

Technische Hochschule Ingolstadt

Fakultät: THI Business School

Studiengang: Betriebswirtschaft

Bachelorarbeit

Analyse zu den Potenzialen und Herausforderungen einer Kreislaufwirtschaft in
Bezug auf zentrale Fahrzeugkomponenten der Automobilindustrie

Vor- und Zuname: Steve Schmidt

ausgegeben am: 07.12.2021

abgegeben am: 14.01.2022

Erstprüfer: Prof. Dr. rer. pol. Michael Mayr

Zweitprüfer: Prof. Dr. Harry Wagner

Abstract

Unternehmen der Automobilindustrie verfolgen zunehmend das Ziel, eine nachhaltige Wertschöpfungskette und demnach eine Reduktion der Emissionen von Treibhausgasen sowie der Verknappung natürlicher Ressourcen entgegenzuwirken und auf den Grundsätzen einer Kreislaufwirtschaft aufzubauen. Demnach ist es erforderlich zu verstehen, mit welchen Herausforderungen und Potenzialen die Umsetzung der Kreislaufwirtschaft verbunden ist.

Ziel dieser Arbeit ist es zu beantworten, welche technischen Anforderungen in Verbindung mit einer Kreislaufwirtschaft entstehen und welche Potenziale sich hieraus ableiten lassen. Hierzu wird die folgende Forschungsfrage gestellt: Welche Potenziale und Herausforderungen bestimmter Fahrzeugkomponenten ergeben sich bei der Anwendung der Kreislaufwirtschaft in der Automobilindustrie?

Zur Beantwortung der Forschungsfrage wurde eine quantitative Literaturarbeit aktueller Vorgehensweisen der Automobilindustrie durchgeführt. Hierbei wurde insbesondere Bezug auf in Deutschland ansässige Automobilhersteller genommen. Es wurde untersucht, welche fahrzeugkomponentenspezifischen Herausforderungen für die gesamte deutsche Automobilindustrie bestehen und wie vereinzelte Unternehmen damit umgehen.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Durchführung der Kreislaufwirtschaft in Verbindung mit diversen Herausforderungen zentraler Fahrzeugkomponenten steht. Jedoch können bereits vereinzelte Unternehmen anhand neu entwickelter Fertigungsverfahren den Anforderungen entgegenwirken.

Weiterführende Forschungen könnten auf den Automobilsektor des europäischen Raumes erweitert und um eine kostenspezifische Ansicht und somit dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit ausgerichtet sein.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	VI
1. Einleitung	1
1.1 Gegenstand der Arbeit	1
1.2 Zielsetzung der Arbeit.....	2
1.3 Thematische Abgrenzung.....	3
1.4 Methodik und Überblick über die Arbeit.....	3
2. Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft	5
2.1 Überblick über die Nachhaltigkeit	5
2.1.1 Begriffsdefinition der Nachhaltigkeit	5
2.1.2 Trends und zukünftige Entwicklung.....	7
2.2 Überblick über die Kreislaufwirtschaft.....	8
2.2.1 Begriffsdefinition der Kreislaufwirtschaft.....	8
2.2.2 Das 9R-Rahmenkonzept	9
2.2.3 Geschäftsoptionen der Kreislaufwirtschaft	14
3. Automobilindustrie in Deutschland	18
3.1 Strukturdaten der deutschen Automobilindustrie	18
3.2 Herausforderungen und Trends der Automobilindustrie	19
3.2.1 Aktuelle Herausforderungen der Automobilindustrie	19
3.2.2 Trends der Automobilindustrie.....	21
3.3 Kreislaufwirtschaft in der Automobilindustrie	24
4. Kreislaufwirtschaft in der Praxis der Automobilindustrie	26
4.1 Technische Anforderungen der Kreislaufwirtschaft	26
4.1.1 Anforderungen an die Entwicklung und deren Rohstoffe.....	26
4.1.2 Umsetzung der Kreislaufwirtschaft an Fahrzeugkomponenten	34
4.2 Die Zukunft der Automobilindustrie	39
4.3 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse.....	40
5. Fazit	43
Literatur- und Quellenverzeichnis	VII
Anhangsverzeichnis	XXI
Anhang.....	XXII
Erklärung nach § 18 Abs. 4 Nr. 7 APO HI	

