem *United Nations Summit* in New York von den 193 Mitgliedsstaaten der Vereinten Nationen verabschiedet wurde (vgl. Hauff 2019: 4). Die Agenda 2030 stellt einen verbindlichen Handlungsrahmen dar und umfasst 17 Nachhaltigkeitsziele (*Sustainable Development Goals* – SDGs), die bis 2030 umgesetzt werden sollen (ebd.: 51).

antwortungsvoller Umgang mit Abfallstoffen und Abwässern erforderlich. Das übergeordnete Ziel besteht darin, die materielle Grundlage von Gesellschaft und Wirtschaft langfristig zu sichern, ohne dabei die ökologischen Belastungsgrenzen der Erde zu überschreiten. Zu diesem Zweck ist es entscheidend, die Umweltbelastungen über die gesamte Wertschöpfungskette von Rohstoffen und Produkten hinweg zu verringern. Darüber hinaus sind die Vermeidung von Ressourcenkonflikten sowie die Verhinderung der Problemverlagerung auf andere Regionen oder künftige Generationen weitere wichtige Anliegen eines nachhaltigen Ressourcenmanagements. Insgesamt ist ein globaler und ganzheitlicher Ansatz erforderlich, der internationale Zusammenarbeit und verantwortungsbewusstes Handeln voraussetzt (vgl. Bleischwitz, Bringezu & Fischer 2016: XIII & 138).

Ein nachhaltiges Ressourcenmanagement basiert auf den drei wesentlichen Strategien: Effizienz, Konsistenz und Suffizienz (ebd.: 40). Die Effizienz zielt auf eine Steigerung der Ressourcenproduktivität ab, wohingegen Konsistenzstrategien auf den Einsatz erneuerbarer Ressourcen und umweltverträglicher Technologien setzen, um fossile und andere endliche Rohstoffe zu ersetzen. Die Suffizienz fordert wiederum eine Reduktion des Ressourcenverbrauchs durch Verhaltensänderungen und bewussten Konsum (vgl. Michelsen 2012: 81 f.).

Hinsichtlich der Operationalisierung von konkreten Zielvorgaben sind im Rahmen eines nachhaltigen Ressourcenmanagements diverse Herausforderungen zu bewältigen. Besonders schwierig gestaltet sich die Konsensbildung angesichts der Vielzahl an involvierten Akteur:innen. Diese reichen von staatlichen Institutionen und Industrievertreter:innen bis hin zu Umweltorganisationen. Oftmals werden vonseiten der Akteur:innen unterschiedliche Prioritäten gesetzt. Während für die einen der Umweltaspekt im Vordergrund steht, legen die anderen ihren Schwerpunkt auf die Versorgungssicherheit oder ökonomische Effizienz (vgl. Bleischwitz, Bringezu & Fischer 2016: 47). Eine weitere Herausforderung besteht darin, Zielsetzungen für die gesamtwirtschaftliche Ressourcennutzung zu definieren, da diese aufgrund der Dynamik und Komplexität we-

der aus Knappheiten auf der Angebotsseite noch aus den ökologischen Belastungsgrenzen zuverlässig abgeleitet werden können (ebd.: 40).

Trotz der unterschiedlichen Schwierigkeiten ist es unerlässlich, gemeinsame Visionen und konkrete Ziele für ein nachhaltiges Ressourcenmanagement zu formulieren. Diesbezüglich identifizieren Bringezu und Bleischwitz (2009) sieben zentrale Prinzipien, die als Leitlinien für ein nachhaltiges Ressourcenmanagement fungieren können. Zum einen (1) wird eine zuverlässige und effiziente Nutzung von Material-, Energie- und Landressourcen angestrebt, um eine stabile Grundlage für Wohlstand und Lebensqualität zu schaffen, die auch zukünftigen Generationen gerecht wird. Zum anderen (2) ist die Erhaltung der lebensunterstützenden Funktionen natürlicher Ökosysteme, wie die Versorgung mit sauberem Wasser und fruchtbaren Böden, von großer Bedeutung. Darüber hinaus (3) sollten gesellschaftliche Institutionen so gestaltet sein, dass sie im Einklang mit der Natur stehen. Gleichzeitig (4) ist es notwendig, die sozialen und wirtschaftlichen Risiken, die aufgrund von Ressourcenabhängigkeiten entstehen, zu minimieren. Nicht zuletzt (5) bedarf es der Garantie eines gerechten globalen Zugangs zu Ressourcen und (6) Probleme dürfen nicht auf andere Regionen, Generationen oder Sektoren verlagert werden. Schließlich (7) ist die Steigerung der Ressourcenproduktivität unerlässlich, wobei diese das Wachstum des Bruttoinlandsprodukts übertreffen sollte (ebd.: 143).

In Anbetracht der umfassenden Anforderungen an ein nachhaltiges Ressourcenmanagement haben sich im Laufe der Zeit verschiedene Ansätze und Strategien herausgebildet. Im Folgenden werden die Konzepte des Umweltraums und der planetaren Grenzen sowie der sozio-industrielle Metabolismus behandelt, bevor abschließend die Circular Economy in ihren Grundzügen vorgestellt wird.

3.2.1 Das Konzept des Umweltraums und der planetaren Grenzen

Das Konzept des Umweltraums wurde in den 1990er Jahren von dem niederländischen Umweltökonomen Hans Opschoor im Rahmen der Studie *Sustainable Netherlands* entwickelt und nachfolgend vom Wuppertal Institut überarbeitet. Es fand schließlich Ein-

gang in der Publikation *Zukunftsfähiges Deutschland* (1996) (vgl. BUND & Misereor 1996: 20; Bleischwitz, Bringezu & Fischer 2016: 42). Der Ansatz gründet auf der Erkenntnis, *„that at any given point in time, there are limits to the amount of environmental pressure that the Earth's ecosystem can handle without irreversible damage to these systems or to the life support processes that they enable"* (Opschoor & Weterings 1994; zitiert nach Hille 1997: 7). Das Konzept definiert den Umweltraum als einen metaphorischen Bereich, der mittels menschlicher Aktivitäten genutzt werden kann, ohne die ökologischen Belastungsgrenzen (*Carrying Capacity*) der Erde zu überschreiten (vgl. BUND & Misereor 1996: 20). Hierfür werden die Grenzen des Umweltraums durch die Tragfähigkeiten der Ökosysteme sowie anhand der Verfügbarkeit und Regenerationsfähigkeit natürlicher Ressourcen bestimmt. Diese Grenzen beruhen auf wissenschaftlich festgelegten, kritischen Schwellenwerten (*critical levels*), deren Überschreitung zu (ir)reversiblen Beeinträchtigungen der Umweltsysteme führen kann (vgl. Weterings 1997: 53 f.). Der Umweltraum ist allerdings dynamisch und nicht statisch. Er kann sowohl wachsen als auch schrumpfen. Eine Erweiterung oder Restaurierung des Umweltraums ist beispielsweise anhand von Maßnahmen wie etwa der Wiederherstellung von Ökosystemen, der Entsiegelung von Flächen, der Rekultivierung von Landschaften und der Bekämpfung der Wüstenbildung möglich (vgl. BUND & Misereor 1996: 27). Zusätzlich basiert das Umweltraumkonzept auf den Prinzipien der intra- und intergenerationellen Gerechtigkeit. Demnach steht jedem Individuum ein gleichwertiges Anrecht auf die Nutzung der Natur innerhalb ihrer ökologischen Tragfähigkeitsgrenzen zu (*Equity*) (ebd.: 28). Daraus folgt, dass Nationalstaaten nur so viel Umweltraum beanspruchen dürfen, wie es ihrer Bevölkerungsgröße im Verhältnis zur globalen Gesamtbevölkerung entspricht (vgl. Bleischwitz, Bringezu & Fischer 2016: 42 f.). Vor diesem Hintergrund sind insbesondere die Länder des globalen Nordens aufgefordert, ihren übermäßigen Anteil am globalen Umweltraum zu verringern, um den Staaten des globalen Südens notwendige Entwicklungsspielräume zu ermöglichen (vgl. BUND & Misereor 1996: 34).

Das Konzept der planetaren Grenzen (*Planetary Boundaries*) weist wesentliche Ähnlichkeiten mit dem Konzept des Umweltraums auf. Es wurde von einem interdisziplinären Team von 28 Wissenschaftler:innen unter der Leitung des schwedischen Resilienzforschers Johan Rockström am Stockholm Resilience Centre entwickelt und erstmals 2009 in der Publikation *Planetary Boundaries: A Safe Operating Space for Humanity* vorgestellt. Seit seiner Einführung wurde das Konzept in den Jahren 2015 und 2023 überarbeitet und aktualisiert (vgl. Bleischwitz, Bringezu & Fischer 2016: 44; Deutschlandfunk 2023). Der Ansatz definiert neun biophysikalische Systeme und Prozesse, die sowohl für die Stabilität und Lebensfähigkeit der Erde als auch für die menschliche Entwicklung entscheidend sind: (1) Klimawandel, (2) Veränderung der Integrität der Biosphäre, (3) Störung der biogeochemischen Kreisläufe, (4) Veränderung der Landnutzung, (5) Veränderung der Süßwassersysteme, (6) Versauerung der Ozeane, (7) Aerosolbelastung der Atmosphäre, (8) Abbau der Ozonschicht in der Stratosphäre und (9) die Überladung mit neuartigen Stoffen. Die einzelnen Prozesse und Systeme setzen sich aus einer oder mehreren Kontrollvariablen zusammen. Somit werden beispielsweise die jährlichen Durchschnittswerte der atmosphärischen CO_2-Konzentration als Kontrollvariable für den Klimawandel herangezogen, während die Veränderung der Landnutzung über den weltweit verbleibenden Anteil der ursprünglichen Waldfläche bewertet wird. Die Kontrollvariablen müssen innerhalb festgelegter Grenzwerte verbleiben, um die Erde in einem stabilen, holozänähnlichen Zustand[9] zu bewahren (vgl. PIK). Dabei könnte ein Überschreiten der Grenzen zu irreversiblen globalen Umweltveränderungen führen und die grundlegenden Lebensbedingungen der Menschheit ernsthaft bedrohen (vgl. Umweltbundesamt 2022: 62). Obwohl die Systeme und Prozesse durch spezifische Größen definiert werden, stehen sie in einer wechselseitigen Beziehung zueinander. Folglich kann das Übertreten einer Sicherheitsgrenze auch andere Erdsystemprozesse erheblich gefährden. So könnten sich beispielsweise drastische Landnutzungs-

9 Das Holozän, die nacheiszeitliche Warmzeit des Quartärs, begann vor etwa 12.000 Jahren und erstreckt sich bis in die Gegenwart. Es ist die einzige Epoche, die nachweislich die Entwicklung der modernen Zivilisation ermöglicht hat. Daher dient das Holozän als Grundlage und Referenz für die Festlegung der Planetaren Grenzen (vgl. PIK; Spektrum).

veränderungen im Amazonasgebiet negativ auf die Wasserressourcen in Tibet auswirken (vgl. Rockström et al. 2009: 474).

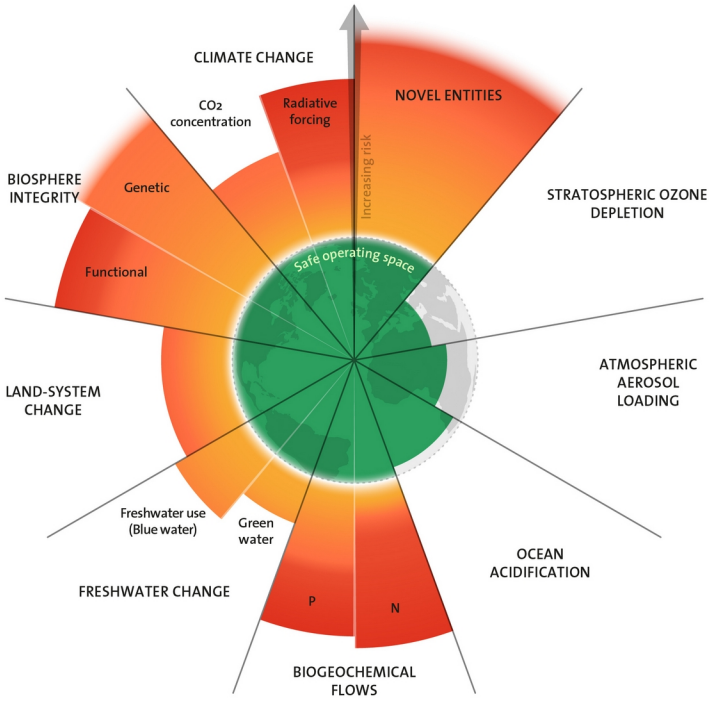

Abbildung 2: Der Zustand der planetaren Grenzen[10]

Die Abbildung verdeutlicht, dass bereits in sechs von neun Kategorien der sichere Handlungsraum (grün) überschritten wurde.

3.2.2 Der sozio-industrielle Metabolismus

Auch der sozio-industrielle Metabolismus stellt einen umfassenden Ansatz zur Operationalisierung eines nachhaltigen Ressourcenmanagements dar (vgl. Bleischwitz, Bringezu & Fischer 2016: 48). In Anlehnung an den natürlichen Stoffwechselprozess zwischen biologischen Organismen und ihrer Umwelt (Metabolismus) wurde der Begriff „industrieller Metabolismus“ von dem Physiker Robert Ayres eingeführt, um die Material- und Energieflüsse zwischen der Technosphäre und Natur zu beschreiben (vgl. Pichler & Thalhammer 2022: 448). Dabei umfasst der industrielle Metabolismus alle physikalisch-chemischen Prozesse, durch die Rohstoffe zunächst aus der Umwelt ent-

10 Quelle: Stockholm Resilience Centre, basierend auf der Analyse in Richardson et al. (2023).

nommen, in industriellen Systemen zu Produkten und Dienstleistungen verarbeitet und schließlich in Form von Emissionen und Abfällen wieder in das natürliche System entlassen werden (vgl. Simonis 1993: 5). Der sozio-industrielle Metabolismus erweitert dieses Konzept, indem er zusätzlich die Anthroposphäre berücksichtigt. Er umfasst die Gesamtheit der Produktions- und Konsumprozesse und bezieht sämtliche technologischen, sozialen und ökonomischen Faktoren mit ein (vgl. Bleischwitz, Bringezu & Fischer 2016: 48). Das Konzept kann auf verschiedenen Ebenen zum Tragen kommen. So lässt es sich beispielsweise auf einzelne Produkte bis hin zu ganzen Regionen oder Volkswirtschaften anwenden. Es trägt dazu bei, die Wechselwirkungen zwischen menschlichen Aktivitäten und der Umwelt besser nachzuvollziehen und ermöglicht somit die Etablierung gezielter Maßnahmen zur Ressourcenschonung. Darüber hinaus können die erfassten Material- und Energieflüsse mit festgelegten Zielwerten verglichen werden, um fundierte Entscheidungen für ein nachhaltiges Ressourcenmanagement zu treffen (ebd.: 49). Allerdings werden in einer zunehmend globalisierten Welt die Prozessketten immer komplexer. So werden beispielsweise im Rahmen des internationalen Handels Ressourcen, Produkte und Dienstleistungen grenzüberschreitend bewegt. Auch Wertschöpfungsketten sind oftmals auf verschiedene Länder und Systeme verteilt. Aus diesem Grund ist die Berücksichtigung der globalen Dimension von großer Bedeutung (vgl. Bleischwitz, Bringezu & Fischer 2016: 49; Bringezu & Bleischwitz 2017: 1).

3.3 Die Circular Economy

Wie bereits im zweiten Kapitel dieser Arbeit festgestellt wurde, ist im Zuge der Industrialisierung ein lineares Wirtschaftssystem entstanden, in dem Rohstoffe abgebaut, zu Produkten verarbeitet und nach Gebrauch als Abfall entsorgt werden. Diesbezüglich stellt die Circular Economy ein zukunftsweisendes Gegenmodell dar, das im Wesentlichen darauf abzielt, Rohstoffe in einem fortwährenden Produktions- und Konsumkreislauf zu halten (vgl. Bleischwitz, Bringezu & Fischer 2016: 99). Auf diese Weise soll die produktive Lebensdauer der Ressourcen verlängert und zugleich die wirtschaftliche Entwicklung vom Ressourcenverbrauch entkoppelt werden (vgl. Gözet & Wilts 2022: 174).

Der historische Ursprung der Circular Economy liegt in der traditionellen agrarischen Subsistenzwirtschaft. Die Rückführung organischer Abfälle auf die Felder trug zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit bei und förderte damit eine nachhaltige Nutzung der landwirtschaftlichen Flächen (vgl. Gäth & Meißner 2013: 107). Trotz der zunehmenden Relevanz der Circular Economy für ein nachhaltiges Ressourcenmanagement existiert bislang keine einheitliche Konkretisierung des Begriffs (vgl. Hauff 2024: 23). Vielmehr werden zahlreiche verwandte Definitionen und Konzepte unter dem Terminus der Circular Economy subsumiert[11], weshalb sie als „*conceptual umbrella term*“ bezeichnet werden kann (vgl. Blomsma & Brennan 2017: 604). Eine der bekanntesten Definitionen der Circular Economy wurde 2012 von der Ellen MacArthur Foundation (2012) veröffentlicht und vom Weltwirtschaftsforum *(World Economic Forum* – WEF*)* übernommen (vgl. Drabe 2022: 15). Sie definieren die Circular Economy als ein „*industrial system that is restorative or regenerative by intention and design. It replaces the 'end-of-life' concept with restoration, shifts towards the use of renewable energy, eliminates the use of toxic chemicals, which impair reuse, and aims for the elimination of waste through the superior design of materials, products, systems, and, within this, business models*.“ (Ellen MacArthur Foundation 2012: 7).

Im deutschsprachigen Diskurs wird die Circular Economy zunehmend (fälschlicherweise) mit der Kreislaufwirtschaft gleichgesetzt (vgl. Hauff 2024: 18). Die Kreislaufwirtschaft ist in Deutschland maßgeblich im Kreislaufwirtschaftsgesetz verankert, das im Juni 2012 eingeführt und im Jahr 2020 novelliert wurde. Das Gesetz verfolgt das primäre Ziel einer optimierten Abfallbewirtschaftung, um die natürlichen Ressourcen zu schonen und gleichzeitig den Schutz von Mensch und Umwelt zu gewährleisten. Dabei sind die Abfallvermeidung sowie das Recycling von besonderer Signifikanz (vgl. BMUV, 2024). Die Circular Economy ist hingegen weitreichender angelegt. Neben dem Recycling umfasst sie auch alternative Zirkularitätsstrategien wie Wartung, Reparatur, Wiederverwendung und Wiederaufbereitung (vgl. Hauff 2024: 27). Das Ziel besteht darin,

11 Eine grafische Übersicht von verschiedenen Definitionen und Konzepten der Circular Economy bietet Blomsma & Brennan (2017): 605.

ein regeneratives System zu etablieren, das innerhalb der planetaren Grenzen operiert. Dabei sollen die Ressourcennutzung und das Abfallaufkommen durch die Verlangsamung, Reduzierung sowie Schließung von Energie- und Materialkreisläufen verringert werden. Ferner liegt ein besonderes Augenmerk bereits auf der Produktgestaltung, damit ein optimales Recycling gewährleistet werden kann (ebd.: 18 f.).

Wie zuvor erwähnt, umfasst die Circular Economy eine Vielzahl von Denkschulen und Konzepten, darunter die *Performance Economy* (Walter Stahel), *Biomimicry* (Janine Benyus), *Blue Economy* (Gunter Pauli), *Industrial Economy* (Reid Lifset & Thomas Graedel) und *Cradle to Cradle* (Michael Braungart & William McDonough) (vgl. Ellen MacArthur Foundation 2015: 5). Im weiteren Verlauf dieser Arbeit liegt der Fokus auf dem Cradle to Cradle-Konzept. Dieses wird zunächst umfassend dargestellt, bevor anschließend die damit einhergehenden Chancen und Herausforderungen im Kontext einer nachhaltigen Entwicklung beleuchtet werden.

4 Cradle to Cradle als Konzept nachhaltiger Entwicklung

Aufbauend auf den theoretischen Grundlagen des nachhaltigen Ressourcenmanagements aus dem vorherigen Kapitel, wird im weiteren Verlauf dieser Arbeit auf das Cradle to Cradle-Konzept Bezug genommen. Es handelt sich hierbei um ein Designprinzip, das sich an den Gesetzmäßigkeiten der Natur orientiert und darauf abzielt, Stoffströme in geschlossenen Kreisläufen zu halten. Da das Modell auf den Prinzipien der Ökoeffektivität basiert, erfolgt eingangs eine differenzierte Betrachtung der Begriffe Ökoeffizienz und Ökoeffektivität (4.1). Daraufhin werden die Entstehung (4.2) sowie die zentralen Elemente (4.3) des Konzepts erläutert. Abschließend wird das Kapitel durch die Darstellung der Produktkreisläufe (4.4) sowie der Produktzertifizierung (4.5) ergänzt, um ebenfalls die praktischen Aspekte des Cradle to Cradle-Ansatzes aufzuzeigen.

