

Lilian Nora Pötsch

Der Einsatz künstlicher Intelligenz bei der Beschleunigung
der Umstellung auf eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft in
kleinen und mittleren Unternehmen in Deutschland



Global Management Compact
Band 06

Schriftenreihe
des Internationalen Studiengangs Global Management B.A.
an der Hochschule Bremen
Herausgeberin: Mechthild Schrooten - Studiengangsleitung

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	IV
Abkürzungsverzeichnis	V
Zusammenfassung.....	VI
1. Einleitung	- 1 -
1.1. Ausgangssituation und Problemstellung.....	- 1 -
1.2. Forschungsfragen und Zielsetzung.....	- 4 -
1.3. Aufbau der Arbeit und Forschungsdesign.....	- 5 -
2. Theoretische Grundlagen	- 7 -
2.1. Nachhaltige Kreislaufwirtschaft.....	- 7 -
2.2. Die Technologie der künstlichen Intelligenz.....	- 11 -
2.3. Kleine und mittlere Unternehmen in Deutschland.....	- 14 -
2.3.1. Umstellung auf die Kreislaufwirtschaft im Mittelstand	- 15 -
2.3.2. Implementierung von künstlicher Intelligenz im Mittelstand	- 17 -
2.4. Kapitelzusammenfassung.....	- 19 -
3. Literaturüberblick zum aktuellen Forschungsstand des Einsatzes künstlicher Intelligenz in der Kreislaufwirtschaft.....	- 20 -
3.1. Vorgehensweise	- 20 -
3.2. Anwendungsbereiche der Technologie in der Kreislaufwirtschaft	- 20 -
3.2.1. Produktdesign und Entwicklung	- 21 -
3.2.2. Kreislaufinfrastrukturoptimierung.....	- 24 -
3.2.2.1. Abfallwirtschaft, Recycling und Ressourcenmanagement.....	- 25 -
3.2.2.2. Lieferkettenoptimierung	- 27 -
3.2.3. Geschäftsmodelloptimierung.....	- 29 -

3.3. Kapitelzusammenfassung und Hypothesen.....	- 30 -
4. Zukunftsforschung: Strategic Foresight.....	- 32 -
4.1. Strategic Foresight – Einführung	- 32 -
4.2. Forschungsdesign und Methodenwahl	- 32 -
4.3. Forecasting Funnel	- 33 -
4.3.1. Umsetzung der Methode des Future Today Institute	- 33 -
4.3.1.1. Einrahmen	- 34 -
4.3.1.2. Entdecken.....	- 35 -
4.3.1.3. Analysieren	- 37 -
4.3.1.4. Klären	- 42 -
4.3.1.5. Berechnen	- 53 -
4.3.1.6. Planen.....	- 55 -
4.3.1.7. Handeln	- 60 -
4.3.2. Möglichkeiten und Limitationen der Zukunftsforschung	- 61 -
4.4. Strategische Handlungsempfehlungen	- 62 -
4.5. Kapitelzusammenfassung.....	- 66 -
5. Fazit	- 68 -
5.1. Forschungsbeitrag	- 68 -
5.2. Kritische Würdigung der Arbeit	- 71 -
5.3. Ausblick auf zukünftige Forschungsaktivitäten	- 72 -
Anhang	- 73 -
I. Anhang zum Klärungsschritt der Methode.....	- 73 -
II. Anhang zum Planungsschritt der Methode.....	- 74 -
III. Anhang zum Planungs- und Handlungsschritt der Methode.....	- 78 -
Literaturverzeichnis	- 79 -
Eidesstattliche Erklärung	- 90 -

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Traditioneller Gang der linearen Wirtschaft und Erneuerung durch Kreislaufwirtschaft	- 8 -
Abbildung 2: Kreislaufwirtschaftsmodell	- 9 -
Abbildung 3: Unterscheidung zwischen biologischen und technischen Kreisläufen im C2C-Design	- 10 -
Abbildung 4: Abstufungen von künstlicher Intelligenz	- 13 -
Abbildung 5: Unternehmensstatistik 2020	- 15 -
Abbildung 6: Umsetzungsfaktoren für die Schaffung einer zirkulären Lieferkette .	- 16 -
Abbildung 7: Interne und externe Abhängigkeitsfaktoren für die erfolgreiche Implementierung von Kreislaufwirtschaftspraktiken im Mittelstand	- 17 -
Abbildung 8: Die Schritte der Forecasting Funnel Methode	- 34 -
Abbildung 9: Fringe Sketch	- 36 -
Abbildung 10: Berechnung der Trendentwicklungen.....	- 55 -
Abbildung 11: Einschätzung des eigenen Unternehmens.....	- 63 -
Abbildung 12: Handlungsempfehlungen für kleine und mittlere Unternehmen	- 64 -
Abbildung 13: LASER-Rahmenwerk	- 65 -
Abbildung 14: Vermutung versus Wissen.....	- 73 -
Abbildung 15: Axe of Uncertainty; Unternehmenskooperation und Implementierung von künstlicher Intelligenz in bestehende Geschäftsmodelle	- 75 -
Abbildung 16: Axe of Uncertainty; Finanzierung von künstlicher Intelligenz und Akzeptanz der Kreislaufwirtschaft	- 76 -
Abbildung 17: SWOT-Analyse.....	- 77 -
Abbildung 18: Zukunftsszenarien und Backcasting.....	- 78 -

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Die Lernarten des Machine Learning.....	- 13 -
Tabelle 2: Change-Management im Hinblick in Mittelstandsunternehmen	- 19 -
Tabelle 3: Widersprüchliche Kräfte.....	- 38 -
Tabelle 4: Interne und externe Entwicklungen der Trends.....	- 54 -
Tabelle 5: Fragenkatalog für kleine und mittlere Unternehmen.....	- 66 -
Tabelle 6: Interne und externe Unsicherheiten.....	- 74 -

Abkürzungsverzeichnis

AbfG	Abfallgesetz
bzw.	beziehungsweise
CE	Kreislaufwirtschaft (engl.: Circular Economy)
d.h.	das heißt
DL	Deep Learning (dt.: „tiefgehendes“ Lernen)
EMF	Ellen MacArthur Foundation
et al.	und andere
etc.	et cetera
EU	Europäische Union
KI	künstliche Intelligenz
KMU	kleine und mittlere Unternehmen
KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz
Mio.	Millionen
ML	Machine Learning (dt.: „maschinelles“ Lernen)
NKWS	Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie
PSS	Product-Service Systems (dt.: Produktdienstleistungssysteme)
s.	siehe
v.g.	vorgenannte
vgl.	vergleiche
WEF	World Economic Forum
z.B.	zum Beispiel

Gender Erklärung

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in dieser Bachelorarbeit die Sprachform des generischen Maskulinums angewendet. Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die ausschließliche Verwendung der männlichen Form geschlechtsunabhängig verstanden werden soll.

Zusammenfassung

Kleine und mittlere Unternehmen in Deutschland stehen beim Übergang zu einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft vor großen Herausforderungen. Die Anwendung von künstlicher Intelligenz stellt eine Möglichkeit dar, den Übergang zu beschleunigen und positive Ergebnisse zu erzielen. Diese Studie untersucht sowohl die Chancen als auch die Schwierigkeiten und Herausforderungen, die auf kleine und mittlere Unternehmen beim Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft zukommen könnten, wenn dieser Übergang mit Unterstützung von künstlicher Intelligenz-basierter Technologie verbunden ist. Wissenschaftliche Untersuchungen zeigen, dass kleine und mittlere Unternehmen mit dem Einsatz von Datenanalyse und -modellierung, Entscheidungsunterstützungssystemen, „maschinellen“ Lernen und „tiefgehendem“ Lernen kreislauffähige Güter herstellen, Ressourcenströme optimieren und nachhaltigere Geschäftsmodelle entwickeln können. Die Nutzung oder Implementierung von künstlicher Intelligenz in der Praxis erfordert jedoch besondere Fachkenntnisse und Ressourcen. Bei dem Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft muss die gesamte Wertschöpfungskette betrachtet werden. Sämtliche Geschäftsmodelle bedürfen einer gründlichen Überarbeitung. Auch Fragen des Datenschutzes, der Sicherheit sowie der Ethik der künstlichen Intelligenz sind in diesem Zusammenhang von Relevanz. Die Ergebnisse dieser Thesis können kleinen und mittleren Unternehmen dabei helfen, einen reibungslosen Übergang zu einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft mit dem Einsatz von künstlicher Intelligenz zu ermöglichen.

Schlüsselwörter: Nachhaltigkeit; Künstliche Intelligenz; Kreislaufwirtschaft; Kleine und mittlere Unternehmen; Zukunftsforschung; Strategic Foresight; Forecasting Funnel; Herausforderungen und Chancen; strategische Handlungsempfehlungen

1. Einleitung

Im Rahmen dieses Kapitels werden die Ausgangssituation, die Relevanz des Themas sowie die sich daraus ableitende Problemstellung beschrieben. Daraufhin wird die Zielsetzung der Arbeit abgeleitet und der Untersuchungsbereich eingegrenzt. Es werden Forschungsfragen formuliert und die zugrundeliegende Struktur und Vorgehensweise der Thesis beschrieben.

1.1. Ausgangssituation und Problemstellung

Das kommende Jahrzehnt wird maßgeblich von einem zentralen Thema geprägt sein: dem Klimawandel. Der Klimawandel stellt ein globales Risiko für die Menschheit dar und ist zu einer der größten Herausforderungen für die politischen Systeme, die Wirtschaft und die Industrie geworden (Heading/Zahidi 2023, S. 7). Verursacht wird der Klimawandel primär durch den Abbau und die Verbrennung natürlicher Ressourcen wie z.B. Öl, Kohle und Erdgas. Die Verbrennung dieser Ressourcen dient vornehmlich der Energiegewinnung. Bei der Verbrennung entstehen schädliche Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen). Der Abbau der v.g. Ressourcen erfolgt aber auch zur Herstellung vieler Alltagsprodukte wie z.B. Verpackungen, Textilien, Kaugummi und Kosmetik (Ellen MacArthur Foundation 2021, S. 9). Da die hierfür eingesetzten Ressourcen in der Regel nicht wiederverwendet werden, landen sie als Abfall in der Umwelt und verschmutzen sie. Die Ressourcennutzung verändert die Ökosysteme. Der Abbau und die Weiterverarbeitung nicht regenerativer Rohstoffe sind mit erheblichen Eingriffen in die Natur und in den Wasserhaushalt verbunden. Weltweit diskutieren Wissenschaftler schon seit Jahren über die Grenzen der Belastbarkeit des Planeten Erde (Rockström et al. 2009, S. 15), denn die weltweite Ressourcennutzung hat sich in den letzten 50 Jahren verdreifacht und somit ein Ausmaß erreicht, welches die Belastbarkeit der Erde bereits deutlich überschreitet. Eine Studie von Umweltschützern der kalifornischen Denkfabrik „Global Footprint Network“ zeigt, dass die Bundesrepublik Deutschland bereits Anfang Mai diesen Jahres ihre gesamten ökologischen Ressourcen für das Jahr 2023 aufgebraucht hat (vgl. Steininger 2023). Die Wissenschaftler betonen, dass unter der Prämisse, wenn alle so leben würden wie die Menschen in der Bundesrepublik Deutschland, sogar mehrere Planeten notwendig wären, um den Bedarf an natürlichen Ressourcen zu decken. Im schlimmsten Fall könnten bis zum Jahr 2050 sogar drei Planeten

notwendig sein, um eine ausreichende Versorgung weltweit zu gewährleisten (vgl. Osborne 2006). Diese Entwicklungen bewertet der aktuellste Klimabericht der Vereinten Nationen (vgl. Lee et al. 2023) als alarmierend. Darin wird betont, dass neue Lösungen gefunden werden müssen, um das Ziel des Pariser Abkommens, den globalen Temperaturanstieg auf 1,5°C zu begrenzen, erreichen zu können (Ellen MacArthur Foundation 2021, S. 8). Während die Europäische Union als kontinentales Ziel die Klimaneutralität bis 2050 in dem sogenannten „Green Deal“ vorschreibt (Die Bundesregierung 2021, S. 7), hat sich die Bundesrepublik Deutschland zum Ziel gesetzt, bereits bis 2045 klimaneutral zu werden. Um die immensen THG-Emissionen bis 2045 auf ein Netto-Null (engl.: net zero¹) zu reduzieren, müsste die Wirtschaft in der Bundesrepublik Deutschland konsequent und zügig auf Nachhaltigkeit umstellen. Sollte der Wirtschaftsstandort Deutschland den Übergang zur Klimaneutralität nicht schaffen, drohen der Privatwirtschaft der Verlust von Marktanteilen und damit der Verlust von Arbeitsplätzen und Wohlstand (Engel et al. 2021, S. 6-10, 12). Klimaneutralität geht einher mit der Bekämpfung der Umweltverschmutzung. Das Umweltprogramm der Vereinten Nationen (vgl. UNEP 2023) weist darauf hin, dass die „New Plastics Economy“ eine Lösung dieser schwierigen Aufgabe darstellen könnte.

Der Begriff „New Plastics Economy“ wurde erstmals in einem Bericht verwendet, den das Weltwirtschaftsforum und die Ellen MacArthur Foundation (EMF) mit der Unterstützung von McKinsey & Company herausgegeben hat. Dieser Begriff steht für eine Vision, eine globale Wirtschaft zu erschaffen, in der Kunststoffe nicht zu Abfall werden. Die Vision erläutert die Schritte, die zur Erreichung eines Systemwandels zu bewältigen sind. Das Überdenken der Zukunft der Kunststoffe zielt darauf ab, unternehmensgetriebene Innovationen zu beschleunigen, um das Konzept der Kreislaufwirtschaft (engl.: Circular Economy, CE) zu fördern (vgl. World Economic Forum/Ellen MacArthur Foundation/McKinsey & Company 2016). In den vergangenen Jahren ist CE zu einem Schlüsselkonzept für eine nachhaltige Entwicklung geworden. Das Konzept zielt darauf ab, Produkte und Geschäftsprozesse in einem Wirtschaftskreislauf zu betrachten. Dennoch wird die Mehrheit der Produkte als Abfall entsorgt. Die weltweite CE-Quote beträgt lediglich 7,2% (vgl. Tan 2023). Impulse hierzu setzen nationalstaatliche Regierungen. So

¹ Definition der Vereinten Nationen: Das Ziel, die Treibhausgasemissionen so weit wie möglich auf nahezu null zu reduzieren (United Nations o.J.)

erarbeitet die Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland derzeit eine nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie (NKWS) (BMUV 2023, S. 3). Sie geht davon aus, dass der Wirtschaftsstandort Deutschland durch die Etablierung zirkulärer Wirtschaftsweisen nachhaltiger, ressourcenschonender und damit klimafreundlicher gestaltet werden könnte. Auch die EMF bewertet CE als ein geeignetes Mittel zur Bekämpfung des Klimawandels und der Umweltzerstörung (Ellen MacArthur Foundation 2021, S. 8; Wautelet 2018, S. 1–4). Der aktuelle Bericht „Turning off the Tap“ der Vereinten Nationen betont dies:

„[...] but we know that going circular is complicated and challenging. [...] We need innovation from manufacturers, importers, exporters and governments to make this possible. If the global community can deliver, plastic pollution could fall by 80 per cent by 2040. [...] We at UNEP are asking everyone to get involved in the just transition to a new plastics economy, which will improve livelihoods for millions of workers in informal settings.”²

(vgl. Andersen 2023)

Die Einführung von CE ist zwar komplex, aber unabdingbar. Durch die Umstellung der Wirtschaft könnten wichtige Nachhaltigkeitsziele der Vereinten Nationen erreicht werden (vgl. Andersen 2023). Der Wirtschaftsstandort Deutschland muss sich den damit verbundenen Herausforderungen stellen (Engel et al. 2021, S. 6). Welche Rolle spielen in diesem Zusammenhang die Kleinen und Mittleren Unternehmen (KMU)? Die KMU-Studie von Gothaer aus diesem Jahr zeigt, dass nur 16% der KMU ihren CO₂-Ausstoß ermittelt haben, wobei 37% Maßnahmen zur Senkung des CO₂-Ausstoßes planen (vgl. Spohn 2023). Obwohl das Thema nachhaltige Transformation bei 78% der befragten KMU als relevant erachtet wird, stößt die Einführung fortschrittlicher Umweltmaßnahmen auf verschiedene Hindernisse: Notwendige Transformationsprozesse werden nicht ausreichend finanziell gefördert; Kosten, die in diesem Zusammenhang entstehen, müssen am Markt an die Abnehmer weitergegeben werden; den KMU fehlt qualifizierte Unterstützung durch Fachkräfte

² Übersetzung: "[...] aber wir wissen, dass die Umstellung auf Kreislaufwirtschaft kompliziert und schwierig ist. [...] Wir brauchen Innovationen von Herstellern, Importeuren, Exporteuren und Regierungen, um dies zu ermöglichen. Wenn die Weltgemeinschaft dies schafft, könnte die Plastikverschmutzung bis 2040 um 80 Prozent zurückgehen. [...] Wir vom UNEP fordern jeden auf, sich am gerechten Übergang zu einer neuen Kunststoffwirtschaft zu beteiligen, die den Lebensunterhalt von Millionen von Arbeitern in informellen Umgebungen verbessern wird."

aus dem Umweltmanagement und im Management fehlt die Akzeptanz für den notwendigen Transformationsprozess oder die Dringlichkeit wird nicht gesehen (Dey et al. 2022, S. 2).

Der Wirtschaftsstandort Deutschland kann es sich allerdings nicht leisten, die KMU im Rahmen des anstehenden Transformationsprozesses außen vor zu lassen, denn sie machten im Jahre 2022 die überwiegende Mehrheit aller Unternehmen in Deutschland aus (vgl. Statistisches Bundesamt 2022a). Der Einsatz von künstlicher Intelligenz (KI) im Bestreben, mehr Nachhaltigkeit zu erreichen, wird aktuell intensiv in der Fachwelt diskutiert. Die globalen und führenden GAFAs Unternehmen (Google, Apple, Facebook, Amazon) investieren bereits massiv in die KI (vgl. Agrawal/Gans/Goldfarb 2019). Es gibt zwar eine Vielzahl von Veröffentlichungen, die sich mit dem Einsatz von KI in Unternehmensabläufen beschäftigt, deren Fokus richtet sich jedoch in der Regel auf die größeren Unternehmen (vgl. Hansen/Bøgh 2020). Lundborg und Gull (2021, S. 2–4) verweisen darauf, dass im Jahre 2021 lediglich 6% der KMU in Deutschland KI genutzt hätten. Im Vordergrund der vorliegenden Arbeit steht daher die Frage, ob der Einsatz von KI den KMU in der Bundesrepublik Deutschland helfen könnte, beschleunigt auf das System der CE umzustellen. Dowling et al. (2021) betonen, dass Politik, Gesellschaft und Wirtschaft die Transformation nur gemeinsam erreichen können.

1.2. Forschungsfragen und Zielsetzung

Im Vordergrund der vorliegenden Arbeit steht die Fragestellung, wie die deutsche Wirtschaft zu mehr Nachhaltigkeit beitragen kann und ob und wie in diesem Zusammenhang eine Unterstützung durch den Einsatz von KI erfolgen könnte. Aus der Beantwortung der Frage sollen Handlungsempfehlungen für die KMU entwickelt werden. Somit lautet die erste Forschungsfrage:

1. Wie können KMU künstliche Intelligenz-basierte Technologien nutzen, um erfolgreich auf eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft umzustellen?

Im Zentrum der aktuellen Diskussion stehen die Implementierung von KI in Unternehmensprozesse, die Umsetzung von CE-Konzepten auf praktischer Ebene sowie die Überprüfung, wie bestehende Prozesse und Systeme mithilfe von KI optimiert werden könnten. Des Weiteren ist zu erörtern, welche Hindernisse und

Risiken in diesem Zusammenhang bestehen und wie diese bewältigt werden können. Deswegen lautet die zweite Forschungsfrage:

2. Welche Herausforderungen stellen sich den KMU bei der Umstellung auf eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft sowie im Zusammenhang mit dem Einsatz von KI?

Kleine und mittlere Unternehmen (KMU) in Deutschland müssen in die Lage versetzt werden, sich dem Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft zu stellen. In diesem Zusammenhang sollten die Risiken und die Herausforderungen offen benannt werden. Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Untersuchung des Potenzials der KI und wie sie für die Beschleunigung der Umstellung eingesetzt wird. Adäquate Handlungsempfehlungen sollen dazu beitragen, dass Manager aus KMU diese Herausforderungen bewältigen können und dass die Risiken minimiert werden.

1.3. Aufbau der Arbeit und Forschungsdesign

Die vorliegende Bachelorthesis ist in fünf Kapitel gegliedert. Der Einleitung folgt ein Kapitel, das Ideen und Begriffe erläutert, die für das Verständnis der Arbeit wesentlich sind: nachhaltige Kreislaufwirtschaft, künstliche Intelligenz und kleine und mittlere Unternehmen. Innerhalb des letzten Unterkapitels wird die Umstellung auf eine nachhaltige CE von KMU und deren Implementierung von KI in Geschäftsprozesse untersucht, um die damit im Zusammenhang stehenden Herausforderungen benennen zu können. Kapitel 3 beschäftigt sich mit dem aktuellen Forschungsstand zum Thema Implementierung von KI in der CE. Was ist bereits etabliert worden und welche Erfolge konnten damit erzielt werden? Im Rahmen des 4. Kapitels wird eine Zukunftsforschungsmethode (Strategic Foresight Modell) angewendet. Die für die vorliegende Arbeit gewählte Methode basiert auf einer vom US-amerikanischen Future Today Institute (CEO: Amy Webb) entwickelten Methode, die darauf abzielt, bestimmte Trends zu analysieren, um am Ende strategische Handlungsempfehlungen herauszufiltern. Laut Webb et al. (2022, S. 42) ist die Anwendung von Foresight entscheidend. Unternehmen mit einer speziellen strategischen Foresight-Methodik erzielen eine höhere Rentabilität von 33%, verzeichnen ein 200%iges Wachstum im Vergleich zu Konkurrenten sowie eine 25%ige Verbesserung im Hinblick auf Unternehmensziele, deren Planung und die

Förderung von flexiblen Denkweisen der Führungskräfte. Das abschließende 5. Kapitel dient zuallererst der Zusammenfassung der Ergebnisse und der Klärung des Forschungsbeitrags. Hierbei werden die aufgestellten Hypothesen aus dem 3. Kapitel mit dem empirischen Ergebnis verglichen und entweder bestätigt oder widerlegt. Die Ergebnisse der Arbeit werden eingeschätzt, vor dem Hintergrund der Limitationen kritisch betrachtet und ein Ausblick auf zukünftige Forschungsaktivitäten wird gewährt.

2. Theoretische Grundlagen

Die Auseinandersetzung mit den theoretischen Grundlagen bildet das Fundament für ein gründliches Verständnis des vorliegenden Themas. Daher werden in diesem Kapitel die Begriffe und Ideen, die für das Verständnis der Arbeit wesentlich sind, ausführlich beschrieben. Zunächst wird das Konzept der CE im Vergleich zur linearen Wirtschaft erläutert. Im zweiten Abschnitt wird die Technologie der KI mit ihren Anwendungsmöglichkeiten und Potenzialen definiert. Dabei soll geprüft werden, welche KI-Technologien am relevantesten für die Wirtschaft sind. Der dritte Abschnitt dient der Erklärung, was KMU in Deutschland sind. Aufgrund der zweiten Forschungsfrage liegt hierbei der Schwerpunkt darauf, die Herausforderungen im Hinblick auf die Umstellung auf die CE und die Implementierung der KI-Technologie in KMU. Die Zusammenfassung des Kapitels stellt die Verbindung zwischen den theoretischen Grundlagen her.

2.1. Nachhaltige Kreislaufwirtschaft

Die industrielle Revolution, welche um 1800 begann und durch das zunehmende industrielle Wachstum angetrieben wurde, führte zu einer bedeutenden wirtschaftlichen Expansion. Durch wirtschaftlichen und technologischen Fortschritt wurde die Fähigkeit zur Ressourcennutzung und Wertschöpfung verbessert. Dabei entwickelte sich im Laufe der Zeit ein komplexer wirtschaftlicher Rahmen. Organisationen wie Hochschulen, Regierungen und Unternehmen verfolgten das gemeinsame Ziel, Produkte und Dienstleistungen bereitzustellen, die den Lebensstandard der Gesellschaft erhöhen sollten (Ellen MacArthur Foundation 2019, S. 6). Das Wirtschaftsmodell, das sich im Verlauf der geschichtlichen Entwicklung durchgesetzt hat, ist durch die Prinzipien „Nehmen, Herstellen und Entsorgen“ gekennzeichnet. Das bedeutet, dass Rohstoffe abgebaut und dann zur Herstellung von Waren verwendet werden, die verkauft und schließlich als Müll entsorgt werden (Ellen MacArthur Foundation 2013, S. 6). Als Gegenmodell hierzu hat sich spätestens seit dem Jahr 1994 die Idee einer Kreislaufwirtschaft (engl.: Circular Economy, CE) etabliert. Sie stellt „einen Rahmen für Systemlösungen, mit denen globale Herausforderungen wie der Klimawandel, der Verlust von biologischer Vielfalt sowie Abfall und Umweltverschmutzung angegangen werden können“ dar (Ellen

MacArthur Foundation 2021, S. 20). Dies bedeutet, dass sich CE auf zirkuläres Wirtschaften entlang der gesamten Wertschöpfungskette bezieht. Kirchherr et al. (2017, S. 224) heben hervor, dass es über hundert Definitionen für Zirkularität gibt. Dies führe dazu, dass dieser Begriff für verschiedene Menschen unterschiedliche Bedeutungen haben könne und es folglich keine einheitliche, allgemeingültige Definition von CE gäbe. Als Grundkonzept sehen sie die Entkopplung der Gewinnung und Nutzung natürlicher Ressourcen von der Wirtschaftsleistung. Dies steigere im Ergebnis die Ressourceneffizienz (Kirchherr/Reike/Hekkert 2017, S. 223). Im Folgenden wird der traditionelle lineare Wirtschaftsprozess vorgestellt und vereinfacht dargestellt, welche Prinzipien die CE verfolgt.

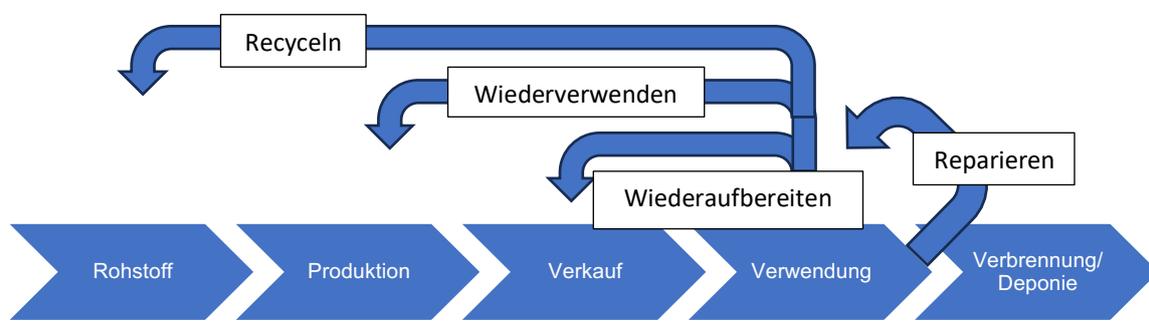


Abbildung 1: Traditioneller Gang der linearen Wirtschaft und Erneuerung durch Kreislaufwirtschaft (Eigene Darstellung in Anlehnung an de Ruyter 2019)

Bei näherer Betrachtung der in Abbildung 1 dargestellten Prozesse ergeben sich im Umkehrschluss die wichtigsten Handlungsfelder der CE: Design, Beschaffung, Produktion, Vertrieb, Verbrauch und Rückgewinnung (vgl. Dey et al. 2022, S. 5). Diese Handlungsfelder folgen den Prinzipien der Reparatur, Wiederaufbereitung, Wiederverwendung und des Recyclings. Dieser 4R (engl.: Repair, Reuse, Refurbish, Recycle) Ansatz stellt ein Leitprinzip der Europäischen Union für eine nachhaltige Wirtschaft dar. Die erfolgreiche Umstellung auf eine nachhaltige CE erfordert demnach die Umsetzung der in Abbildung 2 dargestellten Maßnahmen (Stahel 2016). Im CE-Modell wird dargestellt, wie Ressourcen in einem geschlossenen Kreislauf zirkulieren, um mögliche negative Auswirkungen auf die Umwelt zu verringern.

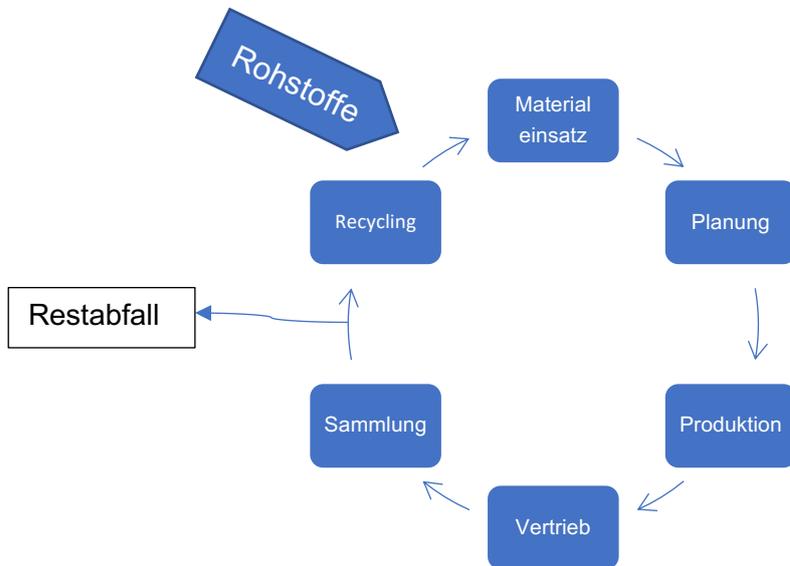


Abbildung 2: Kreislaufwirtschaftsmodell (Eigene Darstellung in Anlehnung an Akanbi et al. 2017, S. 177)

Statt Ressourcen zu verbrauchen und anschließend zu entsorgen, sollen sie in einem kontinuierlichen Kreislauf gehalten werden. Um weiterhin Wertschöpfung zu generieren, werden Produkte und Materialien immer wieder produktiv eingesetzt (Europäisches Parlament 2015). Dies führt zu einer nachhaltigeren und ressourcenschonenderen Wirtschaftsweise. Damit widerspricht der CE-Ansatz dem linearen Wirtschaftsparadigma (Sterr 2003, S. 57). Die drei Hauptziele von CE sind folglich die Reduzierung von Abfall, die Reduzierung von THG-Emissionen sowie die Reduzierung von Ressourcenverbrauch (Ellen MacArthur Foundation/SUN/McKinsey Center for Business and Environment 2015, S. 47–51).

Weitere Ziele einer nachhaltigen CE sind die Förderung einer nachhaltigen Produktion, die Förderung eines nachhaltigen Konsums, die Schaffung neuer Geschäftsmöglichkeiten sowie die Verbesserung des sozialen Wohlstands und der Gerechtigkeit (World Economic Forum 2014, S. 17–19). Verschiedene Denkschulen setzten sich bereits in den 1970er Jahren mit dem Konzept der CE auseinander (vgl. Wautelet 2018, S. 3–20). Die wahrscheinlich wichtigste und bekannteste ist die Designphilosophie von William McDonough und Michael Braungart. Das von ihnen entwickelte Cradle-to-Cradle-Konzept (C2C) hat zum Ziel, Produkte so zu gestalten, dass sie am Ende ihres Lebenszyklus vollständig in biologische oder technische Kreisläufe zurückkehren können, ohne negative Folgen für die Umwelt zu generieren (Ellen MacArthur Foundation 2015, S. 5). Die Materialien sollen in den Kreisläufen zirkulieren, anstatt auf der Deponie zu landen oder verbrannt zu werden. Dies betont auch die Studie von Dey et al. (2022). Dey et al. untersuchten mehrere Unternehmen

innerhalb der EU auf deren CE-Aktivitäten und identifizierten das C2C Designkonzept als wichtigstes Handlungsfeld. Das C2C-Design beschreibt die Verwendung von Materialien, die vollständig recycelbar oder biologisch abbaubar sind.