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Säulen der Nachhaltigkeit	5
Abb. 2: Aufbau der Linearwirtschaft	8
Abb. 3: Darstellung der Kreislaufwirtschaft.....	9
Abb. 4: Darstellung des 9R-Rahmenkonzepts.....	10
Abb. 5: Circular value loop - the five business models	14
Abb. 6: Abfallhierarchie	15
Abb. 7: Anteil der bei der Produktion eines Pkws verwendeten Materialien im Jahr 2015	26

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Stufen des autonomen Fahren	23
Tabelle 2: Zusammenfassende Darstellung der Potenziale und Herausforderungen	40

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
ADAC	Automobil-Club e.V.
BattG	Batteriegelgesetz
BCS	Bundesverband CarSharing e.V.
BF-BOF	Blast furnace-basic oxygen furnace
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BMUV	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
BMVI	Bundesministerium für Digitales und Verkehr
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
BMZ	Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
CE	Circular Economy
C2C	Cradle-to-Cradle
EAF	Electric arc furnace
KBA	Kraftfahrt-Bundesamt
KIT	Karlsruher Institut für Technologie
MIV	Motorisierter Individualverkehr
PBL	Planbureau voor de Leefomgeving
PKW	Personenkraftwagen
RLI	Council for the Environment and Infrastructure
SDG	Sustainable Development Goal
UN	United Nations
VDA	Verband der Automobilindustrie e. V.

1. Einleitung

1.1 Gegenstand der Arbeit

Noch nie war das Wissen um Nachhaltigkeit und die Entwicklung von zukunftsorientierter, ökologischer Strategien ein so großes Thema wie heute. In diesem Punkt besteht einerseits die Relevanz für die Bevölkerung als solche, als auch für Unternehmen, sich mit der Perspektive dieser Thematik auseinanderzusetzen.¹ Es wird versucht, die Aspekte der ökologischen, sozialen und ökonomischen Nachhaltigkeit in Einklang zu bringen. Die Erfüllung dieser Perspektiven stellt die Voraussetzung dar, um von einer tatsächlichen Nachhaltigkeit sprechen zu können.²

Die Notwendigkeit der Nachhaltigkeit spiegelt sich im internationalen Ländervergleich des ökologischen Fußabdrucks wider, der im Jahr 2021 in Deutschland mit 2,9 dokumentiert wurde. Demnach ist festzuhalten, dass Deutschland unter den zehn Ländern mit der höchsten Verschwendungsrate gelistet ist (siehe Anhang 1).³

Anhand des ökologischen Fußabdrucks wird bemessen, wie viel biologisch produktiver Fläche die Bevölkerung eines Landes zum Leben bedarf, was in der Maßeinheit der globalen Hektar (gha) dargestellt wird. Es ist anzuführen, dass Deutschland eine Fläche von 2,9 Erden benötigt.⁴

Darüber hinaus ist der Aspekt der Nutzung natürlicher Ressourcen anzumerken, da zum einen entlang der gesamten Wertschöpfungskette Umweltbelastungen, wie die Entstehung von Schadstoffen und Emissionen, zu verzeichnen sind. Zum anderen ist die voranschreitende Ressourcenknappheit zu nennen, die bereits die Regenerationsfähigkeit der Erde teilweise überschreitet.⁵

Des Weiteren unterzog sich die Branche der Mobilität in den letzten Jahren ebenfalls einen Wandel. Beginnend nach der Erfindung des Ottomotors durch Nikolaus Otto im Jahr 1876, wurde bereits zehn Jahre später eine motorisierte

¹ Vgl. Sailer, 2020, S. 23.

² Vgl. Hauff, 2021, S. 166f.

³ Vgl. Global Footprint Network, 2019.

⁴ Vgl. Brot für die Welt, © 2021.

⁵ Vgl. Umweltbundesamt, 2021c.