4.1 Vom Prinzip der Ökoeffizienz zur Ökoeffektivität

Ökoeffizienz und Ökoeffektivität sind zwei bedeutende Ansätze zur Förderung einer nachhaltigen Entwicklung. Sie stellen Unternehmen strategische Werkzeuge zur Verfügung, um ihre industriellen Prozesse umweltfreundlicher zu gestalten und zugleich wirtschaftlichen Erfolg zu gewährleisten. Nachfolgend werden die beiden Ansätze exemplarisch erörtert sowie ihre unterschiedlichen Herangehensweisen und Perspektiven beleuchtet.

4.1.1 Die Ökoeffizienz

Anfang der 1990er Jahre entwickelte der Schweizer Unternehmer Stephan Schmidheiny zusammen mit dem von ihm gegründeten Wirtschaftsrat für nachhaltige Entwicklung (*Business Council for Sustainable Development* - BCSD)[12] das Prinzip der Ökoeffizienz. In Vorbereitung auf die Konferenz der Vereinten Nationen über Umwelt und Entwicklung (UNCED) in Rio de Janeiro, wurde dieses 1992 in Schmidheinys Buch *Kurswechsel - Globale unternehmerische Perspektiven für Entwicklung und Umwelt* erstmals

12 Im Jahr 1995 fusionierte der *Business Council for Sustainable Development (*BCSD) mit dem *World Industry Council for the Environment* und gründete das *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD) (vgl. WBCSD).

vorgestellt[13] (vgl. Wuppertal Institut 2001). Danach beschreibt die Ökoeffizienz eine Kennzahl, die das Verhältnis zwischen dem ökonomischen Nutzen eines Produkts und seinen ökologischen Folgen über den gesamten Lebenszyklus („von der Wiege bis zur Bahre“) quantifiziert. Die Umweltauswirkungen lassen sich dabei anhand geeigneter Messgrößen, wie dem Kohlenstoff- oder Wasser-Fußabdruck, erfassen (vgl. Becker 2018: 31).

Unter dem Leitsatz „mit weniger mehr zu erreichen“ setzt die Ökoeffizienz auf die Optimierung industrieller Prozesse, sodass eine gesteigerte wirtschaftliche Leistung mit einem geringeren Verbrauch an Naturkapital verbunden ist (vgl. Braungart 2007: 219 f.). Langfristig strebt der Ansatz die Erreichung von Netto-Null-Emissionen an (vgl. Braungart, McDonough & Bollinger 2007: 1337). Um das Ziel der Ökoeffizienz zu erlangen, beruhen Lösungsansätze insbesondere auf den vier Prinzipien: Verminderung, Wiederverwendung, Verwertung und Regulierung (vgl. Braungart & McDonough 2020: 78). Unternehmen setzen daher verstärkt auf Technologien, die den Energieverbrauch sowie die Menge, Geschwindigkeit und Toxizität von Materialströmen signifikant verringern (vgl. Braungart, McDonough & Bollinger 2007: 1337). Ein weiterer zentraler Aspekt ist der Einsatz von Umweltmanagementsystemen, wie etwa der Ökobilanz (*Life Cycle Assessment* – LCA), die darauf abzielen, die Umweltbelastung eines Produkts über dessen gesamten Lebenszyklus hinweg zu minimieren (vgl. Pastoors 2018: 7).

Insgesamt bietet der Ansatz der Ökoeffizienz nicht nur wirtschaftliche Vorteile, sondern trägt auch maßgeblich zur Verringerung der Umweltbelastung bei (vgl. Abendroth et al. 2008: 18). Es gibt jedoch auch kritische Stimmen, die die Ökoeffizienz als eine „Sackgassenlösung“ bezeichnen (vgl. Braungart 2007: 220). Die Kritik basiert auf der Begründung, dass ökoeffiziente Strategien innerhalb des linearen Wirtschaftssystems

13 Die Ökoeffizienz beschreibt „Unternehmen, die auf dem Weg zum langfristig tragbaren Wachstum Fortschritte machen, indem sie ihre Arbeitsmethoden verbessern, problematische Materialien substituieren, saubere Technologien und Produkte einführen und sich um die effizientere Verwendung und Wiederverwendung von Ressourcen bemühen“ (Schmidheiny 1992: 15).

operieren und demgemäß den Prozess der Rohstoffverknappung und Umweltzerstörung lediglich verlangsamen, aber nicht gänzlich aufhalten können (vgl. Pastoors & Scholz 2018: 26). Ein Beispiel für die Grenzen der Ökoeffizienz zeigt sich beim Recycling. Da viele Produkte nicht für eine Rückführung in ihre Einzelteile optimiert sind, führt dies häufig zu einer Abwertung der Rohstoffe (*Downcycling*). Mit jeder Wiederverwertung verlieren die Materialien an Qualität und können schließlich nur noch für minderwertige Anwendungen verwendet werden. So kommen viele Kunststoffe nach ihrem ersten Gebrauch lediglich in sogenannten „Low-Tech"-Produkten zum Einsatz, da ihre Qualität nicht mehr den ursprünglichen Standards entspricht (vgl. Abendroth et al. 2008: 18 f.; Reller et al. 2013: 111).

4.1.2 Die Ökoeffektivität

Das Konzept der Ökoeffektivität wurde von dem deutschen Chemiker Michael Braungart sowie dem US-amerikanischen Architekten William McDonough entwickelt und erstmals in ihrem Werk *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things* (2002) als positive Alternative zur Ökoeffizienz vorgestellt (vgl. Abendroth et al. 2008: 13). Im Gegensatz zu herkömmlichen Modellen, die sich auf die Reduktion negativer Umweltauswirkungen beschränken, verfolgt die Ökoeffektivität einen ganzheitlichen Ansatz. Das Ziel besteht darin, Produkte, Prozesse und Dienstleistungen zu entwickeln, die nicht nur umweltfreundlich sind, sondern aktiv zur Regeneration und Verbesserung der natürlichen Lebensgrundlagen beitragen (vgl. Braungart 2007: 224).

Eine häufig verwendete Metapher, welche die Idee der Ökoeffektivität verdeutlicht, ist der Kirschbaum. Dieser ist nicht nur effizient, sondern entfaltet in seiner Fülle viele positive Wirkungen: Er produziert zahlreiche Blüten und Früchte, die anderen Lebewesen als Nahrung dienen, verstoffwechselt Kohlendioxid zu Sauerstoff, stabilisiert den Boden, reinigt das Wasser und erfreut Menschen durch seinen Anblick. Auf diese Weise verdeutlicht der Kirschbaum eindrucksvoll, wie Überfluss in natürlichen Systemen das ökologische Gleichgewicht fördern kann (vgl. Musenbrock 2024: 8).

Im industriellen Kontext zielt die Ökoeffektivität darauf ab, die Prinzipen der Natur auf menschliche Produktionsprozesse zu übertragen (vgl. Braungart & McDonough 2008: 35). Hierfür ist die Entwicklung neuer Produkte erforderlich, die in geschlossenen Kreisläufen zirkulieren und als wertvolle Ressourcen dauerhaft erhalten bleiben, ohne Abfall zu erzeugen (vgl. Hauff 2021: 129; Hauff 2024: 44). Die Wiederverwertbarkeit der Materialien wird dabei bereits im Designprozess integriert, wodurch verhindert wird, dass das Recycling zu einem Qualitätsverlust (*Downcycling*) führt. Vielmehr streben ökoeffektive Strategien im Rahmen der Wiederaufbereitung eine stoffliche Aufwertung (*Upcycling*) an (vgl. Braungart & McDonough 2008: 42 f.). Einige beispielhafte Produkte, die den Prinzipien der Ökoeffektivität entsprechen, sind unter anderem Hausfassaden und Teppichböden, die zur Verbesserung der Luftqualität beitragen sowie Autoreifen, deren Abrieb nicht nur unschädlich, sondern obendrein als wertvoller Dünger für Pflanzen nutzbar ist (vgl. Musenbrock 2024: 8).

Die Ökoeffektivität bildet die Grundlage für den Cradle to Cradle-Ansatz, der im nächsten Verlauf eingehend behandelt wird. An dieser Stelle ist es allerdings wichtig zu betonen, dass Ökoeffizienz und Ökoeffektivität nicht als gegensätzliche, sondern vielmehr als sich ergänzende Konzepte betrachtet werden sollten (vgl. Drabe 2022: 24).

4.2 Cradle to Cradle – Entstehung und Konzeptualisierung

Cradle to Cradle (C2C; deutsch: „von der Wiege zur Wiege“) ist ein ganzheitlicher Ansatz zur Produktgestaltung, der von Michael Braungart und William McDonough entwickelt wurde. Inspiriert von den regenerativen Prozessen der Natur, stellt das Designkonzept die Idee des unendlichen Kreislaufs in den Mittelpunkt (vgl. Braungart & McDonough 2008: 36). Dabei überträgt es die Prinzipien natürlicher Stoffkreisläufe auf industrielle Prozesse. Das Ziel besteht darin, die Wiederverwertung eines Produkts bereits in der Entwicklungsphase zu berücksichtigen, sodass sämtliche Bestandteile ohne Qualitätsverlust in geschlossene Kreislaufsysteme zurückgeführt und für neue Produktionsprozesse eingesetzt werden können. Der Ansatz verfolgt dabei nicht nur den

Schutz der Umwelt, sondern auch die Schaffung positiver Effekte für die Gesellschaft und Wirtschaft (vgl. Abendroth et al. 2008: 9).

Im Jahr 1991 verfassten Michael Braungart und William McDonough die *Hannover Principles* für die Weltausstellung EXPO 2000, die unter dem Thema „Mensch, Natur, Technik – eine neue Welt entsteht“ veranstaltet wurde (vgl. Kaiser 2000; Braungart & McDonough 2008: 31). Die *Hannover Principles* umfassen neun Prinzipien für nachhaltiges Design und sollten den Teilnehmer:innen als Leitfaden dienen. Sie betonen unter anderem die Notwendigkeit, im Einklang mit der Natur zu arbeiten, natürliche Energiequellen zu nutzen sowie die Entstehung von Abfall zu vermeiden (vgl. Braungart & McDonough 1992: 5). Zudem bildeten sie die Grundlage für das C2C-Konzept, welches Michael Braungart und William McDonough in ihrem Buch *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things* (2002) vorstellten (vgl. Abendroth et al. 2008: 13). Darüber hinaus gründeten die Autoren im Jahr 1995 die Design- und Entwicklungsfirma McDonough Braungart Design Chemistry (MBDC) in Charlottesville (USA), um Unternehmen bei der Implementierung des C2C-Prinzips zu unterstützen (vgl. Braungart & McDonough 2008: 32).

4.3 Kernelemente von Cradle to Cradle

Das C2C-Konzept zielt darauf ab, effektive Produktionssysteme zu etablieren, die sich an der Intelligenz und Fülle der Natur orientieren (vgl. Abendroth et al. 2008: 22). Das Leitbild einer naturnahen Produktionsweise beruht auf drei grundlegenden Prinzipien: Abfall ist Nahrung, Integration erneuerbarer Energien und Förderung von Vielfalt (vgl. Braungart & McDonough 2008: 36), auf die nachkommend näher eingegangen wird.

4.3.1 Abfall ist Nahrung

Das erste Grundprinzip „Abfall ist Nahrung“ wird durch das Beispiel des ökologischen Nährstoffkreislaufs veranschaulicht. Ein Baum produziert Pflanzenmaterial, das früher oder später abstirbt, und daraufhin von verschiedenen Organismen zersetzt wird. Im Zuge dessen werden die organischen Materialien in den Boden zurückgeführt und

dienen als Nährstoffe für neue Pflanzen. Es entsteht ein natürlicher Kreislauf, in dem Abfall eine wertvolle Ressource darstellt, die das Wachstum neuer Lebensformen unterstützt (vgl. Braungart & McDonough 2020: 100). Auf Grundlage dieses Prinzips, zielt der C2C-Ansatz darauf ab, den ökologischen Nährstoffkreislauf auf die industrielle Produktion zu übertragen. Es sollen geschlossene Materialflusssysteme erzeugt werden, sodass sämtliche in der Produktion eingesetzten Rohstoffe ohne Qualitätsverlust wiederverwendet oder biologisch abgebaut werden können. Diese Rohstoffe stehen nachträglich für weitere Produktionsprozesse zur Verfügung (vgl. Braungart & McDonough 2008: 37). Schließlich geht es nicht mehr um die Vermeidung von Abfall, sondern um die Entwicklung von Kreisläufen, in denen Abfall keine Rolle spielt (vgl. EPEA). Auf diese Weise kann ein dauerhafter Wohlstand anhand unendlich verfügbarer Ressourcen geschaffen werden (vgl. Abendroth et al. 2008: 25).

4.3.2 Integration erneuerbarer Energien

Das zweite Grundprinzip, die „Integration erneuerbarer Energien“, findet seine Analogie in der Photosynthese: Grüne Pflanzen erzeugen energiereiche organische Nährstoffe mithilfe des Sonnenlichts (vgl. Braungart & McDonough 2008: 37). Bislang wurde für industrielle Produktionsprozesse vorrangig auf fossile Brennstoffe und Kernenergie zurückgegriffen. Dies hatte zur Folge, dass erhebliche Mengen an Treibhausgasen in die Atmosphäre freigesetzt wurden, die unter anderem zu einem Anstieg der Erdtemperatur und zur Umweltverschmutzung beigetragen haben (vgl. Castelier 2023: 9). Ferner belastet die Nutzung von Atomenergie die künftigen Generationen mit finanziellen Verpflichtungen und radioaktivem Abfall (vgl. Abendroth et al. 2008: 23). Vor diesem Hintergrund sieht der C2C-Ansatz vor, bei der Produktanfertigung ausschließlich auf erneuerbare Energieformen zurückzugreifen (vgl. Braungart & McDonough 2008: 38).

4.3.3 Förderung von Vielfalt

Das dritte Grundprinzip, die „Förderung von Vielfalt“, resultiert aus der Beobachtung, dass die Komplexität der Natur robuste und anpassungsfähige Ökosysteme hervorbringt (vgl. Braungart & McDonough 2008: 38). Dahingehend ermutigt das C2C-Konzept

dazu, von der biologischen Vielfalt zu lernen und standardisierte Einheitslösungen nach dem Motto „*one size fits all*“ zu vermeiden. Stattdessen sollten Unternehmen in ihren Produktionsprozessen kreative Designlösungen entwickeln, die auf die spezifischen lokalen Bedingungen und Bedürfnisse abgestimmt sind (vgl. Abendroth et al. 2008: 23). Ein Beispiel hierfür ist Waschmittel, das an die örtlichen Wasserqualitäten angepasst ist. Zugleich könnten Waschmaschinen entwickelt werden, die das Reinigungsmittel nach jedem Waschvorgang zurückgewinnen und wiederverwenden (vgl. Braungart & McDonough 2020: 178 f.).

Damit Unternehmen insbesondere das erste Grundprinzip „Abfall ist Nahrung“ erfolgreich umsetzen können, muss sich jedes Produkt entweder in den biologischen oder in den technischen Kreislauf integrieren lassen.

4.4 Die Kreisläufe von Cradle to Cradle

In Anlehnung an die Natur, in der sämtlicher Abfall als Nahrung für etwas Neues dient, strebt das C2C-Konzept die Erzeugung kontinuierlicher und geschlossener Stoffkreisläufe an. In diesem Rahmen wird zwischen biologischen und technischen Kreisläufen unterschieden. Dabei ist es entscheidend, dass Produkte so entworfen werden, dass sie nach ihrer Nutzung entweder als biologische Nährstoffe in den biologischen Kreislauf zurückgeführt oder als sogenannte technische Nährstoffe fortwährend in technischen Kreisläufen gehalten werden (vgl. Braungart & McDonough 2020: 136).

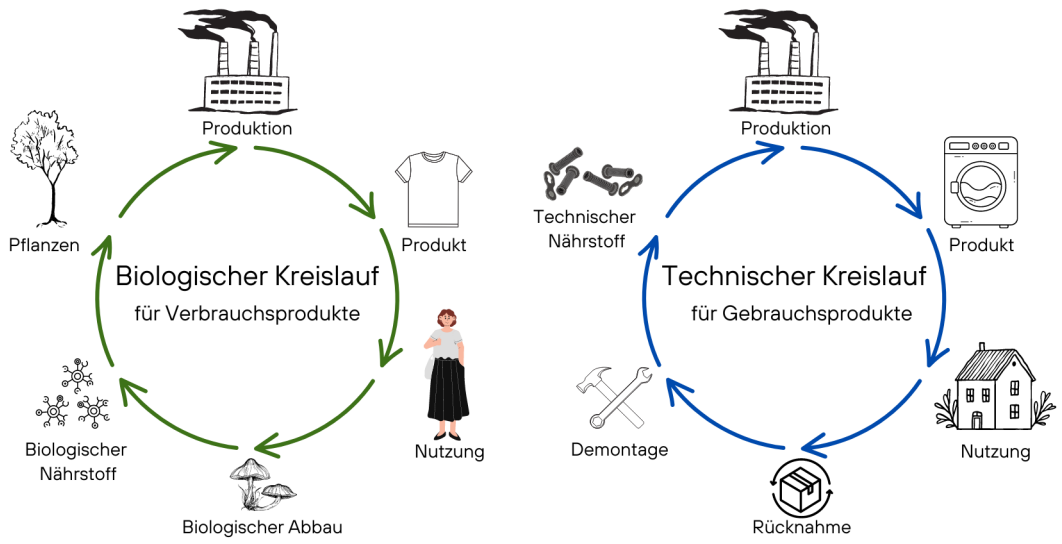

Abbildung 3: Der biologische und der technische Kreislauf des C2C-Konzepts[14]

Der biologische Kreislauf orientiert sich an den natürlichen Stoffwechselprozessen der Umwelt und umfasst Verbrauchsgüter, die als biologische Nährstoffe fungieren. Diese müssen biologisch abbaubar und naturverträglich sein, sodass sie nach ihrer Verwendung problemlos in die Umwelt zurückgeführt werden können. Mittels Zersetzungsprozessen werden sie zu Nährstoffen für Pflanzen sowie Tiere und tragen zur Fruchtbarkeit des Bodens bei. Auf diese Weise entstehen ideale Bedingungen für das Wachstum nachwachsender Rohstoffe, die wiederum für die Herstellung neuer Produkte einsetzbar sind. Verbrauchsgüter, die in den biologischen Kreislauf integriert werden können, umfassen beispielsweise Textilien, Produktverpackungen und Reinigungsmittel. Ebenso lassen sich Produkte, wie Schuhsohlen oder Bremsbeläge, die während ihrer Nutzung biologischen, chemischen oder physikalischen Veränderungen unterliegen, als biologische Nährstoffe entwickeln (vgl. Braungart 2007: 230; Braungart & McDonough 2008: 40 f.)

Der technische Kreislauf ist dem biologischen Stoffwechsel nachempfunden, dient hingegen als Modell für industrielle Systeme. Er umfasst komplexe Gebrauchsgüter, wie

14 Eigene Darstellung, in Anlehnung an EPEA.

Waschmaschinen, Kraftfahrzeuge, Elektrogeräte, deren Materialien in geschlossenen Produktionskreisläufen zirkulieren, ohne dabei an Qualität zu verlieren. Nach der Nutzungsdauer eines Produkts werden die Materialien in sortenreine Ausgangsstoffe zerlegt, sodass sie folglich als technische Nährstoffe für die Herstellung neuer Güter eingesetzt werden können. Technische Nährstoffe sind synthetische oder mineralische Materialien, die weder biologisch abbaubar sind noch von natürlichen Ökosystemen stetig neu geschaffen werden können. In diesem Modell liegt die Verantwortung für die Produktzirkularität aufseiten der Produktionsunternehmen. Zu diesem Zweck wird der Verkauf von Produkten durch das Konzept des Öko-Leasings ersetzt, bei dem Gebrauchsgüter nicht verkauft, sondern als Dienstleistungen bereitgestellt werden. Die Produkte verbleiben im Eigentum der Unternehmen, auch wenn sie von Kund:innen genutzt werden. Diese Dienstleistungsstrategie zieht Vorteile für beide Parteien nach sich: Kund:innen haben keinerlei materielle Verpflichtungen und die Hersteller:innen behalten die Kontrolle über die verarbeiteten Ressourcen, die zur Wiederverwertung eingesetzt werden können (vgl. Braungart 2007: 232 f.; Braungart & McDonough 2008: 42 f.; Braungart & McDonough 2013: 28).