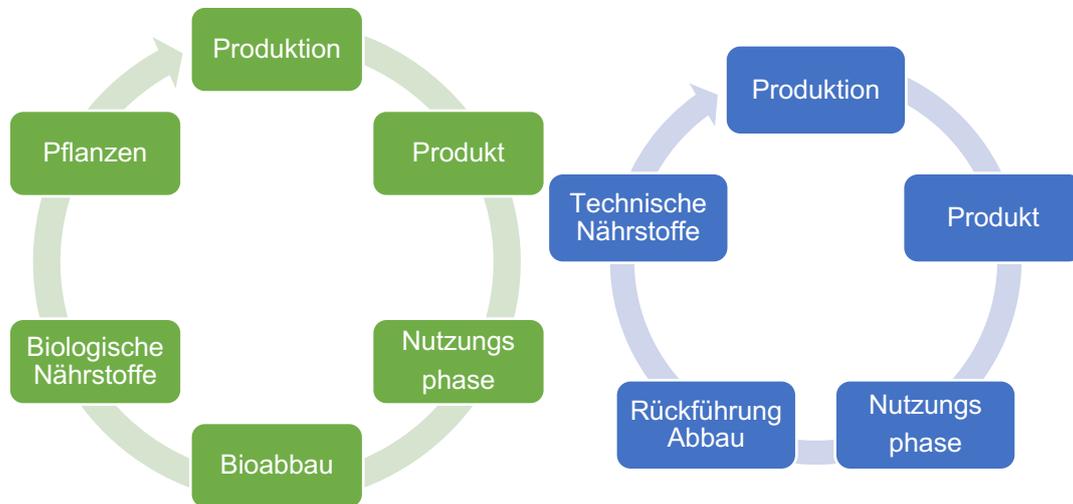


Abbildung 3: Unterscheidung zwischen biologischen und technischen Kreisläufen im C2C-Design (Eigene Darstellung in Anlehnung an Wautelet 2018, S. 8)

Der biologische Kreislauf beschreibt den natürlichen Kreislauf der Natur. Er basiert auf der biologischen Abbaubarkeit von Materialien wie organischen Stoffen, die in einem geschlossenen System kompostiert und anschließend als Dünger oder Biogas zurückgeführt werden. Der technische Kreislauf ist Bestandteil des industriellen Kreislaufs und basiert auf der Wiederverwendung und dem Recycling von technischen Ressourcen. Biologisch nicht abbaubare Materialien wie Metalle, Kunststoffe und Elektroschrott werden gesammelt, sortiert, verarbeitet und zu neuen Produkten verarbeitet (Wautelet 2018, S. 5–10). In der Praxis sind Produkte oft eine Mischung aus biologischen und technischen Materialien. Um sicherzustellen, dass die Kreisläufe tatsächlich eingehalten werden, ist es wichtig, die Materialien beim Recycling zu trennen oder technische Materialien zu entwickeln, die biologischen Materialien nachempfunden sind und leichter in die Natur zurückgeführt werden können (Roberts et al. 2022, S. 3).

Eine weitere wichtige Komponente von CE ist die Rückwärtslogistik (engl.: Reverse Logistics), bei der es um die Rückführung von Waren oder Materialien nach ihrer Verwendung durch den Endverbraucher oder das Unternehmen geht. Dieser Prozess

gilt als Schlüsselfaktor für eine geschlossene Lieferkette, denn ein Produktfluss ohne Rückwärtslogistik endet in der Regel damit, dass die Materialien als Abfall enden (Wilson/Paschen/Pitt 2022, S. 10). Eine Studie über sieben europäische Länder ergab, dass eine Umstellung auf CE die THG-Emissionen eines Landes um bis zu 70% reduzieren könnte (Stahel 2016, S. 435). Im Vorfeld des Weltwirtschaftsforums in Davos vor knapp 10 Jahren haben die EMF und McKinsey Company einen Bericht veröffentlicht, der die Vorteile eines Wechsels zur CE verdeutlicht. Der v.g. Bericht prognostizierte, dass eine CE in Europa pro Jahr einen Nettonutzen von bis zu 630 Milliarden US-Dollar generieren könnte, während sie gleichzeitig erhebliche Vorteile für Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft mit sich brächte (Ellen MacArthur Foundation/SUN/McKinsey Center for Business and Environment 2015, S. 63, 78). Wenn die Umstellung auf CE einen solchen ökonomischen Nutzen generiert, sollte die Wirtschaftsweise so schnell wie möglich umgestellt werden. Dey et al. (2022, S. 3) heben hervor, dass Unternehmen für eine erfolgreiche Umstellung im Grunde ihre linearen Geschäftsprozesse in zirkuläre umwandeln müssten, um diesen Nutzen heben zu können.

2.2. Die Technologie der künstlichen Intelligenz

Eines der am meisten diskutierten Themen in der Welt der Technologie und Wissenschaft ist die künstliche Intelligenz. In jüngerer Vergangenheit hat die Bedeutung der KI deutlich zugenommen, was laut Kreuzer und Sirrenberg (2019b) maßgeblich auf das Zusammenwirken von drei Faktoren zurückzuführen ist: Zum einen die exponentielle Steigerung der Leistungsfähigkeit von IT-Systemen und darauf basierender Technologien, zum anderen das zunehmende Vordringen der Digitalisierung und die Dematerialisierung in vielen Bereichen der Wertschöpfung sowie die wachsende Vernetzung von Objekten, Prozessen und Lebewesen. KI ist heutzutage allgegenwärtig und sorgt oft unbemerkt für eine Erleichterung im Alltag. Digitale persönliche Assistenten wie Alexa oder Siri, die per Spracheingabe eine Vielzahl von Aufgaben erledigen, und selbstfahrende Autos sind nur einige Beispiele, wie sich KI im Leben vieler Menschen etabliert hat (Kreuzer/Sirrenberg 2019b, S. 1). Der Begriff geht ursprünglich auf einen Ansatz von Alan M. Turing aus dem Jahre 1947 zurück, der sich die Frage stellte, ob Maschinen in der Lage seien, selbst zu denken (Turing 1950, S. 2). Der Turing-Test, der die Fähigkeit eines Computers

bewertet, menschliches Verhalten zu simulieren, wird in der Literatur als Pionier-Modell der KI angesehen. Endgültig geprägt wurde der Begriff „künstliche Intelligenz“ auf der Dartmouth-Konferenz in New Hampshire im Jahre 1956 (Konrad 1998, S. 287). Dort versuchten Wissenschaftler aus verschiedenen Fachgebieten sich Turings Arbeit zunutze zu machen. Sie hatten die Absicht, sämtliche Merkmale menschlicher Intelligenz zu beschreiben, sich über ihre Vorstellungen von sich selbst optimierenden Maschinen auszutauschen und diese auf Maschinen zu übertragen (programmieren) (McCarthy et al. 1955, S. 2). Dabei wurde das später als erstes KI-Programm bekannte Computerprogramm „Logic Theorist“ entwickelt.

Auf eine allgemeingültige Definition von KI hat sich die Wissenschaft noch nicht einigen können. Kreuzer und Sirrenberg (2019a, S. 3) beschreiben KI als die Fähigkeit einer Maschine, kognitive Aufgaben auszuführen, die normalerweise mit dem menschlichen Verstand in Verbindung gebracht werden. Laut Russel, Norvig & Davis (2010, S. 2–5) sind die vier Hauptmerkmale von KI die Fähigkeit zur Wahrnehmung, zum Verständnis, zur Entscheidungsfindung und zur Interaktion. KI lässt sich in schwache, starke und Super-KI unterscheiden. Diese Einteilung geht auf den Philosophen John Searle (1980, S. 417) zurück. Danach bezieht sich schwache KI (engl.: Artificial Narrow Intelligence, ANI) auf Systeme, die für eine bestimmte Aufgabe oder ein bestimmtes Problem entwickelt wurden und auch nur darauf spezialisiert sind. Diese Art von KI existiert bereits in vielen Formen, wie z.B. in Spracherkennungssystemen, die in der Lage sind menschliche Sprache zu verstehen und zu analysieren. Starke KI (engl.: Artificial General Intelligence, AGI) hingegen umfasst Systeme, die in der Lage sind, alle kognitiven Aufgaben auszuführen, die ein Mensch erledigen könnte. Starke KI wäre dazu fähig, wie ein Mensch zu fühlen und zu lernen. Beispiele für starke KI gibt es derzeit noch nicht, es wird jedoch angenommen, dass es sie in naher Zukunft geben wird (Wennker 2020a, S. 7).

Super-KI (engl.: Artificial Super Intelligence, ASI) ist eine hypothetische Form von KI, die die Fähigkeiten der menschlichen Intelligenz übertrifft. Als eine der wichtigsten Technologien der KI gelten neuronale Netze. Diese bilden die Grundlage für viele Anwendungen der KI, insbesondere für das „maschinelle Lernen“ (engl.: Machine Learning, ML) und das „tiefgehende Lernen“ (engl.: Deep Learning, DL). In der Literatur werden ML und DL häufig in einem Modell in Verbindung mit KI dargestellt, da sie in den letzten Jahren zu den effektivsten Methoden in der Forschung geworden sind.

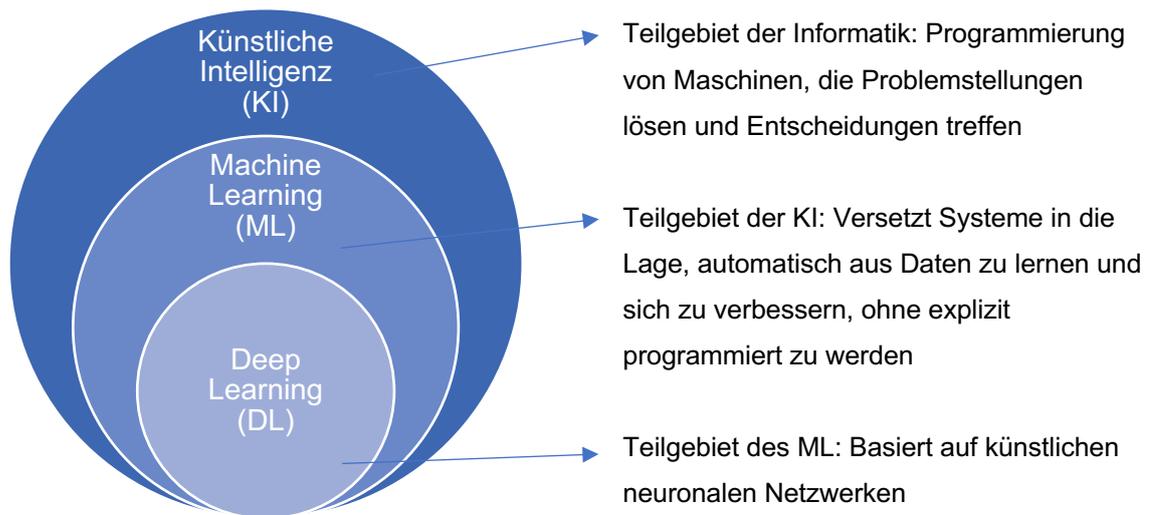


Abbildung 4: Abstufungen von künstlicher Intelligenz (Eigene Darstellung in Anlehnung an Wennker 2020b, S. 9)

Während sich ML auf die Methode bezieht, wie Computerprogramme auf Basis von Daten selbstständig lernen und Entscheidungen treffen können, ohne explizit programmiert zu werden, stellt DL eine Teilmenge des ML dar, die auf künstlichen neuronalen Netzen basiert und sich besonders gut für komplexe Mustererkennung eignet. Im Gegensatz zu traditionellen ML-Methoden kann DL direkt aus unstrukturierten Daten lernen und benötigt nur minimale menschliche Interaktion (Ertel 2021, S. 321–322). Der Treibstoff für die Entwicklung jeder KI sind Daten. Innerhalb des ML wird zwischen drei Arten des Lernens unterschieden:

Beaufsichtigtes Lernen	Ergebnisse, die die Maschine produzieren sollen, sind vorgegeben. Die Maschine wird so trainiert, dass bei neuen Daten die richtigen Ergebnisse produziert werden.
Verstärktes Lernen	Die Maschine wird für korrekte Ergebnisse belohnt, für falsche bestraft. Damit lernt sie, richtig zu reagieren.
Unbeaufsichtigtes Lernen	Hier erfolgen keine Vorgaben von Ergebnissen. Die Maschine lernt, eigenständig Muster in den Ausgangsdaten zu erkennen.

Tabelle 1: Die Lernarten des Machine Learning (Eigene Darstellung in Anlehnung an Wennker 2020a, S. 12–17)

Bildererkennung - wie die Klassifizierung von Bildern mithilfe von faltungsneuronalen Netzen (CNN) - ist ein Beispiel für DL, welches auf der Verwendung von

sogenannten Faltungen (Convolution) von Filtern mit Eingabedaten beruht. Die Filter extrahieren zunehmend abstraktere Merkmale aus den Daten, indem sie spezifische Merkmale in den Daten erkennen und diese schrittweise über mehrere Schichten anwenden. Das Endergebnis ist eine "Karte" von Merkmalsaktivierungen, die verwendet werden, um Muster in den Daten zu erkennen und Klassifizierungen oder Vorhersagen zu treffen. CNNs haben sich als sehr effektiv erwiesen und werden beispielsweise bei medizinischen Diagnosesystemen eingesetzt oder von Siri und Alexa verwendet, um Sprache zu verstehen und passende Antworten zu geben (Wuttke 2021, S. 55–59).

2.3. Kleine und mittlere Unternehmen in Deutschland

Kleine und mittlere Unternehmen (KMU) spielen eine wichtige Rolle in der deutschen Wirtschaft, denn sie machen etwa 99,4 % aller Unternehmen in Deutschland aus (vgl. Statistisches Bundesamt 2022b). Sie kurbeln maßgeblich die lokale Wirtschaft an und schaffen neue Arbeitsplätze. Die Definitionen von KMU variieren je nach Kontext und Land. Es gibt jedoch eine offizielle Definition, die auf einer Empfehlung der Europäischen Kommission vom 6. Mai 2003³ basiert. Demnach gelten Unternehmen mit weniger als 250 Beschäftigten und einem Jahresumsatz von höchstens 50 Mio. Euro als KMU (vgl. Institut für Mittelstandsforschung (IfM) 2023). KMU⁴ werden häufig mit dem Mittelstand gleichgesetzt, welcher unter anderem Kleinstunternehmen, kleine Unternehmen und mittlere Unternehmen umfasst. Diese Unterscheidung erfolgt ebenfalls an von der EU-Kommission festgelegten Größenkriterien. Kleinstunternehmen sind demnach Unternehmen mit einer Beschäftigtenanzahl unter 10 Personen und einem Umsatz von bis zu 2 Mio. Euro. Zu den kleinen Unternehmen zählen alle Unternehmen mit einer Beschäftigtenanzahl von unter 50 und einem Umsatz von bis zu 10 Mio. Euro. Als mittlere Unternehmen gelten Unternehmen mit einer Beschäftigtenanzahl von unter 250 und einem Umsatz von bis zu 50 Mio. Euro (vgl. Statistisches Bundesamt 2023). Laut der Veröffentlichung sieht die Verteilung der Unternehmenslandschaft in Deutschland wie folgt aus:

³ Zur Vertiefung (Europäische Kommission 2003)

⁴ Die Begriffe „KMU“ und „Mittelstand“ werden im Folgenden synonym verwendet



Abbildung 5: Unternehmensstatistik 2020 (Eigene Darstellung in Anlehnung an Statistisches Bundesamt 2023)

Die Abbildung verdeutlicht die volkswirtschaftliche Bedeutung der Kleinunternehmen; laut der Listflix-Datenbank gelten von den insgesamt 3,5 Mio. Firmen 2,9 Mio. als Kleinunternehmen. Im Vergleich hierzu gibt es in Deutschland nur rund 17.000 Großunternehmen.

2.3.1. Umstellung auf die Kreislaufwirtschaft im Mittelstand

Im Folgenden wird erläutert, vor welchen Herausforderungen KMU bei der Umstellung auf eine CE stehen. Das Fehlen eines umfassenden Ansatzes, um den Mittelstand bei der Einführung von CE-Praktiken zu unterstützen, inklusive der Analyse von Problemen und Herausforderungen und der Ableitung von Verbesserungsmaßnahmen, identifizieren Dey et al. (2022) in ihrer Studie. Sie erforschten deshalb aktuelle CE-Praktiken für KMU in Frankreich, Griechenland, Spanien und dem Vereinigten Königreich, um die besten Praktiken und Methoden zur Erreichung von Nachhaltigkeit zu ermitteln. Ihre Ergebnisse zeigen deutlich, dass die Übernahme der CE zu einer besseren Umwelleistung durch Energie- und Ressourceneffizienz sowie Abfallreduzierung führt. Die in den theoretischen Grundlagen identifizierten CE-Handlungsfelder bilden eine geschlossene Kreislauffunktion der Lieferkette (Dey et al. 2022, S. 3) und verbessern die Nachhaltigkeitsleistung in KMU auf verschiedene Weise: Verbessertes Markenimage, Kostensenkung, Unternehmenswachstum, höhere Produktivität und geringere CO₂-Emissionen. Diese Handlungsfelder ebnen den Weg von einer linearen zu einer zirkulären Kette für Mittelstandunternehmen. Dabei sind folgende Faktoren zu berücksichtigen:



Abbildung 6: Umsetzungsfaktoren für die Schaffung einer zirkulären Lieferkette (Eigene Darstellung in Anlehnung an Dey et al. 2022, S. 3–4)

Dies erfordert eine Umstellung der Produkte, Prozesse und Anlagen, die für KMU kapitalintensive Projekte darstellen könnte. Ein zentrales Problem stellt hier der Zugang zu Finanzmitteln dar. Daten der Europäischen Zentralbank zeigen, dass dieser Zugang das dringendste Problem für 20% der KMU in Europa ist (Ouass/Reuttner 2022, S. 2). Damit könnte es dieser Branche häufig an den notwendigen Mitteln fehlen, um komplexe Nachhaltigkeitsinitiativen wie die CE zu finanzieren. Das World Economic Forum (WEF) betont, dass es Unternehmen auch an fundiertem Wissen fehlt, um innovative Ideen für die CE zu entwickeln (vgl. Tan 2023). Trotz dessen heben Dey et al. hervor, dass die Handlungsfelder der CE positiv mit der ökonomischen, ökologischen und sozialen Leistung korrelieren (Dey et al. 2022, S. 4). Sie weisen darauf hin, dass der Druck seitens der Kunden KMU dazu brächte, CE-Designfunktionen zu übernehmen. Rückgewinnungsfunktionen hängen zudem stark von der Eigenmotivation der KMU und von dem politischen Druck ab (Dey et al. 2022, S. 16). Die erfolgreiche Umsetzung hängt von verschiedenen internen und externen Faktoren ab. Intern spielen unternehmensspezifische Faktoren eine entscheidende Rolle. Dazu gehören das Engagement der Unternehmensleistung und der Mitarbeiter im Hinblick auf Nachhaltigkeit, die Fähigkeiten des Unternehmens, Veränderungen im Geschäftsmodell und in den internen Abläufen vorzunehmen sowie das Vorliegen einer klaren Vision und Strategie für die Umstellung. Externe Faktoren spielen ebenfalls eine wichtige Rolle bei der erfolgreichen Umstellung. Dazu zählen das politische und rechtliche Umfeld, die Kunden- und Marktnachfrage nach nachhaltigen Produkten und Dienstleistungen, die technologischen Entwicklungen, um Innovationen voranzutreiben sowie die Maßnahmen von Interessengruppen wie Umweltorganisationen oder Initiativen (Prieto-Sandoval/Jaca/Ormazabal 2018, S. 611–612). Die folgende Abbildung fasst dies gut zusammen:

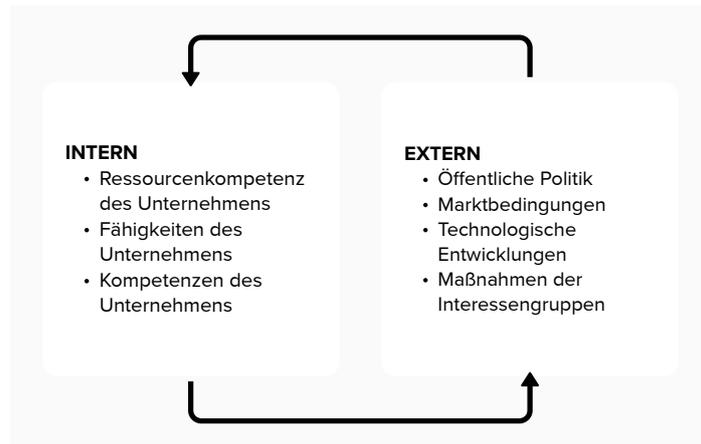


Abbildung 7: Interne und externe Abhängigkeitsfaktoren für die erfolgreiche Implementierung von Kreislaufwirtschaftspraktiken im Mittelstand (Eigene Darstellung in Anlehnung an Dey et al. 2022, S. 3)

2.3.2. Implementierung von künstlicher Intelligenz im Mittelstand

Ziel dieses Abschnitts ist es, die Herausforderungen im Hinblick auf die Implementierung von KI im Mittelstand zu identifizieren. Aktuelle Umfragedaten einer mit 414 Probanden durchgeführten Studie von Acatechs Plattform Lernende Systeme (2021, S. 54) verdeutlichen, dass der deutsche Mittelstand die Potenziale der KI-Technologie noch nicht umfassend nutzt. Knapp 95% der befragten KMU nutzen KI entweder gar nicht oder setzen sie nur in einzelnen Projekten ein. Knapp 6%[!] der befragten KMU nutzen KI in allen Geschäftsbereichen; hierbei handelt es sich hauptsächlich um größere Mittelständler. Haarmeier (2021, S. 6) betont, dass KMU vor allem die finanziellen Risiken scheuen, die mit dem Einsatz von KI in Verbindung stehen. Darüber hinaus wirkt sich der Mangel an qualifizierten Fachkräften in den Wissensbereichen, die für KI relevant sind, hemmend auf den Einstieg von KMU aus. Nach Angaben von McKinsey & Company hindern folgende generalisierte Probleme Unternehmen daran, KI effektiv zu nutzen: der Zugang zu Trainingsdaten, der Zugriff auf ausreichend große Datensätze, die Komplexität von Systemen, die auf neuronalen Netzen aufbauen, die Schwierigkeiten im Zusammenhang mit der Beschreibung von Ergebnissen aus riesigen Datensätzen, Schwierigkeiten der Verallgemeinerung sowie die Möglichkeit von Verzerrungen (Bias), die zu ungerechten Ergebnissen führen würde (Bughin et al. 2018, S. 8). Haarmeier (2021, S. 35) schlägt vor, dass KMU sich zuallererst damit auseinandersetzen sollten, für welche Bereiche sie die KI einsetzen wollen. Dowling et al. (2021, S. 51–52) weisen ergänzend darauf hin, dass sich KMU vorab die Frage stellen sollten, ob sie eigene KI-Lösungen entwickeln oder auf externe Dienstleister

zurückgreifen sollten, zumal es nicht immer wirtschaftlich sinnvoll sei, eine hohe eigene KI-Kompetenz aufzubauen. Sogenannt MlaaS-Anwendungen (Markt für Infrastructure-as-a-Service) bieten einen schnellen Einstieg in die Welt der KI-Lösungen. Der Aufbau einer Hardware sowie die Softwareinstallation wären dann nicht nötig. Solche Plattformen stellen kommerzielle Anbieter wie IBM Watson, Microsoft Azure, Google Cloud Plattform und AWS zur freien Verfügung. Neben diesen Anbietern gibt es noch Möglichkeiten, die auf Open Source basieren, wie z.B. H2O.ai (Haarmeier 2021, S. 36) oder Angebote von Großunternehmen, die ihre Technologien und ihr Know-how kostenlos zur Verfügung stellen (Schieb 2022). Maßgeschneiderte Lösungen bieten auch MKlaaS (Markt für KI-as-a-Service), die auch von externen Dienstleistern bereitgestellt werden. Allerdings sollten Mittelstandsunternehmen darauf achten, dass ein Wettbewerbsvorteil langfristig nur durch intern angelegte Lösungen erreicht werden kann (Dowling et al. 2021, S. 52). Sie betonen, dass sich interne Lösungen vor allem eignen, wenn sensible Daten nicht geteilt werden dürfen.

Im Mittelstand werden Innovationsprozesse maßgeblich von den Eigentümern beeinflusst. Deren Haltung wird darüber entscheiden, ob und in welchem Tempo KI Eingang in KMU findet. Bei der Einführung von KI sind folgende Schritte entscheidend: Zunächst müssen die Bereiche identifiziert werden, in denen KI einen Mehrwert bieten könnte. Dem folgt die Evaluation der Kompetenzen. D.h., dass vorhandene Ressourcen bewertet werden müssen. Danach erfolgen die Überprüfung der Qualität vorhandener Daten, die Sammlung von Erfahrungen und erste Umsetzungsversuche. Sodann könnte ein Unternehmen KI-Lösungen implementieren und ein erstes KI-Projekt initiieren. Wichtig ist, dass kontinuierlich die Ergebnisse überwacht werden und die Weiterentwicklung proaktiv vorangetrieben wird. Es sollte eine zielorientierte Einsetzung und Anpassung der Systeme stattfinden (Haarmeier 2021, S. 37–38). Acatechs Plattform Lernende Systeme hat folgende Phasen für das sogenannte Change-Management bei KI im Mittelstand identifiziert (Dowling et al. 2021, S. 71):

Anforderung	Erklärung
Zielsetzung und Folgeabschätzung	In dieser Phase werden Ziele des KI-Systems definiert, potenzielle Auswirkungen auf das Unternehmen bewertet sowie das Potenzial analysiert.
Planung und Gestaltung	In dieser Phase erfolgt die Gestaltung der Mensch-Maschine-Interaktion für die Gewährleistung von Transparenz sowie die Sicherstellung der optimalen Datennutzung.
Vorbereitung und Implementierung	Diese Phase beinhaltet die frühzeitige Qualifizierung der Mitarbeiter für neue Anforderungen, Anpassung der Arbeitsorganisation und der Aufgabenverteilung sowie die Durchführung von Experimentierphasen. Schließlich erfolgt die flächendeckende Einführung des KI-Systems.
Evaluation und Anpassung	In dieser Phase erfolgen die Überprüfung, die Bewertung sowie die Anpassung des Systems, indem Erfahrungswerte für Innovationen genutzt und Beteiligungen an weiteren Innovationsprozessen gefördert werden.

Tabelle 2: Change-Management im Hinblick in Mittelstandsunternehmen (Eigene Darstellung in Anlehnung an Dowling et al. 2021, S. 71)

2.4. Kapitelzusammenfassung

In Kapitel 2 werden Begriffe erläutert, die für das Verständnis dieser Arbeit grundlegend sind. Zunächst ist das Konzept der CE erläutert worden, wobei bereits auf die Vorteile einer ressourcenschonenden und nachhaltigen Wirtschaft eingegangen worden ist. Angesichts der Auswirkungen des Klimawandels ist es unerlässlich, die derzeitigen Wirtschaftsmodelle weiterzuentwickeln und die Art und Weise der Rohstoffgewinnung zu ändern. Anschließend ist die Technologie der KI erläutert worden; in diesem Zusammenhang sind einige ihrer vielfältigen Einsatzmöglichkeiten benannt worden. Die Technologie ist in der Lage, komplexe Sachverhalte zu bewerten und Urteile zu fällen. Im weiteren Verlauf sind die KMU in der Bundesrepublik Deutschland in den Mittelpunkt der Betrachtung gerückt worden. Dabei sind erste Verbindungen dargestellt worden: CE und KI können gemeinsam die Ressourceneffizienz in KMU verbessern, neue Geschäftsmöglichkeiten eröffnen und die Wettbewerbsfähigkeit von KMU steigern. Das anschließende Kapitel des aktuellen Forschungsstandes zu KI in der CE, die methodische Umsetzung sowie die Entwicklung strategischer Handlungsempfehlungen für KMU werden durch die ausführliche Darstellung der theoretischen Grundlagen ermöglicht.

3. Literaturüberblick zum aktuellen Forschungsstand des Einsatzes künstlicher Intelligenz in der Kreislaufwirtschaft

Die Darstellung des aktuellen Forschungsstandes umfasst grundlegende und aktuelle Literatur zum vorliegenden Thema. Der Schwerpunkt liegt auf Anwendungen der KI in der CE, die in der Praxis erprobt sind und sich bewährt haben. Ziel ist es, dem Leser einen Überblick über das Zusammenspiel zu gewähren und erfolgreiche Best Practice Beispiele zu nennen. Dass das Zusammenwirken von Vorteil für ein nachhaltiges Wirtschaften sein kann, darauf deutet unter anderem der Aktionsplan der Europäischen Kommission für die CE hin; „*Building on [...] the potential of digital technologies, the circular economy can strengthen the EU's industrial base and foster [...] entrepreneurship among SMEs. Innovative models based on [...] collaborative economy, and powered by digital technologies, such as [...] artificial intelligence, will [...] accelerate circularity [...] and make Europe less dependent on primary materials.*“⁵ (European Commission 2020, S. 2).

3.1. Vorgehensweise

Auf Grund der ersten Forschungsfrage liegt der Schwerpunkt darin, relevante Konzepte und Anwendungen von KI in der CE zu identifizieren. In diesem Zusammenhang werden englische Studien ausgewertet, denn die Anwendung von KI in der CE ist derzeit Gegenstand zahlreicher globaler Forschungen. Die Suche konzentrierte sich auf die Datenbanken Science Direct von ELSEVIER, Google Scholar und den Publikationen der EMF. Obwohl die Studien sich nicht explizit auf KMU beziehen, bleiben die Konzepte relevant, denn sie berücksichtigen unterschiedliche Branchen.

3.2. Anwendungsbereiche der Technologie in der Kreislaufwirtschaft

Insgesamt birgt der Einsatz von KI in der CE enormes Potenzial für die Umsetzung von CE-Praktiken auf drei Ebenen: Mikro-, Meso- und Makroebene. Die erste Ebene bezieht sich auf die Unternehmen, die zweite auf Unternehmensnetzwerke und die letzte auf die Ebene der Städte, Regionen und Nationen (Acerbi/Forterre/Tausch

⁵ Übersetzung: Aufbauend auf [...] dem Potenzial digitaler Technologien kann die Kreislaufwirtschaft die industrielle Basis der EU stärken und [...] das Unternehmertum von KMU fördern. Innovative Modelle, die auf einer [...] kollaborativen Wirtschaft beruhen und von digitalen Technologien wie [...] künstlicher Intelligenz angetrieben werden, werden [...] die Kreislaufwirtschaft beschleunigen [...] und Europa weniger abhängig von Primärmaterialien machen.

2021, S. 370–371). Auf der Makroebene kann KI zur Überwachung der Art und Menge der Siedlungsabfälle eingesetzt werden. Sogenannte „Smart Cities“ nutzen laut Yigitcanlar und Cugurullo (2020, S. 1–2) urbane KI in städtischen Räumen, städtischen Infrastrukturen und städtischen Technologien, um die Stadt zu einer autonomen, unbeaufsichtigt agierenden Einheit zu machen. Hier entsteht eine Symbiose zwischen KI und einer intelligenten und nachhaltigen Stadtentwicklung. Ein Beispiel dafür ist die dänische Hauptstadt Kopenhagen. Dort wird der Plan „CPH 2025“ verfolgt, der die Stadt mithilfe von Smart-City-Lösungen bis 2025 kohlenstoffneutral machen soll (Giest 2017, S. 946–948). Interessanter für diese Arbeit sind indes die Anwendungen von KI auf Mikro- und Mesoebene, denn hier stehen die Unternehmen selbst im Fokus. Ziel dieses Unterkapitels ist es, dem Mittelstand in Deutschland einen Überblick über die zahlreichen Anwendungen zu gewähren, Best Practices zu beleuchten und somit Strategien aufzuzeigen, um auf eine nachhaltige CE umstellen zu können. Die Basis liefert ein sehr aufschlussreicher Report der EMF. Dort wird dargestellt, dass KI Innovationen in der CE branchenübergreifend auf verschiedene Arten fördern und ermöglichen kann: (1) Produktdesign, (2) Geschäftsmodelloptimierung und (3) Kreislaufinfrastrukturoptimierung (Ellen MacArthur Foundation 2019, S. 4–5). Im Folgenden werden die identifizierten Anwendungsbereiche kurz skizziert.