Ferner bestehen viele Produktkategorien aus einer Kombination technischer sowie biologischer Komponenten und können demnach beiden Stoffkreisläufen zugewiesen werden. Solche Erzeugnisse werden als komplexe Produkte bezeichnet. Ein Beispiel hierfür ist ein Bürostuhl, dessen Sitzfläche und Rückenlehne aus biologisch abbaubaren Textilien bestehen, die dem biologischen Kreislauf zugeführt werden müssen, während seine Kunststoff- oder Metallteile für den technischen Kreislauf bestimmt sind (vgl. Abendroth et al. 2008: 28; Braungart & McDonough 2008: 43).

Insgesamt ist es für die Erzeugung kontinuierlicher, geschlossener Stoffkreisläufe von großer Wichtigkeit, eine gegenseitige Kontamination der beiden Kreisläufe zu vermeiden. Materialien, die in den biologischen Kreislauf übergehen, dürfen keine umweltbelastenden Substanzen enthalten. Andererseits sollten biologische Nährstoffe nicht in den technischen Kreislauf eingebracht werden, da sie dadurch nicht nur dem natürlichen

Lebensraum entzogen sind, sondern auch die Qualität der technischen Materialien beeinträchtigen (vgl. Braungart & McDonough 2020: 136 f.).

4.5 Die Cradle to Cradle-Produktzertifizierung

Die Einführung des *Cradle to Cradle Certified® Products Program* im Jahr 2005 durch die Firma MBDC markierte einen bedeutenden Schritt zur Anerkennung hoher Nachhaltigkeitsstandards in der Produktentwicklung. Gleichzeitig wurde der erste *Cradle to Cradle Certified® Product Standard* veröffentlicht, der Unternehmen eine Grundlage zur kontinuierlichen Verbesserung ihrer Materialzusammensetzung und Herstellungsprozesse bot. Im Jahr 2010 gründeten Michael Braungart und William McDonough das Cradle to Cradle Products Innovation Institute (C2CPII), um die weltweite Implementierung der C2C-Zertifizierung voranzutreiben. Das Institut hat seinen Hauptsitz in San Francisco (USA) und verfügt über eine Zweigstelle in Amsterdam (Niederlande). Im Jahr 2012 übernahm das C2CPII das Zertifizierungsprogramm von MBDC und begann mit eigenständigen Zertifizierungen. Heute agiert das C2CPII als unabhängige gemeinnützige Organisation und ist sowohl für die Weiterentwicklung des Standards als auch für die Verwaltung der Zertifizierungen verantwortlich (vgl. Cradle to Cradle Products Innovation Institute 2024a: 2). Ferner bildet das Institut Fachleute aus und erteilt ihnen die Befugnis, Unternehmen bei der Zertifizierung ihrer Produkte zu unterstützen. Derzeit stehen den Firmen zehn akkreditierte Bewertungsstellen zur Verfügung, die überwiegend in Nordamerika und Europa angesiedelt sind (vgl. Cradle to Cradle Products Innovation Institute 2024b).

Das Cradle to Cradle Certified®-Programm bewertet die Leistung von Produkten anhand eines umfassenden Standards[15], der auf fünf miteinander verbundenen Qualitätskategorien basiert. Die Kategorie *Material Health* konzentriert sich auf die Auswahl sicherer Materialien, um die Gesundheit von Mensch und Umwelt optimal zu schützen. *Product Circularity* untersucht, ob Produkte effektiv für ihre zukünftige Verwendung konzipiert sind und in ihre vorgesehenen Kreisläufe eingebunden werden. Das Ziel

15 Version 4.1 trat am 01.07.2024 in Kraft.

besteht darin, Produkte so zu entwerfen, dass sämtliche Materialien für eine erneute Nutzung durch natürliche oder industrielle Prozesse geeignet sind, einschließlich der Implementierung geeigneter Rückführungssysteme. Die Kategorie *Clean Air and Climate Protection* bewertet, ob die Herstellung eines Produkts positive Auswirkungen auf die Luftqualität hat, den Einsatz erneuerbarer Energieformen fördert und das Gleichgewicht der klimawirksamen Treibhausgase beeinflusst. *Water and Soil Stewardship* konzentriert sich auf den verantwortungsvollen Umgang mit Wasser- und Bodenressourcen. Diesbezüglich sollen Wassereinzugsgebiete und Bodenökosysteme geschützt werden, sodass sauberes Wasser sowie fruchtbare, gesunde Böden für alle Lebewesen verfügbar bleiben. Schließlich bewertet die Kategorie *Social Fairness*, wie Unternehmen Menschenrechte wahren und gerechte Geschäftspraktiken umsetzen. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der praktischen Anwendung dieser Prinzipien während der Produktion, sowohl innerhalb des Unternehmens als auch entlang der Lieferkette, um faire und menschenwürdige Arbeitsbedingungen zu gewährleisten (vgl. Drabe 2022: 26 f.; Cradle to Cradle Products Innovation Institute 2024a: 3).

Darüber hinaus müssen Produkte die allgemeinen Produktanforderungen, Verpackungsstandards und Tierschutzrichtlinien erfüllen, um eine Zertifizierung zu erlangen. So muss beispielsweise die Produktverpackung auf Produktzirkularität sowie Wiederverwertung ausgelegt sein (vgl. Cradle to Cradle Products Innovation Institute 2024a: 94). Zudem ist bei der Verwendung tierischer Materialien sicherzustellen, dass das Wohlergehen der Tiere in allen Produktionsphasen gewährleistet wird (vgl. ebd.: 96).

Der Zertifizierungsrahmen ist nicht auf ein einfaches Bestehen oder Nichtbestehen ausgelegt, sondern fördert eine kontinuierliche Verbesserung. Dementsprechend wird jede Kategorie anhand der vier möglichen Leistungsstufen Bronze, Silber, Gold und Platin bewertet. Das Gesamtniveau eines Produkts wird durch die niedrigste erreichte Stufe in einer der Kategorien bestimmt. Lediglich Produkte, die in allen Kategorien die Platin-Stufe erreichen, zählen als vollständig C2C-konform (vgl. ebd.: 3).

Jede Zertifizierung hat eine Gültigkeitsdauer von drei Jahren und erfordert eine Rezertifizierung zur Aufrechterhaltung des zertifizierten Status. Produkte können höchstens sechs Jahre auf der Bronze-Stufe verbleiben. Falls sie innerhalb dieses Zeitraums nicht auf die Silber-Stufe oder höher aufgestuft werden, erfolgt die Entfernung aus dem Programm (vgl. ebd.: 3 f.). Die Zertifizierung umfasst eine jährliche Gebühr, die vom Jahresumsatz des Unternehmens abhängig ist und zwischen 1.500 US-Dollar (Umsätze unter 10 Millionen US-Dollar) und 16.800 US-Dollar (Umsätze über 500 Millionen US-Dollar) liegt. Zusätzlich fällt eine Gebühr von 5.500 US-Dollar für den Antrag auf Produktzertifizierung an, sowie eine Rezertifizierungsgebühr von 3.600 US-Dollar, die alle drei Jahre zu entrichten ist (vgl. Cradle to Cradle Products Innovation Institute 2024c: 2 f.). Die Anzahl der zertifizierten Produkte ist in den letzten Jahren stetig gestiegen. Bis heute wurden mehr als 34.000 Artikel aus diversen Bereichen wie etwa dem Bauwesen, der Textilindustrie, der Elektronikbranche sowie dem Konsumgütersektor mit dem Cradle to Cradle Certified®-Siegel ausgezeichnet (vgl. Cradle to Cradle Products Innovation Institute 2024d).

Nach der Betrachtung der allgemeinen Strukturen und Anforderungen des Zertifizierungsprozesses werden im nächsten Kapitel konkrete Produktbeispiele aus verschiedenen Branchen vorgestellt, um zu veranschaulichen, wie vielfältig das C2C-Prinzip in unterschiedlichen Industriezweigen zur Anwendung kommt.

5 Umsetzungen von Cradle to Cradle

In diesem Kapitel werden die theoretischen Grundlagen des C2C-Konzepts, die zuvor ausführlich thematisiert wurden, in ihrer praktischen Anwendung veranschaulicht. Hierfür wurde die Internetseite des C2CPIIs herangezogen, die eine Gesamtübersicht aller gegenwärtigen Produktzertifizierungen bietet. Jene werden zunächst in einer zusammenfassenden Darstellung präsentiert. Im Anschluss daran folgt eine detaillierte Betrachtung der vier ausgewählten Produktkategorien: Bauwesen und Einrichtung (5.1), Textilien, Bekleidung und Schuhe (5.2), Konsumgüter (5.3) und Elektronik (5.4), wobei für jede Kategorie ein zertifiziertes Produkt exemplarisch vorgestellt wird.

Das C2CPII verzeichnet derzeit 675 zertifizierte Produkte, die sich auf zehn verschiedene Kategorien[16] verteilen. Der größte Anteil an Zertifizierungen entfällt auf den Bereich Bauwesen und Einrichtung mit 62,4 %, gefolgt von Textilien, Bekleidung und Schuhe (10,5 %) sowie Reinigungsprodukte (8,6 %). Im Gegensatz dazu weist die Kategorie Elektronik mit lediglich fünf Artikeln (0,7 %) die geringste Anzahl auf. Insgesamt haben 317 der aufgeführten Produkte die Bronze-Stufe, 221 die Silber-Stufe und 137 die Gold-Stufe erreicht, wohingegen kein Produkt mit Platin (vollständig C2C-konform) ausgezeichnet wurde (vgl. Cradle to Cradle Products Innovation Institute 2024e).

5.1 Bauwesen und Einrichtung

Die Kategorie Bauwesen und Einrichtung umfasst aktuell 421 zertifizierte Produkte. Hierzu zählen unter anderem Bodenbeläge wie Fliesen, Holzdielen und Teppiche sowie Baustoffe, einschließlich Kalkmörtel, Beton und Spachtelmasse. Auch diverse Einrichtungsgegenstände sind in dieser Kategorie vertreten. Die Mehrheit der Produkte (59 %) erhielt die Bronze-Zertifizierung, während 32 % mit Silber und 9 % mit Gold ausgezeichnet wurden. Ferner konnten lediglich vier Produkte in jeweils zwei Qualitätskriterien sowie ein Produkt in drei Qualitätskriterien die Platin-Stufe erreichen.

16 Die zehn Produktkategorien des C2CPIIs sind: (1) Beauty and Personal Care, (2) Built Environment and Furnishings, (3) Chemicals and Basic Materials, (4) Cleaning Products, (5) Consumer Products, (6) Electronics, (7) Packaging, (8) Print and Paper, (9) Textiles Apparel and Footwear und (10) Other (vgl. Cradle to Cradle Products Innovation Institute 2024e).

Ein erheblicher Teil der Zertifizierungen wird von dem US-amerikanischen Unternehmen Shaw Industries Group (79 Produkte) und dem dänischen Unternehmen Ege Carpets (23 Produkte) abgedeckt (vgl. Cradle to Cradle Products Innovation Institute 2024f).

Bauwesen und Einrichtung	
Aspekt	**Details**
Anzahl der Zertifizierungen	421
Zertifizierte Produkte	Bodenbeläge, Baustoffe, Einrichtungsgegenstände etc.
Namhafte Unternehmen	Shaw Industries Group, Ege Carpets
Leistungsstufen	- Bronze: 59 % - Silber: 32 % - Gold: 9 %

Tabelle 1: C2C-Zertifizierungen in der Kategorie Bauwesen und Einrichtung[17]

Ein Beispiel aus dem Bereich Bauwesen und Einrichtung ist die Möbelstoffkollektion „Climatex Dualcycle“. Dieses Sortiment basiert auf der Climatex-Technologie, die ursprünglich von der Gessner AG entwickelt wurde und seit 2018 von der JAB ANSTOETZ Group weitergeführt und vermarktet wird. Das mittelständische Familienunternehmen wurde 1946 von Josef Anstoetz in Bielefeld gegründet und wird inzwischen in dritter Generation von Stephan und Claus Anstoetz sowie Chris-Jakob Schminnes geleitet (vgl. JAB ANSTOETZ Group 2023: 7 ff.). JAB ANSTOETZ zeichnet sich durch ein umfangreiches Portfolio an hochwertigen Wohntextilien, Bodenbelägen sowie Polstermöbeln aus und ist in über 80 Ländern weltweit vertreten (vgl. JAB ANSTOETZ Group 2024a). Seit 2004 nutzt die Firma eine großflächige Photovoltaikanlage, die jährlich etwa 410.000 Kilowattstunden Strom produziert. Ergänzend trägt ein Biogas-Blockheizkraftwerk, das seit über einem Jahrzehnt in Betrieb ist, zur nachhaltigen Energiebilanz des Unternehmens bei (vgl. JAB ANSTOETZ Group 2023: 8 f.). Die rund 1.400 Mitarbeiter:innen profitieren von vielfältigen Sozialleistungen, wie etwa einer betriebseige-

17 Eigene Darstellung; Stand: 01.09.2024.

nen Kindertagesstätte, regelmäßigen Gesundheitstagen und diversen Sportangeboten. Um eine umweltfreundliche Mobilität zu fördern, stehen den Beschäftigten außerdem Firmenfahrräder und Fahrkarten für den öffentlichen Nahverkehr zur Verfügung (vgl. JAB ANSTOETZ Group 2024b & 2024c).

Die Kollektion „Climatex Dualcycle“ wird vollständig in Deutschland unter Einsatz erneuerbarer Energien (über 50 %) hergestellt und umfasst dreizehn verschiedene Bezugsstoffe in 345 Farbvarianten (vgl. JAB ANSTOETZ Group 2024d). Die Stoffe bestehen aus einem innovativen Mischgewebe, das Naturfasern (Ramiefasern, Farmwolle und eine Textilfaser aus europäischem Weißbuchenholz) mit synthetischen Fasern (Cradura) kombiniert (vgl. JAB ANSTOETZ Group 2024e). Hierbei werden die Materialien nicht zu gemischten Garnen versponnen, sondern anhand einer speziellen Webtechnik, der sogenannten „textilen Schraube“, miteinander verbunden. Auf diese Weise entsteht ein mehrdimensionales Gewebe mit herausragenden Eigenschaften (vgl. JAB ANSTOETZ Group 2024f). Die Climatex-Stoffe zeichnen sich durch ihre Fähigkeit aus, Temperaturen auszugleichen und Feuchtigkeit schnell abzuleiten. Darüber hinaus bieten sie eine hohe Flammhemmung und sind aufgrund ihrer außergewöhnlichen Scheuerbeständigkeit extrem langlebig (vgl. JAB ANSTOETZ Group 2024g). Nach der Nutzungsphase ermöglicht die textile Schraube zudem eine einfache und sortenreine Trennung der einzelnen Materialkomponenten. Anschließend können die Naturfasern kompostiert werden, während der Polymeranteil in den technischen Kreislauf zurückgeführt wird (vgl. JAB ANSTOETZ Group 2024e). Im Rahmen der C2C-Zertifizierung hat die Kollektion in allen Qualitätskriterien die Stufe Gold erreicht (vgl. JAB ANSTOETZ Group 2023: 16).

5.2 Textilien, Bekleidung und Schuhe

Die Kategorie Textilien, Bekleidung und Schuhe geht momentan mit 71 Zertifizierungen einher. Zu den zertifizierten Produkten zählen unter anderem Bettwäsche, Bekleidung, Gardinen, Füllmaterialien sowie Bänder und Schnüre. In diesem Bereich sind namhafte Unternehmen wie Tchibo, C&A, G-Star, Trigema, Calida und Ralph Lauren

vertreten. Die Mehrheit der zertifizierten Produkte (73 %) hat die Leistungsstufe Gold erreicht, während 16 % mit Bronze und 11 % mit Silber ausgezeichnet wurden. Besonders hervorzuheben ist, dass innerhalb der einzelnen Qualitätskategorien insbesondere *Material Health* mehrfach mit Platin ausgezeichnet wurde (vgl. Cradle to Cradle Products Innovation Institute 2024g).

Textilien, Bekleidung und Schuhe	
Aspekt	**Details**
Anzahl der Zertifizierungen	71
Zertifizierte Produkte	Bettwäsche, Bekleidung, Gardinen, Füllmaterialien, Bänder, Schnüre etc.
Namhafte Unternehmen	Tchibo, Trigema, C&A, G-Star, Calida, Ralph Lauren
Leistungsstufen	- Bronze: 16 % - Silber: 11 % - Gold: 73 %
Besondere Auszeichnung	Kriterium „Material Health“ mehrfach mit Platin ausgezeichnet

Tabelle 2: C2C-Zertifizierungen in der Kategorie Textilien, Bekleidung und Schuhe[18]

Ein exemplarisches Produkt aus der Kategorie Textilien, Bekleidung und Schuhe ist das kompostierbare T-Shirt der Trigema GmbH & Co. KG, Deutschlands größtem Hersteller von Sport- und Freizeitbekleidung. Das Unternehmen mit Sitz im schwäbischen Burladingen wurde 1919 von Josef Mayer gegründet und wird seit 2024 in vierter Generation von Wolfgang und Bonita Grupp geleitet (vgl. Trigema 2024a). Trigema ist konsequent auf den Produktionsstandort Deutschland ausgerichtet und führt als vollstufig produzierende Textilfirma sämtliche Produktionsschritte, von der Garnherstellung bis zum fertigen Produkt, in der eigenen Betriebsstätte durch (vgl. Braungart & McDonough 2008: 164). Die Stromerzeugung erfolgt durch zwei Gasturbinen und Blockheizkraftwerke mittels Kraft-Wärme-Kopplung, wobei die anfallende Abwärme ebenfalls vollständig genutzt wird. Darüber hinaus wird auf einer Fläche von rund 6.000 m² Solarenergie produziert (vgl. Trigema 2024b). Das Unternehmen beschäftigt etwa 1.200 Mitarbeiter:innen und stellt für die Pausen einen großzügigen Mitarbeiterpark mit 5.500 m² Grünflä-

18 Eigene Darstellung; Stand: 01.09.2024.

che sowie eine Sonnenterrasse mit Sitzgelegenheiten zur Verfügung (vgl. Trigema 2024d). Seit 1969 wurden weder Kurzarbeit eingeführt noch betriebsbedingte Entlassungen vorgenommen. Zudem wird den Kindern der Arbeitnehmer:innen nach ihrem Schulabschluss ein Ausbildungs- oder Arbeitsplatz in der Firma garantiert (vgl. Trigema 2024a).

Im Jahr 2006 entwickelte Trigema in enger Zusammenarbeit mit dem Umweltinstitut EPEA[19] und ausgewählten Zulieferfirmen das weltweit erste kompostierbare T-Shirt nach dem C2C-Prinzip (vgl. Trigema 2024c). Das T-Shirt besteht aus 100 % reinen Naturfasern, die aus zertifizierter Bio-Baumwolle aus der EU stammen. Es ist besonders hautfreundlich und daher auch für Allergiker:innen geeignet. Ferner wird das T-Shirt in Piqué-Qualität hergestellt, die durch eine spezielle Doppelwebstruktur für außergewöhnliche Stabilität und Robustheit sorgt. Die feinen, luftdurchlässigen Poren ermöglichen eine optimale Luftzirkulation und machen das Kleidungsstück besonders atmungsaktiv (vgl. Braungart & McDonough 2008: 165; Kulczycki 2021; avocadostore 2024). Da viele gängige Farbstoffe Schwermetalle oder andere schädliche Toxine enthalten, wurde in Zusammenarbeit mit Ciba SC, einem Schweizer Chemiekonzern im Bereich Farben, eine umfangreiche Auswahl an Färbemitteln hinsichtlich ihrer Zusammensetzung geprüft. Für die Herstellung des T-Shirts wurden spezielle synthetische Farben ausgewählt, die nicht nur gesundheitlich unbedenklich und kompostierbar sind, sondern sich auch durch hohe Farbqualität und Langlebigkeit auszeichnen (vgl. Braungart & McDonough 2008: 57). Eine weitere Kooperation bestand mit der Johann Müller AG, die für das Projekt ein Nähgarn entwickelte. Durch ein spezielles Verfahren wurde das Garn aus Baumwolle so veredelt, dass sowohl die Reißfestigkeit als auch die Elastizität erheblich gesteigert werden konnten (ebd.: 202). Das T-Shirt kann nach Gebrauch rückstandsfrei in die Natur zurückgeführt werden und dient zudem als wertvoller Kompost für den Garten (ebd.: 56). Seit 2012 wurde das Sortiment durch die TRIGEMA Change-Kollektion erweitert, die mittlerweile über 30 Artikel umfasst, darunter Unterwäsche,

19 Das Umweltinstitut EPEA *(Environmental Protection Encouragement Agency)* wurde 1987 von Prof. Dr. Michael Braungart gegründet und ist Partner des C2CPII. Es unterstützt Unternehmen und die Öffentlichkeit bei der Implementierung des C2C-Prinzips (vgl. EPEA).

Nachtwäsche, Jogginghosen sowie T-Shirts und Sweatshirts. Die Produktlinie hat im Rahmen der C2C-Zertifizierung in allen Qualitätskriterien die Stufe Gold erreicht (vgl. Trigema 2024b, 2024c & 2024e).

5.3 Konsumgüter

Die Kategorie Konsumgüter verzeichnet gegenwärtig zwölf zertifizierte Produkte, zu denen unter anderem Papierhandtücher, Toilettenpapier, Lufterfrischer, Kunststoff-Abfalleimer und wiederverwendbare Wasserflaschen zählen. Vier Artikel wurden mit Bronze ausgezeichnet, wohingegen sieben die Silber-Stufe und ein Produkt die Gold-Stufe erreicht haben. Innerhalb der Produktzertifizierungen wurde keine Qualitätskategorie mit Platin bewertet (vgl. Cradle to Cradle Products Innovation Institute 2024h).

Konsumgüter	
Aspekt	**Details**
Anzahl der Zertifizierungen	12
Zertifizierte Produkte	Papierhandtücher, Toilettenpapier, Lufterfrischer, Abfalleimer etc.
Leistungsstufen	- Bronze: 4 Produkte - Silber: 7 Produkte - Gold: 1 Produkt
Besondere Auszeichnung	Keine Qualitätskategorie wurde mit Platin bewertet

Tabelle 3: C2C-Zertifizierungen in der Kategorie Konsumgüter[20]

Ein Produktbeispiel aus der Kategorie Konsumgüter ist die wiederverwendbare „Dopper Original“-Wasserflasche, die eine Alternative zu Einweg-Wasserflaschen aus Plastik darstellt (vgl. dopper 2023: 8). Die Dopper-Flasche stammt von dem gleichnamigen niederländischen Unternehmen, das 2010 von Merijn Everaarts ins Leben gerufen wurde (vgl. dopper 2024a). Seit 2022 ist Dopper als CO_2-neutrales Unternehmen zertifiziert und setzt konsequent auf umweltfreundliche Praktiken (vgl. dopper 2024b). So wird der Hauptsitz in Haarlem mit erneuerbarer Energie betrieben und Bestellungen werden in

20 Eigene Darstellung; Stand: 01.09.2024.

sechzig niederländischen Städten per Fahrradkurier zugestellt. Auch intern legt das Unternehmen großen Wert auf Nachhaltigkeit und soziale Verantwortung. Rund 91 % der 100 Mitarbeiter:innen pendeln emissionsfrei zur Arbeit (vgl. dopper 2024c). Außerdem profitieren sie von einem veganen Essensangebot, regelmäßigen Teambuilding-Events und einem festgelegten Fortbildungsbudget (vgl. dopper 2024d). Darüber hinaus setzt Dopper neue Maßstäbe in Bezug auf Transparenz, indem es im April 2024 für jedes Produkt einen digitalen Produktpass eingeführt hat. Dieser bietet umfassende Informationen über die Herkunft sowie den ökologischen Fußabdruck und unterstützt Konsument:innen bei fundierten Kaufentscheidungen (vgl. dopper 2023: 29). Ergänzend dazu hat Dopper europaweit 134.458 öffentliche Wasserzapfstellen verzeichnet, die über Google Maps abrufbar sind und das Auffüllen der Flaschen von unterwegs erleichtern (ebd.: 17).

Die „Dopper Original“-Wasserflasche vereint ansprechendes Design mit einem durchdachten Konzept und ist in 13 verschiedenen Farben erhältlich. Mit einem Fassungsvermögen von 450 ml setzt sich die Flasche aus vier Hauptkomponenten zusammen: Flaschenkörper, Becher, Dichtungsring und Kappe. Insgesamt bestehen 85 % der verwendeten Materialien aus recyceltem und biobasiertem Kunststoff. Sowohl der Flaschenkörper als auch die Kappe werden aus Polypropylen (PP) hergestellt, einem thermoplastischen Kunststoff der Marke CirculenRenew aus Wesseling (Deutschland) (vgl. dopper 2024e). Dieser Kunststoff basiert auf Polymeren, die aus nachwachsenden Rohstoffen wie Altspeiseöl gewonnen werden (vgl. K.D. Feddersen 2024). Der Becher der Flasche besteht aus Titan Renew, einem langlebigen Copolyester aus Kingsport (USA), das zu 50 % aus zertifiziertem Recyclingmaterial gefertigt wird. Für den Dichtungsring kommt schließlich Thermolast zum Einsatz (vgl. dopper 2024e). Es handelt sich hierbei um ein thermoplastisches Elastomer mit hervorragenden Dichtungseigenschaften. Es ist formstabil, aber zugleich elastisch und kehrt nach Belastungen wieder in seine ursprüngliche Form zurück (vgl. Kraiburg 2024). Zur Versiegelung des Vakuums am Boden der Flasche wird ein spezieller Stopfen aus Glas verwendet. Während viele Hersteller:innen bleihaltiges Glas aufgrund seines niedrigeren Schmelzpunkts bevorzugen, wählt Dopper

bleifreies Glas, um schädliche Substanzen zu vermeiden (vgl. dopper 2024f). Die Produktion der Wasserflasche erfolgt emissionsfrei unter Verwendung erneuerbarer Energien im Spritzgussverfahren. Bei der Herstellung wird Wasser ausschließlich zur Kühlung der Formen eingesetzt, wobei es in einem geschlossenen Kreislauf zirkuliert und gleichzeitig zur Beheizung der Anlage dient (vgl. dopper 2024g). Dopper gewährt auf die Flasche eine Garantie von fünf Jahren und alle Komponenten sind durch Ersatzteile austauschbar (vgl. dopper 2024e). Zudem betreibt das Unternehmen seit 2021 ein Rücknahmeprogramm zur Wiederverwertung alter, beschädigter oder ungenutzter Flaschen (vgl. dopper 2024b). Jede Dopper-Flasche trägt zur Einsparung von 104 Einweg-Plastikflaschen pro Jahr bei und hat im Rahmen der C2C-Zertifizierung in allen Qualitätskriterien die Stufe Gold erreicht (vgl. dopper 2024b).

5.4 Elektronik

Die Kategorie Elektronik umfasst aktuell fünf zertifizierte Produkte, darunter Lautsprecher, LED-Treiber und Bohrmaschinen. Alle Artikel haben die Leistungsstufe Bronze erreicht. Außerdem wurde keine der Qualitätskategorien mit Platin bewertet (vgl. Cradle to Cradle Products Innovation Institute 2024i).

Elektronik	
Aspekt	**Details**
Anzahl der Zertifizierungen	5
Zertifizierte Produkte	Lautsprecher, LED-Treiber, Bohrmaschinen
Leistungsstufen	- Bronze: 100 %
Besondere Auszeichnung	Keine Qualitätskategorie wurde mit Platin bewertet

Tabelle 4: C2C-Zertifizierungen in der Kategorie Elektronik[21]

Ein Produktbeispiel aus der Elektronikbranche ist der tragbare WLAN-Heimlautsprecher „Beosound Level“ von Bang & Olufsen (vgl. Bang & Olufsen 2024a). Das dänische Unternehmen wurde 1925 von Peter Bang und Svend Olufsen gegründet und hat

21 Eigene Darstellung; Stand: 01.09.2024.

sich seither als globaler Marktführer in der High-End-Audiotechnik etabliert (vgl. Bang & Olufsen 2024b). Mit seinem Hauptsitz in Struer (Dänemark) (vgl. Bang & Olufsen 2024c: 3) vertreibt das Unternehmen seine innovativen Produkte sowohl in firmeneigenen Geschäften, als auch über Online-Kanäle und Multibrand-Stores (vgl. Bang & Olufsen 2024d). Unter der Leitung von CEO Kristian Teär beschäftigt Bang & Olufsen über 1.000 Mitarbeiter:innen (vgl. Bang & Olufsen 2024c: 3), von denen 30 % seit mehr als 10 Jahren Teil der Belegschaft sind (vgl. Bang & Olufsen 2022: 5). Das Unternehmen legt großen Wert auf die Zufriedenheit seiner Beschäftigten und führt jährlich eine Arbeitsplatzbewertung durch, die auf die Förderung des physischen und mentalen Wohlbefindens abzielt. Des Weiteren unterstützt ein Rat für Vielfalt, Gleichberechtigung und Integration die Fortschritte in diesem Bereich und sorgt für eine inklusive Unternehmenskultur (ebd.: 4). Darüber hinaus engagiert sich Bang & Olufsen aktiv in der Gesellschaft. So beteiligt sich die Firma beispielsweise seit 2021 an der landesweiten Kampagne „*Girls Day in Science*“, um das Bewusstsein für den Mangel an Frauen in den MINT-Fächern (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik) zu schärfen (vgl. Bang & Olufsen 2024e).

Der „Beosound Level“ besticht durch sein ästhetisches und langlebiges Design, das auf die Verwendung hochwertiger Materialien, wie recyceltem Polymer, handgefertigtem Aluminium und Verkleidungen aus Wolltextilien oder massivem Eichenholz setzt (vgl. Cradle to Cradle Products Innovation Institute 2024j). Dank seines modularen Aufbaus ist der Lautsprecher nicht nur besonders wartungsfreundlich, sondern auch leicht zu reparieren (vgl. Bang & Olufsen 2022: 17). Die Kund:innen können die Batterien eigenhändig austauschen sowie die Abdeckungen in verschiedenen Farben und Materialien anpassen. Außerdem lässt sich das Gerät über Software-Updates mit neuen Funktionen erweitern und das Streaming-Modul kann bei technologischem Fortschritt mühelos ersetzt werden (vgl. Cradle to Cradle Products Innovation Institute 2024j). Für umfangreiche Reparaturen steht den Verbraucher:innen ein globales Netzwerk an spezialisierten Fachleuten zur Verfügung (vgl. Bang & Olufsen 2024f). Am Ende der Nutzungsdauer erleichtert der modulare Aufbau des Lautsprechers letztlich auch die Demontage und

das Recycling einzelner Komponenten. Bang & Olufsen war im Jahr 2021 das erste Unternehmen der Unterhaltungselektronik, das eine C2C-Zertifizierung erhielt. Neben dem „Beosound Level“ wurden in der Zwischenzeit auch die Modelle „Beosound A5“ und „Beosound Emerge“ ausgezeichnet. Alle drei Produkte haben im Rahmen der Zertifizierung die Leistungsstufe Bronze erreicht (vgl. Bang & Olufsen 2024c: 3).

6 Reflexion und Diskussion

Die vorangegangenen Kapitel haben die Relevanz und Grundlagen des C2C-Konzepts dargestellt. Darauf aufbauend widmet sich dieses Kapitel der Frage, inwiefern das Modell zur Förderung einer nachhaltigen Entwicklung beitragen kann. Hierfür werden zunächst die Chancen von C2C für eine nachhaltige Entwicklung analysiert (6.1). Im Anschluss erfolgt eine Auseinandersetzung mit den Herausforderungen, die mit der Implementierung einer zirkulären Wirtschaftsweise verbunden sind (6.2). Schließlich wird das Kapitel mit der Entwicklung von Handlungsempfehlungen abgeschlossen (6.3).

6.1 Chancen des Cradle to Cradle-Konzepts

Das C2C-Konzept bietet einen ganzheitlichen Ansatz, um die Umsetzung der 17 Nachhaltigkeitsziele (*Sustainable Development Goals* – SDGs) der Agenda 2030[22] wirkungsvoll voranzutreiben. Durch eine weitreichende Anwendung des C2C-Modells wird einerseits ein direkter positiver Einfluss auf die SDGs (3) Gesundheit und Wohlergehen, (6) sauberes Wasser und Sanitäreinrichtungen, (7) bezahlbare und saubere Energie, (8) menschenwürdige Arbeit und Wirtschaftswachstum, (12) nachhaltiger Konsum und Produktion, (13) Maßnahmen zum Klimaschutz, (14) Leben unter Wasser sowie (15) Leben an Land erzielt und andererseits eine indirekte positive Wirkung auf die SDGs (1) keine Armut, (2) kein Hunger, (9) Industrie, Innovation und Infrastruktur sowie (11) nachhaltige Städte und Gemeinden entfaltet (vgl. Musenbrock 2024: 10).

Inwiefern das C2C-Konzept die genannten Ziele positiv beeinflussen kann, wird nachstehend entlang der drei Dimensionen der Nachhaltigkeit aufgeführt.[23] Eine abschließende Tabelle (Tabelle 5) bietet eine übersichtliche Zusammenfassung der relevanten Chancen des C2C-Konzepts in Bezug auf die SDGs.

22 Zur Erinnerung: Die SDGs sind eine universelle Aufforderung an alle Länder, ihre Bemühungen zur Bekämpfung von Armut, Ungleichheit und Klimawandel zu verstärken und nachhaltige Entwicklung zu fördern (siehe Kapitel 3.2). Jedes der 17 Ziele umfasst spezifische Unterziele, die detaillierte Ansätze und Indikatoren zur Erreichung der übergeordneten Ziele festlegen. Eine vollständige Liste der SDGs und ihrer Unterziele kann auf der Internetseite des Bundesministeriums für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) eingesehen werden (vgl. BMZ 2024a).

23 Angesichts der komplexen und verwobenen Zusammenhänge wird kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben; die folgenden Ausführungen sollen lediglich einen exemplarischen Eindruck vermitteln.

6.1.1 Ökologische Dimension

Der C2C-Ansatz fördert die Etablierung geschlossener Materialkreisläufe, in denen sämtliche eingesetzten Rohstoffe ohne Qualitätsverlust wiederverwendet oder biologisch abgebaut werden können (siehe Kapitel 4.3.1). Die lückenlose Kreislaufführung schont natürliche Ressourcen, indem sie den Bedarf an Primärrohstoffen um 28 % verringert (vgl. Circle Economy 2022: 8). Dadurch wird vor allem SDG 12.2 forciert, das eine nachhaltige und effiziente Nutzung von Ressourcen anvisiert.

Zusätzlich schaffen geschlossene Stoffströme enormes Potenzial bezüglich der Vermeidung von Abfall, was eng mit weiteren Nachhaltigkeitszielen verbunden ist. Da in einem Wirtschaftssystem nach C2C Abfall im herkömmlichen Sinne nicht existiert, entfallen auch die damit verbundenen schädlichen Umweltauswirkungen (siehe Kapitel 2.3). Dementsprechend wirkt sich die konsequente Abfallvermeidung nicht nur positiv auf SDG 12.5 (deutliche Verringerung des Abfallaufkommens) und SDG 11.6 (Reduktion der durch Städte verursachten Umweltbelastungen mit besonderem Fokus auf Luftqualität und kommunale Abfallbehandlung) aus, sondern leistet zudem einen wichtigen Beitrag zu SDG 14.1. Dieses Ziel besteht darin, alle Formen der Meeresverschmutzung einzudämmen, die aufgrund landseitiger Einträge von Abfällen ausgelöst werden.

Darüber hinaus setzt das C2C-Konzept mit dem gezielten Verzicht auf toxische oder schädliche Substanzen neue Maßstäbe für ein umweltverträgliches Produktdesign (siehe Kapitel 4.5). Diese Richtlinie schützt die Umwelt und stärkt zugleich die ökologische Resilienz, indem sie die Freisetzung schädlicher Chemikalien in Luft, Wasser und Boden weitestgehend unterbindet (SDG 12.4). Der ökologische Nutzen lässt sich am Beispiel des Textilsektors verdeutlichen, der weltweit drittgrößten Quelle für Wasserverunreinigungen im Jahr 2020 (vgl. Europäisches Parlament 2020). Das US-amerikanische Unternehmen Steelcase entwickelte in Zusammenarbeit mit EPEA einen C2C-konformen Stoff. Nach der Produktion zeigte die Abwasserprüfung keine Schadstoffe, vielmehr entsprach das Wasser den Qualitätskriterien von Trinkwasser (vgl. Braungart & McDonough 2013: 79) und konnte dadurch gefahrlos wiederverwendet werden (SDG

6.3). Die Vermeidung giftiger Substanzen bringt demzufolge einen weiteren positiven Effekt mit sich: Wenn Unternehmen in der Lage sind, Wasser in geschlossenen Kreisläufen zu nutzen, verbessert sich nicht nur ihre Umweltbilanz, sondern es entsteht auch ein Zusammenhang mit SDG 6.4, das auf eine effiziente Wassernutzung abzielt.

Der C2C-Ansatz sieht weiterhin vor, dass Unternehmen ausschließlich erneuerbare Energiequellen aus kreislauffähigen Anlagen für ihre Produktion verwenden (siehe Kapitel 4.3.2). Daraus ergeben sich abermals bedeutende ökologische Vorteile, die für eine nachhaltige Entwicklung relevant sind. Die Nutzung regenerativer Energien erhöht den Anteil erneuerbarer Energien im globalen Energiemix (SDG 7.2) und mindert zugleich die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen sowie die damit einhergehenden Umweltprobleme (vgl. Kranert 2018: 61). In Deutschland stammen über 80 % der Treibhausgasemissionen aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe (vgl. Umweltbundesamt 2024a). Demzufolge kann die Förderung erneuerbarer Energien maßgeblich dazu beitragen, den Ausstoß klimawirksamer Gase zu senken und so einem weiteren Anstieg der Erdtemperatur entgegenwirken (SDG 13). Die Reduktion der Treibhausgase entfaltet wiederum günstige Effekte für die marinen Ökosysteme, da Ozeane einen beträchtlichen Anteil des atmosphärischen Kohlenstoffdioxids absorbieren. Eine verstärkte Aufnahme von CO_2 senkt den pH-Wert und führt zur Übersäuerung des Meerwassers (vgl. Umweltbundesamt 2024b). Der Ausbau erneuerbarer Energien kann diese Problematik mindern und die Vitalität der marinen Ökosysteme fördern (SDG 14.3). Letztlich erhöht der Einsatz regenerativer Energiequellen auch die Energieeffizienz (SDG 7.3), indem er lange Versorgungsketten konventioneller Energieträger (von den Minen und Quellen bis zu den Endverbraucher:innen) verkürzt, wodurch es insgesamt zu weniger Energieverlusten kommt (vgl. Scheer 2007: 96).

Schließlich basiert das C2C-Konzept auf dem Prinzip der Ökoeffektivität, welches regenerative Effekte erzeugt, die natürliche Systeme sowohl entlasten als auch unterstützen (siehe Kapitel 4.1.2). Anstatt lediglich die negativen Auswirkungen menschlicher Aktivitäten zu reduzieren, verfolgt eine nach C2C ausgerichtete Wirtschaftsweise das Ziel

positiver ökologischer Veränderungen. Innovative Produktbeispiele für diesen Ansatz reichen von luftreinigenden Hausfassaden über kompostierbare Textilien bis hin zu Autoreifen, deren Abrieb als wertvoller Pflanzendünger fungiert (vgl. Abendroth et al. 2008: 30 f.; Musenbrock 2024: 8). Eine ökoeffektive Wirtschaftsweise unterstützt die Biodiversität und leistet einen wesentlichen Beitrag zu SDG 6.6 (Schutz und Wiederherstellung wasserverbundener Ökosysteme), SDG 15.1 (Erhaltung, Wiederherstellung und nachhaltige Nutzung von Land- und Binnensüßwasser-Ökosystemen) sowie SDG 15.5 (Verringerung der Verschlechterung natürlicher Lebensräume und Eindämmung des Verlusts biologischer Vielfalt).

6.1.2 Ökonomische Dimension

Die Implementierung des C2C-Konzepts bietet nicht nur ökologische Vorteile, sondern entfaltet auch bedeutsame wirtschaftliche Chancen für eine nachhaltige Entwicklung. Durch die Förderung geschlossener Materialkreisläufe und die damit verbundene Abnahme des Ressourcenverbrauchs, können Unternehmen langfristig erhebliche Materialkosten einsparen (vgl. Musenbrock 2024: 9). Prognosen zufolge könnten sich die jährlichen Ersparnisse für komplexe Produkte in der Europäischen Union auf bis zu 630 Milliarden US-Dollar belaufen, während für Konsumgüter des täglichen Bedarfs ein zusätzliches globales Einsparpotenzial von bis zu 700 Milliarden US-Dollar erwartet wird (vgl. Ellen MacArthur Foundation 2015: 11). Auch die Vermeidung von Abfall und der Verzicht auf toxische oder schädliche Substanzen führen zu einer finanziellen Entlastung für Unternehmen, da weder Kosten für ein aufwendiges Abfallmanagement noch für die kostspielige Entsorgung gefährlicher Produktionsabfälle entstehen (vgl. Abendroth et al. 2008: 35).