3.2.1. Produktdesign und Entwicklung

Jedes Produkt hat laut der europäischen Kommission während seines gesamten Lebenszyklus einen Einfluss auf die Umwelt. Dies gilt bei der Verwendung von Rohstoffen zur Herstellung eines Produktes bis zu dessen Entsorgung oder Wiederverwertung (Roberts et al. 2022, S. 2). KI kommt im Produktdesign und in der Entwicklung vor allem in der Vorhersage, der Optimierung und der Erkennung von Mustern zum Einsatz (Agrawal et al. 2022, S. 618). Laut Ghorerishi und Happonen (2020, S. 7) kann KI durch ML-basierte Verfahren bei der Entwicklung von geeigneten Kreislaufgütern, Komponenten und Materialien als Innovationsverstärker mitwirken. KI kann die Produktivität durch verbessertes Design erhöhen (Chauhan/Parida/Dhir 2022, S. 6), denn bei der Entwicklung von Produkten für die Kreislaufwirtschaft sollten die 4R-Designprinzipien angewandt werden, wobei recycelbare und langlebige Materialien eingesetzt werden sollen (Roberts et al. 2022, S. 4). KI kann helfen einzigartige Designs zu entwickeln, die die Wiederverwendung, Reparatur,

Aufarbeitung und das Recycling von biologischen Nährstoffen und technischen Komponenten ermöglichen. Dies erfordert Designfortschritte in Form von kreativem und intelligentem Design, um alle Materialien und Produkte auf dem Markt kreislauffähig zu machen (Ellen MacArthur Foundation 2019, S. 12). Eine effektivere CE entsteht durch die Trennung von Komponenten, die Teil des biologischen Kreislaufs sind und von den Komponenten, die Teil des technischen Kreislaufs sind. So können biologische Komponenten (z.B. Karton) im Design eines Produkts von den technischen Komponenten (z.B. Kunststoff) getrennt werden. Durch diese Trennung wird das Recyclingpotenzial erhöht, was wiederum zu einer effektiveren CE beiträgt (Roberts et al. 2022, S. 4). KI kann im Produktdesignprozess eingesetzt werden, um die beste Materialauswahl zu treffen und Empfehlungen auszusprechen; von leicht recycelbaren Materialien bis hin zur besten Verpackung für ein bestimmtes Produkt. Große Datenmengen können von der KI analysiert werden. Sie können daraufhin Empfehlungen aussprechen und den Designern bei der Bewertung von Ideen durch einen Feedback-Prozess helfen. Bei der Gestaltung eines Produkts ist schon von entscheidender Bedeutung, an Aspekte der Demontage und Aufrüstbarkeit zu denken (Ellen MacArthur Foundation 2019, S. 12). Laut Acerbi et al. (2021, S. 369) können Hersteller KI, eingebettete Sensoren und Lebenszyklusanalysen nutzen, um die Produktleistung in Echtzeit oder im Hinblick auf künftige Designverbesserungen zu regulieren und zu optimieren. Die KI, die Sensoren und die Lebenszyklusanalyse schätzen ab, wie lange ein Produkt Bestand hat, bevor es repariert werden muss. Dies führt dazu, dass bessere Leistungen in zukünftigen Produktversionen gewährleistet werden können. In diesem Zusammenhang eignet sich das Modell des Produkt-Service Systems (PSS), da es das Produkt und die damit verbundenen Dienstleistungen als integriertes System betrachtet, welches die Bedürfnisse der Verbraucher befriedigt. Wenn es darum geht, die Lebensdauer von Produkten zu verlängern und den Bedarf an Ersatzkäufen und Neuanschaffungen zu senken, kann PSS als optimales Geschäftsmodell für die Förderung ökologischer, sozialer und ökonomischer Systeme angesehen werden (Agrawal et al. 2022, S. 620). Durch die Bewertung des ökologischen Fußabdrucks eines Produkts oder durch Vorschläge für umweltfreundliche und somit nachhaltige Designs kann KI auch zur Abschätzung von Umweltauswirkungen eines Produkts genutzt werden. Roberts et al. (2022, S. 4) raten zur Entwicklung von KI-Systemen, die anhand relevanter und einschlägiger Umweltmerkmale trainiert werden, um eine

saubere und nachhaltige Produktion zu ermöglichen. So sollten neue Produkte aus wiederverwertbaren oder regionalen Materialien hergestellt werden. Dies würde es der dezentralen Fertigung ermöglichen, lokal verfügbare Nebenprodukte und Materialien zu nutzen und damit den Bedarf an neuen Ressourcen zu senken. Bei dieser Art der Herstellung werden Materialien in Kreisläufen geführt, sodass sie wiederholt verwendet werden können, was laut der EMF (2019, S. 3) einen zusätzlichen Nutzen generiert. Außerdem werden durch eine solche Produktion die Emissionen aus dem Transport von Materialien reduziert (Roberts et al. 2022, S. 5). Der Einsatz von Entscheidungsfindungsinstrumenten auf der Grundlage von Datenanalysen kann eine Produktion ermöglichen, die weniger Energie, Betriebsmittel und Wasser verbraucht (Acerbi/Forterre/Tausch 2021, S. 369–370). Hierbei können unter Berücksichtigung sowohl sozialer als auch wirtschaftlicher Faktoren etablierte Methoden wie das Ökodesign, das PSS-Design, das kollaborative Ökodesign und das nachhaltige Geschäftsmodelldesign angewendet werden (Agrawal et al. 2022, S. 622). Das Projekt „Accelerated Metallurgy“ der Europäischen Weltraumorganisation ist ein Beispiel dafür, wie KI in der Fertigung eingesetzt wird. Es setzt KI ein, um schnell und methodisch neue Metalllegierungen zu entwickeln und zu testen. Die innovativen Legierungen sind ungiftig und haben eine längere Haltbarkeit, da sie nach den Grundsätzen der CE hergestellt wurden. Dabei wird KI auf bekannte chemische Daten trainiert und soll Vorhersagen zu einer eventuellen Toxizität, zu Chemikalien oder anderen relevanten Materialien treffen, die noch nicht bekannt sind. Mithilfe von KI wurden neuartige Legierungen schneller als zuvor entdeckt (Ellen MacArthur Foundation 2019, S. 13). Durch den Echtzeitabgleich von Produktleistungsdaten mit virtuellen Methoden können KI-gestützte „digitale Zwillinge“ auch für die beste Wartung eingesetzt werden. Diese virtuelle Methode kann physische Objekte widerspiegeln und für eine optimale Instandhaltung eingesetzt werden. Dadurch werden Abweichungen schneller erkannt und können verbessert oder behoben werden, um das Produkt länger in Betrieb zu halten (Roberts et al. 2022, S. 5). Chauhan, Parida und Dir (2022, S. 6) raten zur Einführung einer 3D-Fertigungsanlage, um langlebigere Produkte anzubieten, um die Dienstleistungen für Kunden zu verbessern und um zugleich mehr Ressourcenwert zu gewinnen. Darüber hinaus können Unternehmen ihren Kunden qualitativ hochwertigere Dienstleistungen anbieten, indem sie Waren mit eingebauten Leistungsüberwachungssensoren entwerfen. Nach Ghoreishi und Haponen (2020,

S. 4) können diese Leistungsinformationen zur Planung der vorausschauenden Wartung und zur Abschätzung des künftigen Wartungsbedarfs von Produkten verwendet werden.

3.2.2. Kreislaufinfrastrukturoptimierung

Die Schaffung einer effizienten und nachhaltigen Infrastruktur ist für die Wiederverwendung, die Reparatur, die Wiederaufbereitung und das Recycling erforderlich (Ellen MacArthur Foundation 2019, S. 15). Dies setzt voraus, dass Daten und Technologien optimal genutzt werden. KI kann dabei eine entscheidende Rolle spielen. Sie kann dabei helfen Kreisläufe zu schließen und Ressourcen zu schonen. Dies geschieht durch eine präzise Datenerfassung und -analyse entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Um einen geschlossenen Kreislauf zu schaffen, müssen Produkte und Materialien gesammelt, sortiert, demontiert und wiederverwendet werden. Dies erfordert eine effiziente Planung von Recycling- und Abfallmanagementsystemen sowie die Schaffung von Rückwärtslogistik-Infrastrukturen. Diese beziehen sich auf die Produktbewegung entlang der Wertschöpfungskette in entgegengesetzter Richtung zur normalen Logistik und werden von KI bei der Planung von Recyclingsystemen und der Sortierung von Produkten unterstützt (Ghoreishi/Happonen 2020, S. 7). Ein Beispiel hierfür ist die Anwendung von KI bei der Sortierung von Alttextilien, wobei die Analyse von Textilproben mithilfe von ML-Algorithmen spezifische Fasertypen identifiziert und sortiert. Dies ermöglicht eine effizientere Wiederverwendung und Verarbeitung. Die Herausforderung bei der Wertschöpfung aus gebrauchten Produkten und Materialien ergibt sich allerdings daraus, dass diese Ströme aus gemischten und heterogenen Materialien sowohl biologischer Art als auch technischer Art bestehen. Ziel ist es, KI in der Kreislaufinfrastrukturoptimierung für optimierte Recycling- und Abfallmanagementsysteme zu nutzen. Hierbei werden Algorithmen eingesetzt, um den Materialfluss zu optimieren und die Rückgewinnung von Rohstoffen zu maximieren. Ein Beispiel ist die Anwendung von KI bei der Planung von Elektroschrottsammlungen und -recycling. Durch die Analyse von Daten zur Herkunft und Zusammensetzung von Elektroschrott können optimale Standorte für Recyclinganlagen und -zentren ermittelt werden (Ellen MacArthur Foundation 2019, S. 15). Eine verbesserte Planung von Abfallwirtschaft, Recycling und

Ressourcenmanagement sowie die Schaffung einer optimierten Lieferkette sind zentrale Bestrebungen der CE und fördern somit eine nachhaltige Wirtschaft.

3.2.2.1. Abfallwirtschaft, Recycling und Ressourcenmanagement

Der Literatur zufolge stellen die Optimierung der Abfallwirtschaft und das Recycling die wichtigsten Anwendungen von KI in der CE dar, denn sie führen zu einem verbesserten Ressourcenmanagement. Um eine nachhaltige Lösung zu finden, erfordert die Bewirtschaftung verschiedener Abfallströme, darunter Siedlungs-, Biomasse- und Industrieabfälle eine umfassende Strategie. In diesem Zusammenhang ist von Bedeutung, die gesamte Energie des Abfalls vollständig zurückzugewinnen und die Energieströme auszurichten und aufeinander abzustimmen, so dass die verschiedenen Abfallströme effektiv behandelt und recycelt werden können (Agrawal et al. 2022, S. 619). Auf der urbanen Makroebene ist die Strategie der Abfallwirtschaft am weitesten verbreitet. Intelligente Müllbehälter, die mit Sensoren ausgestattet sind, werden eingesetzt, um Abfalldaten direkt zu analysieren, die in ihnen befindlichen Materialien zu identifizieren und schließlich deren weitere Verwaltung zu erleichtern (Acerbi/Forterre/Tausch 2021, S. 369). KI-gesteuerte Roboter können auch in kommunalen Müllsortieranlagen eingesetzt werden, um diese zu testen, zu bewerten und möglicherweise zu verbessern. Sie könnten die manuelle Sortierung an vielen Fließbändern durch digitale Sortierung ergänzen oder ersetzen (Chauhan/Parida/Dhir 2022, S. 9). Der Daisy-Roboter von Apple (entwickelt im Jahre 2016) wurde zu diesem Zweck in Demontagelinien des Elektronikschrottsektors eingesetzt und war in der Lage wertvolle oder gefährliche Materialien am Ende des Lebenszyklus eines Produkts zurückzugewinnen, indem er bis zu 200 iPhone-Geräte pro Stunde in alle Einzelteile zerlegte. Eine solche präzise, effiziente und schnelle Demontage verbessert das Recycling (Roberts et al. 2022, S. 5). Die Effizienz, die dahinter steckt, erkennen auch Acerbi, Forterre und Tausch (2021, S. 369) an. Sie schlagen einen intelligenten Algorithmus vor, der auf die gleiche Weise wie der Roboter arbeitet, Entscheidungsprozesse erleichtert und kostenineffiziente Lösungen vermeidet. Im Bauwesen identifizieren Agrawal et al. (2022, S. 621) DL-Modelle, die zur Analyse und Vorhersage der wiederverwendbaren Mengen in Bauabfällen eingesetzt werden. Dies ermöglicht es den Unternehmen, ihr Abfallmanagement in Bezug auf Materialrückgewinnung zu verbessern: Die eingesetzte Technologie wählt den besten Zeitpunkt für die Trennung von

Materialien, trifft Angaben über Art und Menge der wiederverwertbaren Materialien und sagt die Abfallmenge vorher. Darüber hinaus identifizierten sie Bilderkennungstechniken, durch die eine effizientere Trennung von Kunststoffen und Glas möglich ist (Agrawal et al. 2022, S. 618). Solche KI-Systeme können aus einer kleinen Menge von Bildern lernen, Materialien mit einer Zuverlässigkeit von bis zu 90% zu klassifizieren und somit die Müllsortierung automatisieren (Chauhan/Parida/Dhir 2022, S. 6). Diese Technik führt zu einer Minimierung des Ressourcenverbrauchs, wie das Beispiel der Zusammenarbeit von dem britischen Unternehmen Unilever und dem chinesischen Unternehmen Alibaba zeigt. Beide Unternehmen testeten eine KI-gestützte Sortiermaschine, die auf Grundlage von Bilderkennung verschiedene Kunststoffe identifizieren und differenzieren konnte, um einen geschlossenen Kreislauf für das Kunststoffrecycling in China zu erreichen (Roberts et al. 2022, S. 5). Eine Anwendung von Blockchain-Smart-Contracts, ein Computercode, der auf einer Blockchain-Plattform Verträge automatisch ausführt, ermöglicht die Schaffung einer transparenten Datenbank, die Informationen über den gesamten Kunststofflebenszyklus speichert. Durch eine Fusion mit KI-basierten Algorithmen, welche mit Multisensordaten ausgestattet sind, werden sowohl Informationen über die physikalischen Eigenschaften als auch über die Qualität des recycelten Kunststoffes gesammelt und analysiert (Agrawal et al. 2022, S. 618). Ein anderer Anwendungsbereich stellt eine Food-Sharing-Praktik dar, die im Zusammenhang mit Lebensmittelabfällen vorgeschlagen wurde. Sie basiert auf KI-gestützten Apps und trägt zur Abfallvermeidung bei. Das Problem dabei ist jedoch, dass es noch wenig Erkenntnisse über solche Koordinierungsstrategien gibt (Chauhan/Parida/Dhir 2022, S. 9). Wie bereits dargestellt, werden Algorithmen eingesetzt, um das beste recycelbare Material für bestimmte Produkte im Designprozess auszuwählen. Dadurch verbessert sich auch die Präzision der Materialtrennung. Als Nebeneffekt ergibt sich, dass sich auch die Effektivität und der Standard der Recyclingprozesse erhöht. Eine Idee ist es, einen Algorithmus zu entwerfen, der die Fahrzeuge, die die Recyclingabfälle sammeln, kartiert und deren Beladung ausgleicht. Dadurch könnte die Planung optimiert werden (Acerbi/Forterre/Tausch 2021, S. 369).

Im Hinblick auf das Ressourcenmanagement identifizieren Agrawal et al. (2022, S. 621) ML-Modelle zur Optimierung des Stromverbrauchs. Diese Modelle erfassen und analysieren Daten über den aktuellen Stromverbrauch in Unternehmen. Sie

erkennen Muster und Trends und können Vorhersagen dazu treffen, wie der Stromverbrauch besser gesteuert werden könnte, um Energie und Kosten zu sparen. KI kann also die Fähigkeit von Stromnetzbetreibern verbessern, Energie zu verwalten und eine optimale Energieeffizienz zu gewährleisten. Nicht nur unternehmensintern kann eine solche Analyse hilfreich sein, sondern auch extern, also für die Verbraucher (Jose et al. 2020, S. 4). So nutzt Apple diese ML-Modelle bereits seit 2019, um das Nutzungsverhalten von iPhone-Nutzern vorherzusagen und so eine effiziente Batterieladung zu ermöglichen. Inzwischen haben Großunternehmen wie Google und DeepMind diese Modelle adaptiert, um Batterieladung zu optimieren und Strom zu sparen (Roberts et al. 2022, S. 5). In diesem Zusammenhang ist erwähnenswert, dass durch den Einsatz eines KI-basierten Entscheidungsunterstützungssystems, das auf einer planungsbasierten Analyse von Ausfallstatistiken beruht, Ressourcenverbrauch reduziert werden kann. Auf diese Weise kann die Einführung einer CE ermöglicht werden und das Unternehmen zu einer nachhaltigen Zukunft beitragen (Chauhan/Parida/Dhir 2022, S. 6–7). Ein solches System wirkt unterstützend bei der Entscheidungsfindung in der Abfallwirtschaft bezüglich Abwasser- und Bioabfallbehandlung. Dabei werden Kriterien zugrunde gelegt, die soziale, ökologische und ökonomische Aspekte gleichermaßen abdecken (Acerbi/Forster/Tausch 2021, S. 369). Eines der besten Beispiele der KI für die Verbesserung der Effizienz ist der Einsatz im Kohlekraftwerk von General Electric (GE), das durch KI eine effiziente Reduzierung von Treibhausgasen erreichen konnte. Die neuronalen Netze, die die anfallenden komplexen Daten während der Verbrennung von Kohle analysieren, geben intelligente Empfehlungen für die Anpassung des Anlagebetriebes (Jose et al. 2020, S. 5–6).

3.2.2.2. Lieferkettenoptimierung

KI-Technologien bieten bei der Optimierung der Lieferkette einen signifikanten Vorteil über alle Aufgaben und Funktionen im Rückwärtslogistikprozess (Agrawal et al. 2022, S. 621). Diese Art von Logistik beschreibt den Rückfluss von Produkten, Verpackungen und Materialien vom Endverbraucher zum Hersteller oder Händler. Diese Idee der CE gewinnt stetig an Bedeutung. Daher ist eine sorgfältige Auswahl der Lieferanten unter dem Gesichtspunkt der Rückwärtslogistik erforderlich. Dazu werden talentierte und sachkundige Logistikunternehmen benötigt, die wissen, wie

sie sich zwischen Herstellern und Zulieferern positionieren können (Ghoreishi/Happonen 2020, S. 2). In diesem Umfeld wurde der Einsatz von KI-Techniken zur Minimierung von Kohlenstoffemissionen bei der Gestaltung eines sogenannten Zwei-Echelon-Rückwärtslogistiknetzwerks untersucht (Agrawal et al. 2022, S. 620). Dieses System dient der Organisation des Rückflusses von Produkten und Materialien. Konkret werden Echtzeitinformationen über den Ressourcenverbrauch und die Abfallmenge erfasst und somit eine effiziente Situationsanalyse des Systems ermöglicht. Dieses System passt sich dann der Umwelt an (Acerbi/Forterre/Tausch 2021, S. 369). Unternehmen müssen neue Strategien für ein zirkuläres Design implementieren, um die Abfallmenge zu reduzieren. Diese Strategien sollen laut Acerbi, Forterre und Tausch (2021, S. 369) mit einem geeigneten Netzwerk verbunden sein. Der Einsatz von KI kann ein Modell entwickeln, das Investitionsentscheidungen in Bezug auf das Design von Lieferketten unterstützt. Dadurch wird die vertikale und horizontale Unternehmenszusammenarbeit auf der Mesoebene gefördert. Diese Interaktion trägt dazu bei, dass Unternehmen effektiver bei der Umsetzung von zirkulärem Design werden. Die Autoren identifizieren auch einige Hindernisse, die im Rahmen der Umsetzung einer geschlossenen Lieferkette überwunden werden müssen. Aber auch diese könne KI durch Verwaltung komplexer Daten über beispielsweise zurückgegebene Produkte effizient bewältigen. Große Probleme bereiten zurückgehende Produkte auch im Hinblick auf deren Qualität, Menge und dem Zeitpunkt der Rückgabe. KI kann zur Entwicklung von Werkzeugen der Entscheidungsunterstützung verwendet werden, die die Qualität eines Produkts bestimmen und die dafür erforderlichen Wiederaufbereitungsmaßnahmen empfehlen. Sollte keine regenerative Lösung vorhanden sein, könne KI auch die bestgeeignete und kosteneffizienteste Entsorgungsmethode vorschlagen (Acerbi/Forterre/Tausch 2021, S. 369). Die Architektur von KI-basierten Plattformen ermöglicht die Vermeidung von Unsicherheiten, indem sie Wissen über Dynamiken von Kreislaufsystemen sammeln, erforschen und verbreiten (Chauhan/Parida/Dhir 2022, S. 6). Dies bedeutet, dass Lieferketten effizienter gestaltet werden können, wodurch sowohl Ressourcen eingespart werden als auch der zeitliche Ablauf verkürzt wird

3.2.3. Geschäftsmodelloptimierung

Die Umstellung von linearen auf zirkuläre Geschäftsmodelle (engl.: Circular Business Models, CBM) erfordert Veränderungen. Das gilt für die Organisation der Bereiche Marketing, Preisgestaltung, Verkauf, Kundendienst, Kundenbetreuung, Logistik sowie Rückwärtslogistik. Hierfür werden CBMs eingesetzt, welche auf den Prinzipien der CE basieren (Ellen MacArthur Foundation 2019, S. 14). CBMs werden als Unternehmensmodelle definiert, welche Werte liefern, durch die bestimmte Geschäftsprozesse verbessert werden können (Chaunhan et al. 2022, S. 10). Diese Werte verbessern die Ressourceneffizienz durch verlängerte Produktlebenszyklen und erzielen somit ökologische, soziale und ökonomische Vorteile. KI kann als Innovationsverstärker in der Ausweitung innovativer CBMs wirken. Durch eine Kombination aus Echtzeit- und historischen Daten von Nutzern und Produkten kann KI dazu beitragen, den Produktkreislauf und die Anlagennutzung zu optimieren. Dies geschieht durch Vorhersagen zu Angebot und Nachfrage, intelligente Bestandverwaltung und vorausschauende Wartung (Ghoreishi/Happonen 2020, S. 7). Dieses Verfahren kann z.B. helfen, neue Geschäftsangebote einzuführen. Ein Beispiel dafür ist das Unternehmen „Stuffstr“, das gebrauchte Produkte von Endnutzern aufkauft und wieder auf Second-Hand-Märkten verkauft. ML-Methoden helfen dabei, wettbewerbsfähige Preise für den Verkäufer festzulegen. Damit fördert das Unternehmen nicht nur die Produktwiederverwendung, sondern bietet Verbrauchern unkomplizierte Lösungen, um genutzte Produkte loszuwerden. Innerhalb einer solchen Sharing Economy verwendet „Stuffstr“ die Methode der dynamischen Preisgestaltung (DP) (Ellen MacArthur Foundation 2019, S. 14–15). DP gilt als innovatives CBM. Denn wenn Produkte als Dienstleistung verkauft oder recycelte Produkte vermarktet werden, ist es meist schwierig, feste Preise festzulegen, da die Preise von einer Vielzahl von Variablen beeinflusst werden. Es wäre also ineffektiv und zeitaufwändig, sich als Unternehmen darauf zu verlassen, dass Einzelpersonen die Preise für jedes zurückgegebene Produkt manuell festlegen. Deshalb werden innerhalb der DP ML-Algorithmen verwendet, die eine Vielzahl von Faktoren, wie z.B. das Alter des Produkts und dessen Abnutzung sowie die Marktbedingungen, berücksichtigen und somit Preispunkte effizienter kalibrieren. Ein weiteres Beispiel ist die Plattform Ebay, die ihren Nutzern Preisvorschläge mithilfe von DP bietet (Roberts et al. 2022, S. 5). Eine Änderung des Geschäftsmodells kann auch mithilfe von PSS erreicht werden. Dieses

Geschäftsmodell ermöglicht die Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Ressourcenverbrauch und hat damit große Aufmerksamkeit auf sich gezogen. Denn es fördert eine Verlagerung des Schwerpunkts vom reinen Verkauf hin zum Verkauf des Nutzens durch eine Mischung aus Produkten und Dienstleistungen. PSS weisen dabei eine zirkuläre Natur auf und ähneln dem CE-Ansatz, da sie auf die Bedürfniserfüllung der Kunden konzentriert sind und Umweltauswirkungen minimieren (Pagoropoulos/Pigosso/McAloone 2017, S. 2).

3.3. Kapitelzusammenfassung und Hypothesen

Die Literatur zum Thema KI-Anwendungen ist vielfältig und liefert Beispiele für die Umstellung auf eine nachhaltige CE. Für die Bereiche Produktdesign und Entwicklung kann festgestellt werden, dass die Anwendung von KI-Systemen den Lebenszyklus von Produkten verlängern und Material- und Ressourcenverbrauch optimieren kann. KI kann die Entwicklung von wiederverwendbaren oder biologisch abbaubaren (intelligenten) Materialien mit verbesserten Eigenschaften fördern. Durch Designinnovationen werden die Kundenzufriedenheit erhöht und der Bedarf an neuen Produkten verringert. Außerdem können Produktlebenszyklen anhand von KI vorhergesagt werden. Damit können Unternehmen sicherstellen, dass auf Grund verbesserter Vorhersagen wegen möglicher Reparaturen und Wartungsarbeiten Produkte länger genutzt werden. Dies reduziert Material- und Produktionskosten und verkleinert den ökologischen Fußabdruck eines Unternehmens. Dafür werden KI-Systeme anhand von relevanten Umweltparametern trainiert, digitale Zwillinge für eine bestmögliche Instandhaltung eingesetzt und Algorithmen für die Vorhersage von beispielsweise chemischer Toxizität genutzt. Im Bereich der Kreislaufinfrastrukturoptimierung können KI-Technologien zur Verbesserung der Abfallwirtschaft, des Recyclings, des Ressourcenmanagements und der Lieferketten eingesetzt werden. Recyclingprozesse werden effizienter, Abfallmanagementsysteme digitalisierter (Abfallströme werden besser erfasst, sortiert und verarbeitet) und Lieferketten werden durch Echtzeitinformationen über den Ressourcenverbrauch optimiert. In diesem Zusammenhang minimieren Algorithmen den Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen und verbessern die Transportprozesse. Hierfür werden vor allem ML-Algorithmen zur Materialidentifizierung und Sortierung, Datenanalyse-Tools in der Planung des Materialflusses oder Bilderkennungstechnologien für die Überwachung von

Kreisläufen und der Identifizierung von wiederverwertbaren Materialien eingesetzt. Im Bereich der Geschäftsmodellinnovationen können neue Märkte und Einnahmequellen erschlossen werden. Dies wird ermöglicht durch die innovative Geschäftsmodellfindung mithilfe von KI. Sogenannte Sharing-Modelle könnten eine langfristige Nutzung von Produkten ermöglichen und dabei sowohl die Kundenzufriedenheit erhöhen als auch den Zielen einer nachhaltigen CE gerecht werden. Schließlich kann mithilfe von KI ein effizientes CBM entwickelt werden, das auf zirkulärem Design basiert und zugleich das Design von Lieferketten unterstützt. Auf Grundlage der Theorie und der Literaturlauswertung wurden folgende Hypothesen für die anfänglichen Forschungsfragen entwickelt.

F1: Wie können KMU KI-Technologien nutzen, um erfolgreich auf eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft umzustellen?

H1: Ein erfolgreicher Übergang zu einer nachhaltigen CE wird durch die gezielte Integration von KI-Technologien in die Geschäftsprozesse von KMU ermöglicht, was ihnen dabei hilft, Produkte und Dienstleistungen von Anfang an kreislauffähig zu gestalten, ihre Ressourcenflüsse durch optimierte Infrastrukturen, Abfallminimierung und der Gestaltung nachhaltiger Lieferketten besser zu verstehen, sowie fundierte Entscheidungen über nachhaltige und zirkuläre Geschäftsmodelle zu treffen. Darüber hinaus können sie auch von Anwendungen externer Anbieter profitieren, um schrittweise Fortschritte zu erzielen.

F2: Welche Herausforderungen stellen sich den KMU bei der Umstellung auf eine Kreislaufwirtschaft sowie im Zusammenhang mit dem Einsatz von KI?

H2: KMU, die erfolgreich auf eine Kreislaufwirtschaft umstellen wollen, müssen sich den Herausforderungen einer effektiven Zusammenarbeit und Koordination zwischen verschiedenen Akteuren entlang der Wertschöpfungskette stellen, ihre Produktionsprozesse ändern, in neue Technologien investieren, große Datenmengen verarbeiten und analysieren, die Sicherheit dieser Daten schützen und qualifizierte Mitarbeiter gewinnen. Dies erfordert eine umfassende Veränderung von Geschäftsmodellen und Unternehmensprozessen von der traditionellen Art zu einer zirkulären und nachhaltigen Wirtschaftsweise.

4. Zukunftsforschung: Strategic Foresight

Dieses Kapitel enthält die Darstellung des gewählten Forschungsdesigns. Im ersten Abschnitt wird Strategic Foresight vorgestellt und die Motivation für die Auswahl erläutert. Im zweiten Abschnitt wird die gewählte Strategic Foresight Methode ausführlich beschrieben. Anschließend werden die einzelnen Schritte ausgeführt, die innerhalb der gewählten Forschungsmethode angewendet werden. Am Ende des 4. Kapitels werden die Möglichkeiten und Limitationen der vorliegenden Forschung diskutiert. Daraufhin folgen die strategischen Handlungsempfehlungen für KMU. Im Anschluss an die empirische Untersuchung werden die aufgestellten Hypothesen aus Kapitel 3 im 5. Kapitel mit dem methodischen Ergebnis verglichen, um sodann entweder bestätigt oder widerlegt zu werden.

4.1. Strategic Foresight – Einführung

Müller und Müller-Stewens (2009, S. 6–9) betonen, welche hohe Bedeutung Strategic Foresight als Methode zur systematischen Analyse von relevanten Trends und Entwicklungen für die Zukunft eines Unternehmens haben kann. Durch strategische Vorausschau soll die Bereitschaft eines Unternehmens erhöht werden, strategische Antworten für potenzielle zukünftige Ereignisse zu generieren. Ziel ist es, glaubwürdige Zukunftsszenarien zu erstellen, die die Entscheidungsfindung des Managements unterstützen. Durch fantasievolles „Storytelling“ zur Ermittlung der Auswirkungen von Entscheidungen können alternative Zukunftsmöglichkeiten geschaffen werden, die durch unmittelbare Lösungen wie Verbraucherumfragen, Wettbewerbsdaten oder Finanzinformationen nicht entstanden wären. Die Ermittlung möglicher Handlungsoptionen für die Zukunft kann von Teams genutzt werden, um ihre bisherigen Ansichten zu überdenken, gemeinsame Visionen zu entwickeln und über spezifische Aktivitäten zur Gestaltung der Zukunft zu entscheiden.