In Anbetracht einer verringerten Nachfrage nach Primärrohstoffen, kann eine Wirtschaftsweise gemäß C2C maßgeblich dazu beitragen, die Abhängigkeit von Rohstoffimporten zu vermindern (vgl. Wilts 2017: 2). Dadurch sind Unternehmen weniger anfällig für Preisschwankungen auf den Rohstoffmärkten und erleben seltener Störungen in den Lieferketten, die aufgrund von Ressourcenknappheiten oder politischen Ereignissen ver-

ursacht werden. Insgesamt steigert das ihre Widerstandsfähigkeit, was für die Wettbewerbsfähigkeit in einer globalisierten Wirtschaft von großer Bedeutung ist (vgl. Ellen MacArthur Foundation 2015: 14).

Darüber hinaus bietet der C2C-Ansatz für Unternehmen vielfältige innovative Möglichkeiten, die über herkömmliche Geschäftsmodelle hinausreichen. Durch die Förderung zirkulärer Prinzipien werden bestehende Prozesse hinterfragt und alternative Strategien entwickelt, die in einem konventionellen „*Business-as-usual*“-Ansatz häufig unberücksichtigt bleiben (vgl. Bakker et al. 2010: 11). Diese Herangehensweise ermöglicht nicht nur die Etablierung neuer Qualitätsstandards in der Produktion (vgl. Abendroth et al. 2008: 30), sondern stärkt zugleich die Innovationskraft, welche technologische Fortschritte vorantreibt und neue Gewinnpotenziale erschließt (vgl. Ellen MacArthur Foundation 2015: 11). Dies steht im Einklang mit SDG 9.4, das auf die Modernisierung von Infrastruktur und die Förderung nachhaltiger Industrien abzielt.

Beispielsweise können zirkuläre Lösungsansätze, wie das Öko-Leasing (siehe Kapitel 4.4) zu einer langfristigen Kundenbindung beitragen. Im Gegensatz zum klassischen Verkaufsmodell entstehen wiederkehrende Interaktionen zwischen Unternehmen und Kund:innen. Hierdurch haben Firmen den Vorteil, dass sie wertvolle Einblicke in die Nutzungsgewohnheiten ihrer Zielgruppe gewinnen, um folglich die Produkte sowie Dienstleistungen präzise auf deren Bedürfnisse abzustimmen. Die daraus resultierenden optimierten Angebote und der verbesserte Service können letztlich auch die Kundenzufriedenheit erheblich steigern (vgl. Ellen MacArthur Foundation 2015: 14).

Zusammenfassend deuten Schätzungen darauf hin, dass der Übergang zu einer Circular Economy der Weltwirtschaft potenzielle Gewinne von bis zu einer Billion US-Dollar ermöglichen kann (vgl. Prox 2022: 264). Für die Europäische Union (EU) wird bis 2030 eine Zunahme des Bruttoinlandsprodukts von nahezu 0,5 % prognostiziert (vgl. Europäische Kommission 2018: 6). Insofern bietet das C2C-Konzept nicht nur ökologische sondern auch relevante ökonomische Chancen und leistet somit einen positiven

Beitrag zu SDG 8.4, welches die Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Umweltzerstörung anstrebt.

6.1.3 Soziale Dimension

Neben ökologischen und ökonomischen Chancen, bietet das C2C-Konzept letztendlich auch einen sozialen Nutzen. Einerseits ist eine umfassende Transformation hin zur Circular Economy eng mit der Schaffung neuer Arbeitsplätze verbunden. Für Deutschland wird bis 2045 ein Beschäftigungsanstieg von rund 23 % in der Herstellung und Verarbeitung von Sekundärrohstoffen erwartet (vgl. WWF: 15). Auf EU-Ebene könnten bis 2030 etwa 700.000 zusätzliche Arbeitsplätze entstehen, vorwiegend in den Bereichen Recycling, Reparatur und Materialaufbereitung (vgl. Europäische Kommission 2018: 6).

Außerdem stellt der C2C-Ansatz einen zentralen Hebel zur Gewährleistung von sicheren und gesunden Arbeitsbedingungen dar (SDG 8.8). Die konsequente Verarbeitung schadstofffreier Materialien schützt die Arbeitnehmer:innen vor gesundheitlichen Belastungen und macht die Nutzung von Schutzausrüstung (z.B. Handschuhe oder Atemmasken) weitgehend überflüssig (vgl. Braungart & McDonough 2020: 141). Gleichzeitig berücksichtigt das Konzept auch das mentale Wohlbefinden der Mitarbeiter:innen. In diesem Zusammenhang beschreiben Braungart und McDonough inspirierende Arbeitsumgebungen, die mittels sonnendurchfluteter Räume, frischer Luft, Ausblicke auf die Natur und kultureller Angebote eine produktive Atmosphäre schaffen (ebd.: 101).

Von der Verwendung sicherer und gesunder Materialien profitieren auch die Konsument:innen. Viele konventionelle Produkte enthalten gesundheitsschädliche Bestandteile. Zahlreiche Bezugsstoffe für Möbel sind beispielsweise nicht selten mit mutagenen Substanzen, Schwermetallen, gefährlichen Chemikalien und minderwertigen Farbstoffen belastet. Bei der Nutzung dieser Produkte können Partikel freigesetzt werden, die über die Atemwege in den Körper gelangen (vgl. Braungart & McDonough 2020: 19). Im Gegensatz dazu, ermöglicht das C2C-Konzept ein sicheres Nutzungsszenario und beugt damit Gesundheitsrisiken vor (vgl. Goldbecker et al. 2023: 9). Die C2C-Qualitäts-

kategorie „Materialgesundheit“ (siehe Kapitel 4.5) steht somit im Einklang mit SDG 3.9, das eine Verringerung von Todesfällen und Erkrankungen aufgrund gefährlicher Chemikalien anstrebt.

In globalen Wertschöpfungsketten legen Produkte häufig große Distanzen zurück. So reist ein einfaches T-Shirt etwa 18.000 Kilometer, bevor es in Deutschland zum Verkauf bereitliegt (vgl. BMZ 2024b). Lange Lieferketten bergen allerdings das Risiko für Intransparenz und damit verbundene Menschenrechtsverletzungen (vgl. ZDF 2023a). Schätzungen zufolge, leben etwa 50 Millionen Menschen weltweit in moderner Sklaverei (vgl. ZDF 2023b), während circa 79 Millionen Kinder von ausbeuterischer Kinderarbeit betroffen sind (vgl. BMZ 2024b). Das C2C-Konzept steuert stattdessen darauf hin, die Produktion auf die wesentlichen und besten Komponenten zu reduzieren (vgl. Abendroth et al. 2008: 24). Dies erleichtert die Rückverfolgbarkeit der Materialien und fördert transparente Lieferketten, in denen soziale und ethische Standards, wie etwa faire Arbeitsbedingungen und der Verzicht auf Kinder- oder Zwangsarbeit eingehalten werden. Daneben bietet es den Verbraucher:innen die Möglichkeit, bewusste Kaufentscheidungen zu treffen und begünstigt dadurch eine verantwortungsvolle Konsumkultur.

Langfristig leistet der C2C-Ansatz auch einen wertvollen Beitrag zur inter- und intragenerationellen Gerechtigkeit. Der Klimawandel geht mit einer zunehmenden Häufigkeit extremer Wetterereignisse einher, die sich in den letzten Jahrzehnten mehr als verdoppelt haben. Überschwemmungen, Stürme und Dürren zerstören dabei landwirtschaftliche Nutzflächen und entziehen den betroffenen Menschen ihre Lebensgrundlage. Prognosen gehen davon aus, dass die Folgen des Klimawandels bis 2050 die Anzahl der unterernährten Menschen um 20 % erhöhen und mehr als 100 Millionen Menschen in die Armut treiben könnten (vgl. WFP 2017). Es wurde bereits festgestellt, dass eine flächendeckende Implementierung des C2C-Konzepts positive Auswirkungen auf die Klimabilanz haben kann (siehe Kapitel 6.1.1). Infolgedessen trägt der Ansatz nicht nur zur Bekämpfung des Klimawandels bei, sondern unterstützt auch indirekt die Erreichung der SDGs 1 (keine Armut) und 2 (kein Hunger).

Das C2C-Prinzip gewährleistet eine kontinuierliche Wiederverwendung von Materialien (vgl. Abendroth et al. 2008: 20) und sichert so die langfristige Verfügbarkeit natürlicher Ressourcen (ebd.: 25). Diese Vorgehensweise beugt Ressourcenkonflikten aufgrund von Knappheit vor (vgl. WWF: 103) und verhindert gleichzeitig die Entstehung schädlicher Produktionsrückstände, die künftige Generationen in ungerechtem Maß belasten könnten (vgl. Abendroth et al. 2008: 21). Vielmehr verfolgt der C2C-Ansatz das Ziel, nachfolgenden Generationen eine intakte sowie lebenswerte Umwelt zu hinterlassen.

Chancen des C2C-Konzepts	SDG-Bezug
Reduzierung des Primärrohstoffbedarfs	**SDG 12.2:** Nachhaltige Ressourcennutzung.
Vermeidung von Abfall	**SDG 11.6:** Senkung der Umweltbelastung. **SDG 12.5:** Verringerung des Abfallaufkommens. **SDG 14.1:** Verringerung der Meeresverschmutzung.
Stärkung der ökologischen Resilienz	**SDG 6.3:** Verbesserung der Wasserqualität. **SDG 6.4:** Die Effizienz der Wassernutzung steigern und Bekämpfung der Wasserknappheit. **SDG 12.4:** Umweltschonender Chemikalienumgang.
Förderung erneuerbarer Energien	**SDG 7.2:** Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energie. **SDG 7.3:** Verdopplung der Energieeffizienz.
Reduktion von Treibhausgasemissionen	**SDG 13:** Maßnahmen zum Klimaschutz. **SDG 14.3:** Minimierung der Ozeanversauerung.
Förderung der Biodiversität	**SDG 6.6:** Schutz wasserverbundener Ökosysteme. **SDG 15.1:** Nachhaltige Nutzung von Land- und Süßwasser-Ökosystemen. **SDG 15.5:** Schutz der Biodiversität.
Förderung von Innovation	**SDG 9.4:** Nachhaltige Infrastruktur und Industrieprozesse.
Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Umweltzerstörung	**SDG 8.4:** Ressourceneffizienz in Produktion und Konsum.
Sichere Arbeitsbedingungen und Produkte	**SDG 3.9:** Verringerung von Todesfällen durch Chemikalien und Umweltverschmutzung. **SDG 8.8:** Schutz der Arbeitsrechte und Förderung sicherer Arbeitsumgebungen.
Förderung von fairen Arbeitsbedingungen	**SDG 8.7:** Beendigung von Zwangsarbeit, Sklaverei und Kinderarbeit.
Förderung von sozialer Gerechtigkeit	**SDG 1:** Keine Armut. **SDG 2:** Kein Hunger.

Tabelle 5: Chancen des C2C-Konzepts im Kontext der SDGs[24]

24 Eigene Darstellung.

6.2 Herausforderungen des Cradle to Cradle-Konzepts

Der vorangegangene Abschnitt hat gezeigt, dass das C2C-Konzept grundsätzlich das Potenzial besitzt, einen wichtigen Beitrag zur Transformation hin zu einer nachhaltigen Entwicklung zu leisten. Die praktische Umsetzung steht jedoch vor diversen Hindernissen, die auf unterschiedlichen Ebenen angesiedelt sind. So wurde im Rahmen dieser Arbeit bereits festgestellt, dass bislang kein Produkt mit der Platin-Zertifizierung (vollkommen C2C-konform) ausgezeichnet wurde (siehe Kapitel 5).

Vor diesem Hintergrund werden nachfolgend die zentralen Hürden bei der Umsetzung des C2C-Konzepts analysiert. Zunächst liegt der Fokus auf den technologischen Herausforderungen (6.2.1). Daran anschließend erfolgt eine Auseinandersetzung mit wirtschaftlichen Fragestellungen (6.2.2), bevor zum Schluss die Rolle der Konsument:innen und die Marktakzeptanz von C2C-Produkten betrachtet werden (6.2.3).

6.2.1 Technologische Herausforderungen

Ein Produkt besteht meist aus einer Vielzahl an unterschiedlichen Materialien, die im Rahmen des C2C-Ansatzes präzise aufeinander abgestimmt und hinsichtlich ihrer Eignung für geschlossene Kreisläufe bewertet werden müssen. So kann zum Beispiel ein Reinigungsmittel, welches für den biologischen Kreislauf konzipiert ist, aus hundert verschiedenen Bestandteilen bestehen. Wird zusätzlich die Verpackung berücksichtigt, steigt die Anzahl der Komponenten nicht selten auf über dreihundert an (vgl. Schmitt & Hansen 2022: 15). Diese Komplexität erfordert nicht nur eine detaillierte Analyse und Optimierung der Materialeigenschaften, sondern ebenso die Verfügbarkeit von marktreifen, kreislauffähigen Alternativen, die bislang in vielen Fällen noch nicht ausreichend entwickelt sind (vgl. Bakker et al. 2010: 9 f.).

Besonders problematisch gestaltet sich in diesem Zusammenhang die Nutzung von kritischen Rohstoffen, wie beispielsweise Lithium, Kobalt oder Seltenen Erden. Ihre Unverzichtbarkeit in zahlreichen industriellen Anwendungen und das Fehlen geeigneter Er-

satzstoffe sind erhebliche Barrieren für die praktische Umsetzung des C2C-Konzepts (vgl. Wilts 2017: 2; Pereira 2018: 105).

Darüber hinaus wird die Realisierung geschlossener technischer Kreisläufe maßgeblich durch die Notwendigkeit hochspezialisierter und effektiver Aufbereitungsanlagen behindert (vgl. Braungart & McDonough 2008: 104). Ein zentrales Hindernis stellt hierbei der Mangel an fortschrittlichen Recycling-Technologien dar, die eine vollständige Rückgewinnung essenzieller Rohstoffe (insbesondere im Hinblick auf kritische Materialien) ermöglichen (vgl. Hauff 2024: 140). Dementsprechend bleibt das Ziel von geschlossenen technischen Kreisläufen in vielen Bereichen bislang weitgehend unerreicht.

Im Übrigen stehen auch die biologischen Kreisläufe bei einer flächendeckenden Etablierung des C2C-Ansatzes vor enormen Herausforderungen. Die natürliche Regeneration von Ressourcen verläuft in vielen Fällen langsamer als deren Verbrauch, was langfristig zu einer Überlastung der Ökosysteme und einer Verknappung der Ressourcen führen kann. Darüber hinaus stellt auch die uneingeschränkte Rückführung von biologischen Nährstoffen in die Umwelt ein Problem dar, da übermäßige Mengen das ökologische Gleichgewicht gefährden. Eine hohe Konzentration an Nährstoffen kann unter anderem die chemischen Eigenschaften des Bodens verändern, die Eutrophierung[25] begünstigen und folglich einheimischen Arten die Lebensgrundlage entziehen (vgl. Llorach-Massana, Farrenty & Oliver-Solà 2015: 244).

Des Weiteren steht das C2C-Konzept in der Praxis vor der Herausforderung, dass trotz der Bemühungen um geschlossene Kreisläufe weiterhin neue Ressourcen erforderlich sind. Zum einen führen das stetige Wachstum der Weltbevölkerung und der damit stei-

25 Eutrophierung bezeichnet die übermäßige Anreicherung von Nährstoffen (vor allem Stickstoff und Phosphor) in Gewässern. Diese Anreicherung fördert das Wachstum von Algen und Wasserpflanzen. Der Abbau der abgestorbenen Pflanzen durch Mikroorganismen führt zu einem erhöhten Sauerstoffverbrauch, was zu einer Sauerstoffverarmung in Gewässern führt und somit die Lebensgrundlage für aquatische Lebewesen gefährdet. Die Eutrophierung stellt neben der Fischerei eine der größten Bedrohungen für die Meeresumwelt dar (vgl. Umweltbundesamt 2024c).

gende Konsum zu einem erhöhten Bedarf an Rohstoffen, sodass selbst bei einer vollständigen Rückgewinnung der Materialien die Rohstoffnachfrage nicht vollständig gedeckt werden kann (vgl. Kranert 2017: 61). Außerdem steht das C2C-Prinzip im Widerspruch zu dem zweiten Gesetz der Thermodynamik, das besagt, dass in jedem physikalischen Prozess (auch in geschlossenen Kreisläufen) unvermeidliche Verluste an verfügbarer Energie auftreten. Dies führt dazu, dass die Abhängigkeit von Primärrohstoffen auch bei der Anwendung von C2C-Prinzipien nach wie vor bestehen bleibt (vgl. Wilts 2017: 2; Hauff 2024: 144).

Ein weiterer technologischer Aspekt, der die Umsetzung des C2C-Ansatzes erschwert, betrifft die Erfordernis, dass sowohl die Herstellung von Produkten als auch die Wiederaufbereitung von Materialien vollständig auf erneuerbaren Energien basieren müssen (siehe Kapitel 4.3.2). Einzelne Güter können bereits gänzlich mittels regenerativer Energiequellen angefertigt werden, doch angesichts des globalen Energieverbrauchs und der begrenzten Kapazitäten der noch jungen Branche ist es gegenwärtig nicht möglich, den gesamten Energiebedarf der Wirtschaft auf diese Weise abzudecken (vgl. Abendroth et al. 2008: 134). Hinzu kommt, dass die Fertigung von Komponenten für erneuerbare Energieinfrastrukturen, wie etwa Solarmodulen oder Windkraftanlagen, mit einem erheblichen Ressourcenaufwand verbunden ist. Auch die Recyclingprozesse für diese Materialien sind noch nicht ausgereift, wodurch Fragen zur langfristigen und ausreichenden Verfügbarkeit der benötigten Rohstoffe entstehen (vgl. Wille 2021; Hauff 2024: 90 f.).

Schließlich offenbart sich eine weitere Limitation in der unzureichenden Berücksichtigung der Nutzungsphase von Produkten. Während das C2C-Konzept vorrangig auf die Rohstoffgewinnung und Endlebensphase ausgerichtet ist, bleiben die ökologischen Auswirkungen während der Verwendung weitgehend unbeachtet (vgl. Llorach-Massana, Farrenty & Oliver-Solà 2015: 243). Dabei kann insbesondere diese Phase bei energieintensiven Produkten eminent zur Umweltbilanz beitragen. Ein Wasserkocher verursacht beispielsweise rund 90 % seiner Umweltbelastung durch den Energieverbrauch im Betrieb (vgl. Bakker et al. 2010: 4). Daher schränkt die Vernachlässigung der Nutzungs-

phase die Wirksamkeit des C2C-Ansatzes zur umfassenden Reduktion von Umweltbelastungen erheblich ein (vgl. Llorach-Massana, Farrenty & Oliver-Solà 2015: 243).

6.2.2 Wirtschaftliche Herausforderungen

Der C2C-Ansatz stellt auch Unternehmen vor erhebliche Herausforderungen, da er grundlegende Veränderungen in etablierten Abläufen und Strukturen erfordert. Firmen müssen ein umfassendes Fachwissen in diversen Bereichen wie zirkulärem Produktdesign, den toxikologischen Eigenschaften aller Produktbestandteile und den spezifischen Anforderungen neuer, kreislauffähiger Materialien aufbauen (vgl. Schmitt & Hansen 2022: 16). Zudem sind für die Entwicklung und Einführung des C2C-Modells oftmals erhebliche Anfangsinvestitionen nötig, die für viele Unternehmen eine finanzielle Hürde darstellen können. Hinzu kommt, dass die Abhängigkeiten von Partnerunternehmen, die zirkuläre Geschäftsmodelle oder Produkte nicht unterstützen, den Prozess oftmals erschweren. Nicht zuletzt erhöht die Notwendigkeit, alle Akteur:innen entlang der gesamten Wertschöpfungskette einzubeziehen und auf gemeinsame Standards und Ziele auszurichten, den organisatorischen und kommunikativen Aufwand beträchtlich (ebd.: 23).

Eine weitere Barriere für die breite Etablierung des C2C-Ansatzes liegt in der Zurückhaltung marktführender Unternehmen. Seit 1988 sind lediglich hundert Konzerne für über 70 % der industriebezogenen Treibhausgasemissionen verantwortlich und könnten somit eine zentrale Rolle bei der Umsetzung einer nachhaltigen Wirtschaftsweise einnehmen (vgl. Baunach 2023: 137). Dennoch zeigen diese Akteur:innen oftmals wenig Bereitschaft zur Veränderung, da sie darauf bedacht sind, ihre dominierende Marktposition zu sichern. Dementsprechend werden Innovationen, die bestehende Strukturen infrage stellen könnten, häufig blockiert (vgl. Abendroth et al. 2008: 40 f.).