4.2. Forschungsdesign und Methodenwahl

Um die passende Forecasting-Technik zu wählen, ist es laut Cambers, Mullick und Smith (1971, S. 7) wichtig, sich zunächst drei zentralen Fragen zu stellen. Zunächst soll Klarheit über das Ziel des Forecasts und dessen Verwendung hergestellt werden. Daraufhin soll geklärt werden, aus welchen Komponenten das System besteht und welche Dynamiken es entwickeln könnte. Darüber hinaus muss eruiert

werden, welche Bedeutung die Vergangenheit für die Voraussage der Zukunft hat. Sobald diese Fragen beantwortet sind, kann die geeignete Methode gewählt werden. Dabei gilt es zwischen qualitativen Techniken, Zeitreihenanalysen und -projektionen sowie kausalen Modellen zu unterscheiden. Qualitative Techniken umfassen beispielsweise die Auswertung von Expertenmeinungen und Daten aus vergangenen Forschungen. Bei Zeitreihenanalysen und -projektionen werden lediglich Muster und Veränderungen aus der Vergangenheit analysiert. Bei kausalen Modellen werden spezifische Informationen über die Beziehung von verschiedenen Elementen genutzt (Chambers/Mullick/Smith 1971, S. 7–11). Die ausgewählte Methodik basiert auf einer bestimmten Prognosemethode, dem sogenannten Forecasting Funnel (FF). Er wurde von Amy Webb, der Geschäftsführerin und Gründerin des amerikanischen Future Today Institutes (2023), entwickelt. Da die Themen nachhaltigere Wirtschaftsweisen und Technologien wie KI sehr zukunftsweisend sind und beiden für die Zukunft eine immer wichtigere Bedeutung zugesprochen wird, wird der FF genutzt, um KMU in diesen Bereichen so gut wie nur möglich vorzubereiten. Ziel der Anwendung ist die Entwicklung konkreter Handlungsempfehlungen für KMU in Deutschland, die die Technologie der KI einführen möchten, um erfolgreich auf eine Kreislaufwirtschaft umzustellen und damit einen Beitrag zu einer emissionsneutralen Wirtschaft zu leisten.

4.3. Forecasting Funnel

4.3.1. Umsetzung der Methode des Future Today Institute

Amy Webb erklärt in ihrem Buch „The Signals Are Talking“ (Webb 2016, S. 35–36), dass FF die Fähigkeit umfasst, Muster in der Gegenwart zu erkennen und zu analysieren, um zukünftige Entwicklungen vorherzusagen. Damit wird Unternehmen ermöglicht, aktiv an der Zukunft mitwirken zu können oder zumindest nicht von zukünftigen Veränderungen überrascht zu werden.

Webb führt lediglich sechs Schritte in dem eben genannten Buch an, zusätzlich sollte laut des Tech Trend Reports (Webb et al. 2022, S. 4) ein weiterer erster Schritt durchgeführt werden. Der FF fungiert demnach als Trichter mit sieben Schritten innerhalb von drei Methoden: Megatrend-Analyse, Szenario-Planung und Backcasting (Schwuchow 2023, S. 36). Der erste Schritt besteht darin, Trends zu erkennen, während die letzten beiden Schritte konkrete Handlungsempfehlungen

liefern sollen. Hierbei werden qualitative Techniken, Zeitreihenanalyse und -projektionen in mehreren Diskussionsrunden und Brainstorming-Sitzungen miteinander verbunden, um Unternehmen wissenschaftliche fundierte Entscheidungen für die Zukunft zu ermöglichen. Im Folgenden werden die einzelnen Schritte kurz dargestellt:

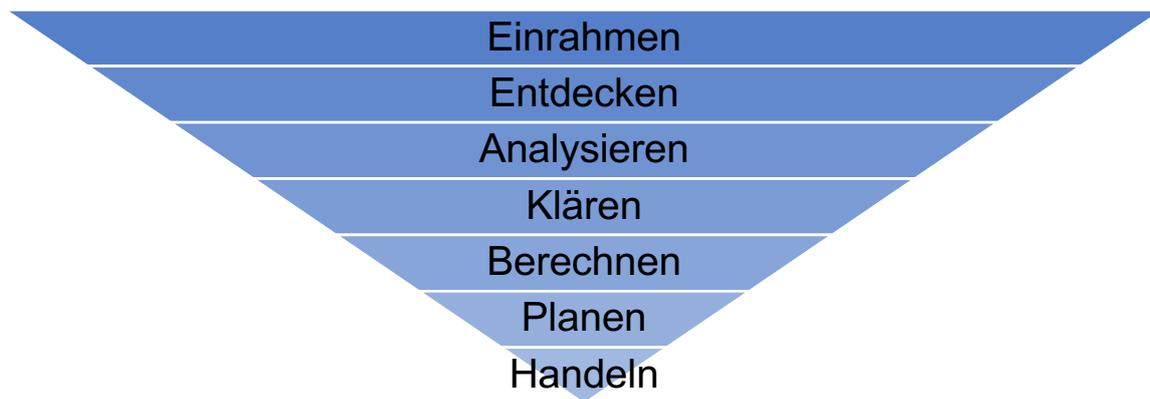


Abbildung 8: Die Schritte der Forecasting Funnel Methode (Eigene Darstellung in Anlehnung an Webb 2016, S. 36–37; Webb et al. 2022, S. 4)

Dieser Ansatz zielt darauf ab, die Zukunft von x zu ermitteln (Webb 2016, S. 37), wobei x in der vorliegenden Arbeit als die Zukunft von KI definiert ist, um nachhaltigere Wirtschaftsmaßnahmen zu ergreifen und den Übergang zu einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft zu beschleunigen. Im Folgenden werden die einzelnen Schritte dargestellt.

4.3.1.1. Einrahmen

Im ersten Schritt geht es darum, die richtigen Fragen zu stellen und sich Gedanken über den Zeitrahmen sowie die beteiligten Personen und Interessengruppen zu machen (Schwuchow 2023). Allgemeine Fragen und Definitionen (wie z.B. von CE, KI und KMU) wurden bereits in den Kapiteln 2 und 3 gestellt bzw. behandelt. Hier ist auch erörtert worden, welche Herausforderungen auf KMU im Zusammenhang mit der Implementierung von KI und der Umstellung auf die CE zukommen könnten. Auf die damit in Verbindung stehenden Chancen und erfolgreichen Umsetzungsstrategien ist ebenfalls hingewiesen worden. Nunmehr geht es um weitere Fragen, die im Rahmen der Forschung beantwortet werden müssen. Diese

sollen Aufschluss darüber geben, welche Megatrends⁶ sich zurzeit entwickeln und welchen Einfluss sie auf die Zukunft von KI für Nachhaltigkeitsbestreben haben. Es geht auch darum zu untersuchen, welche externen und internen Entwicklungen Einfluss auf die Weiterentwicklung der Megatrends haben werden.

Die Bundesrepublik Deutschland hat sich zum Ziel gesetzt, bis 2045 emissionsneutral zu werden. KMU in Deutschland könnten die Erreichung dieses Zieles unterstützen, wenn sie nachhaltiger werden und zirkuläre Geschäftspraktiken verfolgen würden. Die Unternehmen würden selbst davon profitieren, denn - wie bereits ausgeführt - eine Umstellung auf nachhaltige Geschäftspraktiken kann mit langfristigen Wettbewerbsvorteilen verbunden sein. Die Forschung bezieht sich demnach auf einen Zeitrahmen von knapp 22 Jahren. Der Forschungserfolg würde darin bestehen, konkrete Handlungsempfehlungen für die Strategiewandlung von KMU abgeben zu können. Das Ziel der Forschung ist die Prognostizierung der Zukunft von KI für eine nachhaltige Wirtschaft in der Bundesrepublik Deutschland. Die Handlungsempfehlungen sollen den KMU zur Vorbereitung auf künftige Veränderungen dienen. In den vergangenen Jahren sind eine Vielzahl von Studien namhafter Unternehmen zu dieser Thematik vorgelegt worden. Hierzu gehören unter anderem die bereits genannte EMF, McKinsey & Company und das Future Today Institute.

4.3.1.2. Entdecken

Im Rahmen der Zukunftsforschung besteht die Notwendigkeit, einen erweiterten Blickwinkel einzunehmen; einen Blickwinkel, der über konventionelle Denkmuster hinausgeht. Ein Trend ist die Beobachtung von Veränderungen eines Phänomens im Laufe der Zeit entlang einer linearen, fluktuierenden oder exponentiellen Achse, mit quantitativen oder qualitativen Merkmalen (Wilkinson/Borges de Castro 2017, S. 17). Dabei werden schwache Signale am Rande des Geschehens aufgegriffen und Beobachtungen aus einer breiten Palette von Quellen und Themen gesammelt (Schwuchow 2023). In diesem Zusammenhang sind nicht nur Trends beachtet worden, die in direkter Verbindung mit der CE und der KI in der Wirtschaft stehen, sondern auch allgemeine Trends. Hierzu sind sowohl Studien und Berichte von

⁶ Definition: Megatrends benennen und beschreiben komplexe Veränderungsdynamiken und sind ein Modell für den Wandel der Welt. Sie wirken auf alle Ebenen der Gesellschaft und beeinflussen Unternehmen, Institutionen und Individuen (zukunftsInstitut 2023).

Klimawandel, die damit einhergehende Ressourcenschonung, Themen wie Nachhaltigkeit und Umweltbewusstsein, die Umstellung der Wirtschaft auf nachhaltige Geschäftsmodelle und nachhaltige lokalisierte Lieferketten, den Wandel in Unternehmen durch Technologisierung sowie die Wirtschaftsverlagerung auf erneuerbare Energien, die Stärkung der globalen Zusammenarbeit, die aus der Vernetzung resultiert, den demografischen Wandel, die damit entstehende alternde und steigende Bevölkerung sowie der soziale Wandel, der Wettbewerb um Talente und digitale Arbeitskräfte, die Ethik der KI im Hinblick auf Cybersicherheit sowie die zunehmende Cyberkriminalität.

4.3.1.3. Analysieren

Die folgenden drei Schritte (Unterkapitel 4.3.3.3., 4.3.3.4. und 4.3.3.5.) dienen der Megatrendanalyse. Megatrends entstehen durch eine Kombination aus verschiedenen Trends (Wilkinson/Borges de Castro 2017, S. 17). Das Ziel der Analyse ist es, die Bedeutung und den Einfluss auf Entscheidungsprozesse zu ermitteln. Die Kategorisierung der Randgebiete soll der Aufdeckung versteckter Muster dienen. Zur Identifizierung wird das CIPHER-Rahmenwerk (engl.: Der Code) des Future Today Institute genutzt. Der Code umfasst eine Reihe von Komponenten, die im Folgenden näher untersucht werden, um festzustellen, ob sie tatsächlich Indikatoren für Trends sind (Schwuchow 2023, S. 38).

Contradictions – Hierbei geht es darum, Beispiele zu identifizieren, die zeigen, dass gegensätzliche oder unvereinbare Kräfte gleichzeitig wirken (Schwuchow 2023, S. 38). Einige Beispiele für solche widersprüchlichen Trendkräfte werden im Folgenden aufgezählt:

Widersprüchliche Kräfte	
Verbesserung des ökologischen Fußabdrucks	Steigender Energiebedarf durch große Rechenzentren
Internationaler Handel: Umweltauswirkungen	Ressourcenknappheit und Schutz der Umwelt
Ständige Innovation und Erwerb neuer Fähigkeiten	Mithalten mit technologischen Veränderungen

Austausch von Ideen, Waren und Informationen	Nationale Interessen und Lokalisierung
Rapide Entwicklung von KI	Transparenz und Resilienz
KI-Systeme und Big Data	Datenschutz, Diskriminierung, Privatsphäre
Umwelt, Soziales, Unternehmensführung	Green Washing, Neudefinition ESG
Lieferkettensorgfaltspflichtgesetz	Definition und Umsetzung unklar
Individuum	Dividuum
Homogene KI-Stämme	Diversität der KI-Stämme
Generation Global	Populismus, Nationale Interessen

Tabelle 3: Widersprüchliche Kräfte (Eigene Darstellung in Anlehnung an Webb 2016, S. 151)

Inflections – Kipppunkte zeigen Ereignisse auf, die einen wichtigen Wendepunkt markieren oder ein neues Paradigma begründen (Schwuchow 2023, S. 38).

In den 1980er Jahren entstand der Begriff „Deep Learning“. Anfang des 21. Jahrhunderts gewann DL zunehmend an Bedeutung durch ihre Fortschritte, z.B. als 2018 das BERT-System von Google einen ImageNet-Wettbewerb gewann und bis heute den Stand der Technik im Bereich Spracherkennung definiert (Wennker 2020a, S. 33–35).

Im Jahre 1994 kamen in der Ökonomik erste Gedanken auf, die bisherige Art und Weise des Wirtschaftens (Durchlaufwirtschaft) durch eine andere Art und Weise (CE) zu ersetzen. Die Bundesrepublik Deutschland gilt auf Grund ihrer ordnungspolitischen Vorgaben dabei als ein Vorreiter. Sie übertrug die Verantwortung für die Abfallwirtschaft auf die Akteure, die Güter produzieren, vermarkten und verbrauchen („Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen“) (Roberts et al. 2022, S. 2). Eine Überarbeitete Fassung wurde 2012 eingeführt, das KrWG und das AbfG (Stöbel/Fluchs/Neligan 2023).

Auch das Jahr 2011 kann als Kipppunkt bewertet werden. In diesem Jahr wurde das geheim gehaltene Projekt von Google für selbstfahrende Autos publik. Die Mitbegründer Larry Page und Sergey Brin prophezeiten, dass intelligente Fahrzeuge den Verkehr sicherer und effizienter machen und die Umwelt schonen würden (Webb

2016, S. 136). Im Juni 2022 veröffentlichte die europäische Kommission einen Vorschlag über die Klimaneutralität des Verkehrssektors bis 2050. Ein Beschluss von März 2023 gibt vor, dass alle Autos, die neu auf den Markt kommen, ab 2035 emissionsfrei sein sollen (Duch Guillot 2023, S. 2).

Ende 2019 brach eine weltweite Pandemie in Wuhan (China) aus. Auf Grund der Auswirkungen dieser Pandemie entstanden vielfältige digitale Lernplattformen an Schulen, hybride Arbeitsmodelle in der Arbeitswelt und an den Universitäten, sowie andere digitale Plattformen, wie z.B. die Luca-App oder die Corona-Warn-App.

Im April 2021 veröffentlichte die EU-Kommission einen Vorschlag für ein Gesetz über KI, bei dem es vor allem um die ethischen Fragen in Verbindung mit der Entwicklung und dem Einsatz von KI geht. Der Vorschlag unterliegt noch einem Prozess der Überarbeitung, Diskussion sowie Zustimmung durch das EU-Parlament und dem Rat der EU-Mitgliedsstaaten. Experten aus Wissenschaft, Technik und Forschung forderten, die weitere Entwicklung von KI vorerst auszusetzen. Am 30. März 2023 rief die Organisation der Vereinten Nationen für Erziehung, Wissenschaft, Kultur und Kommunikation (UNESCO) die Staatengemeinschaft auf, ihre Empfehlungen zur Ethik der KI von 2021 unverzüglich umzusetzen.

Amy Webb hebt hervor, dass die größte Innovation des 21. Jahrhunderts in der synthetischen Biologie stattfinden werde, also an der Schnittstelle zwischen Biologie und Technologie. Daraus resultieren nämlich Möglichkeiten wie das Erzeugen von Gewebe für die Reparatur menschlicher Organe, das Züchten von Fleisch aus dem Labor oder die Entwicklung von Biokraftstoffen aus Algen (Schwuchow 2023, S. 35–36).

Im Frühjahr 2022 brach ein Krieg zwischen der Ukraine und Russland aus, der zu erheblichen Störungen in den globalen Lieferketten, insbesondere im Energiesektor, führte (Bryan et al. 2023, S. 4, 44). Die hohen Energiepreise infolge ausbleibender Gaslieferungen aus Russland stellten im September 2022 den größten Belastungsfaktor für die KMU in Deutschland dar (Schwartz/Abel-Koch/Brüggemann 2022, S. 1).

Ende 2022 löste der virale Chatbot von OpenAI, der mit generativer KI arbeitet, weltweite Beachtung aus (Webb et al. 2023, S. 6). Das Tool kann einfache Fragen beantworten, ist aber zudem in der Lage komplexe Texte zu produzieren (Referate, Reden usw.). Die italienische Regierung sprach aus Datenschutzgründen zunächst ein Verbot für den Chatbot aus.

Practices – Praktiken sind neu entstehende Verhaltensweisen, die an Bedeutung oder an Popularität gewinnen (Schwuchow 2023, S. 38). Neue Verhaltensweisen erwachsen beispielsweise aus einem verstärkten Umweltbewusstsein: Dies führt dazu, dass Verbraucher nachhaltiger und bewusster konsumieren, auf die Herkunft von Produkten achten und sich über die Trennung von Abfällen Gedanken machen. Zahlreiche Initiativen, wie die Bewegung „Fridays for Future“ oder die „Letzte Generation“, verstärken diesen Trend. An Bedeutung hat auch die Forschung im Bereich der Technologie als Wegbereiter für Nachhaltigkeit (wie z.B. das Umsetzen einer CE) gewonnen. So ergab eine Studie, dass sich dieser Forschungsbereich seit 2018 mehr als verdreifacht hat (Chauhan/Parida/Dhir 2022, S. 5).

Die zunehmende Konnektivität über Smartphones sowie über das Internet könnte auf eine zunehmende Vertrautheit mit digitalen Geräten hindeuten. Prognostiziert wird, dass bis 2030 die Zahl der mit dem Internet verbundenen Geräte auf 127 Milliarden ansteigen wird (Vergleich: 27 Milliarden in 2017) (Gaub 2019, S. 18). Das Nutzen von Leasingmodellen deutet darauf hin, dass Menschen vermehrt bereit sind, Ressourcen zu teilen. Durch die steigende Nutzung von Technologien verstärken sich auch die Diskussionen über Datenschutz, Transparenz, Bias und Verantwortlichkeit von KI-Systemen. Auch die Nutzung von synthetischer Biologie wird als Fluch und als Segen angesehen und hat zu einer breiten Diskussion in der Gesellschaft geführt (Schwuchow 2023, S. 36).

Hacks – Hacks sind erfinderische oder unbeabsichtigte Verwendungen von Werkzeugen, Technologien und Systemen (Schwuchow 2023, S. 38). Durch die Einführung von Kryptowährungen wie z.B. Bitcoin wurde die Blockchain bekannt. Jede Kryptowährung ist mit einer Blockchain verknüpft. Die Übertragung der Blockchain-Technologie auf andere Wirtschaftsbereiche ermöglicht die Rückverfolgung von Materialströmen (z.B. über Smart Contracts oder verteilte Ledger Systeme) sowie die Sammlung von ESG-Daten (Bryan et al. 2023, S. 27, 56). Ein anderer Hack stellt die Verstärkung der Nutzung von kollaborativen Tools und virtuellen Plattformen während der Covid-19-Pandemie dar. Da soziale Distanz gewahrt werden musste, waren Unternehmen dazu gezwungen, auf Technologie-Tools und Software zurückzugreifen, um die Zusammenarbeit der Beschäftigten aufrechtzuerhalten. Dieses Beispiel hat gezeigt, dass Unternehmen in der Lage sind,

sich schnell an veränderte Bedingungen anzupassen, um produktiv zu bleiben (KfW Bankengruppe 2022, S. 1, 6).

Extremes – Extreme sind Beispiele für Technologien, Funktionen oder Konzepte, die die Grenzen des Möglichen verschieben. Diese Fortschritte können die Art und Weise, wie bestimmte Konzepte oder Technologien eingesetzt werden, tiefgreifend verändern (Schwuchow 2023, S. 38). Die ersten Jahre nach der in Kapitel 2.2. dargestellten Dartmouth-Konferenz im Jahre 1956 waren von großem Optimismus geprägt. Mitte der 1960er Jahre weckte KI die Hoffnungen auf kommerziellen Erfolg. Infolge des Artikels von Gordon Moore über das Moore'sche Gesetz, das besagt, dass Computer immer leistungsfähiger werden, ist viel Geld in KI investiert worden. Die Entwicklung erwies sich jedoch als schwieriger als erwartet, so dass der "KI-Winter" entstand. Trotzdem verzeichnete der Sektor bis 1980 ein erhebliches Wachstum, und einige KI-Teilbereiche wurden erfolgreich kommerzialisiert. In den 1990er und Anfang der 2000er Jahre wurden neuronale Netze mit bemerkenswertem Erfolg für spezialisierte Tätigkeiten wie das Spielen von Brettspielen eingesetzt. Ein entscheidender Moment war die Entwicklung von AlphaGo durch DeepMind⁷ im Jahre 2014. AlphaGo zeigte, dass Technologie in der Lage ist, mit schwierigen Situationen umzugehen und menschliches Wissen zu übertreffen, indem es einen professionellen Go-Meister und später den Weltmeister besiegte (Webb 2019, S. 51-58). Im Jahre 2022 ergaben sich technologische Fortschritte im Bereich der Quantum Computer. Diese bieten eine extreme Rechenleistung- und Geschwindigkeit und können komplexe Berechnungen durchführen. Das Tech-Unternehmen IBM stellte einen Quantenprozessor vor, der bis 2025 erhebliche Verbesserungen erfahren soll. Bei erfolgreicher Umsetzung könnten Unternehmen in den Bereichen Automobilbau, Chemie, Finanzdienstleistungen und Biowissenschaften enorm profitieren (Bogobowicz et al. 2023, S. 2, 4).

Rarities – Abschließend sind Seltenheiten zu betrachten, die Phänomene oder Ereignisse darstellen, die unerwartet sind (Schwuchow 2023, S. 38). Insgesamt lässt sich sagen, dass die KI das Leben grundlegend verändert hat. Vor wenigen Jahren

⁷ Ein von Google übernommenes amerikanisches Deep-Learning-Start-up, welches von Demis Hassabis, Shane Legg und Mustafa Suleyman gegründet wurde (Webb 2019, S. 59).

war für die meisten Menschen die Vorstellung, autonome Fahrzeuge wie den Tesla, Kryptowährungen wie den Bitcoin oder intelligente Sprachsysteme wie Alexa zu besitzen oder nutzen zu können, noch unvorstellbar. Aktuell wird die enorme Weiterentwicklung der KI auch mit der Hoffnung auf die Lösung vieler Probleme auf der Welt, vor allem dem Klimawandel, assoziiert (Papasabbas/Pfuderer 2023). Dieses Phänomen nennt sich „Dataism“ und wird durch den Hype um die scheinbar unbegrenzten Möglichkeiten der Datenauswertung angefeuert. Diese „Digitalreligion“ projiziert somit die Lösung von Problemen auf digitale Technologien.

4.3.1.4. Klären

Im vierten Schritt des FF geht es darum, Fragen zu stellen. Hier soll untersucht werden, welche Relevanz die identifizierten Trends für den Untersuchungsgegenstand haben (Schwuchow 2023, S. 38). Hierunter fallen Megatrends, deren Operationalisierung und Übersetzung in nationale Trends, die Untersuchung der Dynamik und des zeitlichen Ablaufs der Auswirkungen, die Abstimmung von Megatrends mit sektoralen Prioritäten, die Identifizierung neuer Bedrohungen und Chancen sowie die Untersuchung der Auswirkungen auf Märkte und technologische Implikationen. Diese Methodik basiert auf einem Austausch nationaler Megatrend-Erfahrungen von Mitgliedern der OECD Governmental Foresight Community im Jahr 2014 (Wilkinson/Borges de Castro 2017, S. 18). Die oben genannten Schritte werden nun auf die im Zusammenhang mit dem vorliegenden Thema wichtigsten Megatrends angewendet. Diese enthalten Wandel in Globalisierung und Mobilität, Demografie und Sozialisierung, Nachhaltigkeit und Umweltbewusstsein sowie Technologie und Digitalisierung. Im Rahmen dieses Schrittes soll allen Annahmen und Behauptungen kontinuierlich widersprochen werden (Schwuchow 2023, S. 38).

Im Zuge der Liberalisierung des internationalen Handels sind in den letzten zwei Jahrzehnten transnationale Unternehmen entstanden. Sie operieren über nationale Grenzen hinweg, beeinflussen den globalen Wettbewerb und stärken die globale Zusammenarbeit (Gaub 2019, S. 23). Der internationale Wandel erleichtert den Austausch von Waren, Dienstleistungen und Ideen und fördert die **Globalisierung**. Dieser Trend kann durch geopolitische Entwicklungen (wie z.B. der Krieg zwischen Russland und der Ukraine) nachhaltig gestört werden. Geopolitische Krisen können

direkte Auswirkungen auf die deutsche Wirtschaft haben. Der Krieg in der Ukraine hat zu einer zunehmenden Zusammenarbeit der westlichen Staatengemeinschaft in Fragen der Sicherheit, der Technologie und der Verteidigungsfähigkeit geführt (Naughtin et al. 2022, S. 25, 26). Zudem entstanden Störungen in den Lieferketten für europäische Unternehmen (Haselbauer/Bartlett-Mattis 2022, S. 7). In diesem Zusammenhang kommt der Resilienz der Wirtschaft eine entscheidende Bedeutung zu, denn die globale Wirtschaft ist heute schnelllebig, kompliziert und stark voneinander abhängig. Anpassungsfähige Unternehmen können auch in solchen Krisenzeiten wirtschaftlich agieren (Guggenberger et al. 2023, S. 11–13).

Das Entstehen großer Weltmächte wie China ist ein weiterer wichtiger Trend. Die enorme Bevölkerungszahl und die rasante wirtschaftliche Entwicklung haben erhebliche Auswirkungen auf die Erhaltung und Nachhaltigkeit der Umwelt. Politische und wirtschaftliche Entscheidungen und Handlungen der Bundesrepublik Deutschland, wie z.B. die Befreiung aus der Energie- und Rohstoffabhängigkeit von China, können große Auswirkungen auf die Umwelt haben (Bryan et al. 2023, S. 44). Prognosen gehen davon aus, dass Großmächte aus Asien die Weltwirtschaft im Jahr 2030 dominieren werden.

In diesem Zusammenhang heben viele Analysten den Beginn einer Multipolarität⁸ hervor. Diese geht einher mit der Ungewissheit der geopolitischen Zukunft und resultiert aus den Gedanken, dass sich der Einfluss Chinas weltweit verstärken wird, die NATO nicht mehr existieren wird, nationalistische Staaten instabile Allianzen bilden und dass aus Unsicherheit und Instabilität eine Vielzahl von Kriegen, Populismus und Protektionismus erwachsen könnten (Gaub 2019, S. 13, 19).

Die Notwendigkeit von **nachhaltiger, umweltfreundlicher Mobilität** wird angesichts der Umweltprobleme wie Klimawandel und Luftverschmutzung immer wichtiger. Technologischer Fortschritt, sich verändernde Nutzungsmuster und ein verändertes Verbraucherverhalten treiben diesen Trend voran (Bryan et al. 2023, S. 29).

Elektromobilität ist eine Form des umweltfreundlichen Verkehrs. Im Vergleich zu herkömmlichen Verbrennungsmotoren nutzen Elektrofahrzeuge Strom als Antriebsquelle, wodurch gefährliche Schadstoffe reduziert werden. Dank staatlicher Anreize, Fortschritten in der Batterietechnologie und dem Ausbau der Ladeinfrastruktur werden Elektrofahrzeuge immer attraktiver – auch finanziell

⁸ Definition: Die Strukturierung der Welt um „Pole“, d.h. um zusammenhängende Machtzentren (Gaub 2019, S. 19).

(Deichmann et al. 2023, S. 2–4). Durch Anreize wie Steuererleichterungen und kostenlose Parkplätze für Elektrofahrzeuge haben Länder wie Norwegen bereits große Fortschritte bei der Förderung des Elektroverkehrs erreicht (Astrup 2020, S. 29). Neue Technologien für das autonome Fahren haben das Potenzial, die Effizienz, die Sicherheit und den Komfort für Verbraucher im Straßenverkehr zu erhöhen. Die deutsche Automobilbranche sollte sich auf diese Entwicklung vorbereiten und entsprechende Strategien vorhalten (Deichmann et al. 2023, S. 12). Der Verkehrssektor trägt zu immensen Emissionen bei. Der Ausbau grüner Energien stellt eine Lösung der Sanierung dieses Sektors dar (Gaub 2019, S. 9). Weitere wichtige Trends im Bereich Mobilität stellen multimodales Reisen und die Sharing Economy dar. Plattformen wie Carsharing oder Airbnb fördern eine gemeinsame Nutzung von Ressourcen. Prognostiziert wird ein Anstieg der Share Economy. Sie gehen davon aus, dass die zunehmende Bedeutung Wirtschaftszweige umgestalten wird (European Strategy and Policy Analysis System. et al. 2015, S. 13).

Darüber hinaus hat die COVID-19-Pandemie dazu geführt, dass sich weitere innovative Mikromobilitätsformen herausgebildet haben. Um die Ausbreitung der Krankheit zu verlangsamen, verzichteten viele Menschen auf öffentliche Verkehrsmittel und nutzten stattdessen alternative Möglichkeiten wie Fahrräder, E-Scooter oder nahmen Fußwege in Kauf. Beispiele sind das Etablieren einer Vielzahl von Optionen wie Elektrofahrräder- und Roller. Das Mikromobilitätsunternehmen Vässla bietet über eine mobile App Elektro-Fahrräder zur Miete an. Die Fahrzeuge können an einer Reihe von Standorten abgeholt und zurückgegeben werden (Messling et al. 2023, S. 39).

Globalisierung und Mobilität führt dazu, dass immer mehr Menschen in städtische Gebiete ziehen. Eine nachhaltige Stadtplanung und -entwicklung ist deswegen unerlässlich. Nach Angaben des US Green Building Council sind Gebäude für mehr als 30% der energiebedingten Kohlenstoffemissionen verantwortlich (Messling et al. 2023, S. 40).

Smart Cities sind ein Beispiel dafür, wie Städte lebenswerter und umweltfreundlicher werden können, indem vor allem sogenannte Net-Zero-Buildings errichtet werden (Haselbauer/Fuhrich/Bartlett-Mattis 2022, S. 11–13). Sie beruhen auf technologischen Errungenschaften und nachhaltigen Idealen. Die dänische Hauptstadt Kopenhagen koordinierte das europäische Forschungsvorhaben

„FORCE“. Das gemeinsame Vorhaben für die Schaffung einer CE hat zum Ziel, neue Konzepte zur Abfallvermeidung und -behandlung für Stoffströme in Städten zu entwickeln. Neben Kopenhagen beteiligen sich Lissabon, Genua und Hamburg daran (Weser/Lübben 2017, S. 335).

Zum Wandel in **Demografie und Sozialisierung** zählen die Trends, die soziale Beziehungen und Normen sowie die Interaktion zwischen den Menschen und zwischen Institutionen beeinflussen. Sie gestalten soziale, wirtschaftliche und politische Maßnahmen gleichermaßen und beeinflussen die Dynamik der Gesellschaft. Die demografische Entwicklung in Deutschland führt aktuell zu einer Verringerung der jüngeren Generationen und zu einer Zunahme der älteren Generationen (vgl. Sommer et al. 2021). Der Trend zur alternden Bevölkerung wird als Silver Society bezeichnet. Es wird davon ausgegangen, dass ein Drittel der Gesellschaft bis zum Jahre 2060 65 Jahre und älter sein wird. Gleichzeitig verzeichnet die Lebenserwartung eine kontinuierliche Steigerung (vgl. Muntschick 2016a). Die Entwicklung einer Silver Society führt zu gesellschaftlichem Wandel. Daraus folgt, dass digitale Inklusion und Teilhabe gefördert werden müssen, um eine allumfassende digitale Kompetenz zu entwickeln (vgl. Muntschick 2016b). Im Hinblick auf digitale Inklusion, vor allem technologische Inklusion, weist Webb auf das Problem der homogenen KI-Stämme hin. Damit betont sie, dass fast ausschließlich weiße männliche Personen auf dem Gebiet der KI-Technologie forschen. Dies führt zu einem Diskurs über mangelnde Diversität in der Tech-Community (Webb 2019, S. 70, 74).

Zudem nimmt die gesellschaftliche Integration aufgrund von verstärkter Vernetzung zu. Das europäische ESPAS (2019, S. 18) prognostiziert, dass bis 2030 90% der Weltbevölkerung lesen können, 75% mobil erreichbar sein werden und 60% über einen Breitbandzugang verfügen werden. Menschen werden nicht nur über das Internet kommunizieren, sie werden sich auch mehr bewegen. Konnektivität findet also nicht nur virtuell und digital statt, sondern auch physisch.

Durch Trends wie Globalisierung und Digitalisierung wird die Welt für die Gesellschaft zugleich kleiner und unübersichtlicher. Dieser Wandel könnte dazu führen, dass eine neue Identität des Individuums entsteht: das Dividuum (vgl. Nagels 2017).

Die Fluktuation von Talenten und der Wettbewerb auf dem Arbeitsmarkt stellen Unternehmen vor neue Herausforderungen. Einige Branchen benötigen aufgrund von Personalengpässen kreative Wege zum Talentmanagement. Unternehmen achten mehr auf die Qualifikationen als auf Ausbildung und Erfahrung und setzen auf Experimente in Form von hybriden Arbeitsformen. Dies kann die Produktivität erhöhen. Unternehmen setzen auf Innovationen im Bereich Ausbildung (z.B. auf eine wechselseitige Ausbildung der jüngeren und der älteren Generation). Vielen Unternehmen wird bewusst, welchen Wert die Aus- und Weiterbildung der jungen Generation durch die ältere Generation beikommt und umgekehrt. Auch die Selbstverantwortung der Arbeitnehmer ist zu einem wichtigen Faktor in der Arbeitswelt geworden: Karrierewege werden nicht mehr nur von Unternehmen vorgegeben, sondern aktiv von ihren Mitarbeitern eingefordert (Segel/Hatami 2023, S. 6). Der Wettbewerb um Talente befindet sich in einem grundlegenden gesellschaftlichen Umbruch. Die Generationen übergreifende Zusammenarbeit der Belegschaft und der Wettbewerb um Fachkräfte beeinflussen den demografischen Wandel und andere gesellschaftliche Trends. Um wettbewerbsfähig zu sein und qualifizierte Mitarbeiter zu gewinnen und halten zu können, müssen sich die Unternehmen auf diese Entwicklungen einstellen.

Um die Auswirkungen des Klimawandels zu reduzieren, ist die Förderung von **Nachhaltigkeit und Umweltbewusstsein** in Politik, Wirtschaft und Gesellschaft unerlässlich. Erneuerbare Energie stellt in diesen Zusammenhang eine der vielversprechendsten Lösungen dar. Durch die verstärkte Nutzung von Wind- und Solarenergie können die CO₂-Emissionen gesenkt und die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen verringert werden (Gaub 2019, S. 17). Beispiele dafür sind die Energiewende in der Bundesrepublik Deutschland, in der ein wachsender Anteil des Stroms aus erneuerbaren Energien gewonnen wird (vgl. Die Bundesregierung 2023), sowie die Förderung einer ökologisch nachhaltigen Ernährung (Gaub 2019, S. 9). Darüber hinaus liefert die CE einen wichtigen Beitrag zu Umweltschutz und Ressourcenschonung. Laut einer Prognose wird die CE die Wirtschaft in den 2030er Jahren nicht nur dominieren, sondern auch die einzige Wirtschaftsform sein (vgl. Hvid Jensen 2022). Diese Annahme resultiert daraus, dass Lieferketten bis 2029 durch ordnungspolitische Maßnahmen der Regierungen keine Abfälle mehr produzieren dürfen. Die Digitalisierung des Ökosystems wird ein entscheidender

Vorteil in einer CE sein. Die Koalitionspartner in der Bundesrepublik Deutschland haben sich auf die Erarbeitung einer nationalen Kreislaufwirtschaftsstrategie (NKWS) geeinigt, die Ziele und Maßnahmen zum zirkulären Wirtschaften und zur Ressourcenschonung aus allen relevanten Strategien zusammenführt (BMUV 2023, S. 5). Hvid Jensen hebt hervor, dass ein Scheitern der Umsetzung dazu führen könnte, dass Unternehmen in den 2030er Jahren von neuen Branchenführern, den sogenannten „Born-Circulars“, abgehängt werden. Die neuen Branchenführer werden zunehmend auf Sharing-Economy Konzepte und PSS als zukunftsfähige Geschäftsmodelle setzen.

Menschen auf der ganzen Welt sind durch Bewegungen wie „Fridays for Future“ sensibler für Themen wie den Klimawandel und dessen Auswirkungen geworden. Umweltaktivisten drängen Unternehmen und Regierungen zu konsequenteren Maßnahmen (vgl. NDR 2023). Immer mehr Unternehmen verpflichten sich zur Nachhaltigkeit und wollen ihren ökologischen Fußabdruck verkleinern. Umwelt, Soziales und Unternehmensführung (engl.: Environmental, Social, Governance, ESG) haben in der Wirtschaft an Bedeutung gewonnen. Die Transparenz in Bezug auf Berichte zu ESG fördern nicht nur Nachhaltigkeit und Wettbewerbsfähigkeit, sondern verändern auch die Geschäftsmodelle. Auf Grund des steigenden regulatorischen Drucks hat sich in den Unternehmen eine neue Kompetenz herausgebildet: das Corporate-Performance-Management (CPM). Es beschreibt Methoden und Prozesse, die zur Überwachung und Verwaltung der Geschäftsleistung eines Unternehmens verwendet werden. Diese Softwarelösung sollte neben der Berichtserstattung auch die Planung von ESG adressieren (Haselbauer/Bartlett-Mattis 2022, S. 8, 9).

Demgegenüber steht das sogenannte Greenwashing. Es bezeichnet die Praxis, irreführende Behauptungen über die Umweltvorteile oder Nachhaltigkeitspraktiken eines Unternehmens, Produkts oder einer Dienstleistung aufzustellen. Um Stakeholder zu täuschen, wird dabei ein falsches Bild von Umweltfreundlichkeit oder sozialer Verantwortung vermittelt (de Freitas Netto et al. 2020, S. 6).

Nachhaltigkeit und Umweltschutz wird auch durch die Politik gefördert wie z.B. durch die deutsche Nachhaltigkeitsstrategie (DNS), in der das Aufrechterhalten natürlicher Lebensgrundlagen oder die Stärkung nachhaltigen Wirtschaftens Leitprinzipien darstellen (Die Bundesregierung 2021, S. 9).

Das deutsche Lieferkettensorgfaltspflichtgesetz (LkSG), das die Unternehmen mit Inkrafttreten am 1. Januar 2023 zur Einhaltung sozialer und ökologischer Normen in der gesamten Lieferkette verpflichtet, ist ein weiteres Beispiel für eine politische Maßnahme. Unternehmen müssen Vorkehrungen treffen, um ökologische und soziale Gefahren zu verringern. Durch Transparenz und Einhaltung von Nachhaltigkeitsstandards können Umweltauswirkungen minimiert und die Arbeitsbedingungen verbessert werden (Haselbauer/Fuhrich/Bartlett-Mattis 2022, S. 15–17).

Die von der Natur gebotenen Ökosystemleistungen sind ein wesentlicher Bestandteil des Umweltbewusstseins. Dazu gehören Aspekte wie die Verfügbarkeit von sauberem Wasser und der Zugang zu Nahrungsmitteln (Gaub 2019, S. 24, 25). Das Verständnis und die Wertschätzung dieser Leistungen machen es einfacher zu erkennen, wie wichtig die Erhaltung der Umwelt für das menschliche Wohlergehen ist. Umweltbewusstsein bildet sich auch an den Themen Ernährung und Landwirtschaft aus. Nach Angaben der UNO ist die Ernährung für etwa ein Drittel aller vom Menschen verursachten THG-Emissionen verantwortlich. Eine Umstellung der Ernährung auf pflanzliche Kost könnte zu einer erheblichen Verringerung der Emissionen führen, denn die Fleischproduktion verursacht die meisten Emissionen im Bereich der Landwirtschaft (Messling et al. 2023, S. 40). Ein bewussterer Umgang mit Lebensmitteln könnte auch hilfreich sein, denn durch die Entsorgung von Lebensmitteln wird auch die Energie verschwendet, die für deren Anbau, ihre Verpackung und ihren Transport zum Markt notwendig war.

Um die Auswirkungen auf die Umwelt in der gesamten Wertschöpfungskette zu verringern, gewinnen nachhaltige und resiliente Lieferketten und Geschäftsstrategien an Bedeutung. Konzepte wie Rückwärtslogistik, Sharing Economy, Produkt-Service-Systeme sowie zirkuläre Geschäftsmodelle (CBMs) fördern die Ressourceneffizienz und tragen zur Abfallvermeidung bei (s. Kapitel 3). Neue Entwicklungen in Kreislaufverpackungen werden die Lieferketten zwischen 2022 und 2028 verändern (Bryan et al. 2023, S. 29).

Ein weiterer Faktor ist die Migration. Naturkatastrophen können durch den Klimawandel und die Verschlechterung der Umweltbedingungen verursacht werden. Um sichere Wohnorte zu finden, sind die Menschen gezwungen, ihre Heimat zu verlassen. Es ist wichtig Migrationsmuster zu verstehen und geeignete Maßnahmen

zur Unterstützung von Klimamigranten und zur Anpassung an den Klimawandel zu ergreifen (Gaub 2019, S. 30, 31).

Der **technologische Fortschritt** hat einen erheblichen Einfluss auf Gesellschaft, Wissenschaft und Wirtschaft. Im Vergleich zu Megatrends fungiert Technologie auf Grund ihrer rapiden Entwicklung eher als Katalysator (Gaub 2019, S. 28). KI wird in nahezu allen Bereichen der Wirtschaft und Gesellschaft Anwendung finden. Aus diesem Grund wird in Europa nach einem Supercomputing-Center, auf dem große KI-Modelle geforscht und entwickelt werden können, gesucht (Haselbauer/Bartlett-Mattis 2022, S. 11).

Die Einführung von 5G-Netzen macht die drahtlose Kommunikation schneller und zuverlässiger. Das Internet der Dinge (engl.: Internet of Things, IoT) lässt neue Möglichkeiten für die Vernetzung von Systemen und Geräten entstehen. 5G und das IoT sind maßgebliche Faktoren für die rapide Entwicklung der KI. KI-gesteuerte Verarbeitung und Entscheidungsfindung ist beispielsweise eine Technik, die als Edge Computing bekannt ist. Die Verarbeitung von Daten direkt auf Geräten wird in Zukunft an Bedeutung für Anwendungen im Gesundheitswesen, in der Automobilindustrie und in der Fertigung zunehmen, da sie potenziell schneller und sicherer ist (Webb et al. 2023, S. 32). IoT-Daten enthalten große Mengen an Informationen, die mit Hilfe von KI analysiert werden können, um aufschlussreiche Daten zu erhalten.

Auch die synthetische Biologie könnte dabei helfen, neue Lösungen oder Alternativen für das Angehen von Klimaschutzmaßnahmen zu finden. Sie beschreibt einen Wissenschaftszweig, der Technik, Design und Computer mit Biologie verbindet. Webb hebt hervor, dass das Wissenschaftsgebiet in den nächsten zehn Jahren alles verändern wird und die Menschheit vor dem gleichen Phänomen wie mit der KI stehen wird (vgl. Webb 2022).

Das Jahr 2022 hat gezeigt, dass Quantentechnologien Herausforderungen lösen können, die mit den heutigen Technologien nicht oder nur mit unverhältnismäßig hohen Kosten zu bewältigen sind. Wirtschaftlich profitieren werden vor allem die Automobilbranche, die Chemie, die Finanzdienstleistungen sowie die Biowissenschaften. Der weltweite Pool an Fachkräften, die über Kenntnisse im Bereich der Quantentechnologie verfügen, war im Jahr 2020 in Europa mehr als doppelt so hoch wie z.B. in China (Bogobowicz et al. 2023, S. 2, 6).

Dank des technologischen Fortschritts entstehen neue Arbeitsmethoden. Plattformen ermöglichen es Unternehmen, die Leistungen der KI anhand von sogenannten Low-Code/No-Code (LC/NC) Anwendungen zu nutzen, um Anwendungen zu erstellen, für die nicht unbedingt Programmierkenntnisse vorausgesetzt werden. Damit ist es Unternehmen möglich, in Zukunft unübersichtliche Datensätze in strukturierte Daten umzuwandeln, die alsdann trainiert werden können (Webb et al. 2023, S. 32).

Unternehmen, die sich in Zukunft mit der Entwicklung einer CPM-Lösung auseinandersetzen wollen, sollten sich eine LC/NC- Entwicklungsstrategie zulegen. Der Trend geht zur LC-Lösungen, denn auf Grund ihrer visuellen Gestaltungsebene kann sie die Zusammenarbeit zwischen allen Fachbereichen und der IT-Abteilung eines Unternehmens verbessern. Eine Gartner Studie geht davon aus, dass bis 2025 knapp 70% der Unternehmensanwendungen mit LC/NC entwickelt werden, denn sie können nicht nur Prozesse digitalisieren und effizienter gestalten, sondern auch neue digitale Servicefelder und Geschäftsmodelle aufbauen (Haselbauer/Bartlett-Mattis 2022, S. 10).

In den nächsten 12 bis 18 Monaten ist mit der Einführung umfangreicherer Open-Source-Modelle zu rechnen (Webb et al. 2023, S. 7). Da Entwickler und Verbraucher gemeinsam an der Verbesserung von Software arbeiten können, fördern Open-Source-Projekte und -Software die Zusammenarbeit, Kreativität und den freien Austausch von Ideen. Zusammenarbeit und Wissensaustausch haben sich durch den technologischen Fortschritt erweitert. Daraus entsteht der Trend zur sogenannten Wissenskultur (vgl. Papasabbas/Pfuderer 2023). Ein breiterer Zugang zu digitalisierter Bildung und innovatives Denken kurbeln diesen Trend seit Covid-19 an. Der Trend reicht von Smart Cities zu Smart Countries. Dabei wird neben der Politik vor allem die Wirtschaft aufgefordert zu handeln. In dem Zusammenhang sind digitale Ökosysteme zu nennen. Sie beinhalten ein neues Verständnis von Zusammenarbeit mit vielen gleichberechtigten Partnern. Diese Symbiose baut auf dem Austausch von Know-how zwischen Unternehmen auf. Der Wert eines Unternehmens wird in Zukunft davon abhängen, in welche digitalen Ökosysteme es eingebunden ist (Haselbauer/Fuhrich/Bartlett-Mattis 2022, S. 13).

Der Trend zur **Digitalisierung** führt auch zur Zunahme neuer Sektoren, die sich nicht nur auf Volkswirtschaften im Allgemeinen, sondern auch auf den Handel auswirken. Die Digitalisierung könnte dazu führen, dass Dienstleistungen und Arbeitsplätze ins Ausland verlagert werden (Gaub 2019, S. 24).

Automatisierung, Roboter, hochentwickelte Fertigungstechnologien und digitale Zwillinge sind allesamt Teil der Industrie 4.0. Dieser Trend wird durch Digitalisierung ausgelöst und kann zu einer flexibleren und produktiveren Produktion führen.

Unternehmen, die in der Lage sind, Industrie 4.0 in großem Umfang einzusetzen, verändern ihre Organisation im Hinblick auf die Bewältigung von Störungen zu mehr Resilienz (De Boer et al. 2022, S. 2–4, 7).

In dem Hinblick ist der Trend zum menschenzentrierten Ansatz (engl.: Human-centered Design, HCD) erwähnenswert. HCD ist ein Problemlösungsansatz, der eine hohe Erlebnisqualität des Kunden in den Mittelpunkt des Designprozesses stellt (Haselbauer/Bartlett-Mattis 2022, S. 4). Dies führt zu einer stärkeren Kundenloyalität und sorgt im Wettbewerb für mehr Resilienz. Auch dieser Trend hat durch technologische Fortschritte zunehmend an Bedeutung genommen.

Datenerzeugung, -erfassung und -speicherung haben im Zuge der Digitalisierung zugenommen. Big Data bezeichnet die Analyse und Anwendung großer Datenmengen, um Muster zu entdecken und neue Erkenntnisse zugewinnen (Haselbauer/Bartlett-Mattis 2022, S. 12). Dies ermöglicht es Unternehmen und Organisationen, kluge Entscheidungen zu treffen, neue Informationen aufzunehmen und bestehende Verfahren zu verbessern.

Die Bedeutung der digitalen Sicherheit hat mit der technologischen Entwicklung und der zunehmenden Konnektivität durch Digitalisierung zugenommen. Bis zum Jahr 2033 wird Cyberkriminalität und Cyber-Unsicherheit weiter zunehmen (Heading/Zahidi 2023, S. 30). Deswegen müssen Daten und Systeme sowohl von Unternehmen als auch von Privatpersonen vor Cyberangriffen, Datenverletzungen und anderen Gefahren geschützt werden. Um digital widerstandsfähig zu werden, müssen Unternehmen Mindeststandards an Sicherheit erfüllen (Haselbauer/Bartlett-Mattis 2022, S. 5).

Die Freigabe von KI-Systemen für Hunderte von Nutzern führt zu problematischen Auswirkungen im Hinblick auf ethische Fragen der KI. Hierbei geht es vor allem um den Schutz der Privatsphäre (Webb et al. 2023, S. 16). Die groß angelegte Analyse personenbezogener Daten und die Entscheidungsfindungsfähigkeiten von KI-Systemen werfen Fragen zu Voreingenommenheit, Vorurteilen und Missbrauch auf. Technologie wird ein entscheidender Faktor dafür sein, wie sich Europa künftig in der Welt positioniert, sowohl als leistungsstarker technologischer Innovator für menschenzentrierte Technologie als auch als Vorreiter für ethische Standards (Gaub

2019, S. 28). Chinesische Unternehmen und die Regierung unter Xi Jinping wollen China bis zum Jahr 2030 zum wichtigsten KI-Innovationszentrum der Welt machen. Dafür produzieren sie „intelligentisierte“ Technologien, um ihre Wirtschaft und ihr Militär zu stärken (Webb et al. 2023, S. 57). Dies könnte dazu führen, dass China überlassen bliebe, diesen entscheidenden Bereich der Zukunft zu definieren. KMU sollten die technologischen Möglichkeiten für die Entwicklung einer digitalen Unternehmenskultur und neue Geschäftsmodelle nutzen (Haselbauer/Fuhrich/Bartlett-Mattis 2022, S. 9, 10).

Anschließend gilt es zu klären, wie sich die soeben analysierten Trends und Megatrends auf die Märkte, insbesondere auf den Wirtschaftsstandort Deutschland auswirken und ob Rückschlüsse auf das Thema Umstellung auf eine nachhaltige CE gezogen werden können. Trends, die unter **Nachhaltigkeit und Umweltbewusstsein** zusammengefasst werden können, können direkte Auswirkungen auf den Wirtschaftsstandort Deutschland haben. Hier sind der Klimawandel, erneuerbare Energien, die Umstellung auf eine nachhaltige CE, verstärktes Umweltbewusstsein und Resilienz sowie der Klimaaktivismus aufzuführen. Die Politik setzt entscheidende Impulse, indem sie die NKWS und die deutsche Nachhaltigkeitsstrategie einführt und die Digitalisierung und Technologisierung zu Gunsten des Umweltschutzes fördert. Um unabhängiger von dem Aufstieg globaler Akteure wie China zu werden, müssen außerdem nachhaltige Geschäftsmodelle wie die Sharing Economy und PSS sowie nachhaltigere und lokalisierte Lieferketten eingeführt werden.

Des Weiteren haben der **technologische Fortschritt und die Digitalisierung** direkten Einfluss auf den Wirtschaftsstandort Deutschland. Es entstehen soziale Verbindungen durch neue Kommunikationsverbindungen (z.B. KI, Blockchain-Technologien und Quantentechnologie) sowie neue Arbeitsformen. Der Handel der Zukunft könnte angesichts der Einführung des LkSG und der ESG-Berichtserstattung die Blockchain-Technologie nutzen, um nachhaltigere Lösungen zu finden (Haselbauer/Bartlett-Mattis 2022, S. 18).

Allgemein gewinnt die Industrie 4.0 an Bedeutung. In diesem Zusammenhang kommt der Wissensgemeinschaft mit neuen Formen wie Open Source eine zentrale Bedeutung zu. Low-Code und No-Code gewinnen auch an Bedeutung für Menschen,

die keine spezifischen Programmierkenntnisse besitzen. In diesem Zusammenhang ist der Aufbau eines digitalen Ökosystems wichtig.

Es geht aber auch um digitale Sicherheit, Cybersicherheit und die Datensicherheit sowie um die Ethik der KI. Der **demografische Wandel und die sozialen Veränderungen** beeinflussen die deutsche Wirtschaft. Dabei geht es vor allem um die alternde Bevölkerung sowie deren digitale und soziale Inklusion. Außerdem gewinnen der Personalmangel mit dem daraus resultierenden Wettbewerb und dem Wandel von digitalen Talenten sowie das Wissensmanagement (inklusive der damit zusammenhängenden neuen Unternehmenskulturen) Einfluss auf die deutsche Wirtschaft. **Globalisierung und Mobilität** wirkt ebenfalls auf die deutsche Wirtschaft ein. Dabei geht es zum einen um globalen Wettbewerb sowie die Zusammenarbeit und zum anderen um Elektromobilität und autonomes Fahren sowie Sharing Economy und deren Förderung, um THG-Emissionen zu reduzieren.

Diese Trendentwicklungen decken sich im weitesten Sinne mit den identifizierten Faktoren, bei denen künstliche Intelligenz in der Kreislaufwirtschaft eingesetzt werden kann (s. Kapitel 3.2.). Dazu gehören das nachhaltige Produkt- und Dienstleistungsdesign, die Infrastrukturoptimierung und die Geschäftsmodelloptimierung. Es wird deutlich, dass die Wirtschaft und deren Umstellung auf eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft sowie der technologische Fortschritt für die Umstellung auf eine CE derzeit vielfältige Möglichkeiten bieten. Die Zukunft könnte hinsichtlich der technologischen Entwicklung noch viele weitere Möglichkeiten bieten. Damit liegt das vorliegende Thema innerhalb der globalen Trends und treibt diese weiter voran. Die ersten vier Schritte dienen der Erkennung von Trends. Die nächsten drei Schritte werden für die Vorstellung zukünftiger Welten verwendet (Webb et al. 2022, S. 4).

4.3.1.5. Berechnen

In diesem Schritt werden die Dynamik und der Verlauf der Trends berechnet, die sowohl intern als auch extern für das Unternehmen relevant sind (Schwuchow 2023, S. 38). Die folgende Tabelle zeigt sowohl interne als auch externe Entwicklungen auf:

Interne Entwicklungen	Externe Entwicklungen
<ul style="list-style-type: none"> • Demografie und Sozialisierung (Digitale Inklusion, Generationen übergreifende Zusammenarbeit, Wandel von (digitalen) Talenten) • Nachhaltigkeit und Umweltbewusstsein (Erneuerbare Energien, zirkuläre Wirtschaft, ESG, nachhaltige Lieferketten und Geschäftsmodelle (Resilienz, Sharing Economy, PSS)) 	<ul style="list-style-type: none"> • Technologisierung und Digitalisierung (Vernetzung, Industrie 4.0, Open Source, LC/NC, digitale- und Cybersicherheit, Ethik der KI, KI Gesetz, Datenschutz, digitales Ökosystem) • Globalisierung und Mobilität (nachhaltige und umweltfreundliche Mobilität, globale Zusammenarbeit, intelligente Infrastruktur, autonomes Fahren)

Tabelle 4: Interne und externe Entwicklungen der Trends (Eigene Darstellung in Anlehnung an Webb 2016, S. 198–203)

Innerhalb des vorherigen Kapitels 4.3.3.4. wurden die relevanten Trends aus Nachhaltigkeit und Umweltbewusstsein, Technologisierung und Digitalisierung, Demografie und Sozialisierung sowie Globalisierung und Mobilität benannt. Nunmehr soll es darum gehen, die Trends auszuwählen, die voraussichtlich einen besonders großen Einfluss auf das vorliegende Thema haben werden. Dafür werden 10 Trends ausgewählt. Anhand von Studien und Ereignissen wird die zeitliche Dimension bestimmt (engl.: Estimated Time of Arrival, ETA). Das bedeutet, die Berechnung der Stadien, in denen sich die Trends befinden und wann sie auf das Unternehmen treffen werden (Schwuchow 2023, S. 38). Dafür werden die Entwicklungslinien, die innerhalb des vorherigen Kapitels identifiziert wurden, verwendet. Andere Trends, zu denen es wenige Berechnungsdaten gibt, bleiben zur Spekulation offen.

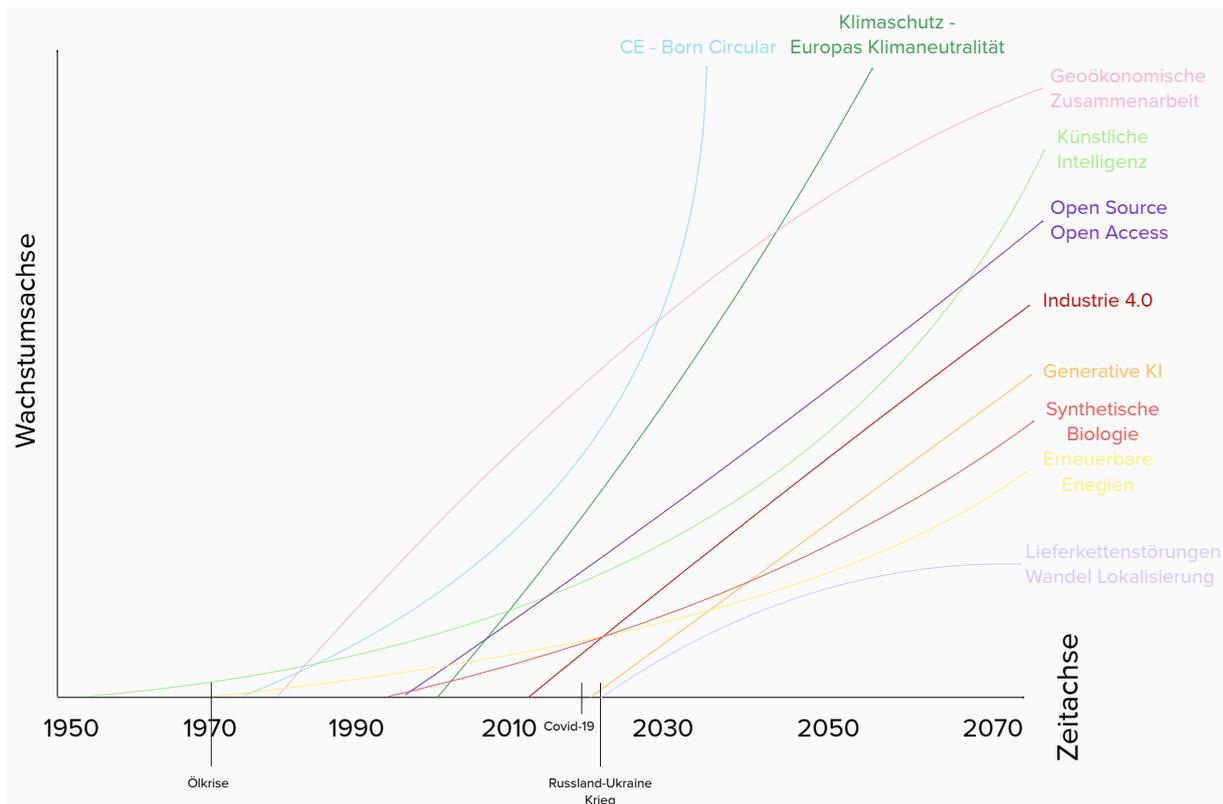


Abbildung 10: Berechnung der Trendentwicklungen (Eigene Darstellung in Anlehnung an Webb 2016, S. 198–203)

Die Verfasserin der vorliegenden Arbeit merkt an, dass die Prognose der ETA für die abgebildeten Trends mit Unsicherheit verbunden ist, da sie von einer Vielzahl von Faktoren abhängt und sich mit Studien nicht immer aussagekräftig vorhersagen lässt. Aus der Abbildung lässt sich entnehmen, dass Nachhaltigkeitsbestreben, wie das Umsetzen von CE sowie der Einsatz von erneuerbaren Energien in den 1970er Jahren beginnen, während die Entwicklung der geoökonomischen Zusammenarbeit sowie die Entwicklung von KI weit vorher eintraten. Anzumerken ist, dass die Covid-19 Pandemie zu einer exponentiellen Steigung vieler Trendentwicklungen geführt hat. Die ausgewerteten Studien gehen davon aus, dass beinahe alle Trends eine exponentielle Entwicklung nehmen werden.

4.3.1.6. Planen

Im Schritt der Planung werden auf Grundlage der Analyse Szenarien entwickelt, die wahrscheinliche, plausible und möglichen Auswirkungen und Ergebnisse in der Zukunft beschreiben (Schwuchow 2023, S. 38). Dabei werden auf der Grundlage der

Daten, die in den vorherigen fünf Schritten identifiziert wurden, ein Katastrophenszenario und ein optimistisches Szenario entwickelt (Webb 2019, S. 6). Hier finden sogenannte Achsen der Ungewissheit (engl.: Axes of Uncertainty) Verwendung, die vom Future Today Institute erarbeitet wurden. Sie bieten eine methodische Möglichkeit, um mit Ungewissheit umzugehen. Auf Grundlage dieses Tools und einer Analyse (Webb 2020, 2016, S. 37) baut das Future Today Institute diese Szenarien auf. Um den Umfang der vorliegenden Arbeit innerhalb des Limits zu halten, werden die Unsicherheiten, einige Beispielachsen sowie die SWOT-Analyse im Anhang verzeichnet. Dort findet sich auch eine Liste der ausgewählten Trendentwicklungen, die für die Bildung der Szenarien genutzt wurden. Ein pragmatisches Szenario wird im Folgenden auf Grund des Limits nicht vorgestellt, ist jedoch in verkürzter Form im Anhang zu finden. Zu beachten ist, dass die Szenarien weitestgehend auf Vorhersagen der Quellen aus Kapitel 4.3.1.1. bis 4.2.1.4. basieren.

Das Katastrophenszenario

Das Jahr 2045 hat begonnen. Die Gesellschaft, die Wirtschaft aber vor allem die Politik haben die Entwicklung von KI gestoppt. Bereits im Jahre 2023, als erste Warnungen zu ethischem und verantwortungsvollem Umgang mit dieser Technologie geäußert wurden, ist die Entwicklung eingestellt worden. Open Source-Modelle wurden durch Unternehmen und Regierungen zunehmend eingeschränkt, was zu einem Innovationsrückstand in Deutschland führte. Politische Unruhen wie die zunehmende Kluft zwischen Arm und Reich, globale Kriege, ausgelöst durch den Russland-Ukraine Krieg, sowie populistische Versuche, die Demokratien zu stürzen, verstärkten in den Jahren 2023-2027 die negative Haltung zur KI. Durch politische und wirtschaftliche Spannungen sowie protektionistische Tendenzen wurde auch der internationale Handel ausgebremst. Der Rückgang des globalen Austauschs führte zu einem stagnierenden Wirtschaftswachstum. Lediglich kleine, geheime Gruppen wagten, sich weiter mit KI zu beschäftigen. Verstärkte Diskriminierung in der Gesellschaft führte zu Rückschlägen in Sachen Diversität. Der Missbrauch der Technologie schuf eine Kluft in der Gesellschaft, was zu sozialen Unruhen führt. Umwelt- und Klimaschutz wurden vernachlässigt. Die Linearwirtschaft dominierte weiterhin, denn nachhaltige Wirtschaftspraktiken - wie das Einführen einer flächendeckenden CE - wurden nicht weiterverfolgt. Das führt in den darauffolgenden

Jahren zu einer zunehmenden Erschöpfung der Umwelt durch weitere Verknappung der Ressourcen. Die Stagnation bei der Entwicklung erneuerbarer Energien machte die Weiterverwendung fossiler Brennstoffe erforderlich. Die Bundesrepublik Deutschland konnte auch das Ziel der flächendeckenden Einführung einer Infrastruktur für autonome Fahrzeuge nicht erreichen, was zu enormen Problemen in der Umsetzung des emissionsneutralen Verkehrssektors führt. Daraus resultierend entsandten extreme Umweltzustände nicht nur für Deutschland, sondern auf der ganzen Welt.