Auch fehlende Anreize und eine unzureichende staatliche Unterstützung verhindern die Verbreitung des C2C-Konzepts. Oftmals machen es externe Effekte, wie etwa der Mix in den örtlichen Energienetzen oder gesetzliche Anforderungen an Verpackungen, für Unternehmen schwieriger, C2C-Produkte zu entwickeln, die den gewünschten ökologi-

schen und zirkulären Standards entsprechen (vgl. Braungart & McDonough 2008: 189 f.). Aber auch ungünstige steuerliche Rahmenbedingungen und weitere wirtschaftliche Faktoren behindern den Übergang zu einer zirkulären Wirtschaftsweise. Während die Nutzung von Primärrohstoffen häufig von niedrigen Steuern oder Subventionen (in Milliardenhöhe) profitiert, werden Arbeitskosten vergleichsweise stark besteuert (vgl. Schmitt & Hansen 2022: 23). Ebenso erschweren erhebliche Transaktionskosten die Entwicklung industrieller Symbiosen zwischen verschiedenen Sektoren, wodurch potenzielle Synergien ungenutzt bleiben. Hinzu kommen Wettbewerbsnachteile für zirkuläre Geschäftsmodelle, da lineare Produktionsweisen oft günstiger erscheinen, weil die negativen ökologischen und sozialen Auswirkungen nicht eingepreist werden. Außerdem führen starke Preisschwankungen auf den Märkten für Sekundärmaterialien sowie Handelsregulierungen, die den grenzüberschreitenden Austausch dieser Materialien erschweren, zu weiteren Hindernissen (vgl. OECD 2019: 99).

Schließlich stellt der sogenannte Rebound-Effekt eine abermalige ökonomische Herausforderung dar. Dieser beschreibt die Tendenz, dass Effizienzsteigerungen zu einem Mehrverbrauch führen können, wodurch das ursprünglich angestrebte Einsparpotenzial verringert oder sogar gänzlich überkompensiert wird (vgl. Hauff 2024: 141).[26] Vor diesem Hintergrund besteht im Zuge des C2C-Konzepts die Gefahr, dass die Einführung kreislauffähiger Produkte eine Verhaltensänderung der Konsument:innen nach sich zieht. So könnten beispielsweise geringere Preise oder der Eindruck einer unerschöpflichen Materialverfügbarkeit dazu führen, dass mehr Produkte konsumiert und auf diese Weise die ökologischen Vorteile erheblich gemindert werden. Außerdem erfordert der Aufbau neuer Infrastrukturen zur Umsetzung des C2C-Prinzips einen erhöhten Energie- und Rohstoffaufwand. Insbesondere in der Übergangsphase könnten diese initialen In-

26 Ein anschauliches Beispiel für den Rebound-Effekt findet sich im Fall des Goldgehalts in Mobiltelefonen. Dieser konnte zwischen 1997 und 2005 mittels Effizienzmaßnahmen halbiert werden. Die daraus resultierende Marktpreissenkung löste allerdings eine drastische Steigerung der Nachfrage nach Mobiltelefonen (um 700 %) aus, was wiederum zu einem Anstieg des Goldverbrauchs (um 300 %) führte (vgl. Hauff 2024: 143).

vestitionen die angestrebten Einsparungen zumindest vorerst schmälern (vgl. Santarius 2012: 5 f.).

6.2.3 Gesellschaftliche Herausforderungen

Die Einstellungen und das Verhalten der Verbraucher:innen sind ausschlaggebend für den erfolgreichen Transformationsprozess hin zu einer zirkulären Wirtschaftsweise. Allerdings sind viele Konsument:innen an kurzfristig orientierte Geschäftsmodelle gewöhnt, wie sie vorwiegend in der Fast-Fashion-Industrie und der Elektronikbranche vorherrschen. Dies kann der Akzeptanz von langlebigen sowie kreislauffähigen Produkten erheblich entgegenstehen.

Nachhaltige Wirtschaftsweisen werden bislang im Bildungssystem noch nicht ausreichend berücksichtigt. Dadurch fehlt es an Informationen und das Bewusstsein sowie Verständnis für alternative, nachhaltigere Optionen ist begrenzt (vgl. EASAC 2015: 8). Das kompostierbare T-shirt von Trigema (siehe Kapitel 5.2) ging beispielsweise seitens der Konsument:innen mit der Befürchtung einher, dass die biologische Abbaubarkeit des Materials seine Haltbarkeit beeinträchtigen könnte (vgl. Abendroth et al. 2008: 71).

In diesem Zusammenhang kann auch die mangelnde Transparenz gemäß der Zusammensetzung von C2C-Produkten eine gesellschaftliche Herausforderung darstellen. Viele Unternehmen sind besorgt über den Verlust von geistigem Eigentum und möglichen Wettbewerbsnachteilen, die durch die Offenlegung von Produktinformationen entstehen könnten. Jedoch ist die Schaffung von Transparenz essentiell, um das Vertrauen der Menschen in die tatsächliche Kreislauffähigkeit von Produkten zu stärken und eine Befürwortung des C2C-Konzepts in der breiten Masse voranzutreiben (vgl. Schmitt & Hansen 2022: 23).

Nicht zuletzt fehlt es an Marktsignalen und Anreizsystemen, die Verbraucher:innen zu einer Verhaltensänderung bewegen könnten. Gegenwärtig ist die Reparatur oder das Recycling von Produkten oftmals kostspieliger als ein Neuerwerb (vgl. EASAC 2015: 8).

Außerdem zeigen viele Konsument:innen nur eine begrenzte Bereitschaft, alternative Eigentumsmodelle wie zum Beispiel das Leasing von Produkten anzunehmen (vgl. Braungart & McDonough 2008: 104). Vonseiten des Marktes fehlt diesbezüglich allerdings auch eine tragfähige Infrastruktur für die Wiederaufbereitung und Wiederverwendung von Materialien. Vor allem Produktrücknahmesysteme sind bislang kaum etabliert, obwohl sie für eine erfolgreiche Umsetzung des C2C-Ansatzes entscheidend wären (vgl. EASAC 2015: 8).

6.3 Handlungsempfehlungen

Basierend auf den zuvor analysierten Herausforderungen des C2C-Konzepts, werden abschließend zehn zentrale Handlungsempfehlungen skizziert, die Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Kommunen gleichermaßen adressieren. Diese Akteur:innen tragen gemeinsam die Verantwortung für einen erfolgreichen Transformationsprozess hin zu einer Circular Economy.

1 Förderung der Zusammenarbeit und Wissensvernetzung

Politik, Wirtschaft und Wissenschaft sollten gezielt die Zusammenarbeit und den Austausch von Wissen fördern, um das C2C-Konzept in breitem Maßstab umzusetzen und somit eine erfolgreiche Transformation hin zu einer zirkulären, öko-effektiven Wirtschaftsweise zu ermöglichen.

Die Kenntnisse zu Nährstoffkreisläufen sollten systematisch gesammelt und für alle relevanten Akteur:innen zugänglich gemacht werden. Besonders vielversprechend ist in diesem Zusammenhang das gemeinsame Pooling von intelligenten Materialien, um technische Nährstoffe gemeinsam zu nutzen und zugleich Wissen über bestimmte Materialien zu akkumulieren. Diese Zusammenarbeit fördert nicht nur das Wissensmanagement, sondern stärkt auch die Kooperation entlang des gesamten Nutzungskreislaufs und schafft langfristige Vorteile für alle Beteiligten (vgl. Abendroth et al. 2008: 29 f.).

Zudem sollten Unternehmen ein interdisziplinäres Fachwissen aufbauen und dieses entlang der gesamten Wertschöpfungskette verankern. Dies sichert eine konsistente Umsetzung des C2C-Modells und dessen langfristige Etablierung. Hierfür ist eine enge Zusammenarbeit zwischen Wirtschaft und Wissenschaft von wesentlicher Relevanz (vgl. Musenbrock 2024: 12). Hochschulen und Forschungseinrichtungen sollten durch Partnerschaften mit Unternehmen dazu beitragen, aktuelle wissenschaftliche Erkenntnisse in die Unternehmenspraxis zu integrieren. Gleichzeitig profitieren Forschungseinrichtungen von praxisrelevanten Einblicken aus der Unternehmenswelt (ebd.: 34). Darüber hinaus sollten Unternehmen kontinuierliche Lernprozesse erschaffen, die nicht nur interne Teams, sondern auch externe Partner:innen aktiv in den Transformationsprozess einbinden (vgl. Schmitt & Hansen 2022: 4).

2 Einführung standardisierter Material- und Produktpässe

Politik und Industrie sollten gemeinsam die Einführung von standardisierten Material- und Produktpässen vorantreiben, um eine vollständige Nachverfolgbarkeit von Produkten und Materialien entlang ihrer gesamten Wertschöpfungskette zu gewährleisten und die Transparenz hinsichtlich der Kreislauffähigkeit zu erhöhen (vgl. CEID 2021a: 47; CEID 2021b: 102).

Die Einführung von Produktpässen ist entscheidend, um Informationslücken zu schließen und das Vertrauen in die tatsächliche Kreislauffähigkeit von Produkten zu stärken (ebd.). Ein Produktpass sollte neben umfassenden Informationen zur Herkunft und Zusammensetzung auch wesentliche Daten zu Reparaturanweisungen sowie zur Handhabung am Ende des Lebenszyklus bereitstellen (vgl. CEID 2021a: 47). Zusätzlich müssen auch detaillierte Angaben zu den Produktionsprozessen und dem Materialeinsatz (etwa der Verwendung von Prozesschemikalien) während der Produktion berücksichtigt werden. Um diese Transparenz zu gewährleisten, ist es notwendig, verbindliche Standards festzulegen, die exakt definieren, welche Informationen in einem Produktpass enthalten sein müssen (vgl. Cradle to Cradle NGO 2024: 5).

3 Weiterentwicklung der Infrastruktur für Recycling und Materialrückführung

Politik und Wirtschaft sollten verstärkt in den Ausbau und die kontinuierliche Weiterentwicklung von Rückführungs- und Wiederaufbereitungsinfrastrukturen investieren, um eine erfolgreiche Umsetzung des C2C-Ansatzes auf breiter Basis zu ermöglichen (vgl. CEID 2021a: 68).

Eine zentrale Voraussetzung für eine zirkuläre Wirtschaftsweise ist die flächendeckende Rückführung und Wiederaufbereitung von Produkten und Materialien. In Anbetracht dessen ist eine umfassende Optimierung bestehender Recycling- und Rücknahmesysteme unerlässlich (vgl. EASAC 2015: 10). Der Einsatz von automatisierten Sortiertechnologien, die auf Künstlicher Intelligenz (KI) und optischen Sensoren basieren, bietet großes Potenzial, um Materialien präzise zu identifizieren und zu trennen (vgl. CEID 2021b: 106). Neben der technologischen Optimierung sollten weiterhin Reparaturdienstleistungen ausgebaut, standardisierte Wiederverwendungssysteme konstituiert sowie neue Wiederaufbereitungsbetriebe geschaffen und mittels Öffentlichkeitsarbeit bekannt gemacht werden (ebd.: 101).

4 Beschleunigung einer nachhaltigen Energieversorgung

Politik und Wirtschaft sollten verstärkt Maßnahmen zur Beschleunigung des Ausbaus erneuerbarer Energien ergreifen und dabei sicherstellen, dass diese im Einklang mit den C2C-Prinzipien optimiert werden.

Eine nachhaltige Energieversorgung bildet eine zentrale Voraussetzung für die erfolgreiche Umsetzung des C2C-Konzepts (siehe Kapitel 6.2.1). Der Ausbau erneuerbarer Energien muss nicht nur schneller vorangetrieben, sondern auch technisch weiterentwickelt werden. Dazu gehört die Förderung des fachgerechten Recyclings von Energieerzeugungsanlagen, wodurch die Lebensdauer der Komponenten verlängert und Ressourcen geschont werden können. Ebenso relevant ist die Erforschung und Nutzung innovativer Materialien, um den Bedarf an kritischen Rohstoffen zu verringern (vgl. Hennicke & Fischedick 2007: 15; Beuthner 2022).

5 Förderung einer ressourcenschonenden Digitalisierung

Politik, Industrie und Wissenschaft sollten die Digitalisierung gezielt für die Transformation zu einer Circular Economy nutzen und dabei sicherstellen, dass ihr Energie- und Ressourcenverbrauch deutlich reduziert wird.

Digitale Technologien spielen eine zentrale Rolle bei der Umsetzung des C2C-Ansatzes, da sie die präzise Erfassung, Nachverfolgung und Weitergabe von Produkt- und Materialdaten ermöglichen. Diese Informationen erleichtern die Kreislaufführung von Rohstoffen, fördern zirkuläre Geschäftsmodelle und unterstützen Verbraucher:innen durch transparente Plattformen, die Vergleichsmöglichkeiten zwischen Produkten bieten und bewusste Kaufentscheidungen erleichtern (vgl. CEID 2021b: 10 & 101). Insbesondere digitale Produktpässe bieten dabei eine entscheidende Grundlage, um sektorübergreifende Kooperationen und innovative Geschäftsmodelle entlang der gesamten Wertschöpfungskette zu ermöglichen (vgl. Piétron, Hofmann & Jaeger-Erben 2023: 20).

Gleichzeitig birgt die Digitalisierung Herausforderungen, da sie erhebliche Mengen an Energie und kritische Rohstoffe (wie Seltene Erden) erfordert (siehe Kapitel 3.1). Um eine ressourcenschonende Digitalisierung zu gewährleisten, muss der Energie- und Ressourcenverbrauch zukunftsweisender Technologien drastisch reduziert werden (vgl. Hauff 2024: 150). Dies könnte zum Beispiel durch die Entwicklung energieeffizienter Hardware, den Einsatz erneuerbarer Energien in Datenzentren sowie die Lebensdauerverlängerung von Geräten (etwa durch dauerhaft verfügbaren Software-Updates, Reparierbarkeit und Recyclingfähigkeit) begünstigt werden (vgl. Wippich 2022).

Insgesamt sind die Schaffung geeigneter politischer Rahmenbedingungen und die Förderung praxisnaher Forschung unerlässlich, um die Potenziale der Digitalisierung zu nutzen und gleichzeitig ihre ökologischen Nachteile zu minimieren (vgl. Rat der EU 2020: 5 & 17).

6 Entwicklung harmonisierter Rahmenbedingungen

Politik und internationale Organisationen sollten harmonisierte Rahmenbedingungen schaffen, um die Grundlagen für eine effektive Circular Economy zu legen und gleichzeitig Innovationen sowie Chancengleichheit im globalen Wettbewerb zu fördern (vgl. EASAC 2015: 10; CEID 2021b: 101).

Eine kohärente Rahmengesetzgebung bildet die Basis für eine zirkuläre Produktpolitik und ist essentiell, um klare Standards für Prozesse und Produkte zu errichten. Diese Standards tragen dazu bei, die internationale Kompatibilität zu gewährleisten und den grenzüberschreitenden Handel zu erleichtern (vgl. EASAC 2015: 10). Gleichzeitig müssen die Regelwerke genügend Flexibilität aufweisen, um Raum für Innovationen und technologische Fortschritte zu lassen (vgl. CEID 2021a: 47).

7 Schaffung von ökonomischen Anreizen für zirkuläre Geschäftsmodelle

Die Politik (nationaler und international) sollte gezielt finanzielle Anreize setzen, um klimaschonende und ressourcenoptimale Wirtschaftsentscheidungen zu fördern. Das C2C-Konzept kann nur dann erfolgreich umgesetzt werden, wenn die wirtschaftspolitischen Rahmenbedingungen es nicht in seiner Entwicklung hindern (vgl. CEID 2021b: 100).

Neben direkten Fördermaßnahmen, wie der Finanzierung von Forschung und Pilotprojekten, ist auch die gezielte Unterstützung neuer Geschäftsmodelle (etwa Pfandsysteme und Reparaturdienste) erforderlich (vgl. CEID 2021a: 67). Außerdem sollten Preissysteme eingeführt werden, die ökologische und soziale Kosten vollständig internalisieren (vgl. EASAC 2015: 1). Produkte, die durch ihre Herstellung, Nutzung oder Entsorgung hohe externe Kosten oder Umweltschäden verursachen, dürfen nicht länger steuerlich begünstigt oder subventioniert werden. Stattdessen müssen Umwelt- und Gesundheitskosten konsequent in die Preisgestaltung einfließen, um kreislauffähige Alternativen wettbewerbsfähiger zu machen (vgl. Cradle to Cradle NGO 2024: 4).

Ein konkreter Ansatz zur Neuausrichtung der Steuerpolitik ist das Ex'Tax-Konzept. Dieses Modell sieht eine Verlagerung der Steuerlast von der Arbeitskraft auf die Nutzung natürlicher Ressourcen vor. Durch die Einführung von Umweltsteuern oder Abgaben auf nicht nachhaltige Produktionsmethoden können zusätzliche Anreize für die Anwendung zirkulärer Verfahren geschaffen werden (vgl. CEID 2021b: 100 f.).

8 Stärkung der globalen Kooperation

Politik, Wirtschaft und internationale Organisationen sollten die globale Zusammenarbeit stärken, um die Potenziale des C2C-Konzepts weltweit zu erschließen.

Zirkuläre Wirtschaftsstrategien werden bislang überwiegend in Ländern des globalen Nordens vorangetrieben, während ihre Möglichkeiten im globalen Süden weitgehend ungenutzt bleiben. Um der Circular Economy als globale Herausforderung gerecht zu werden, sollten zukünftig auch Vertreter:innen aus dem globalen Süden in strategische Diskussionen und Maßnahmen eingebunden werden (vgl. Hauff 2024: 71 & 147).

9 Förderung von Bildung und öffentlicher Sensibilisierung

Politik, Wirtschaft und Wissenschaft sollten verstärkt in die öffentliche Sensibilisierung und Bildung investieren, um das Bewusstsein für zirkuläre Ansätze zu schärfen und die notwendigen Kompetenzen für die Umsetzung des C2C-Konzepts aufzubauen (vgl. CEID 2021a: 14).

Ein breites gesellschaftliches Bewusstsein ist obligatorisch, damit zirkuläre Geschäftsmodelle Akzeptanz finden. Aufklärungskampagnen müssen gezielt die negativen Folgen der linearen Wirtschaftsweise und die Vorteile zirkulärer Ansätze verdeutlichen, um Verbraucher:innen zu einem bewussten Konsumverhalten zu motivieren (vgl. EASAC 2015: 11; Hauff 2024: 150). Diese Bemühungen müssen durch gezielte Bildungsprogramme ergänzt werden, die nicht nur Wissen vermitteln, sondern auch Kompetenzen aufbauen. Indem das C2C-Konzept verstärkt in schulische, universitäre und berufliche Curricula integriert wird, können sowohl Konsument:innen als auch

Fachkräfte frühzeitig auf die Anforderungen einer Circular Economy vorbereitet werden (vgl. CEID 2021a: 15 f.).

10 Partizipation und Mitgestaltung der Zivilgesellschaft ermöglichen

Politik, Industrie und Kommunen sollten durch gezielte Maßnahmen die aktive Beteiligung der Zivilgesellschaft an der Transformation zu einer Circular Economy fördern.

Dazu gehören die Bereitstellung von Reparaturinformationen, die Entwicklung niedrigschwelliger Angebote (zum Beispiel Reparaturcafés und Workshops) sowie die Einführung von Bildungsprogrammen, die unter anderem die Fähigkeiten in den Bereichen Reparatur und Upcycling stärken. Diese Maßnahmen befähigen die Verbraucher:innen dazu, als aktive Mitgestalter:innen (Prosument:innen[27]) einer zirkulären Wirtschaft zu agieren. Kommunen können dabei eine Schlüsselrolle übernehmen, indem sie lokale Initiativen unterstützen und Räume für Partizipation schaffen (vgl. CEID 2021b: 102).

Insgesamt ist festzuhalten, dass diese Handlungsempfehlungen nur in ihrer Wechselbeziehung und durch ein synergetisches Zusammenwirken ihre volle Wirksamkeit entfalten können. Für eine erfolgreiche Implementierung des C2C-Ansatzes ist daher ein kontinuierlicher, disziplinübergreifender Dialog unerlässlich.

27 Prosumer: Person, die gleichzeitig Produzent (Producer) und Konsument (Consumer) ist (vgl. SpringerGabler).

7. Schlussfolgerungen und weiterer Forschungsbedarf

Im Rahmen dieser Arbeit wurde das C2C-Konzept hinsichtlich seiner Potenziale und Herausforderungen untersucht, um dessen Beitrag zu einer nachhaltigen Entwicklung zu bewerten.