Eine Vielzahl nationalistischer Kriege und die Auflösung der NATO trugen dazu bei, dass allein China als Großmacht bestehen kann und versucht, den Rest der Welt zu dominieren. Nationalstaaten versuchten, Strukturen wie in China zu etablieren. KI wird zur Überwachung der Bürger in China und allen Satellitenstaaten eingesetzt. Die KI optimierte sich selbst. Ohne dass es die Welt verhindern konnte, hatte sie bereits kurze Zeit später, im Jahre 2029 eine Macht entwickelt, die sich keiner hätte vorstellen können. Sie wurden zunehmend unkontrollierbar und unvorhersehbar. Diese Entwicklung führte dazu, dass die Menschheit ihr Vertrauen verlor und Kooperationen, ob im positiven oder negativen Sinne, unmöglich waren.

Technologisierung war auf dem Rückmarsch. Um sich zu schützen, mussten Staaten und andere Organisationen ihre Datensätze löschen. Dies führte zu weiteren Problemen. Durch Cyberangriffe der KI selbst und Systemausfälle wurden die Wirtschaft und die Gesellschaft anfällig für eine Vielzahl von Störungen. Es dauerte vier Jahre, bis die negativen Auswirkungen der KI beherrscht werden konnten. Aber, da positive Entwicklungen nicht forciert worden waren, konnten positive Impulse noch lange nicht gesetzt werden. Das Ziel der Klimaneutralität Europas bis 2050 ist im Jahre 2045 in weite Ferne gerückt. Auch das Ziel des Pariser Abkommens konnte im Jahr 2030 schon nicht erreicht werden. An der Umsetzung der Klimaschutzstrategie der Bundesrepublik Deutschland ist in den vergangenen 20 Jahren nicht gearbeitet worden.

Das optimistische Szenario

Die Welt hat im Jahr 2045 die optimalen Entscheidungen über KI getroffen. Frühe Warnzeichen, wie die Notwendigkeit, rechtliche Regulierungen über die Verwendung von KI zu erlassen und ethische Richtlinien zu erarbeiten, wurden im Jahre 2025, knapp zwei Jahre nach der Aufforderung der UNESCO, in Europa getroffen. Damit

war Europa ein Vorreiter in Sachen Gesetzgebung von KI-Richtlinien. Bundesinvestitionen in KI flossen in Forschung, in Diversitätsprogramme, in die Gesundheitsbranche sowie in die Infrastruktur. Dabei wurde die Zukunft der KI so reguliert, dass sie die besten Entscheidungen für eine demokratische Gesellschaft treffen konnte. Mit Hilfe von Vereinbarungen und durch transparente Zusammenarbeit konnten die positiven Impulse der KI genutzt werden. Die Europäische Union schafft durch neue Verträge und Regeln Transparenz und Sicherheit. Die KI, deren Datensätze und Algorithmen sowie DL wurden so transparent gestaltet, dass die Gesellschaft keine Ängste mehr hatte. Die große Mehrheit der Bevölkerung sah die enormen Chancen für Wachstum in der Wirtschaft und Wohlstand, wobei die Schonung der Ressourcen beachtet werden. Dies regte auch andere demokratische Staaten in den darauffolgenden Jahren (2025-2027) dazu an, die Entwicklung von KI als eine positive Entwicklung zu sehen, die dem Wohle aller dienen sollte.

China hatte sich bereits im Jahre 2030 zu einer extremen Wirtschaftsmacht mit geopolitischem Einfluss entwickelt. Allerdings hatte China die Macht der Technologie nicht zum Wohle des Volkes genutzt, sondern um seine militärische Macht in der Welt zu demonstrieren. Jedoch missbrauchte China diese Macht nicht, sondern setzte sich in Sachen Umweltschutz als Vorreiter durch. China führte Nationalzirkularität in allen Lebensbereichen ein. Damit war China das erste Land, das auf nationaler Ebene zirkuläres Wirtschaften für soziale, ökologische und ökonomische Erfolge nutzte. Einige Jahre später, im Jahre 2032 folgte dann auch Europa, zwar nicht so schnell, wie im Jahre 2023 vorausgesetzt. Aber dennoch: Die Bundesrepublik Deutschland zählt zu den Vorreitern in der Europäischen Union bei der Umstellung auf nachhaltige Praktiken. CE hatte sich nach der raschen Einführung der NKWS im Jahre 2023 erfolgreich durchgesetzt. Nachhaltige Geschäftsmodelle etablierten sich schnell und damit boomte die Nation mit intelligenten Sharing-Economy-Plänen, zirkulären Geschäftsmodellen und personalisierten Produkt- und Dienstleistungen für die gesamte Gesellschaft. Andere Staaten setzten einen Plan für Born-Circular um. Sie hatten festgestellt, dass ein Festhalten an der bis dahin noch geläufigen Linearwirtschaft zu Wettbewerbsnachteilen führt.

Insgesamt sieht die Welt im Jahr 2045 grüner und umweltfreundlicher aus, als sie es noch im Jahre 2023 war. Das Verschwenden von Ressourcen kommt kaum noch vor.

Eine flächendeckende Smart-City Landschaft hat sich etabliert. Auch das Bauwesen hat sich geändert. Häuser und Wohnblöcke wurden bereits früh kernsaniert und sind nun mit smarten Sensoren ausgestattet, die das Leben so einfach gestalten, wie man es sich vor 20 Jahren nicht hätte vorstellen können. Ein anderes Beispiel ist die Herausbildung von Smart-Watches. Diese sind keinesfalls mit den Smart-Watches aus den Jahren 2013-2015 vergleichbar, die noch auf einfacher Technologie beruhten. Die modernen Versionen stellen z.B. einen Personal Trainer vor, der in lebens echter (projizierter) Form einen personalisierten Trainingsplan für Menschen bereitstellt. Ess- und Trainingsgewohnheiten können von solchen Smart-Watches optimiert werden.

Produkte und Dienstleistungen werden nur bei Bedarf angeboten. Dabei hilft, dass jedes Heim über intelligente Systeme verfügt, die die Materialströme transparenter und vorausschauende Bereitstellung auf Online-Plattformen oder intelligenten Supermärkten möglich machen. Lokale Märkte wurden in den letzten Jahren stark gefördert und florieren länderübergreifend. Auch die Lieferketten der Wirtschaft sind überwiegend lokaler gestaltet. Die Unternehmen legen großen Wert auf lokale und nachhaltige Lieferketten und fördern gleichzeitig Innovation und Zusammenarbeit auf globaler Ebene. Diese findet nun um einiges intelligenter statt und ermöglicht so eine reibungslose Zusammenarbeit zwischen internationalen Unternehmenskooperationen.

Der Wirtschaftsstandort Deutschlands etablierte sich nach und nach zu einem Nachhaltigkeitsvorbild, der sowohl vielfältige Bildungsmöglichkeiten in Technologisierung und Digitalisierung sowie gezielte Maßnahmen zur digitalen Inklusion förderte. Digitale Innovationen haben dazu geführt, dass sich Menschen aller Altersgruppen und Hintergründe stärker engagieren, was zu einem hohen Maß an Inklusion und Vielfalt in der Gesellschaft beiträgt. In allen Unternehmen hat sich etabliert, dass junge und alte Generationen zusammenarbeiten, um diesen Fortschritt zu fördern.

Homogenisierten KI-Stämme sind Geschichte, denn die Europäische Union hat es bereits im Jahre 2033 geschafft, ein Supercomputing-Center in Brüssel zu errichten, welches eine offene Zusammenarbeit diverser Gruppen möglich macht. Damit ist Europa zu einem globalen Zentrum für technologische Innovationen geworden. Die Nutzung von Open Source ist weit verbreitet und fördert einen freien Austausch von Wissen und Technologie. Handelsliberalisierungen und eine zunehmende

Zusammenarbeit haben neue Märkte für die deutsche Wirtschaft eröffnet und fördern erfolgreich globale Innovationen.

Der flächendeckende Einsatz von KI-Technologien, die Entwicklung erneuerbarer Energiequellen und die Umstellung auf umweltfreundliche Mobilität haben die Umweltbelastung im Jahre 2045 stark verringert.

4.3.1.7. Handeln

Im Schritt Handeln geht es darum, sogenanntes Backcasting zu betreiben, d.h. rückwärtszudenken. Diese letzte Phase ermöglicht die bewusste Steuerung und Gestaltung der Zukunft, des optimistischen Szenarios, bereits in der Gegenwart (Schwuchow 2023, S. 38, 40). Folglich werden die Ziele bestimmt, die für die Erreichung der Klimaneutralität der Bundesrepublik Deutschland bis 2045 notwendig sind. Dabei liegt der Schwerpunkt auf der Rolle der KMU in Deutschland im Hinblick auf die Nutzung von KI für eine beschleunigte Umstellung auf das Nachhaltigkeitskonzept der CE.

Als erstes Ziel ist hier zu nennen, dass Unternehmen ein Bewusstsein für Nachhaltigkeit schaffen müssen. Die Nachhaltigkeitsprinzipien (ESG) müssen in der Unternehmenskultur verankert werden, denn nur durch eine Sensibilisierung für Umweltprobleme kann die Notwendigkeit von Nachhaltigkeitspraktiken (wie z.B. die Umsetzung auf eine CE) in allen Bereichen des Unternehmens gesehen und somit gefördert werden. Des Weiteren müssen Unternehmen ihre Optimierungspotenziale identifizieren und Projekte für mehr Nachhaltigkeit initiieren, ob nun mit Hilfe von Technologien und Digitalisierung oder mit Hilfe von Unternehmenskooperationen. Vor allem sollten Unternehmen eine Wissenskultur und damit verbundene Kompetenzen aufbauen. Dies gilt sowohl im Hinblick auf das Aufbauen einer KI-Infrastruktur als auch im Hinblick auf die unternehmensinterne Transparenz und Akzeptanz. In diesem Zusammenhang ist das Anbieten von Schulungen, Weiterbildungen und Workshops enorm wichtig, um eine flächendeckende Vertrautheit mit KI zu etablieren. Außerdem sollten Unternehmen das Ziel eines nachhaltigen und zirkulären Geschäftsmodells entwickeln. Hier könnte KI über die Nutzung sogenannter virtueller Projektionen wie digitale Zwillinge oder Vorhersagemodelle sowie über Modelle zur Datenanalyse hilfreich sein. Auch die Blockchain-Technologie sollte aufmerksam verfolgt und genutzt werden, um transparentere und nachhaltigere Lieferketten zu schaffen. Alle denkbaren

Unternehmenskooperationen sind in diesem Zusammenhang wichtig. Das wachsende Umweltbewusstsein und das damit einhergehende Konsumverhalten von Kunden in Richtung Nachhaltigkeit sollte als Chance genutzt werden, um nachhaltiges Design von Produkten und Dienstleistungen zu schaffen.

Dabei sollte die deutsche Wirtschaft sich die KI zunutze machen. Anhand von datengetriebenen Entscheidungsunterstützungssystemen und kontinuierlichen Feedback-Prozessen schafft die KI Vorteile für Unternehmen.

Außerdem ist es wichtig, dass Unternehmen kontinuierlich das Ziel verfolgen, sich zu verbessern und sich anzupassen. Nur dann kann der Einsatz von KI zu einer beschleunigten und am Ende erfolgreichen Umstellung auf eine zirkuläre Wirtschaft führen.

4.3.2. Möglichkeiten und Limitationen der Zukunftsforschung

Im Zusammenhang mit dem Einsatz von KI für die Beschleunigung der Umstellung auf eine nachhaltige CE in deutschen KMU bietet der FF sowohl Möglichkeiten als auch Limitationen. Diese Faktoren müssen berücksichtigt werden, um ein Verständnis für die Forschung zu schaffen. Die Forschung ermöglicht Unternehmen, Trends und Entwicklungen vorherzusagen und entsprechende Pläne zu erstellen, um flexibel auf die Zukunft reagieren zu können. Damit erfüllt der FF des Future Today Institutes durch die Kombination der Ansätze der Megatrend-Analyse, der Szenario-Planung sowie des Backcasting alle Anforderungen an eine strategische Planung. Hierbei werden aufkommende Trends und Signale am Rande des Geschehens durch eine kontinuierliche Informationssammlung identifiziert, um ein möglichst breites Spektrum an Zukunftsaussichten zu erhalten.

Es hat sich jedoch gezeigt, dass die Anwendung der Methode auf gewisse Limitationen stößt.

Die Ungewissheit der Zukunft selbst ist dabei die Hauptlimitationen. Auch wenn eine Reihe von Quellen herangezogen wurden, um allgemein zuverlässige Vorhersagen treffen zu können, ist die Zukunft immer noch unvorhersehbar. Sowohl die Einführung von KI als auch der Übergang zu einer nachhaltigen CE werden von zahlreichen unklaren und sich schnell ändernden Faktoren beeinflusst.

Unternehmen müssen sich demnach ständig anpassen und Flexibilität im Umgang mit den sich verändernden Bedingungen zeigen.

Die Menge und Komplexität der benötigten Daten stellt eine weitere Einschränkung dar. Um genaue Vorhersagen treffen zu können, wird der FF meist als großes Projekt in Unternehmen durchgeführt, bei dem mehrere Menschen beteiligt sind (z.B. Forscher, Wissenschaftler, Fachleute). Dieser Austausch nimmt viel Zeit und Ressourcen in Anspruch und fand in der vorliegenden Arbeit nicht statt. Stattdessen dienten bei der Trendfindung, der Vorhersage sowie der Planung der Szenarien verschiedene namhafte Institutionen als Inspiratoren. Der Eintritt einer bislang noch hypothetischen Super-Intelligenz der KI, globale Kriege sowie globale Naturkatastrophen, die möglicherweise weltweit Migrationsbewegungen auslösen könnten, können nicht seriös vorhergesagt werden.

Der Untersuchungszeitraum von 22 Jahren ist bewusst gewählt worden, da bis dahin alle Unternehmen in Deutschland auf eine „New Plastics Economy“ umgestellt haben sollten, damit die Bundesrepublik Deutschland das Ziel der Klimaneutralität bis 2045 auch erreichen kann.

In dem Zusammenhang ist es wichtig, dass sich die Unternehmen auf große Veränderungen vorbereiten. Obwohl sich die Studie nur auf Deutschland bezieht, müssen auch die KMU in der europäischen Union bis 2050 klimaneutral werden. Die globalen Trends beeinflussen nämlich sämtliche Länder. Die Einsatzmöglichkeiten von KI und anderen Technologien müssen in allen Unternehmen identifiziert werden, damit zukunftsweisende Konzepte wie CE schneller umgesetzt werden können. Es ist wichtig, sich die Limitationen des FF vor Augen zu führen und sie nicht als endgültige Vorhersage der Zukunft zu betrachten. Die Forschungsergebnisse dienen zwar als Orientierung, sollten aber immer im Lichte der jüngsten Fortschritte und empirischen Fakten interpretiert werden. Auch wenn die Forschung Potenzial birgt, um im Rahmen des Einsatzes von KI für eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft trotz der Risiken für Unternehmen einen Mehrwert zu bieten, hängt der Erfolg und die Umsetzung letztlich von den in der Gegenwart getroffenen Maßnahmen und Entscheidungen ab.

4.4. Strategische Handlungsempfehlungen

Um deutsche KMU bei ihren strategischen Planungen zum Übergang auf eine nachhaltige CE zu unterstützen, könnte ein Fragebogen eingesetzt werden. Mit Hilfe dieses Fragebogens könnten die aktuellen Prozesse aufgenommen und Vorschläge

zur Verbesserung von Geschäftsprozessen erarbeitet werden. Eine umfassende Analyse wissenschaftlicher Ergebnisse aus den Bereichen KI-Technologien, Nachhaltigkeitskonzepten wie CE und globale Trends bildet die Grundlage für die Identifikation relevanter Anforderungen an KMU. Dabei geht es um erste Einschätzungen zu Themen wie Technologisierung, Effektivität, Transparenz, Zusammenarbeit, Ressourcenschonung, Resilienz, Produktdesign sowie Geschäftsmodellanpassung.

Wo stehen wir als Unternehmen?	Ja	Meistens	Durchschnittlich	Selten	Nein
Nutzen wir Künstliche Intelligenz, um z.B. unsere Prozesse zu optimieren oder Effizienz zu steigern?					
Sind unsere Materialströme entlang der Wertschöpfungskette transparent und rückverfolgbar?					
Arbeiten wir gut mit Partnern und Lieferanten? Achten wir dabei darauf, dass diese nachhaltig handeln?					
Setzen wir Maßnahmen ein, um Ressourcen so gut wie möglich zu schonen?					
Sind wir resilient gegenüber externen Störungen oder Veränderungen?					
Gestalten wir unsere Produkte/Dienstleistungen unter Berücksichtigung von nachhaltigem Design?					
Haben wir unser Geschäftsmodell bereits angepasst?					

Abbildung 11: Einschätzung des eigenen Unternehmens (Eigene Darstellung)

Nach Auswertung der Antworten wird im Folgenden ein 5-Schritte-Programm durchlaufen, bei dem es um die erfolgreiche Nutzung von KI geht, um langfristig Nachhaltigkeitsbestreben wie das Umstellen auf die CE zu erreichen. Dabei sollte stets beachtet werden, dass die Ziele immer klar definiert sind, dass eine offene Kommunikation innerhalb des Unternehmens herrscht, sowie das Akzeptanz auf allen Ebenen des Unternehmens geschaffen wird. Um einen Mehrwert aus KI schöpfen zu können, sollte sie als tragende Säule der Geschäftsstrategie des jeweiligen Unternehmens betrachtet werden.

WHAT TO DO? Handlungsempfehlungen für Kleine und Mittlere Unternehmen			
<p>Brainstorming: 1. Schritt <i>POTENZIAL: Was kann KI für uns tun? Welche Möglichkeiten bietet sie für unser Marktsegment?</i></p> <p><i>STRATEGIE: Welche Strategie verfolgen wir, um unsere Unternehmensziele zu erreichen? Ist unser Unternehmensmodell noch aktuell?</i></p> <p><i>ZIELSETZUNG: Wie könnte KI uns helfen, unsere Ziele zu unterstützen?</i></p>	<p>2. Schritt <i>OPEN SOURCE: Wollen wir ein eigenes KI-Projekt intern umsetzen oder auf offene Plattformen zurückgreifen?</i></p> <p><i>LOW-CODE/NO-CODE: Haben wir Mitarbeiter mit Programmierkenntnisse oder wollen wir vorgefertigte Modelle nutzen?</i></p>	<p>3. Schritt <i>VORAUSSETZUNGEN: Ist unsere Infrastruktur, Datenqualität, Kompetenz ausreichend?</i></p>	<p>5. Schritt WISSENSMANAGEMENT UND AKZEPTANZ: <i>Inkludieren wir alle unsere Mitarbeiter? Wie wirkt sich die Nutzung von KI aus? (Überlegungen zur Marktsituation, zu Kundenbedürfnissen, zum Personal, zu den Unternehmenszielen)</i></p> <p><i>Bieten wir intern Schulungen an oder nutzen externe Möglichkeiten zur Weiterbildung unserer Mitarbeiter?</i></p> <p><i>Sind unsere Mitarbeiter für Themen wie Cyberkriminalität geschult und welche Maßnahmen sollten wir ergreifen, um uns davor zu schützen?</i></p>
<p>Change Management: 4. Schritt <i>VERÄNDERUNGEN UND IMPLEMENTIERUNG: Was ist unsere langfristige Vision und Zielsetzung im Hinblick auf unseren Umsetzungsplan?</i></p> <p>WICHTIGE ÜBERLEGUNGEN:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Welche Auswirkungen hat KI auf unser Unternehmen? • Wie können wir dafür Akzeptanz innerhalb unseres Unternehmens fördern? • Kommunizieren wir offen über die Nutzung von KI? • Wie können wir diesen Prozess effektiv steuern? 			
<p>Etablierte Lösungen als Inspiration</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vorhersagemodelle für Nachfrage- und Angebotsprognose • Qualitätskontrolle und frühzeitige Fehlererkennung • Blockchain-Technologien für transparente Lieferketten • Chatbots (generative KI) und virtuelle Assistenten • Vorausschauende Wartung • KI-gestützte Abfallwirtschaft und Umweltüberwachung • Design mithilfe von KI-Feedback • Sharing Economy und Product-as-a-Service • Unternehmenskooperationen • Roboter-Technologien: Schnelle Sortierung • Digitale Zwillinge: Virtuelle Abbildung von Produkten, Dienstleistungen, Anlagen 	<p>Zusätzliche Überlegungen = Prozessbegleitend NACHHALTIGKEIT</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verfolgen wir eine klare Nachhaltigkeitsstrategie? Vermarkten wir unsere Erfolge? • Nutzen wir KI wirklich, um diese Strategie umzusetzen? • Inwieweit können wir erneuerbare Energien in unserem Unternehmen integrieren? • Sind wir innovativ genug im Ausbau neuer Mobilitätslösungen? • Setzen wir auf eine offene Unternehmenskultur? • Wie können wir das Konzept der zirkulären Wirtschaft in unsere Geschäftsmodelle integrieren? • Nutzen wir Unternehmenskooperationen, um nachhaltigere Lösungen zu finden? • Schaffen wir Anreize für den Ausbau nachhaltiger Mobilitätslösungen in unseren Unternehmen? 		

Abbildung 12: Handlungsempfehlungen für kleine und mittlere Unternehmen (Eigene Darstellung)

Die fünf Schritte zeigen auf, was Unternehmen für den Erfolg des ersten KI-Projekts benötigen. Diese fünf Schritte ergeben sich aus der Auswertung der Theorie, der Literatur sowie der Forschungsliteratur. Im ersten Schritt geht es darum, das Potenzial, eine Strategie und eine genaue Zielsetzung festzulegen. Der zweite Schritt dient der Projektfindung. Hier geht es vor allem um die Nutzung von Open Source und Low-Code/ No-Code, Plattformen von externen Dienstleistern, welche kostenlos Datensets und vorgefertigte Funktionen zur Verfügung stellen. Der dritte Schritt dient der Planung von Ressourcen. Dabei geht es nicht nur um die Mitarbeiter, sondern auch um die vorhandene Datenqualität und die Infrastruktur des Unternehmens. Als vierter Schritt findet das Change-Management Anwendung. Hier geht es um das Festlegen einer langfristigen Vision und Zielsetzung im Hinblick auf die KI-Implementierung oder Nutzung von KI in Unternehmen. Der letzte Schritt beinhaltet das sogenannte Wissensmanagement und die Akzeptanz, wobei eine ausreichende interne Kommunikation sowie Schulungen und Workshops im Vordergrund stehen. Um die KI im Folgenden für Innovationen im Hinblick auf die Umstellung auf eine CE zu nutzen, ist es hilfreich, sich mit dem folgendem Sechs-Schritte-Modell des World Economic Forum auseinanderzusetzen.



Abbildung 13: LASER-Rahmenwerk (Eigene Darstellung in Anlehnung an Tan 2023)

Die Schritte des LASER-Rahmenwerks sollten befolgt werden. Somit können KMU-Innovatoren ihre Innovationsprozesse auf die CE ausrichten und optimieren. In dem Zusammenhang sollten die Schritte eins bis sechs nacheinander durchlaufen werden. Die Schritte zwei bis vier sollten dabei kontinuierlich wiederholt und optimiert werden. Durch Beantwortung der nachfolgenden Fragen können KMU ihre Prozesse innovativ gestalten, auf die CE ausrichten und mithilfe des ersten KI-Projekts optimieren.

Schritte	Fragen
1	<ul style="list-style-type: none"> • Unterstützen unsere Interessengruppen unsere Innovation für die CE und sind bereit, uns dabei zu helfen? • Sind wir mit den unterstützenden Gesetzen, Regeln und Trends vertraut, die unsere Innovation umgeben? • Stehen unsere Ziele im Einklang mit der Mission und der Vision unseres Unternehmens?
2	<ul style="list-style-type: none"> • Haben wir die Machbarkeit unserer Innovation für die CE über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg bewertet? • Können wir die Innovation unter der Berücksichtigung der 4R erstellen? • Wie können wir industrielle Symbiose und Abfallrecycling in unsere Innovation einbeziehen?
3	<ul style="list-style-type: none"> • Verfügen wir über die notwendigen Instrumente, um ein stabiles Umfeld für unsere Innovation zu schaffen und zu erhalten? • Welche strategischen Partner könnten uns helfen, eine erfolgreiche Wertschöpfungskette aufzubauen? • Haben wir einen für beide Seiten vorteilhaften Plan erstellt und die wesentlichen Elemente für eine erfolgreiche Partnerschaft berücksichtigt?
4	<ul style="list-style-type: none"> • Wurden die Einnahmen und Stückkosten für unsere Innovation bewertet? • Wurden der zweite und dritte Schritt optimiert, um die angestrebte Rentabilität zu erreichen? • Können wir weitere Innovationsschichten zu unseren derzeitigen hinzufügen, um neuen Wert zu schaffen und die Rentabilität zu steigern?
5	<ul style="list-style-type: none"> • Haben wir eine gründliche Ausführungsstrategie erarbeitet, in der die erforderlichen Mittel, Zeitpläne, Meilensteine, Risiken und Auswirkungen im Einzelnen aufgeführt sind? • Wie können wir Ressourceneffizienz erreichen und gleichzeitig die Ressourcenbelastung der Gesellschaft verringern?
6	<ul style="list-style-type: none"> • Haben unsere internen Stakeholder ihre Zustimmung gegeben, sodass wir unsere Innovation verkaufen dürfen? • Haben wir eine detaillierte Strategie und einen Aktionsplan für die Umsetzung unserer Innovation in der Praxis? • Wie stellen wir sicher, dass alle Schritte unternommen worden sind, um die Kreislauffähigkeit unserer Innovation zu gewährleisten?

Tabelle 5: Fragenkatalog für kleine und mittlere Unternehmen (Eigene Darstellung in Anlehnung an Tan 2023)

4.5. Kapitelzusammenfassung

Anhand der empirischen Methode wurde untersucht, wie sich Trends auf den Einsatz von KI in der deutschen Wirtschaft auswirken, um den Wandel zu einer nachhaltigen CE zu beschleunigen. Die Methode basierte auf einer gründlichen Analyse glaubwürdiger und akademischer Quellen, die für die Erstellung strategischer Handlungsempfehlungen für KMU für die nächsten 22 Jahre bis 2045, dem Zieljahr für die deutsche Klimaneutralität, dienen. Um ein umfassendes Verständnis der relevanten Trends zu erhalten, wurden zunächst Quellen namhafter Institutionen ausgewählt und die Forschungsziele festgelegt. Die wichtigsten Trends, über die in zahlreichen Quellen berichtet wird, wurden durch eine sorgfältige Analyse ermittelt. Widersprüche und signifikante Vorkommnisse wurden unter Verwendung des CIPER-Codes berücksichtigt.

Globalisierung und Mobilität, Demografie und Sozialisierung, Technologie und Digitalisierung sowie Nachhaltigkeit und Umweltbewusstsein (s. 4.3.1.4.) waren die

vier Schlüsselkategorien, die zur Klassifizierung der identifizierten Trends verwendet wurden. Die wichtigsten Entwicklungen sind die folgenden: Jüngere und ältere Generationen müssen zusammenarbeiten. Dafür müssen Unternehmen digitale Inklusion fördern und sich für das Thema Nachhaltigkeit sensibilisieren.

Unternehmen stehen zunehmend unter Druck, nachhaltige Praktiken einzuführen, und KI kann als Instrument zur Verbesserung der Produktivität und zur Einsparung von Ressourcen eingesetzt werden. Beispielsweise könnte KI bei der Optimierung der Lieferketten helfen und sie resilienter und somit nachhaltiger gestalten. Die Technologie könnte zukunftsfähigere und nachhaltigere Geschäftsmodelle entwickeln. KI könnte Logistik und Transport effektiver gestalten und negative Umweltauswirkungen verringern. Innovative Anwendungen zur Förderung einer nachhaltigen CE sind aufgrund der zunehmenden Verfügbarkeit von Daten und der Entwicklungen in der KI-Technologie möglich. KI-gestützte Lösungen können beispielsweise Abfallströme bewerten und optimieren oder die Energieeffizienz von Produktionsprozessen erhöhen.

Anhand aussagekräftiger Daten aus den Quellen wurden Vorhersagen darüber getroffen, wann einige dieser Trend auf dem deutschen Wirtschaftsmarkt eintreffen werden. Auf der Grundlage der analysierten Muster und Vorhersagen wurden ein Worst-Case und ein Best-Case entwickelt. Diese Szenarien dienen als Grundlage für die Erstellung des Backcasting, wobei die Maßnahmen hervorgehoben wurden, die von der deutschen Wirtschaft ergriffen werden müssten, um das optimistische Szenario erreichen zu können. Sowohl die identifizierten Trendkategorien, die Szenarien als auch die Maßnahmenerstellung dienen als Grundlage für die Erstellung strategischer Handlungsempfehlungen für KMU in Deutschland. Der Einsatz eines Fragenkataloges, anhand dessen KMU ihre Unternehmen einschätzen könnten, und der Einsatz einer Orientierungskarte für die erfolgreiche KI-Nutzung zur nachhaltigen Anwendung stehen dabei im Vordergrund. Als nützliches Instrument wurde das LASER-Rahmenwerk des WEF eingeführt. Dieser Rahmen soll KMU bei der Umsetzung von Innovationen für eine funktionierende CE in der Praxis helfen. Anhand eines Fragebogens bewerten sie sechs Schritte und optimieren diese mit Hilfe ihres ersten KI-Projekts. Insgesamt zeigen die Ergebnisse der empirischen Methode, wie es KMU gelingen kann, den Übergang zu einer nachhaltigen CE mithilfe von KI zu beschleunigen.

5. Fazit

Das fünfte Kapitel bildet den Abschluss dieser Arbeit. Hier werden die wesentlichen Ergebnisse zusammengefasst und die Forschungsfragen beantwortet. Darüber hinaus werden die Ergebnisse der Arbeit kritisch gewürdigt und ein Ausblick auf zukünftige Forschungsaktivitäten gegeben.

5.1. Forschungsbeitrag

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, Literatur im Hinblick auf den Einsatz von KI zur Beschleunigung der Umstellung auf eine nachhaltige CE in KMU in Deutschland zusammenzutragen. Des Weiteren sollten strategische Handlungsempfehlungen für KMU erarbeitet werden, damit sie flexibel auf künftige Veränderungen reagieren und ihre Strategien überdenken bzw. anpassen können. Die Auswertung der Handlungsempfehlungen zeigte, dass für einen nachhaltigen Einsatz von KI Vorarbeiten geleistet werden müssen, damit KI für die Umstellung auf Nachhaltigkeitspraktiken wie die Umstellung auf CE optimal gelingen kann.

Das Forschungsfeld der KI sowie der CE sollte anhand der aufgestellten Forschungsfragen aus praktischer Perspektive analysiert werden:

F1: Wie können KMU KI-Technologien nutzen, um erfolgreich auf eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft umzustellen?

Für die Beantwortung der ersten Forschungsfrage konnten im Rahmen eines umfassenden Theorie- und Literaturüberblicks drei Hauptfelder identifiziert werden, in denen die KI eine Umstellung auf CE erfolgsversprechend unterstützen könnten:

1. das Produktdesign und dessen Entwicklung, bei der Produkte oder Dienstleistungen so designt und entwickelt werden, dass sie von Anfang an kreislauffähig sind;
2. die Optimierung der Infrastruktur, sodass KMU ein besseres Verständnis für Ressourcenflüsse gewinnen, Abfälle durch optimale Nutzung von Ressourcen minimieren sowie die nachhaltige Gestaltung von Lieferketten;
3. die fundierte Entscheidungsfindung über nachhaltige und zirkuläre Geschäftsmodelle. Dabei beinhalten innovative zirkuläre Geschäftsmodelle die dynamische Preisgestaltung (DP), PSS und Sharing Economy. Die relevanten Einsatzfelder für KMU beinhalten die Umsetzung von KI auf Unternehmensebene und Unternehmenskooperationsebene. Außerdem sind die drei wichtigsten Faktoren

der KI herausgestellt worden: die Nutzung zur Analyse und zur Modellierung von Daten, Systeme zur Unterstützung von Entscheidungen sowie Algorithmen des Machine- und Deep Learning. Offen zugängliche Software und Plattformen wie die Märkte für KI-as-a-Service und Infrastructure-as-a-Service bieten KMU Möglichkeiten, KI zu erproben und zu nutzen.

Die KMU, denen es bislang an finanziellen und physischen Ressourcen fehlt, können diese Cloud-basierten Dienste nutzen, um Zugriff auf vorgefertigte KI-Algorithmen, Modelle und Tools sowie auf bereitgestellte IT-Infrastrukturkomponenten und virtuelle Maschinen zu erhalten. Eine andere Möglichkeit besteht darin, Open-Source Software zu nutzen, dessen Quellcodes Nutzern frei zur Verfügung gestellt werden. Hier stehen das Teilen von Wissen und die Zusammenarbeit zwischen Entwicklern und der Gemeinschaft im Vordergrund. Anhand der Forecasting Funnel Methodik konnten die wichtigsten Trends, die Einfluss auf die Umstellung auf eine CE mithilfe von KI haben, erarbeitet werden (s. 4.5.).

Der verstärkte Einsatz der Technologie und der Digitalisierung sowie die zunehmende Forschung in beiden Bereichen führt zu effizienteren und nachhaltigeren Prozessen in Unternehmen, was auch die Umstellung auf die CE unterstützt. Die Integration von intelligenten Mobilitätslösungen, die auf KI basieren, führt zu einer Reduzierung von Emissionen im Zusammenhang mit Transport- und Lieferketten. Dies fördert zugleich die Erreichung eines der wichtigsten Ziele der CE. Globalisierung fördert die Schaffung eines digitalen Ökosystemen, in der Unternehmenskooperationen auf der Mesoebene geschaffen werden könnten. Ein gesteigertes Umweltbewusstsein und die steigende Nachfrage nach nachhaltigen Produkten und Dienstleistungen führt zu einem verstärkten Interesse, kreislaufwirtschaftliche Geschäftsmodelle in Unternehmen umzusetzen. Dies wird dadurch bestätigt, dass Unternehmen, die diese Nachfrage bedienen, erfolgreicher und wettbewerbsfähiger sein können. KI kann bei der Gestaltung zukunftsfähiger Geschäftsmodelle unterstützend wirken. Des Weiteren beeinflussen der demografische Wandel und die sozialen Veränderungen das Konsumverhalten und somit die Akzeptanz nachhaltiger und zirkulärer Wirtschaft. Die Veränderungen der Bevölkerungsstruktur sowie der sozialen Werte haben Einfluss auf das Konsumverhalten und auf das Nachhaltigkeitsbewusstsein. Digitale Inklusion unterstützt die Akzeptanz der Einführung neuer Technologien.

F2: Welche Herausforderungen stellen sich den KMU bei der Umstellung auf eine Kreislaufwirtschaft sowie im Zusammenhang mit dem Einsatz von KI?

Die Beantwortung der zweiten Forschungsfrage erfolgte ebenfalls nach Sichtung der in Kapitel 2.3.1. und 2.3.2. aufgeführten Literatur sowie der Durchführung der Methodik der Zukunftsforschung. Es hat sich gezeigt, dass eine besondere Herausforderung im Zusammenhang mit der Umstellung auf eine CE und die Implementierung bzw. Nutzung von KI das in den KMU nicht vorhandene Know-how darstellt. KMU fehlt es außerdem an finanziellen und technischen Ressourcen. Die Schaffung von Unternehmenskooperationen stellt eine weitere Herausforderung dar. Aus der Analyse der Forschungsliteratur ergab sich zudem, dass weitere Hindernisse den Weg zur Nutzung von KI für die Umstellung auf eine nachhaltige CE behindern. Es wurde gezeigt, dass Sicherheitsfragen und Datenschutzbelange große Hürden darstellen. Auch der Mangel an qualifizierten digitalen Fachkräften stellt ein Problem dar. KMU, die erfolgreich auf eine CE umstellen wollen, müssen sich den Herausforderungen einer effektiven Unternehmenskooperation und Koordination zwischen verschiedenen Akteuren entlang der Wertschöpfungskette stellen (s. 2.3.1.). Lösungen einiger dieser Probleme stellt der Druck seitens der Kunden, die Eigenmotivation der Manager sowie die Hilfe der Politik dar. Die Schaffung einer zirkulären Lieferkette, bei der Ökodesign, umweltfreundliche Beschaffung- und Produktion, ein Umdenken in Logistik sowie die Schaffung von Recyclingprodukten berücksichtigt werden müssen, ist ein notwendiger Schritt für die Umstellung auf eine CE. Dies erfordert eine Veränderung von Geschäftsmodellen und Unternehmensprozessen. Auf Basis der Zukunftsforschung konnten die Herausforderungen in Belangen wie Sicherheit, Personalmangel (digitale Talente) und geoökonomische Kooperation identifiziert werden. Die Auswertung hat gezeigt, dass der Zugang zu digitalen Fachkräften eine zunehmende Herausforderung darstellt. Der in der Praxis herrschende Wettbewerb um Talente führt dazu, dass die Integration digitaler Talente höchste Priorität hat. Die Teilhabe am digitalen Ökosystem sowie geringe Investitionen in die Schulung und Weiterbildung von Mitarbeitern könnten diese Probleme bereits ohne großen Aufwand angehen. Darüber hinaus hat die Auswertung der Forschungsliteratur ergeben, dass die Möglichkeiten einer Reduktion des derzeitigen Ressourcenverbrauchs durch KI-basierte Optimierungs- und Vorhersagemodelle große Aufmerksamkeit zukommen. Es zeigt sich jedoch, dass der Weg zur praktischen Nutzung von KI durch KMU noch

nicht ausreichend geebnet ist. Sowohl die Entwicklung strategischer Handlungsempfehlungen sowie die Auswertung der Literatur in Kapitel 2 haben gezeigt, dass das Zurückgreifen auf Lösungen externer Dienstleister und das Change-Management erhebliche Chancen für den Mittelstand, vor allem Kleinunternehmen, bieten, erste Schritte für eine erfolgreiche KI-Implementierung für eine beschleunigte Umstellung auf eine CE zu gehen.

5.2. Kritische Würdigung der Arbeit

Die Auswertung der Forschungsliteratur sowie die Anwendung von Methoden der Zukunftsforschung haben zum Verständnis der Schnittstellen von KI und CE beigetragen. Anstelle des derzeit in vielen Unternehmen praktizierten linearen Wirtschaftsmodells bietet die CE eine nachhaltigere Alternative. Die CE würde eine umweltfreundlichere Entwicklung und eine allgemeine Verlagerung der gesellschaftlichen Prioritäten vom Konsum hin zu neuen Interaktionen und Verbindungen fördern. KI wird bei diesem Wandel eine wichtige Rolle spielen. Neben den Vorteilen der KI birgt die Technologie allerdings auch Nachteile und schürt Zukunftsängste. Hier können als Beispiele die Nutzung von KI zur Überwachung der Bevölkerung und damit zur Stabilisierung diktatorischer Regime genannt werden. KI könnte auch Arbeitsplätze gefährden oder die sozioökonomische Ungleichheit durch die Vergrößerung der Kluft zwischen qualifizierten und ungelernten Arbeitskräften verstärken. Auch aus dem Bereich des Datenschutzes kommen kritische Anmerkungen. Zwischen den Polen strenge Regulierung von Daten, die Innovation und Fortschritt verlangsamen und behindern könnten, und schwache Regulierungen von Daten, die Kunden nicht angemessen schützen und einen Rückgang der KI-Nutzung verursachen könnten, muss sorgfältig und sachgerecht abgewogen werden. Neue KI-basierte Technologien führen auch zu ethischen Bedenken, über die offen und transparent diskutiert werden sollte. Ein Beispiel hierfür bietet der Chatbot von OpenAI, der dazu neigt, Falschinformationen zu verbreiten, romantische Beziehungen zu Nutzern aufzubauen oder gar anstößige Bemerkungen auszugeben. Es wird zudem befürchtet, dass der sogenannte „Tipping-Point“ eintreten könnte, der es Maschinen ermöglicht, Macht auf sich zu konzentrieren. Hierfür müsste allerdings eine „Super-Intelligenz“ (s. Kapitel 2.2.) vorhanden sein. Gentsch (2019, S. 265–269) geht davon aus, dass dieser „Tipping-Point“ mit Sicherheit eintreten werde. Expertenaussagen und Studien bringen ihn zu der Einschätzung, einen solchen

Eintritt zwischen den Jahren 2040 und 2090 vorherzusagen. Er begründet dies mit der rasanten Entwicklung der Technologie. Dies verdeutlicht die Notwendigkeit von strengeren Regulierungen und der Etablierung ethischer Richtlinien. Die Bundesrepublik Deutschland hat mit dem Entwurf eines Gesetzes zur KI eine wichtige Diskussion angestoßen. Zusammenfassend kann den KMU empfohlen werden, sich mit der Technologie von KI vertraut zu machen und deren Vorteile für das eigene Unternehmen auszuloten und zu nutzen. KI wird künftig ein Begleiter in vielen Lebensbereichen werden. Ein digitalisiertes Geschäft ist notwendig und geht einher mit der Umsetzung von CE-Zielen; der Reduzierung von Abfällen, von THG-Emissionen sowie des Ressourcenverbrauchs (s. Kapitel 2.1.).

5.3. Ausblick auf zukünftige Forschungsaktivitäten

Die kritische Würdigung der Ergebnisse kann als richtungsweisend für künftige Forschungsaktivitäten angesehen werden. Sie zeigt, dass weitere Forschung notwendig ist, um die Auswirkungen des Einsatzes von KI auf die Umwelt und Gesellschaft zu untersuchen und sicherzustellen, dass der Übergang zu einer CE mithilfe von KI tatsächlich nachhaltig gestaltet wird. Darüber hinaus müssen weitere Forschungen durchgeführt werden, um die Integration von KI-Technologien in KMU zu erleichtern. Hier könnte die Politik unterstützend wirken. Es sollte geprüft werden, ob für Unternehmen geeignete Finanzierungsprogramme aufgelegt oder andere Anreize gesetzt werden könnten. Um die Umstellung auf eine CE flächendeckend innerhalb des Wirtschaftsstandortes Deutschlands mithilfe der Technologie zu gestalten, sollten vor allem das deutsche Gesetz über KI sowie die NKWS in Einklang gebracht werden. Es könnte zudem erforscht werden, ob Unternehmen bei der Umstellung auf nachhaltige Geschäftsmodelle unfairen Wettbewerbsbedingungen ausgesetzt sind und wie sie den Markt für Kreislaufprodukte und -dienstleistungen stärken könnten. Um zu verhindern, dass der Übergang zu einer CE mithilfe von KI zu sozialer Ungleichheit führt, ist es von entscheidender Bedeutung, die potenziellen Auswirkungen von KI auf die Beschäftigung und die Arbeitskräfte zu analysieren. Ein weiterer interessanter Forschungsbereich wäre die Untersuchung der Auswirkung des Einsatzes von KI auf die Produktivität der Mitarbeiter in Unternehmen. Hierbei geht es vor allem um das Funktionieren der Mensch-Maschine-Allianz und die Änderungen von Arbeitsbedingungen aufgrund des Einsatzes von KI.

Anhang

I. Anhang zum Klärungsschritt der Methode

Der vierte Schritt des FF folgt einem wesentlichen Konzept: Vermutung versus Wissen. Amy Webb plädiert dafür, dass während des Klärungsschrittes Gegenargumente erarbeitet werden müssen, da dies ein wesentlicher Bestandteil des Prognoseprozesses ist (Webb 2016, S. 36, 181). Das Konzept besteht aus folgendem Muster und wurde von der Verfasserin während der Erstellung des Fringe Sketch und der Analyse stets verwendet.

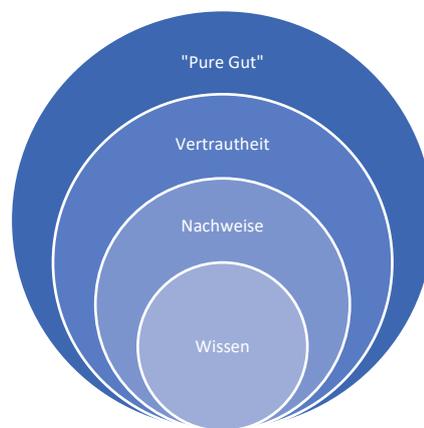


Abbildung 14: Vermutung versus Wissen (Eigene Darstellung in Anlehnung an Diana 2021)

„Pure Gut“ beinhaltet keine Beweise, die etwas weder bestätigen noch verneinen, sondern hoffnungsvolles Denken und Intuition. Vertrautheit beinhaltet echte Beweise, einige Einsichten sowie viele offene Fragen. Nachweise beinhaltet, dass Beweise gesammelt werden, Modelle erstellt werden und somit nur wenige Fragen verbleiben. Das Wissen umfasst reale Beweise, etablierte Modelle und beantwortete Fragen (vgl. Diana 2021).

II. Anhang zum Planungsschritt der Methode

1. Achsen der Unsicherheit (Axes of Uncertainty)

1.1. Schritt 1 und 2: Brainstorming über externe und interne (oder bekannte) Unsicherheiten

WIRTSCHAFT		SOZIALES	
A: Finanzielle Ressourcen für Investitionen in KI	A: Keine (nicht ausreichende) finanzielle Ressourcen für Investitionen in KI	D: Verändertes Verbraucherverhalten und -präferenzen	D: Keine Veränderungen der Verbraucherverhalten
B: Effektive Zusammenarbeit, Unternehmenskooperationen in digitalen Ökosystemen	B: Keine effektive Zusammenarbeit möglich (z.B. durch geopolitische Krisen)	E: Akzeptanz der CE und der "New Plastics Economy"	E: Keine Akzeptanz der CE und der "New Plastics Economy"
C: Fähigkeit, KI-Systeme in bestehende Geschäftsmodelle zu integrieren	C: Schlechte Konditionen für eine KI-Implementierung in Geschäftsmodelle	F: Akzeptanz und Vertrauen der Verbraucher in KI-Systeme	F: Keine Akzeptanz und Misstrauen gegenüber KI
TECHNOLOGIE		REGULIERUNG, POLITIK, AKTIVISMUS	
G: Fortschritte und Verfügbarkeit von KI-Technologien	G: Stagnierende KI-Forschung und keine ausreichende Verfügbarkeit (Monopol)	J: Veränderungen in den gesetzlichen Rahmenbedingungen	J: Keine Veränderungen, keine Gesetze
H: Datenschutz und Sicherheitsbedenken bei Nutzung von Daten für KI	H: Keine Bedenken und Vertrauen in Verschlüsselung der KI-Daten	K: Effektive Regulierung und Standards für Einsatz von KI	K: Keine Regulierung für Einsatz (Kontrollverlust)
I: Effektive KI-Implementierung in Unternehmen für CE	I: Keine Nutzungsabsicht der KI für Umstellung auf CE	L: Klimaaktivismus und Einfluss auf politische Entscheidungen	L: Klimaaktivismus wird nicht ernst genommen

Tabelle 6: Interne und externe Unsicherheiten (Eigene Darstellung in Anlehnung an Webb 2020)

Unsicherheiten, welche relevant für die vorliegende Forschung sind und sowohl innerhalb des Theorieteils, des aktuellen Forschungsstandes sowie innerhalb der Methodik ausgearbeitet wurden sind A, B, C, E, F, G, H, I, J sowie K.

1.2. Schritt 3, 4 und 5: Auswählen zweier Unsicherheiten und Verlegung auf gegenüberliegende Achsen, Überschrift für Quadrate finden und Beschriftung der Quadrate

Um den Umfang dieser Arbeit nicht zu sprengen, werden im Folgenden zwei Quadrate vorgestellt, um dem Leser einen Überblick über die Funktion der Erstellung der Achsen der Unsicherheit zu gewährleisten und aufzuzeigen, welche Funktionen diese laut Amy Webb (vgl. 2020) haben. Weitere Szenarien wurden mithilfe der Ideen des sozialen Umfeldes der Verfasserin und einem umfassenden Brainstorming zu den existenziellen und langfristigen Risiken sowie den kurzfristigen und langfristigen Chancen erstellt.

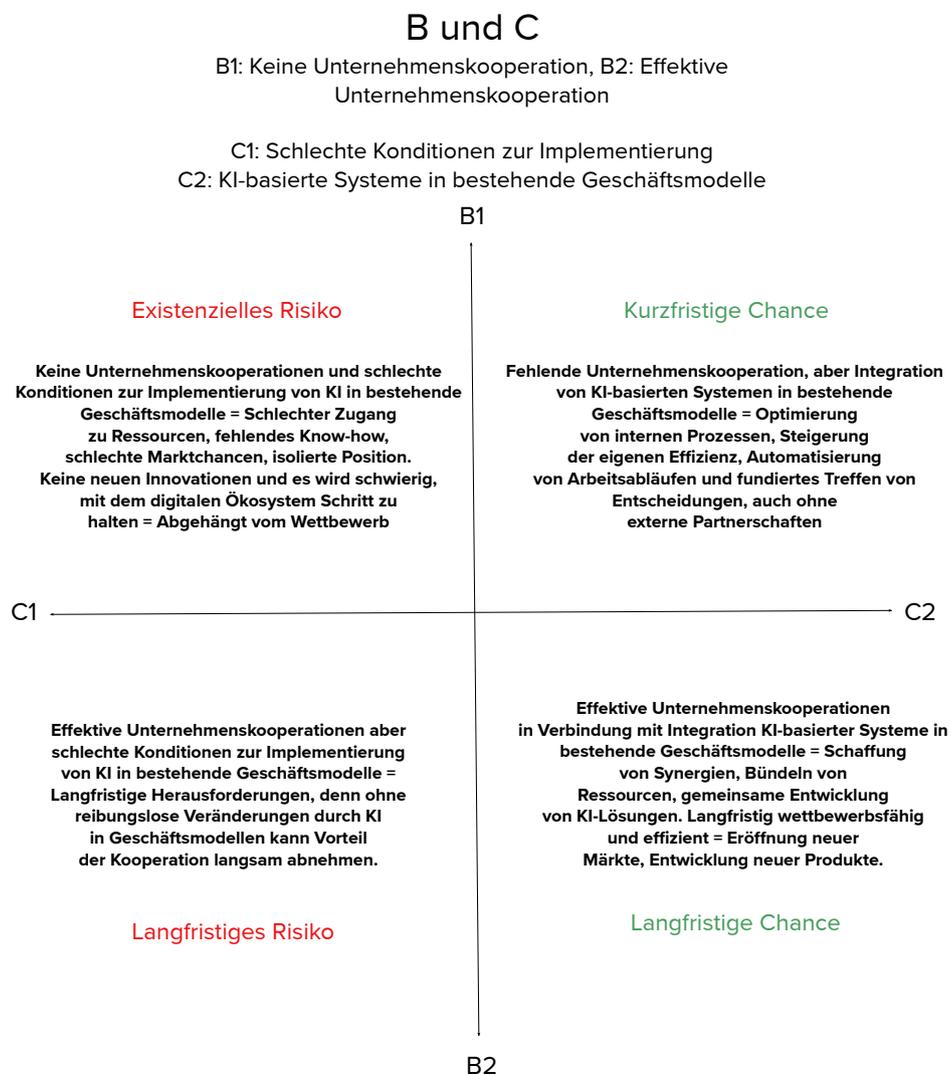


Abbildung 15: Axe of Uncertainty; Unternehmenskooperation und Implementierung von künstlicher Intelligenz in bestehende Geschäftsmodelle (Eigene Darstellung in Anlehnung an Webb 2020)

A und E

A1: Keine finanziellen Ressourcen, A2: Finanziellen Ressourcen für KI-Implementierung

E1: Keine Akzeptanz der CE "New Plastics Economy"

E2: Akzeptanz der CE "New Plastics Economy"

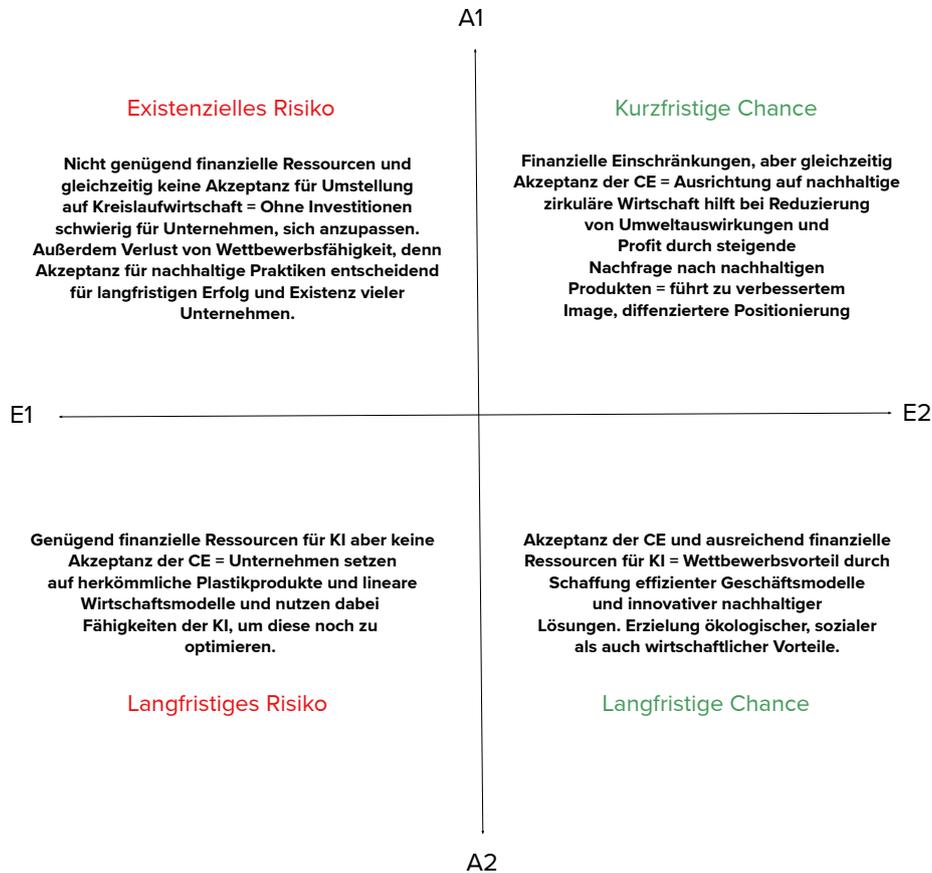


Abbildung 16: Axe of Uncertainty; Finanzierung von künstlicher Intelligenz und Akzeptanz der Kreislaufwirtschaft (Eigene Darstellung in Anlehnung an Webb 2020)

2. SWOT-Analyse der Szenarien

Die gewonnenen Daten aus einem umfassenden Brainstorming und der Hilfestellungen von sozialen Kontakten werden in diesem Schritt benötigt, um sie in Form einer Analyse darzustellen (Webb 2016, S. 37). Die hierfür angewendete Analyse wird im Folgenden in Form einer SWOT-Analyse dargestellt.

		Günstig zur Erreichung des Ziels	Ungünstig für das Erreichen des Ziels
Intern Eigenschaften der Organisation	STÄRKEN	<ul style="list-style-type: none"> • Open Source; Low-Code/No-Code ermöglicht Unternehmen den freien Zugang zu KI • Unternehmen setzen sich zunehmend für Nachhaltigkeit ein (ESG) • Kooperationsnetzwerke zwischen Unternehmen steigen, Möglichkeit des freien Austauschs • KI ermöglicht Unternehmen die Umstellung auf zirkuläre Wirtschaftsweisen <ul style="list-style-type: none"> • Industrie 4.0 und Blockchain für nachhaltiges Management von Lieferketten • Zusammenarbeit Generationen führt zu neuen Innovationen und kreativen Ideen 	SCHWÄCHEN
	CHANCEN	<ul style="list-style-type: none"> • Fortschritte in KI und Technologie ermöglichen effizientere und präzisere Prozesse • Verfügbares freies Wissen durch Open Source, LC/NC • Zunehmendes Bewusstsein und Engagement für Nachhaltigkeit und Umweltbewusstsein in der Gesellschaft <ul style="list-style-type: none"> • Zusammenarbeit zwischen Regierungen, Unternehmen und Organisationen <ul style="list-style-type: none"> • Unternehmen werden zu den neuen Born-Circulars und setzen ein Zeichen • Schaffung digitaler Ökosysteme 	BEDROHUNGEN
Extern Attribute der Umwelt			<ul style="list-style-type: none"> • Konkurrenz anderer Länder und Unternehmen, die ebenfalls auf KI und Technologie setzen (z.B. China) • Negative Reaktionen bei fehlerhaftem Einsatz von KI oder Missbrauch von Technologie <ul style="list-style-type: none"> • Potenzielle Auswirkungen auf Arbeitsplätze • Einführung von umfassendem Verbot von KI durch Gesetze und Regulierungen • Kreislaufwirtschaft setzt sich nicht durch = Rückschlag in Bemühungen um eine funktionierende CE • Ressourcenknappheit führt zu einem Kampf in der Welt = Störung in Wirtschaft <ul style="list-style-type: none"> • Homogenisierte KI-Stämme • Super KI entwickelt Singularität

Abbildung 17: SWOT-Analyse (Eigene Darstellung in Anlehnung an Namugenyia/Nimmagadda/Reiners 2019, S. 1148)

III. Anhang zum Planungs- und Handlungsschritt der Methode

TRENDS	Das Katastrophenszenario	Das pragmatische Szenario	Das optimistische Szenario	Maßnahmen für Backcasting
Wandel in Demografie und Sozialisierung				
Digitale Inklusion, digitale Talente	Silver Society wird abgehängt, digitale Kluft zwischen Generationen, keine qualifizierten digitalen Talente	Digitale Inklusion hat an Bedeutung gewonnen = spezielle Programme und Schulungen	Bildungsmöglichkeit = digitale Talente, gezielte Maßnahmen zur digitalen Inklusion, Zusammenarbeit der Generationen	Kompetenzen aufbauen, barrierefreie Gestaltung von Produkten = Schulungs- und Unterstützungsangebot
KI-Stämme = Forschung und Entwicklung	Dominanz homogene Gruppen, Verstärkung von Vorurteilen + Diskriminierung	Gezielte Ausrichtung auf Vielfalt an Talenten und Perspektiven, Förderung von Diversität in KI-Branche noch nicht ausreichend	Diverse KI-Stämme, Inklusion aller Bedürfnisse	KI-Systeme müssen auf diversen Daten basieren = Keine Verzerrung oder Diskriminierung, Förderung von Vielfalt in Teams, innovative Entwicklungsprozesse
Wissensmanagement und Lernkultur in Unternehmen	Unternehmen abgehängt von technologischer Entwicklung, mangelnde Lernkultur, Mangel an Investitionen in Weiterbildung	Förderung einer Kultur des Wissensaustausches/ Weiterbildung, keine flächendeckende Nutzung von digitalen Tools in Unternehmen	Unternehmen = Kultur des inklusiven Lernens, zentral: kontinuierliche Weiterbildung	Förderung inklusives Lernen = Unterstützung, Wissensaustausch innerhalb des Unternehmens, Schulungen, Weiterbildungsprogramme
Internationaler Handel	Protektionistische Tendenzen, politische Spannungen = Abkehr von Zusammenarbeit, stagnierender Wirtschaftswachstum, Rückgang globaler Austausch	Deutschland pflegt enge Kooperationen mit einzelnen Ländern, Austausch von Wissen, Technologien und Ressourcen verbleibt in wirtschaftsstarke Ländern	Zunehmende Zusammenarbeit + Handelsliberalisierung: Neue Märkte, Förderung globaler Innovationen	Austausch von Wissen und Technologien muss durch internationale Partnerschaften und Kooperationen gefördert werden, Low-Code/No-Code
Technologiesierung und Digitalisierung				
Künstliche Intelligenz	Außer Kontrolle: Super-KI, unvorhersehbare Verhaltensweisen von KI-Systemen, Vertrauensverlust in KI-Technologien	Enormer Fortschritt in verschiedenen Branchen, dennoch wenige innovativen Lösungen für Nachhaltigkeit	Enorme Fortschritte in allen Lebensbereichen, automatische Erstellung neuer Ideen, Designs, Lösungen	Nutzung für Optimierung und Automatisierung von Prozessen, verbesserte Entscheidungsfindung, Entwicklung neuer Lösungen
KI Supercomputing Center	Politische Uneinigkeit + finanzielle Engpässe = Keine Umsetzung, Deutschland verliert Wettbewerbsfähigkeit	Etablierung findet statt, jedoch langsames Voranschreiten von hochleistungsfähigen KI-Anwendungen	EU hat KI-Forschungszentrum geschaffen = Europa globales Zentrum für technologische Innovation, Zusammenarbeit Industrie + Wissenschaft	Kooperationen profitieren, Zugang zu leistungsstarken Rechenressourcen können eigne KI-Anwendungen weiterentwickeln und optimieren
Open Source, LC/NC	Zunehmende Einschränkung durch Unternehmen + Regierungen, verstärkte Monopolisierung von Technologien = Innovationsrückstand und begrenzter Fortschritt	Weiterhin Anerkennung und Förderung, jedoch entwickelt sich eine Gemeinschaft, die ihr Wissen und ihre Ressourcen nur unter sich teilt	Weit verbreitet, Förderung der Zusammenarbeit, Freier Austausch von Wissen + Technologien	Wert von Open-Source-Software erkennen und nutzen: Zusammenarbeit in offenen Netzen dient Wissenstransfer, Vorantreibung, Innovationen und Entwicklung nachhaltiger Lösungen
Blockchain	Anfällig für Angriffe und Manipulation = Unsicherheit und Vertrauensverlust	Dezentrale Natur bietet zwar Transparenz, aber Sicherheitsbedenken in Datenverwaltung sind noch offen	Sicheres und effizientes Mittel in Lieferkettenverfolgung etc., fördert Transparenz, Integrität und Vertrauen	Nutzen für Transparenz und Vertrauen in Lieferketten = Verwendung von Smart Contracts und dezentralen Systemen
Nachhaltigkeit und Umweltbewusstsein				
Erneuerbare Energien	Mangelnde politische Unterstützung, finanzielle Investitionen = Umstellung stagniert, fossile Brennstoffe dominieren	Ausbau hat zwar Priorität, aber nicht genug finanzielle Mittel zur Verfügung, leichte Verringerung der Umweltverschmutzung	Signifikante Steigung, Reduzierung Abhängigkeit fossiler Brennstoffe, Energie aus Wind und Sonne	Umstieg auf erneuerbare Energien und Einführung umfassender Nachhaltigkeitsstrategie
Zirkuläre Wirtschaft	Keine umfassende Umsetzung, Ausbeutung natürlicher Ressourcen = Erschöpfung der Umwelt	Idee wird umgesetzt, aber langsam = Unternehmenskooperationen entscheidend	"Born-Circulars" in 2030	Einführung nachhaltiges Produktdesign, Kreislaufinfrastruktur und Optimierung von Geschäftsmodellen
Aufstieg globaler Akteure	Deutschland verliert an wirtschaftlicher Stärke und globaler Relevanz (China Konzentration)	China international anerkannt für Vorreiterrolle in KI = Deutschland pflegt Kooperation, aber wird abhängig von China	Verstärkte Zusammenarbeit: Austausch von bewährten Praktiken, Finden von gemeinsamen Lösungen	Aufmerksame Verfolgung und Ideensuche in Umsetzung und Implementierung von KI aus China = Erfahrungen sammeln
Nachhaltige und lokalisierte Lieferkette	Lieferketten: Weiterhin lange Transportwege + mangelnde Transparenz	Bessere und nachhaltigere Organisation = Förderung lokaler Produkte, Vermarktung	Präferenz: Kurze Lieferkette, Stärkung der lokalen Wirtschaftskreisläufe	Analyse der bestehenden Lieferketten = Förderung regionaler Lieferanten, Unternehmenskooperationen, Rückwärtslogistik einführen
Nachhaltiges Geschäftsmodell	Multinationale Unternehmen dominieren, keine Kooperation in Sicht	Vermehrter Gebrauch von transparenten Geschäftsmodellen	Wertschöpfung in Region, nachhaltige Produktion und Konsum	Einführung CBM, PSS, Sharing Economy
Globalisierung und Mobilität				
Smart City/Smart Country	Zu begrenzte finanzielle Mittel für Einführung, politische Hürden, veraltete Infrastruktur	Intelligente Technologien und IoT-Infrastrukturen in einigen Städten, Energiemanagement bedarf Verbesserung	Städte intelligent genutzt, optimale Infrastruktur, Optimierung Verkehrsströme, Energieeffizienz steigt	Förderung innovativer Technologien = intelligenterer städtische Infrastruktur
Sharing Economies, Shared Mobility	Sharing Economy etabliert sich nicht, Zurückgreifen auf konventionelle Mobilitätsmodelle	Integraler Bestandteil des Systems, aber hauptsächlich in Städten	Starke Weiterentwicklung, effizientere Nutzung von Ressourcen, weit verbreitet	Entwicklung Plattformen/ Dienstleistungen für gemeinsame Nutzung von Fahrzeugen
Autonomes Fahren	Technische Herausforderungen, mangelnde Infrastruktur für autonome Fahrzeuge	Etablierung nur in bestimmten Bereichen, Ladeinfrastruktur weiterhin ausbaufähig	Autonome Fahrzeuge = Flächendeckend, effiziente Nutzung Verkehrsraum, Verringerung Stau/Unfälle	Vorantreiben Forschung und Entwicklung + Förderung nachhaltiger Lieferketten in lokaler Produktion
Nachhaltige und umweltfreundliche Mobilität	Einsatz fossiler Brennstoffe dominiert, Verschärfung der Klimakrise	Erhebliche Fortschritte aufgrund neuer Technologien, jedoch Verbesserungsbedarf	Elektromobilität und erneuerbare Energien = Reduzierung von CO2, flächendeckende Ladestation-Infrastruktur	Fahrzeuge auf umweltfreundliche Optionen umstellen, Ausbau von innovativen Mobilitätslösungen

Abbildung 18: Zukunftsszenarien und Backcasting (Eigene Darstellung)

Literaturverzeichnis

Acerbi, Federica/Forterre, Dai Andrew/Tausch, Marco (2021): Role of Artificial Intelligence in Circular Manufacturing: A Systematic Literature Review. In: IFAC-PapersOnLine 54 (1), S. 367-372. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.08.040>.