Die Analyse hat gezeigt, dass C2C einen ganzheitlichen Ansatz verfolgt, der ökologische, ökonomische und soziale Aspekte der Nachhaltigkeit gleichermaßen berücksichtigt. Der Übergang zu geschlossenen Stoffkreisläufen sowie der Einsatz erneuerbarer Energien fördern ein nachhaltiges Ressourcenmanagement und tragen dazu bei, Umweltzerstörung und Wirtschaftswachstum voneinander zu entkoppeln. Darüber hinaus beruht das Konzept auf den Prinzipien der Ökoeffektivität, die über eine bloße Reduktion von Umweltbelastungen hinausgehen und vielmehr darauf abzielen, positive ökologische Effekte zu erzielen.

Gleichzeitig wurde deutlich, dass die praktische Umsetzung des C2C-Modells mit vielfältigen Herausforderungen verbunden ist. Zu diesen zählen insbesondere die begrenzte Verfügbarkeit kreislauffähiger Materialalternativen (vor allem im Bereich kritischer Rohstoffe), der Mangel an standardisierten Verfahren sowie unzureichende politische Anreizsysteme. Hinzu kommen Defizite bei der Bereitstellung erneuerbarer Energien und bei der Entwicklung fortschrittlicher Recyclingtechnologien. Besonders in komplexen Branchen, wie zum Beispiel der Elektronikindustrie, gestaltet sich die vollständige C2C-Konformität bislang als äußerst anspruchsvoll.

Um diese Hindernisse zu überwinden, sind gezielte Maßnahmen erforderlich. Hierzu zählen die Stärkung von Wissensvernetzung und Bildungsinitiativen, die Einführung transparenter regulatorischer Rahmenbedingungen sowie die gezielte Förderung von Innovationen in den Bereichen regenerativer Energien und Recyclingtechnologien. Entscheidend ist zudem ein ganzheitlicher Ansatz, der politische Steuerung mit ökonomischen Anreizen und gesellschaftlicher Partizipation verbindet.

Angesichts der identifizierten Potenziale und Herausforderungen des C2C-Konzepts ergeben sich vielversprechende Ansatzpunkte für zukünftige Forschungsarbeiten. So könnten zum detaillierte Fallstudien von einzelnen Unternehmen, die versuchen, ihre Geschäftsmodelle auf Basis von C2C zu gestalten, wertvolle Erkenntnisse über die praktische Anwendbarkeit und Effektivität des Konzepts liefern. Ferner könnte erforscht werden, welchen zusätzlichen Beitrag das C2C-Konzept leisten kann, wenn es um Aspekte der Ökoeffizienz erweitert wird. Eine solche Kombination könnte sowohl den Ressourcenverbrauch verringern, als auch positive Umwelteffekte generieren und auf diese Weise eine Brücke zwischen den Prinzipien der Circular Economy und etablierten Ansätzen der Ressourcenschonung schlagen. Schließlich wäre es lohnenswert, die Rolle der Digitalisierung bei der erfolgreichen Implementierung von C2C intensiver zu beleuchten, beispielsweise durch die Analyse der Potenziale von digitalen Produktpässen, Blockchain-Lösungen oder datenbasierten Ansätzen.

Abschließend kann festgehalten werden, dass die Transformation von einer linearen zu einer zirkulären Wirtschaftsweise von zentraler Bedeutung ist und nicht weiter hinausgezögert werden darf. Konzepte wie C2C bieten eine vielversprechende Grundlage, um eine nachhaltige und zukunftsfähige Wirtschaftsweise zu realisieren. Die Umsetzung erfordert jedoch eine enge Zusammenarbeit zwischen Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft, um bestehende Hürden zu überwinden und nachhaltige Lösungen zu etablieren.

Um es mit den Worten von Albert Einstein zu sagen: „Probleme kann man niemals mit derselben Denkweise lösen, durch die sie entstanden sind.“ Die Herausforderungen der Gegenwart verlangen nach innovativen Ansätzen und einem grundlegenden Paradigmenwechsel, um die Vision einer nachhaltigen Zukunft erfolgreich zu verwirklichen.

Literaturverzeichnis

Abendroth, von Gregory; Dombrowsky, Martin; Hennings, Dana; Jähnig, Sonja; Lotz, Elisa Maria; Sobótka, Michal; Stock, Jonathan; Ulbig, Andreas; Wesner, Peter; Wittmann, Tobias (2008): *Gemacht für die Zukunft. Kreislaufwirtschaft in der Unternehmenspraxis*. Murmann Verlag GmbH, Hamburg.

Andersen, Arne (1999): *Der Traum vom guten Leben. Alltags- und Konsumgeschichten vom Wirtschaftswunder bis heute*. Campus Verlag, Frankfurt am Main und New York.

Arnold, Karin; Scholz, Alexander; Taubitz, Ansgar; Wilts, Henning (2022): *Unvermeidbare Emissionen aus der Abfallbehandlung – Optionen auf dem Weg zur Klimaneutralität*. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH, Wuppertal.

avocadostore (2024): Trigema – kompostierbares T-shirt. Verfügbar unter: https://www.avocadostore.de/products/38-kompostierbares-t-shirt-trigema (Zugriff: 08.09.2024).

Bakker, Conny; Wever, Renee et al. (2010): Designing Cradle to Cradle products: a reality check. *International Journal of Sustainable Engineering*, 3 (1), S. 2-8.

Baldé, Cornelis; Kühr, Rüdiger; Yamamoto, Tales; McDonald, Rosie; D'Angelo, Elena; Althaf, Shahana; Bel, Garam; Deubzer, Otmar; Fernandez-Cubilo, Elena; Forti, Vanessa; Gray, Vanessa; Herat, Sunil; Honda, Shunichi; Iattoni, Giulia; Khetriwal, Deepali; di Contemiglia, Vittoria Luda; Lobuntsova, Yuliya; Nnorom, Innocent; Pralat, Noémi; Wagner, Michelle (2024): *The Global E-waste Monitor 2024*. International Telecommunication Union (ITU) and United Nations Institute for Training and Research (UNITAR), Genf und Bonn.

Bang & Olufsen (2022): ESG & Sustainability Report 2021/22. Verfügbar unter: https://beoecomassets.azureedge.net/assets/sustainability/Sustainability%20report%20202122.pdf (Zugriff: 17.10.2024).

Bang & Olufsen (2024a): Der Beosound Level. Verfügbar unter: https://www.bang-olufsen.com/de/de/lautsprecher/beosound-level?variant=beosound-level-goldtone-lightoak (Zugriff: 17.10.2024).

Bang & Olufsen (2024b): Die Geschichte von Bang & Olufsen. Verfügbar unter: https://www.bang-olufsen.com/de/de/story/about-bang-and-olufsen
(Zugriff: 17.10.2024).

Bang & Olufsen (2024c): Annual Report 2023/24. Verfügbar unter: https://beoecommercestoragelive.blob.core.windows.net/assets/sustainability/Annual_report_2023-24.pdf (Zugriff: 17.10.2024).

Bang & Olufsen (2024d): Bang & Olufsen partners with Waldorf Astoria Residences New York on luxury residential experience. Verfügbar unter: https://bang-olufsen.presscloud.com/digitalshowroom/#/pressreleases/765442320939834
(Zugriff: 17.10.2024).

Bang & Olufsen (2024e): Future Innovators. Verfügbar unter: https://corporate.bang-olufsen.com/de/sustainability/furture-innovators (Zugriff: 17.10.2024).

Bang & Olufsen (2024f): Häufig gestellte Fragen zu Bang & Olufsen. Verfügbar unter: https://www.bang-olufsen.com/de/de/faq/about-bang-olufsen (Zugriff: 17.10.2024).

Baunach, Gabriel (2023): *Hoch die Hände Klimawende*. Edition Michael Fischer GmbH, Igling.

Becker, Joachim (2018): Cradle to Cradle als neue Philosophie der nachhaltigen Produktentwicklung. In: Scholz, Ulrich; Pastoors, Sven; Becker, Joachim; Hofmann, Daniela; van Dun, Rob: *Praxishandbuch Nachhaltige Produktentwicklung.* Springer-Verlag GmbH, Berlin und Heidelberg.

Beuthner, Max (2022): Wie nachhaltig sind erneuerbare Energien wirklich? Verfügbar unter:https://www.mdr.de/wissen/energiewende-erneuerbare-energien-solarenergiewindkraft-recycling-abriss-neubau100.html (Zugriff: 11.12.2024).

Bleischwitz Raimund; Bringezu, Stefan; Fischer, Susanne (2016): *Nachhaltiges Ressourcenmanagement.* Studienbrief Nr. 0820 des Fernstudiengangs „Nachhaltige Entwicklungszusammenarbeit“ der TU Kaiserslautern.

Blomsma, Fenna; Brennan, Geraldine (2017): The Emergence of Circular Economy. A New Framing Around Prolonging Resource Productivity. *Journal of Industrial Ecology*, 21 (3), S. 603-614.

BMUV – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (2024): Kreislaufwirtschaftsgesetz. Verfügbar unter: https://www.bmuv.-de/gesetz/kreislaufwirtschaftsgesetz (Zugriff: 11.09.2024).

BMZ – Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (2023a): Folgen des Klimawandels. Verfügbar unter: https://www.bmz.de/de/themen/klimawandel-und-entwicklung/folgen-des-klimawandels-124774 (Zugriff: 30.09.2024).

BMZ – Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (2023b): Meeresmüll – ein globales Problem. Verfügbar unter: https://www.bmz.de/de/themen/kreislaufwirtschaft/meeresmuell-18464 (Zugriff: 30.09.2024).

BMZ – Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (2024a): Agenda 2030 – Die globalen Ziele für nachhaltige Entwicklung. Verfügbar unter: https://www.bmz.de/de/agenda-2030 (Zugriff: 28.10.2024).

BMZ – Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (2024b): Globalisierung gerecht gestalten – Lieferketten. Verfügbar unter: https://www.bmz.de/de/themen/lieferketten (Zugriff: 05.11.2024).

Braungart, Michael (2007): Die nächste Industrielle Revolution – „Cradle to Cradle“. In: Girardet, Herbert: *Zukunft ist möglich. Wege aus dem Klima-Chaos*. Europäische Verlagsanstalt, Hamburg.

Braungart, Michael; McDonough, William (1992): *The Hannover Principles. Design for Sustainability*. William McDonough & Partners, Charlottesville, USA.

Braungart, Michael; McDonough, William (2008): *Die nächste industrielle Revolution. Die Cradle to Cradle-Community.* CEP Europäische Verlagsanstalt, Leipzig.

Braungart, Michael; McDonough, William (2013): *Intelligente Verschwendung. The Upcycle: Auf dem Weg in eine neue Überflussgesellschaft.* Oekom Verlag, München.

Braungart, Michael; McDonough, William (2020): *Cradle to Cradle. Einfach intelligent produzieren.* Piper Verlag GmbH, München.

Braungart, Michael; McDonough, William; Bollinger, Andrew (2007): Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions - a strategy for eco-effective product and system design. *Journal of cleaner production*, 15, S. 1337-1348.

Bredenfeld, Andreas (2023): Begehrtes Kobalt. *Edition Le Monde diplomatique*, 34, S. 50-53.

Bringezu, Stefan; Bleischwitz, Raimund (2017): *Sustainable Resource Management*. Routledge, New York, USA.

Bundesverband Industrie Kommunikation e.V.: Industrie 4.0. Verfügbar unter: https://bvik.org/b2b-glossar/industrie-4-0/ (Zugriff: 19.10.2024).

BUND; Misereor (1996): *Zukunftsfähiges Deutschland*. Springer Basel AG, Basel.

Cassier, Philip (2023): Warum sein berühmtestes Modell für Henry Ford fast zum Untergang wurde. Verfügbar unter: https://www.welt.de/geschichte/article247675994/Henry-Ford-Wie-sein-Model-T-die-Welt-veraenderte.html (Zugriff: 15.08.2024).

Castelier, Sebastian (2023): Langer Abschied vom Ölstaat. *Edition Le Monde diplomatique*, 34, S. 8-11.

CEID – Circular Economy Initiative Deutschland (2021a): *Circular Economy Roadmap für Deutschland*. Acatech/ SYSTEMIQ, München und London.

CEID – Circular Economy Initiative Deutschland (2021b): *Zirkuläre Geschäftsmodelle: Barrieren überwinden, Potenziale freisetzen*. Acatech/ SYSTEMIQ, München und London.

Circle Economy (2022): *The Circularity Gap Report 2022*. Circle Economy, Amsterdam, Niederlande.

Cradle to Cradle NGO (2024): *Cradle to Cradle als Transformationshebel für eine zielgerichtete Nachhaltigkeitsstrategie*. Cradle to Cradle NGO, Berlin.

Cradle to Cradle Products Innovation Institute (2024a): Cradle to Cradle Certified® Product Standard, Version 4.1. Verfügbar unter: https://api.c2ccertified.org/assets/c2cc-v4.1-standard_final_071524.pdf (Zugriff: 18.07.2024).

Cradle to Cradle Products Innovation Institute (2024b): Assessors. Verfügbar unter: https://c2ccertified.org/our-community/assessors (Zugriff: 18.07.2024).

Cradle to Cradle Products Innovation Institute (2024c): Fees Schedule. Verfügbar unter:https://api.c2ccertified.org/assets/c2c-certified-fees-effective-1-may-2024.pdf (Zugriff: 19.07.2024).

Cradle to Cradle Products Innovation Institute (2024d): Get Certified. Verfügbar unter: https://c2ccertified.org/get-certified (Zugriff: 18.07.2024).

Cradle to Cradle Products Innovation Institute (2024e): Certified Products. Verfügbar unter: https://c2ccertified.org/certified-products?certified_products_by_date_asc%5Btoggle%5D%5Bcradle_to_cradle_certified%5D=true (Zugriff: 01.09.2024).

Cradle to Cradle Products Innovation Institute (2024f): Certified Products. Verfügbar unter: https://c2ccertified.org/certified-products?certified_products_by_date_asc%5Btoggle%5D%5Bcradle_to_cradle_certified%5D=true&certified_products_by_date_asc%5BrefinementList%5D%5Btopic.title%5D%5B0%5D=Built%20Environment%20and%20Furnishings (Zugriff: 01.09.2024).

Cradle to Cradle Products Innovation Institute (2024g): Certified Products. Verfügbar unter: https://c2ccertified.org/certified-products?certified_products_by_date_asc%5Btoggle%5D%5Bcradle_to_cradle_certified%5D=true&certified_products_by_date_asc%5BrefinementList%5D%5Btopic.title%5D%5B0%5D=Textiles%20Apparel%20and%20Footwear (Zugriff: 01.09.2024).

Cradle to Cradle Products Innovation Institute (2024h): Certified Products. Verfügbar unter: https://c2ccertified.org/certified-products?certified_products_by_date_asc%5Btoggle%5D%5Bcradle_to_cradle_certified%5D=true&certified_products_by_date_asc%5BrefinementList%5D%5Btopic.title%5D%5B0%5D=Consumer%20Products (Zugriff: 01.09.2024).

Cradle to Cradle Products Innovation Institute (2024i): Certified Products. Verfügbar unter: https://c2ccertified.org/certified-products?certified_products_by_date_asc%5Btoggle%5D%5Bcradle_to_cradle_certified%5D=true&certified_products_by_date_asc%5BrefinementList%5D%5Btopic.title%5D%5B0%5D=Electronics (Zugriff: 01.09.2024).

Cradle to Cradle Products Innovation Institute (2024j): Beosound Level. Verfügbar unter: https://c2ccertified.org/certified-products/beosound-level (Zugriff: 17.10.2024).

D'Aprile, Dorothee; Farah, Jakob; Lerch, Anna (2023): Die große Vernutzung. *Edition Le Monde diplomatique*, 34, S. 3.

Deutsches Museum: Spinnmaschine „Spinning Jenny". Verfügbar unter: https://digital.-deutsches-museum.de/de/digital-catalogue/collection-object/25202/ (Zugriff: 15.08.2024).

Deutschlandfunk (2023): Studie zu planetaren Grenzen: Die Menschheit ruiniert ihre Lebensgrundlage. Verfügbar unter: https://www.deutschlandfunk.de/studie-planetare-grenzen-ueberschritten-lebensgrundlage-mensch-100.html (Zugriff: 26.08.2024).

dopper (2023): Impact Report 2023. Verfügbar unter: https://landing.dopper.com/hubfs/Website%20-%20%20Documents/Website%20-%20Impact%20Report/Dopper%20Annual%20Impact%20Report%20-%202023.pdf?_gl=1*16nnxkd*_gcl_au*MTA4MjAwNDY1Mi4xNzI4NDk5MTYxLjU3ODI0NDE-wOS4xNzI4NTAxNDYxLjE3Mjg1MDE4NzM.*_ga*MTY1MTY4OTQ2MC4xN-zI4NDk5MTU4*_ga_CCQ8WWERJQ*MTcyODc3MzE0OC42LjEuMTcyODc3N-DEyMy4yNy4wLjA.*_ga_0V1Y1TFY71*MTcyODc3MzE0OC42LjEuMTcyODc3N-DEyMy4yNy4wLjA. (Zugriff: 11.10.2024).

dopper (2024a): Mission. Verfügbar unter: https://www.dopper.com/mission/story (Zugriff: 11.10.2024).

dopper (2024b): Schluss mit verpacktem Wasser. Nachhaltig. Verfügbar unter: https://www.dopper.com/de/mission/sustainability#dpp (Zugriff: 11.10.2024).

dopper (2024c): Dopper is a carbon neutral company. What does that mean? Verfügbar unter: https://help.dopper.com/en/dopper-is-a-carbon-neutral-company-what-does-that-mean?_gl=1*iwd0g2*_gcl_au*MTA4MjAwNDY1Mi4xNzI4NDk5MTYxLjU3ODI0N-DEwOS4xNzI4NTAxNDYxLjE3Mjg1MDE4NzM.*_ga*MTY1MTY4OTQ2MC4xN-zI4NDk5MTU4*_ga_CCQ8WWERJQ*MTcyODQ5OTE1OC4xLjEuMTcyODU-wMjEyMi40OC4wLjA.*_ga_0V1Y1TFY71*MTcyODQ5OTE1OC4xLjEuMTcyODU-wMjEyMi40Ny4wLjA. (Zugriff: 11.10.2024).

dopper (2024d): Wanna join the Dopper team? Verfügbar unter: https://jobs.dop-per.com/?
_gl=1*plm6uj*_gcl_au*MTA4MjAwNDY1Mi4xNzI4NDk5MTYx*_ga*MTY1MTY-4OTQ2MC4xNzI4NDk5MTU4*_ga_CCQ8WWERJQ*MTcyODQ5OTE1OC4xL-jEuMTcyODUwMTI0MC4xMi4wLjA.*_ga_0V1Y1TFY71*MTcyODQ5OTE1OC4xL-jEuMTcyODUwMTIwNy40NS4wLjA. (Zugriff: 11.10.2024).

dopper (2024e): Produkt-Pass. Verfügbar unter: https://landing.dopper.com/hubfs/Web-site%20-%20Digital%20Product%20Passport/Digital%20Product%20Passport%20-%20Dopper%20Bottle%20Original%20-%20Website/Dopper%20-%20Product %20Passport%20-%20Original%20450%20ml%20-%20800x1280px%20-%20DE.pdf?
_gl=1*wzcc0r*_ga*MTY1MTY4OTQ2MC4xNzI4NDk5MTU4*_ga_0V1Y1TFY71*
MTcyODQ5OTE1OC4xLjEuMTcyODUwMDY4Ni42MC4wLjA.*_gcl_au*MTA4MjA
wNDY1Mi4xNzI4NDk5MTYx*_ga_CCQ8WWERJQ*MTcyODQ5OTE1OC4xL-jEuMTcyODUwMDY4Ni42MC4wLjA. (Zugriff: 11.10.2024).

dopper (2024f): Is my Dopper bottle made from safe materials? Verfügbar unter: https://help.dopper.com/en/is-my-dopper-bottle-made-from-safe-materials
(Zugriff: 11.10.2024).

dopper (2024g): How much energy and water is needed to produce a Dopper Original bottle? Verfügbar unter: https://help.dopper.com/en/how-much-energy-and-water-is-nee-ded-to-produce-a-dopper-original-bottle (Zugriff: 11.10.2024).

Drabe, Viktoria (2022): *Innovating in a Circular Economy - Exploring the Case of Cr-adle to Cradle Implementation.* Nomos Verlagsgesellschaft, Baden-Baden.

Earth Overshoot Day (2024a): Past Earth Overshoot Days. Verfügbar unter: https://overshoot.footprintnetwork.org/newsroom/past-earth-overshoot-days/
(Zugriff: 17.09.2024).

Earth Overshoot Day (2024b): Country Overshoot Days 2024. Verfügbar unter: https://overshoot.footprintnetwork.org/newsroom/country-overshoot-days/
(Zugriff: 17.09.2024).

Earth Overshoot Day (2024c): Earth Overshoot Day 2024 falls on August 1st. Verfügbar unter: https://overshoot.footprintnetwork.org/newsroom/press-release-2024-english/ (Zugriff: 17.09.2024).