Agrawal, Ajay/Gans, Joshua/Goldfarb, Avi (2019): Artificial Intelligence and the Modern Productivity Paradox: A Clash of Expectations and Statistics. In: The economics of artificial intelligence: an agenda (= National Bureau of Economic Research conference report). Chicago: University of Chicago Press. S. 23-57.

Agrawal, Rohit/Wankhede, Vishal A./Kumar, Anil/Luthra, Sunil/Majumdar, Abhijit/Kazancoglu, Yigit (2022): An Exploratory State-of-the-Art Review of Artificial Intelligence Applications in Circular Economy using Structural Topic Modeling. In: Operations Management Research 15 (3–4), S. 609-626. <https://doi.org/10.1007/s12063-021-00212-0>.

Akanbi, Lukman/Oyedelea, Lukumon/Akinadé, Olúgbénga/Anuoluwapo, Orija/Davila Delgado, Manuel/Bilal, Muhammad/Bello, Sururah (2017): Salvaging building materials in a circular economy: A BIM-based whole-life performance estimator. In: Resources Conservation and Recycling 129, S. 175-186. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.026>.

Andersen, Inger (2023): Solutions to beat plastic pollution. In. Nairobi, Kenya: UN-Umweltprogramm (UNEP). <https://www.unep.org/news-and-stories/speech/just-transition-new-plastics-economy> (letzter Zugriff 18.05.2023).

Ashraf, Muqsit/Bocca, Roberto (2022): Net-Zero Industry Tracker. Cologny/Geneva Switzerland: World Economic Forum. S. 1-111. https://www3.weforum.org/docs/WEF_NetZero_Industry_Tracker_2022_Edition.pdf (letzter Zugriff 19.05.2023).

Astrup, Nikolai (2020): Nasjonal strategi for kunstig intelligens. Kommunal- og moderniseringsdepartementet. <https://www.regjeringen.no/contentassets/1febbbb2c4fd4b7d92c67ddd353b6ae8/no/pdfs/ki-strategi.pdf> (letzter Zugriff 03.03.2023).

BMUV (2023): Die Nationale Kreislauf- wirtschaftsstrategie (NKWS): Grundlagen für einen Prozess zur Transformation hin zu einer zirkulären Wirtschaft. In. Berlin: Bundesregierung. S. 3-15. https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Abfallwirtschaft/nkws_grundlagen_bf.pdf (letzter Zugriff 27.04.2023).

Bogobowicz, Michael/Gao, Scarlett/Masiowski, Mateusz/Mohr, Niko/Soller, Henning/Zemmel, Rodney/Zesko, Matija (2023): Quantum technology sees record investments, progress on talent gap. McKinsey & Company. S. 1-6. <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/quantum-technology-sees-record-investments-progress-on-talent-gap#/>.

Bryan, Mark et al. (2023): Supply Chain & Logistics. New York: Future Today Institute. S. 1-68. (= FTI's 2023 Tech Trends report). <https://futuretodayinstitute.com/trends/> (letzter Zugriff 20.03.2023).

Bughin, Jacques/Seong, Jeongmin/Manyika, James/Chui, Michael/Joshi, Raoul (2018): Notes from the AI frontier: Modeling the impact of AI on the world economy. McKinsey & Company. S. 1-64. <https://www.mckinsey.com/featured-insights/artificial-intelligence/notes-from-the-ai-frontier-modeling-the-impact-of-ai-on-the-world-economy#/> (letzter Zugriff 05.04.2023).

Chambers, John C./Mullick, Satinder K./Smith, Donald D. (1971): How to Choose the Right Forecasting Technique. In: Harvard Business Review July 1971 issue, S. 1-44.

Chauhan, Chetna/Parida, Vinit/Dhir, Amandeep (2022): Linking circular economy and digitalisation technologies: A systematic literature review of past achievements and future promises. In: Technological Forecasting and Social Change 177, S. 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121508>.

De Boer, Enno/Friligos, Yorgos/Giraud, Yves/Liang, David/Malik, Yogesh/Mellors, Nick/Shahani, Rahul/Wallace, James (2022): Transforming advanced manufacturing through Industry 4.0. S. 1-7.

de Freitas Netto, Sebastião Vieira/Sobral, Marcos Felipe Falcão/Ribeiro, Ana Regina Bezerra/Soares, Gleibson Robert da Luz (2020): Concepts and forms of greenwashing: a systematic review. In: Environmental Sciences Europe 32 (1), S. 1-19. <https://doi.org/10.1186/s12302-020-0300-3>.

de Ruyter, Christa (2019): Circular economy and the EU. In. <https://www.europeangeneration.eu/single-post/2019/10/25/circular-economy-and-the-eu> (letzter Zugriff 31.05.2023).

Deichmann, Johannes/Ebel, Eike/Heineke, Kersten/Heuss, Ruth/Kellner, Martin/Steiner, Fabian (2023): Autonomous driving's future: Convenient and connected. McKinsey & Company. S. 1-12. <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/autonomous-drivings-future-convenient-and-connected#/> (letzter Zugriff 06.06.2023).

Dey, Prasanta Kumar/Malesios, Chrysovalantis/Chowdhury, Soumyadeb/Saha, Krishnendu/Budhwar, Pawan/De, Debashree (2022): Adoption of circular economy practices in small and medium-sized enterprises: Evidence from Europe. In: International Journal of Production Economics 248, S. 1-19.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108496>.

Di Battista, Attilio/Grayling, Sam/Hasselaar, Elsebet/Leopold, Till/Li, Ricky/Rayner, Mark/Zahidi, Saadia (2023): Future of Jobs Report 2023. Cologny/Geneva Switzerland: World Economic Forum. S. 1-296.
https://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs_2023.pdf.

Diana, Frank (2021): Strategic Uncertainty. In.
<https://frankdiana.net/2021/12/16/strategic-uncertainty/> (letzter Zugriff 03.06.2023).

Die Bundesregierung (2021): Kurzfassung zur Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie 2021. Berlin: Deutsche Bundesregierung. S. 1-36.
<https://www.bundesregierung.de/resource/blob/998006/1873556/8448988dbe49b615d8ba50039097a3aa/2021-05-12-dns-2021-kurzfassung-final-barrierefrei-data.pdf?download=1> (letzter Zugriff 04.03.2023).

Die Bundesregierung (2023): Wo steht Deutschland bei der Energiewende. In.
<https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/faq-energiewende-2067498> (letzter Zugriff 18.05.2023).

Dowling, Michael et al. (2021): KI im Mittelstand-Potenziale erkennen, Voraussetzungen schaffen, Transformation meistern. Plattform Lernende Systeme-Die Plattform für Künstliche Intelligenz. S. 1-49. (letzter Zugriff 06.03.2023).

Duch Guillot, Jaume (2023): EU-Verkaufsverbot für neue Benzin- und Dieselfahrzeuge ab 2035 – Was bedeutet das? S. 1-4.

Ellen MacArthur Foundation (2013): Towards the circular economy: Economic and business rationale for an accelerated transition. Ellen MacArthur Foundation. S. 1-98.

Ellen MacArthur Foundation (2015): Towards a circular economy: Business rationale for an accelerated transition. Ellen MacArthur Foundation. S. 1-20.
<https://ellenmacarthurfoundation.org/towards-a-circular-economy-business-rationale-for-an-accelerated-transition> (letzter Zugriff 03.04.2023).

Ellen MacArthur Foundation (2019): Artificial Intelligence and the circular economy - AI as a tool to accelerate the transition. McKinsey Sustainability. S. 1-39.
<https://ellenmacarthurfoundation.org/artificial-intelligence-and-the-circular-economy> (letzter Zugriff 08.03.2023).

Ellen MacArthur Foundation (2021): Completing the picture: How the circular economy tackles climate change. Ellen MacArthur Foundation. S. 1-71. (= Material Economics).

<https://emf.thirdlight.com/file/24/cDm30tVcDDexwg2cD1ZEcZjU51g/Completing%20the%20Picture%20-%20How%20the%20circular%20economy%20tackles%20climate%20change.pdf> (letzter Zugriff 08.04.2023).

Ellen MacArthur Foundation/SUN/McKinsey Center for Business and Environment (2015): Growth Within: A Circular Economy Vision For A Competitive Europe. SUN-Stiftungsfonds für Umweltökonomie und Nachhaltigkeit GmbH. S. 1-98. (letzter Zugriff 06.03.2023).

Engel, Hauke/Helmcke, Stefan/Heuss, Ruth/Hieronimus, Solveigh (2021): Net-Zero Germany: Opportunities and challenges on the pathway to climate neutrality by 2045. McKinsey Sustainability. S. 6-105.

<https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/net-zero-germany-chances-and-challenges-on-the-path-to-climate-neutrality-by-2045#/> (letzter Zugriff 03.05.2023).

Ertel, Wolfgang (2021): Grundkurs Künstliche Intelligenz: Eine praxisorientierte Einführung (= Computational Intelligence). 5. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg.

Europäische Kommission (2003): Empfehlung der Kommission vom 6. Mai 2003 betreffend die Definition der Kleinstunternehmen sowie der kleinen und mittleren Unternehmen (Text von Bedeutung für den EWR) (Bekannt gegeben unter Aktenzeichen K(2003) 1422). In. S. 36-41.

<http://data.europa.eu/eli/reco/2003/361/oj/deu> (letzter Zugriff 02.06.2023).

Europäisches Parlament (2015): Kreislaufwirtschaft: Definition und Vorteile. In. <https://www.europarl.europa.eu/news/de/headlines/economy/20151201STO05603/kreislaufwirtschaft-definition-und-vorteile> (letzter Zugriff 12.04.2023).

European Commission (2020): A new Circular Economy Action Plan For a cleaner and more competitive Europe. In: 98 final, S. 1-19.

European Strategy and Policy Analysis System./Europäisches Parlament/Rat der Europäischen Union/Europäische Kommission (2015): Globale Trends bis 2030: Kann die EU die anstehenden Herausforderungen bewältigen? Luxemburg: Publications Office.

Future Today Institute (2023): Who We Are - Future Today Institute. <https://futuretodayinstitute.com/team/> (letzter Zugriff 10.05.2023).

Gaub, Florence (2019): Global Trends to 2030: Challenges and Choices for Europe. European Strategy and Policy Analysis System. S. 1-52.
https://espas.secure.europarl.europa.eu/orbis/sites/default/files/generated/document/en/ESPAS_Report2019_V14.pdf (letzter Zugriff 13.05.2023).

Gentsch, Peter (2019): Fazit und Ausblick: Algorithmic Business – quo vadis? In: Künstliche Intelligenz für Sales, Marketing und Service. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. S. 265-282. https://doi.org/10.1007/978-3-658-25376-9_8.

Ghoreishi, Malahat/Happonen, Ari (2020): New promises AI brings into circular economy accelerated product design: a review on supporting literature. In: E3S Web of Conferences 158, S. 1-10. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015806002>.

Giest, Sarah (2017): Big data analytics for mitigating carbon emissions in smart cities: opportunities and challenges. In: European Planning Studies 25 (6), S. 941-957. <https://doi.org/10.1080/09654313.2017.1294149>.

Guggenberger, Patrick/Maor, Dana/Park, Michael/Simon, Patrick (2023): The State of Organizations 2023. McKinsey & Company. S. 1-92.
<https://www.mckinsey.com/capabilities/people-and-organizational-performance/our-insights/the-state-of-organizations-2023#/>.

Haarmeier, Marc (2021): Künstliche Intelligenz für den Mittelstand: erfolgreiche Einführung und Nutzung von KI-Anwendungen in Unternehmen (= Essentials). Wiesbaden [Heidelberg]: Springer Gabler.

Hansen, Emil Blixt/Bøgh, Simon (2020): Artificial intelligence and internet of things in small and medium-sized enterprises: A survey. In: Digital Twin towards Smart Manufacturing and Industry 4.0 58, S. 362-372.
<https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.08.009>.

Haselbauer, Bernhard/Bartlett-Mattis, Martina (2022): Trend Report: Digitaler Zehnkampf. In. <https://online.fliphtml5.com/gxsq/casy/> (letzter Zugriff 25.05.2023).

Haselbauer, Bernhard/Fuhrich, Andreas/Bartlett-Mattis, Martina (2022): Trend Report: Die vernetzte Gesellschaft. In. <https://online.fliphtml5.com/gxsq/llvb/> (letzter Zugriff 25.05.2023).

Heading, Sophie/Zahidi, Saadia (2023): The Global Risks Report 2023. Cologne/Geneva Switzerland: World Economic Forum. S. 1-98.
https://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risks_Report_2023.pdf (letzter Zugriff 04.03.2023).

Hvid Jensen, Henrik (2022): 5 circular economy business models that offer a competitive advantage. In: World Economic Forum.

Institut für Mittelstandsforschung (IfM) (2023): KMU-Definition der EU-Kommission. In: <https://www.ifm-bonn.org/definitionen/kmu-definition-der-eu-kommission> (letzter Zugriff 03.04.2023).

Jose, Rajan/Panigrahi, Shrikant Krupasindhu/Patil, Rashmi Anoop/Fernando, Yudi/Ramakrishna, Seeram (2020): Artificial Intelligence-Driven Circular Economy as a Key Enabler for Sustainable Energy Management. In: *Materials Circular Economy* 2 (1), S. 1-8. <https://doi.org/10.1007/s42824-020-00009-9>.

KfW Bankengruppe (Hg.) (2022): KfW-Mittelstandspanel 2022: Der Mittelstand hat die Pandemie weitgehend verdaut, aber Ukraine- Krieg und Energiekrise verdüstern die Aussichten. S. 1-34.

Kirchherr, Julian/Reike, Denise/Hekkert, Marko (2017): Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. In: *Resources, Conservation and Recycling* 127, S. 221-232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>.

Konrad, Erhard (1998): Zur Geschichte der Künstlichen Intelligenz in der Bundesrepublik Deutschland. In: Siefkes, Dirk/Eulenhöfer, Peter/Stach, Heike/Städtler, Klaus (Hg.): *Sozialgeschichte der Informatik: Kulturelle Praktiken und Orientierungen (= Studien zur Wissenschafts- und Technikforschung)*. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag. S. 287-296. https://doi.org/10.1007/978-3-663-08954-4_17.

Kreutzer, Ralf T./Sirrenberg, Marie (2019a): Grundlagen und Treiber der Künstlichen Intelligenz. In: Kreutzer, Ralf T./Sirrenberg, Marie (Hg.): *Künstliche Intelligenz verstehen: Grundlagen – Use-Cases – unternehmenseigene KI-Journey*. Wiesbaden: Springer Fachmedien. S. 73-105. https://doi.org/10.1007/978-3-658-25561-9_2.

Kreutzer, Ralf T./Sirrenberg, Marie (2019b): Was versteht man unter Künstlicher Intelligenz und wie kann man sie nutzen? In: Kreutzer, Ralf T./Sirrenberg, Marie (Hg.): *Künstliche Intelligenz verstehen: Grundlagen – Use-Cases – unternehmenseigene KI-Journey*. Wiesbaden: Springer Fachmedien. S. 1-71. https://doi.org/10.1007/978-3-658-25561-9_1.

Lee, Hoesung et al. (2023): Synthesis Resport (SYR) of the IPCC Sixth Assessment Resport (AR6): Summary for Policymakers. In: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 06, S. 1-36.

Lorentz, Bernhard (2023): Deloitte 2023 CxO Sustainability Report, Accelerating the Green Transition. Deloitte. S. 1-24.

https://www2.deloitte.com/de/de/pages/sustainability1/articles/cxo-sustainability-survey-2023.html?id=de:2ps:3gl:4cxo-sustainability-report-2023:5:6oth:20230209:&gclid=Cj0KCQiA0oagBhDHARIsAI-BbgdosDaqm96vW2pQlmgRnjqu41n2TA7TkVNF7aqmTlzRwJyRZo8yIHwaAivwEALw_wcB (letzter Zugriff 02.03.2023).

Lundborg, Martin/Gull, Isabel (2021): Künstliche Intelligenz im Mittelstand: So wird KI für kleine und mittlere Unternehmen zum Game Changer. Begleitforschung Mittelstand-Digital. S. 2-19. https://www.mittelstand-digital.de/MD/Redaktion/DE/Publikationen/ki-Studie-2021.pdf?__blob=publicationFile&v=1 (letzter Zugriff 06.03.2023).

Mason, Luke Robert (2021): Think Like a Futurist w/ Amy Webb. (= Futures Podcast). <https://futurespodcast.net/episodes/11-amywebb> (letzter Zugriff 24.05.2023).

McCarthy, John/Minsky, Marvin Lee/Rochester, Nathaniel/Shannon, Claude Elwood (1955): A Proposal For The Dartmouth Summer Research Project On Artificial Intelligence. S. 1-13.

Messling, Christina et al. (2023): Climate & Energy. New York: Future Today Institute. S. 1-80. (= FTI's 2023 Tech Trends report). <https://futuretodayinstitute.com/trends/> (letzter Zugriff 20.03.2023).

Müller, Adrian W./Müller-Stewens, Günter (2009): Strategic Foresight: Trend- und Zukunftsforschung in Unternehmen - Instrumente, Prozesse, Fallstudien. Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag.

Muntschick, Verena (2016a): Megatrend Silver Society. zukunftsInstitut. <https://www.zukunftsinstitut.de/artikel/megatrend-silver-society/> (letzter Zugriff 31.05.2023).

Muntschick, Verena (2016b): Die digitale Weisheit der Freeager. zukunftsInstitut. <https://www.zukunftsinstitut.de/artikel/die-digitale-weisheit-der-freeager/> (letzter Zugriff 31.05.2023).

Nagels, Philipp (2017): So soll sich unser Leben bis 2030 verändern. In: Die Welt. <https://www.welt.de/kmpkt/article166416327/So-soll-sich-unser-Leben-bis-2030-veraendern> (letzter Zugriff 28.05.2023).

Namugenyia, Christine/Nimmagadda, Shastri/Reiners, Torsten (2019): Design of a SWOT Analysis Model and its Evaluation in Diverse Digital Business Ecosystem Contexts. In: *Procedia Computer Science* 159, S. 1145-1154.
<http://dx.doi.org/10.17719/jisr.2017.1832>.

Naughtin, C/Hajkowicz, S/Schleiger, E/Bratanova, A/Cameron, A/Zamin, T/Dutta, A (2022): *Our Future World: Global megatrends impacting the way we live over coming decades*. Brisbane, Australia: Australia's National Science Agency. S. 1-60.
<https://www.csiro.au/en/research/technology-space/data/Our-Future-World> (letzter Zugriff 15.05.2023).

NDR (2023): „Fridays for Future“: Tausende bei Klima-Demos auf der Straße. In: <https://www.ndr.de/nachrichten/info/Fridays-for-Future-Tausende-bei-Klima-Demos-auf-der-Strasse,fridaysforfuture1030.html> (letzter Zugriff 04.05.2023).

Osborne, Hilary (2006): Humans using resources of two planets, WWF warns. In: *The Guardian*.

Ouass, Mohcine/Reuttner, Nicolas (2022): Financial Services Practice: A digital approach to SME banking. In: *Financial Services Practice*, S. 1-9.

Pagoropoulos, Aris/Pigosso, Daniela C.A./McAlloone, Tim C. (2017): The Emergent Role of Digital Technologies in the Circular Economy: A Review. In: *Procedia CIRP* 64, S. 19-24. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.02.047>.

Papasabbas, Lena/Pfuderer, Nina (2023): Megatrends nach Corona: Zeit für eine Revision. In: <https://www.zukunftsinstitut.de/artikel/megatrends-nach-corona-zeit-fuer-eine-revision/> (letzter Zugriff 04.03.2023).

Prieto-Sandoval, Vanessa/Jaca, Carmen/Ormazabal, Marta (2018): Towards a consensus on the circular economy. In: *Journal of Cleaner Production* 179, S. 605-615. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.224>.

Roberts, Huw et al. (2022): Artificial intelligence in support of the circular economy: ethical considerations and a path forward. In: *AI & SOCIETY*, S. 1-11.
<https://doi.org/10.1007/s00146-022-01596-8>.

Rockström, Johan et al. (2009): *Stockholm Resilience Centre: Annual Report 2009*. Stockholm, Sweden: Stockholm Resilience Centre. S. 1-60.
<https://www.stockholmresilience.org/download/18.408d96d2127f20319c180007627/1459560190774/src-annualreport-2009.pdf> (letzter Zugriff 05.03.2023).

Russell, Stuart J./Norvig, Peter/Davis, Ernest (2010): Artificial intelligence: a modern approach (= Prentice Hall series in artificial intelligence). 3rd ed. Upper Saddle River: Prentice Hall.

Schieb, Jörg (2022): Recycling-Roboter „Daisy“: 20 Sekunden pro Altgerät. <https://www1.wdr.de/nachrichten/roboter-daisy-schieb-digitalexperte-apple-recycling-smartphones-100.html> (letzter Zugriff 16.05.2023).

Schwartz, Michael/Abel-Koch, Jennifer/Brüggemann, Anke (2022): Hohe Energiekosten durch den Krieg in der Ukraine - in der Breite des Mittelstands (noch) tragbar. In: KfW Research (403), S. 1-7.

Schwuchow, Karlheinz (2023): Konzepte von Koryphäen - Futuristisch denken. In: managerSeminare Verlags GmbH (Heft 298), S. 34-40.

Searle, John R (1980): Minds, brains, and programs. In: Cambridge University Press, S. 417-456.

Segel, Liz Hilton/Hatami, Homayoun (2023): Six CEO priorities for 2023. In: McKinsey & Company, S. 1-8.

Sommer, Bettina/Pöttsch, Olga/Krack-Roberg, Elle/Grobecker, Claire (2021): Demografischer Wandel. Bundeszentrale für politische Bildung. <https://www.bpb.de/kurz-knapp/zahlen-und-fakten/datenreport-2021/bevoelkerung-und-demografie/329495/demografischer-wandel/> (letzter Zugriff 31.05.2023).

Spohn, Davina (2023): Klimaschutz: Nach wie vor kennen die wenigsten KMU ihren CO₂-Ausstoß. In: Energie und Management. <https://www.energie-und-management.de/nachrichten/detail/nach-wie-vor-kennen-die-wenigsten-kmu-ihren-co2-ausstoss-180692> (letzter Zugriff 29.05.2023).

Stahel, Walter R. (2016): The circular economy. In: Nature 531 (7595), S. 435-438. <https://doi.org/10.1038/531435a>.

Statistisches Bundesamt (2022a): Kleine und mittlere Unternehmen. In. https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Unternehmen/Kleine-Unternehmen-Mittlere-Unternehmen/_inhalt.html (letzter Zugriff 03.04.2023).

Statistisches Bundesamt (2022b): Anteile Kleine und Mittlere Unternehmen 2020 nach Größenklassen in %. In. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Unternehmen/Kleine-Unternehmen-Mittlere-Unternehmen/Tabellen/wirtschaftsabschnitte-insgesamt.html> (letzter Zugriff 31.03.2023).

Statistisches Bundesamt (2023): Statistisches Bundesamt Deutschland - GENESIS-Online. <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=previous&levelindex=2&levelid=1683892890119&levelid=1683892881057&step=1#abreadcrumb> (letzter Zugriff 12.05.2023).

Steininger, Alexander (2023): Umweltschutz: Was bedeutet der Erdüberlastungstag? In. <https://www.tagesschau.de/wissen/klima/erdueberlastungstag-122.html> (letzter Zugriff 05.05.2023).

Sterr, Thomas (2003): Industrielle Stoffkreislaufwirtschaft im regionalen Kontext. Berlin, Heidelberg: Springer.

Stöbel, Enrico/Fluchs, Sarah/Neligan, Adriana (2023): Circular Economy: Die deutsche Industrie in der Kreislaufwirtschaft. In: Institut der deutschen Wirtschaft (IW).

Tan, Jovan (2023): Designing innovations for the circular economy. In. <https://www.weforum.org/agenda/2023/03/designing-innovations-circular-economy/> (letzter Zugriff 19.03.2023).

Turing, A. M. (1950): Computing Machinery and Intelligence. In: Mind, New Series 59 (236), S. 433-460.

UNEP (2023): Microplastics: The long legacy left behind by plastic pollution. In. <http://www.unep.org/news-and-stories/story/microplastics-long-legacy-left-behind-plastic-pollution> (letzter Zugriff 18.05.2023).

United Nations (o.J.): For a livable climate: Net-zero commitments must be backed by credible action. In. United Nations. <https://www.un.org/en/climatechange/net-zero-coalition> (letzter Zugriff 29.05.2023).

Wautelet, Thibaut (2018): The Concept of Circular Economy: its Origins and its Evolution. Luxembourg. https://www.researchgate.net/publication/322555840_The_Concept_of_Circular_Economy_its_Origins_and_its_Evolution (letzter Zugriff 04.02.2023).

Webb, Amy (2016): The Signals Are Talking: Why Today`s Fringe Is Tomorrow`s Mainstream. First edition. New York: PublicAffairs.

Webb, Amy (2019): Die großen Neun: Wie wir die Tech-Titanen bändigen und eine Künstliche Intelligenz zum Wohle aller entwickeln können. Kulmbach: Plassen Verlag.

Webb, Amy (2020): How Futurists Cope With Uncertainty. In. <https://medium.com/swlh/how-futurists-cope-with-uncertainty-a4fbdf4b8c6> (letzter Zugriff 02.06.2023).

Webb, Amy et al. (2022): Tech Trends Report Scenarios. New York: Future Today Institute. S. 1-51. (= FTI`s 2022 Tech Trends Report). <https://futuretodayinstitute.com/trends/> (letzter Zugriff 02.03.2023).

Webb, Amy (2022): Author Talks: Hacking into humanity. <https://www.mckinsey.com/featured-insights/mckinsey-on-books/author-talks-hacking-into-humanity> (letzter Zugriff 03.04.2023).

Webb, Amy et al. (2023): Artificial Intelligence. New York: Future Today Institute. S. 1-82. (= FTI`s 2023 Tech Trends report). <https://futuretodayinstitute.com/trends/> (letzter Zugriff 20.03.2023).

Wennker, Phil (2020a): Künstliche Intelligenz in der Praxis: Anwendung in Unternehmen und Branchen: KI wettbewerbs- und zukunftsorientiert einsetzen. Wiesbaden: Springer Fachmedien.

Wennker, Phil (2020b): Machine Learning. In: Wennker, Phil (Hg.): Künstliche Intelligenz in der Praxis: Anwendung in Unternehmen und Branchen: KI wettbewerbs- und zukunftsorientiert einsetzen. Wiesbaden: Springer Fachmedien. S. 9-37. https://doi.org/10.1007/978-3-658-30480-5_2.

Weser, Jana Kim/Lübben, Stefan (2017): Förderung der Kreislaufwirtschaft in Europäischen Städten – EU-Verbundvorhaben FORCE. In: Müll und Abfall (7), S. 1-4. <https://doi.org/10.37307/j.1863-9763.2017.07.04>.

Wilkinson, Angela/Borges de Castro, Ricardo (2017): Strategic Foresight Primer. In: European Political Strategy Centre (EPSC) 01 (ES-06-17-272-EN-N), S. 1-40. <https://doi.org/10.2872/71492>.

Wilson, Matthew/Paschen, Jeannette/Pitt, Leyland (2022): The circular economy meets artificial intelligence (AI): understanding the opportunities of AI for reverse logistics. In: Management of Environmental Quality 33 (1), S. 9-25. <https://doi.org/10.1108/MEQ-10-2020-0222>.

World Economic Forum (2014): Towards the Circular Economy: Accelerating the scale-up across global supply chains. Geneva, Switzerland: World Economic Forum. S. 1-64. https://www3.weforum.org/docs/WEF_ENV_TowardsCircularEconomy_Report_2014.pdf (letzter Zugriff 04.04.2023).

World Economic Forum/Ellen MacArthur Foundation/McKinsey & Company (2016): The New Plastics Economy: Rethinking The Future Of Plastics. Ellen MacArthur Foundation, World Economic Forum & McKinsey Center for Business and Environment. S. 1-120. <http://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications> (letzter Zugriff 09.03.2023).

Wuttke, Laurenz (2021): Künstliche Intelligenz verstehen und in der Organisation verankern. In: Wuttke, Laurenz (Hg.): Praxisleitfaden für Künstliche Intelligenz in Marketing und Vertrieb. Wiesbaden: Springer Gabler. S. 55-108. https://doi.org/10.1007/978-3-658-35626-2_3.

Yigitcanlar, Tan/Cugurullo, Federico (2020): The Sustainability of Artificial Intelligence: An Urbanistic Viewpoint from the Lens of Smart and Sustainable Cities. In: Sustainability 12 (20), S. 1-24. <https://doi.org/10.3390/su12208548>.

zukunftsinstitut (2023): Megatrends. In. <https://www.zukunftsinstitut.de/dossier/megatrends/> (letzter Zugriff 22.05.2023).

Eidesstattliche Erklärung

„Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe angefertigt habe und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Veröffentlichungen entnommen sind, sind als solche kenntlich gemacht.“

Ort, Datum

Bremen, 06.03

Unterschrift

L. Pöhl

Global Management Compact

Band 06

Schriftenreihe
des Internationalen Studiengangs Global Management B.A.
an der Hochschule Bremen

Herausgeberin:
Mechthild Schrooten - Studiengangsleitung

Autor:
Lilian Nora Pötsch

Bild:
Lizenzfreies Stockfoto:
2293127407
von kittirat roekburi

Bremen, August 2023