EASAC – European Academies' Science Advisory Council (2015): Circular economy: a commentary from the perspectives of the natural and social sciences. Verfügbar unter: https://easac.eu/fileadmin/PDF_s/reports_statements/EASAC_Circular_Economy_Web.pdf. (Zugriff: 20.11.2024)

Ellen MacArthur Foundation (2012): *Towards a Circular Economy: Economic and business rationale for an accelerated transition.* Ellen MacArthur Foundation.

Ellen MacArthur Foundation (2015): *Towards a Circular Economy: Economic and business rationale for an accelerated transition.* Ellen MacArthur Foundation.

EPEA: Cradle to Cradle Mindset. Verfügbar unter: https://www.epea.com/ueber-uns/cradle-to-cradle (Zugriff: 27.07.2024).

Europäische Kommission (2018): *Impacts of circular economy policies on the labour market*. European Commission, Brüssel, Belgien.

Europäisches Parlament (2020): Umweltauswirkungen von Textilproduktion und -abfällen. Verfügbar unter: https://www.europarl.europa.eu/topics/de/article/20201208STO93327/umweltauswirkungen-von-textilproduktion-und-abfallen-infografik (Zugriff: 28.10.2024).

Feld, Thomas; Hoffmann, Michael; Schmidt, Ralf (2013): Industrie 4.0 – Vom intelligenten Produkt zur intelligenten Produktion. In: Scheer, August-Wilhelm: *Industrie 4.0 – Wie sehen Produktionsprozesse im Jahr 2020 aus*? IMC AG, Saarbrücken.

Gäth, Stefan; Meißner, Simon (2013): Ressourcenschonung durch innovative Recycling- und Kreislaufkonzepte. In: Reller, Armin; Marschall, Luitgard; Meißner, Simon; Schmidt, Claudia: *Ressourcenstrategien. Eine Einführung in den nachhaltigen Umgang mit Ressourcen*. Wissenschaftliche Buchgesellschaft (WBG), Darmstadt.

Giljum, Stefan; Hinterberger, Friedrich; Bruckner, Martin; Burger, Eva; Frühmann, Johannes; Lutter, Stephan; Pirgmaier, Elke; Polzin, Christine; Waxwender, Hannes; Kernegger, Lisa; Warhurst, Michael (2009): *Ohne Mass und Ziel? Über unseren Umgang mit den natürlichen Ressourcen der Erde.* GLOBAL 2000, Wien, Österreich.

Glaubrecht, Matthias (2023): *Das Ende der Evolution. Wie die Vernichtung der Arten unser Überleben bedroht.* Penguin Verlag, München.

Gözet, Burcu; Wilts, Henning (2022): Kreislaufwirtschaft als Baustein nachhaltiger Entwicklung. In: Meyer, Christiane: *Transforming our World – Zukunftsdiskurse zur Umsetzung der UN-Agenda 2030.* Transcript Verlag, Bielefeld.

Goldbecker, Birgit; Gomez, Isabell; Griefahn, Nora Sophie; Janßen, Tim; Lohmann, Gesche (2023): *Kreis statt Krise*. Cradle to Cradle NGO, Berlin.

Hänggi, Marcel (2011): *Ausgepowert. Das Ende des Ölzeitalters als Chance*. Rotpunktverlag, Zürich, Schweiz.

Häusler, Martin; Hirschhausen, von Eckart (2023): *Als ich mich auf den Weg machte, die Erde zu retten*. Scorpio in der Europa Verlage GmbH, München.

Hauff, von Michael (2024): *Grundwissen Circular Economy*. UVK Verlag, München.

Hauff, von Michael (2021): *Nachhaltige Entwicklung*. Walter de Gruyter GmbH, Berlin und Boston.

Hauff, von Michael (2019): *Nachhaltigkeit in der Entwicklungszusammenarbeit.* Studienbrief Nr. 0110 des Fernstudiengangs „Nachhaltige Entwicklungszusammenarbeit“ der TU Kaiserslautern.

Hennicke, Peter; Fischedick, Manfred (2007): *Erneuerbare Energien.* Verlag C. H. Beck oHG, München.

Hille, John (1997): *The Concept of Environmental Space.* European Environment Agency, Kopenhagen, Dänemark.

Hochwarth, Dominik (2024): Von Newcomen bis Watt: Wie die Dampfmaschine die Welt veränderte. Verfügbar unter: https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/rekorde/von-newcomen-bis-watt-wie-die-dampfmaschine-die-welt-veraenderte/
(Zugriff: 15.08.2024).

JAB ANSTOETZ Group (2023): *Nachhaltigkeitsbericht der JAB JOSEF ANSTOETZ KG 2023*. JAB ANSTOETZ Group, Bielefeld.

JAB ANSTOETZ Group (2023a): Standorte. Verfügbar unter: https://www.jab.de/de/de/content/jab-anstoetz-group-company-locations (Zugriff: 09.10.2024).

JAB ANSTOETZ Group (2023b): Lieferkette und Menschenrechte. Verfügbar unter: https://www.jab.de/de/de/content/jab-anstoetz-group-nachhaltigkeit-lieferkette-und-menschenrechte (Zugriff: 09.10.2024).

JAB ANSTOETZ Group (2023c): Soziales Engagement. Verfügbar unter: https://www.jab.de/de/de/content/jab-anstoetz-group-nachhaltigkeit-soziales-engagement (Zugriff: 09.10.2024).

JAB ANSTOETZ Group (2023d): Produkte. Verfügbar unter: https://climatex.jab.de/de/de/content/climatex-products (Zugriff: 09.10.2024).

JAB ANSTOETZ Group (2023e): Cradle to Cradle. Verfügbar unter: https://climatex.jab.de/de/de/content/climatex-cradle-to-cradle (Zugriff: 09.10.2024).

JAB ANSTOETZ Group (2023f): Technologie. Verfügbar unter: https://climatex.jab.-de/de/de/content/climatex-technology (Zugriff: 09.10.2024).

JAB ANSTOETZ Group (2023g): Vorteile. Verfügbar unter: https://climatex.jab.de/de/de/content/climatex-advantages (Zugriff: 09.10.2024).

Jensen, Anette (2023): Freiheit von Müll. *Edition Le Monde diplomatique*, 34, S. 34-39.

Kagermann, Henning (2013): Produkt-Service Pakete und individuelle Fertigung. In: Scheer, August-Wilhelm: *Industrie 4.0 – Wie sehen Produktionsprozesse im Jahr 2020 aus?* IMC AG, Saarbrücken.

Kaiser, Claudia (2000): Konzeption und regionale Auswirkungen der universellen Weltausstellung EXPO 2000. Verfügbar unter: https://www.bpb.de/shop/zeitschriften/apuz/25583/konzeption-und-regionale-auswirkungen-der-universellen-weltausstellung-expo-2000/ (Zugriff: 01.08.2024).

K.D. Feddersen (2024): Circulen. Verfügbar unter: https://kdfeddersen.com/de/produkte/hersteller/lyondellbasell/circulen (Zugriff: 11.10.2024).

Kleikamp, Antonia (2022): 12.000 Tote – London im Würgegriff von „The Great Smog“. Verfügbar unter: https://www.welt.de/geschichte/article242460753/Umweltkatastrophe-London-im-Great-Smog.html (Zugriff: 30.09.2024).

Kosmos (2023): *Welt – Almanach & Atlas 2024*. Franckh-Kosmos Verlags-GmbH & Co. KG, Stuttgart.

Kraiburg (2024): Globaler Hersteller für thermoplastische Elastomere. Verfügbar unter: https://www.kraiburg-tpe.com/de (Zugriff: 11.10.2024).

Kranert, Martin (2018): *Einführung in die Kreislaufwirtschaft.* Springer Vieweg, Wiesbaden.

Kulczycki, Paulina (2021): Textilwissen: Was ist Piqué? Verfügbar unter: https://sanvt.com/de/blogs/journal/what-is-pique-knit-fabric?srsltid=AfmBOor_-Dulm3FG-TZpPf-vIcu6aWfiLPejtyWvj2M170YErRwNiHBAF (Zugriff: 08.09.2024).

Landesverband Industriekultur Sachsen: Konrad Ernst Otto Zuse. Verfügbar unter: https://www.iku-sachsen.de/informieren/wissensportal/persoenlichkeiten/details/zuse/ (Zugriff: 15.08.2024).

Langer, Sarah (2024): Globale Müllberge: 7 der größten Deponien der Welt. Verfügbar unter: https://www.nationalgeographic.de/umwelt/2024/04/globale-muellberge-7-der-groessten-deponien-der-welt (Zugriff: 01.10.2024).

Lin, David; Wackernagel, Mathis (2024): Estimating the Date of Earth Overshoot Day 2024. Verfügbar unter: https://overshoot.footprintnetwork.org/content/uploads/2024/06/2024-Nowcast-explained.pdf (Zugriff: 17.09.2024).

Llorach-Massana, Pere; Farreny, Ramon; Oliver-Solà (2015): Are Cradle to Cradle certified products environmentally preferable? Analysis from an LCA approach. *Journal of Cleaner Production*, 93, S. 243-250.

Marschall, Luitgard; Meißner, Simon; Schmidt, Claudia (2013): Bis zur Erschöpfung – Zur Geschichte der Ausbeutung natürlicher Ressourcen. In: Reller, Armin; Marschall, Luitgard; Meißner, Simon; Schmidt, Claudia : *Ressourcenstrategien. Eine Einführung in den nachhaltigen Umgang mit Ressourcen*. Wissenschaftliche Buchgesellschaft (WBG), Darmstadt.

Max-Planck-Gesellschaft: Ada Lovelace und das erste Computerprogramm der Welt. Verfügbar unter: https://www.mpg.de/frauen-in-der-forschung/ada-lovelace (Zugriff: 15.08.2024).

McNeill, John R. (2003): *Blue Planet. Die Geschichte der Umwelt im 20. Jahrhundert.* Campus Verlag GmbH, Frankfurt am Main.

mdr – Mitteldeutscher Rundfunk (2022): Mülldeponien stoßen mehr Methan aus als bisher gedacht. Verfügbar unter: https://www.mdr.de/wissen/muelldeponien-geben-viel-mehr-methan-an-die-atmosphaere-ab-als-gedacht-100.html (Zugriff: 30.09.2024).

Michelsen, Gerd (2012): *Studienbrief – Grundlagen einer nachhaltigen Entwicklung.* Leuphana Universität, Lüneburg.

Multhaupt, Philipp (2021): So lange braucht Abfall, um zu verrotten. Verfügbar unter: https://utopia.de/ratgeber/so-lange-braucht-abfall-um-zu-verrotten_218759/ (Zugriff: 01.10.2024).

Musenbrock, Paul (2024): Einleitung und Hintergrund. In: Braungart, Michael; Musenbrock, Paul; Herstatt, Cornelius; Zeller, Johanna; Schneider, Matthias; Damberg, Svenja; Glaser, Jürgen; Wulf, Adrian; Weinand, Daniela; Hoveida, Janna; Masemann, Inga; Gilcher, Hanna; Servatius, Nicole; Roux, Juliane; Dammann, Amrei; Tröbis, Ole: *Masterplan für die Cradle to Cradle-Modellregion Nordostniedersachsen.* Landkreis Lüchow-Dannenberg, Lüchow.

OECD (2019): *Global Material Resources Outlook to 2060: Economic Drivers and Environmental Consequences.* OECD Publishing, Paris, Frankreich.

Oehlmann, Claas (2017): *Vom Abfall als Problem zum Abfall als Ressource*. Nomos Verlagsgesellschaft, Baden-Baden.

Pastoors, Sven (2018): Einleitung. In: Scholz, Ulrich; Pastoors, Sven; Becker, Joachim; Hofmann, Daniela; van Dun, Rob: *Praxishandbuch Nachhaltige Produktentwicklung.* Springer-Verlag GmbH, Berlin.

Pastoors, Sven; Scholz, Ulrich (2018): Methoden zum Messen der Nachhaltigkeit von Produkten. In: Scholz, Ulrich; Pastoors, Sven; Becker, Joachim; Hofmann, Daniela; van Dun, Rob: *Praxishandbuch Nachhaltige Produktentwicklung.* Springer-Verlag GmbH, Berlin.

Pereira, Kiran (2018): Millionen Jahre für ein Körnchen Sand. *Edition Le Monde diplomatique*, 34, S. 105-107.

Petrischak, Hannes (2021): *Das System Erde – Ein Appell für den Erhalt unserer natürlichen Lebensgrundlage*. Hessische Landeszentrale für politische Bildung (HLZ), Wiesbaden.

Pichler, Melanie; Thalhammer, Martin (2022): Sozialer Metabolismus. In: Gottschlich, Daniela; Hackfort, Sarah; Schmitt, Tobias; Winterfeld, von Uta: *Handbuch Politische Ökologie*, transcript Verlag, Bielefeld.

Piétron, Dominik; Hofmann, Florian; Jaeger-Erben, Melanie (2023): *Die digitale Circular Economy*. Friedrich-Ebert-Stiftung, Berlin.

PIK – Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung: Planetare Grenzen – Ein sicherer Handlungsraum für die Menschheit. Verfügbar unter: https://www.pik-potsdam.de/de/produkte/infothek/planetare-grenzen/planetare-grenzen (Zugriff: 27.08.2024).

Prox, Martina (2022): Circular Economy. In: Schwager, Bernhard: *CSR und Nachhaltigkeitsstandards.* Springer-Verlag GmbH, Berlin.

Rat der Europäischen Union (2020): Digitalisierung zum Wohle der Umwelt: Schlussfolgerungen des Rates. Verfügbar unter: https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-14169-2020-INIT/de/pdf (Zugriff: 11.12.2024).

Reller, Armin; Marschall, Luitgard; Meißner, Simon; Schmidt, Claudia (2013): *Ressourcenstrategien. Eine Einführung in den nachhaltigen Umgang mit Ressourcen*. Wissenschaftliche Buchgesellschaft (WBG), Darmstadt.

Rockström, Johan et al. (2009): A safe operating space for humanity. *Nature*, 461, S. 472-475.

Röderer, Kathrin; Zanini-Freitag, Daniela (2023): *Von Fast Fashion zu zirkulärer Fashion*. Umweltbundesamt GmbH, Wien, Österreich.

Santarius, Tilman (2012): *Der Rebound-Effekt: Über die unerwünschten Folgen der erwünschten Energieeffizienz.* Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, Wuppertal.

SAP: Industrie-4.0-Lösungen. Verfügbar unter: https://www.sap.com/germany/products/scm/industry-4-0.html#intelligent-products (Zugriff: 17.08.2024).

Scheer, August-Wilhelm (2013): *Industrie 4.0 – Wie sehen Produktionsprozesse im Jahr 2020 aus?* IMC AG, Saarbrücken.

Scheer, Hermann (2007): Erneuerbare Energie ist die Zukunft. In: Girardet, Herbert: *Zukunft ist möglich. Wege aus dem Klima-Chaos*. Europäische Verlagsanstalt, Hamburg.

Schlick, Jochen; Stephan, Peter; Zühlke, Detlef (2013): Produktion 2020. Auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution. In: Scheer, August-Wilhelm: *Industrie 4.0 – Wie sehen Produktionsprozesse im Jahr 2020 aus?* IMC AG, Saarbrücken.

Schmidheiny, Stephan (1992): *Kurswechsel - Globale unternehmerische Perspektiven für Entwicklung und Umwelt.* Artemis Verlags GmbH, München.

Schmitt, Julia; Hansen, Erik (2022): *Cradle-to-Cradle-Innovationsprozesse gestalten: Erfolgreiche Produktentwicklung in der Circular Economy*. Johannes Kepler Universität, Linz, Österreich.

Simonis, Udo (1993): Industrieller Metabolismus. In: *Ökologisches Wirtschaften – Fachzeitschrift*, 8, S. 3-4.

Spektrum: Lexikon der Geowissenschaften – Holozän. Verfügbar unter: https://www.-spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/holozaen/7053 (Zugriff: 27.08.2024).

Statistisches Bundesamt (2024): Weltbevölkerung 2024: Mehr als acht Milliarden Menschen auf der Erde. Verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/Themen/Laender-Regionen/Internationales/Thema/bevoelkerung-arbeit-soziales/bevoelkerung/Weltbevoelkerung.html#:~:text=Internationales%20Weltbev%C3%B6lkerung%202024%3A%20Mehr%20als%20acht%20Milliarden%20Menschen%20auf%20der%20Erde&text=Nach%20Berechnungen%20der%20Vereinten%20Nationen,Mitte%20der%20siebziger%20Jahre%20verdoppelt. (Zugriff: 24.09.2024).

Trigema (2024a): Das Unternehmen Trigema – Über uns. Verfügbar unter: https://www.trigema.de/unternehmen/ueber-uns/ (Zugriff: 08.09.2024).

Trigema (2024b): Nachhaltigkeit bei Trigema – Umwelt & Ressourcen. Verfügbar unter: https://www.trigema.de/unternehmen/nachhaltigkeit/umwelt-ressourcen/

(Zugriff: 08.09.2024).

Trigema (2024c): Die TRIGEMA Geschichte. Verfügbar unter: https://www.trigema.de/unternehmen/ueber-uns/geschichte/ (Zugriff: 08.09.2024).

Trigema (2024d): Karriere bei Trigema – unsere Benefits. Verfügbar unter: https://www.trigema.de/unternehmen/karriere/benefits/ (Zugriff: 08.09.2024).

Trigema (2024e): C2C-Produkte. Verfügbar unter: https://www.trigema.de/index.php?cl=search&searchparam=C2C (Zugriff: 08.09.2024).

Umweltbundesamt (2022): *Die Nutzung natürlicher Ressourcen – Ressourcenbericht für Deutschland 2022.* Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.

Umweltbundesamt (2024a): Treibhausgas-Emissionen in Deutschland. URL: https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland#emissionsentwicklung (Zugriff: 28.10.2024).

Umweltbundesamt (2024b): Meere unter Druck – Ozeanversauerung durch CO_2. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/meere/nutzung-belastungen/meere-unter-druck-ozeanversauerung-durch-co2#ozeane-kohlenstoffdioxid-speicher- (Zugriff: 28.10.2024).

Umweltbundesamt (2024c): Eutrophierung. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/gewaesser/meere/nutzung-belastungen/eutrophierung#eutrophierung-was-bedeutet-das (Zugriff: 18.12.2024).

WBCSD: Our History. Verfügbar unter: https://www.wbcsd.org/who-we-are/our-history/ (Zugriff: 05.08.2024).

Weterings, Rob (1997): Dauerhaftigkeitsindikatoren und die Vorstellung des Umweltnutzungsraumes. In: Gesellschaft für UmweltGeowissenschaften (1997): *Umweltqualitätsziele*. Springer-Verlag, Berlin und Heidelberg.

WFP – World Food Programme (2017): 10 Fakten über Klimawandel und Hunger. Verfügbar unter: https://de.wfp.org/stories/10-fakten-ueber-klimawandel-und-hunger (Zugriff: 05.11.2024).

Wille, Joachim (2021): Auch Sonnenstrom braucht Ressourcen. Verfügbar unter: https://www.klimareporter.de/strom/auch-sonnenstrom-braucht-ressourcen (Zugriff: 12.12.2024).

Wilts, Henning (2017): *Key Challenges for Transformations Towards a Circular Economy – The Status Quo in Germany*. In: *International Journal of Waste Resources*, 7.

Wippich, Katrin (2022): IT-Hardware – ressourcenschonend und fair? *forum Nachhaltig Wirtschaften*, 02/2022.

Wuppertal Institut (2001): Mehr durch immer weniger - das Prinzip Öko-Effizienz hat die Wirtschaft erreicht. Verfügbar unter: https://wupperinst.org/a/wi/a/s/ad/211 (Zugriff: 02.08.2024).

WWF: Das „Modell Deutschland Circular Economy“. Verfügbar unter: https://www.wwf.de/nachhaltiges-wirtschaften/circular-economy/modell-deutschland-circular-economy#:~:text=Die%20Circular%20Economy%20ist%20eine,in%20der%20Gemeinschaft%20mit%20sich. (Zugriff: 05.11.2024).

ZDF (2023a): Lieferketten: EU will Menschenrechte stärken. Verfügbar unter: https://www.zdf.de/nachrichten/politik/ausland/eu-einigung-lieferkettengesetz-100.html (Zugriff 05.11.2024).

ZDF (2023b): 50 Millionen Menschen in moderner Sklaverei. Verfügbar unter: https://www.zdf.de/nachrichten/panorama/moderne-sklaverei-ausbeutung-studie-anstieg-100.html (Zugriff: 05.11.2024).

Eigenständigkeitserklärung

Ich versichere, dass ich diese Masterarbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Mannheim, 30.12.2024	Elif Kösen
Ort, Datum	Unterschrift