Kutsche vorgestellt, die das erste weltweite Automobil mit vier Rädern darstellte. Zusätzlich etablierte sich 1924 erstmals die Produktion mithilfe von Fließbandtechnik durch den deutschen Automobilhersteller Opel. Darüber hinaus wurde 1936 das erste Fahrzeug mit einem Dieselmotor der Firma Mercedes-Benz vorgestellt. Hierfür wurde bereits im Jahr 1997 das Common-Rail-System eingeführt, das zu einer Minimierung der Schadstoffemissionen führen sollte. 2007 wurde das Start-Stopp-System auf den Markt und 2009 „rund 600 rein elektrisch betriebene Fahrzeuge für die private Nutzung im Alltagsverkehr zum Einsatz gebracht“^{6,7}

Es konnte ein Zuwachs um geschätzte 25 Prozent auf 50 Billionen Personenkilometern verzeichnet werden.⁸ Die vermehrten Schadstoffemissionen führen neben gesundheitlichen Risiken für die Gesellschaft, ebenfalls zu Auswirkungen auf die Umwelt. Somit sind die Aspekte der Nachhaltigkeit und entsprechende Maßnahmen als relevant anzusehen.⁹

1.2 Zielsetzung der Arbeit

Die Bachelorarbeit hat zum Ziel, neben den Herausforderungen der Automobilindustrie, auch einen Überblick über zukünftige Trends und gesetzliche Vorschriften in dieser Branche, als auch in Bezug auf nachhaltiges Wirtschaften zu verschaffen.

Der Themenschwerpunkt dieser Arbeit liegt im Bereich der Kreislaufwirtschaft. Das Hauptziel wurde auf die technischen Herausforderungen und Potenziale der Umsetzung dieser Nachhaltigkeitsstrategie in der deutschen Automobilindustrie gesetzt. Hierfür werden anhand von Praxisbeispielen die theoretischen Grundlagen beleuchtet und mithilfe quantitativ durchgeführter Literaturarbeit bekräftigt.

Um die gesetzten Ziele aufzudecken, soll die folgende Kernforschungsfrage im Laufe der Bearbeitung beantwortet werden.

⁶ VDA, © 2021a.

⁷ Vgl. ebd.

⁸ Vgl. Diez, 2018, S. 14.

⁹ Vgl. ebd., S. 24f.

Welche Potenziale und Herausforderungen bestimmter Fahrzeugkomponenten ergeben sich bei der Anwendung der Kreislaufwirtschaft in der Automobilindustrie?

1.3 Thematische Abgrenzung

Die Bearbeitung dieser Arbeit beschränkt sich im Themengebiet der Mobilität auf den Bereich des motorisierten Individualverkehrs, auch MIV genannt, der in den vergangenen 20 Jahren den größten Anteil des Verkehrsaufkommens in Deutschland verzeichnen konnte.¹⁰ Es wird eine Eingrenzung des MIVs vorgenommen, um die Kategorie der PKWs und somit der Automobilindustrie näher zu beleuchten. Diese Industrie wird anhand deutscher Automobilhersteller dargestellt und definiert.

Der Bereich der Nachhaltigkeit wird durch den Sektor der Kreislaufwirtschaft abgebildet. Hierbei sind die Rohstoffe und somit die Produktion, die Verwendung und das Recycling von Werkstoffen zu berücksichtigen. Da andernfalls der Rahmen der Arbeit als zu umfangreich eingestuft wird, werden die Abteilungen des Designs, des Vertriebs sowie der Sammlung nicht näher untersucht.¹¹

1.4 Methodik und Überblick über die Arbeit

Die vorliegende Bachelorarbeit lässt sich in vier Kapitel aufteilen. Zu Beginn wird der Themenbereich der Nachhaltigkeit anhand von Begriffsdefinitionen, der Beschreibung der aktuellen Lage als auch den Trends und der zukünftigen Entwicklung im Hinblick auf Vorschriften der Bundesregierung betrachtet. Zusätzlich wird für das Themengebiet der Kreislaufwirtschaft auf grundlegende Definitionen, ein entwickeltes Rahmenkonzept sowie auf unterschiedliche Geschäftsoptionen eingegangen.

Im zweiten Kapitel wird ein Überblick über die Situation der Automobilindustrie geschaffen, um ein Fundament für den weiteren Verlauf der Arbeit darzustellen. Hierzu werden Begriffsdefinitionen sowie die aktuelle Lage als auch bereits bestehende Herausforderungen und künftige Trends genannt. Des Weiteren wird

¹⁰ Vgl. BMVI, 2021.

¹¹ Vgl. Europäisches Parlament, 2021.

ein erster Eindruck über die Umsetzung der Kreislaufwirtschaft in dieser Branche vermittelt.

Anschließend folgt im dritten Kapitel die Darstellung der Herausforderungen bei der Verwendung bestimmter Werkstoffe. In einem ersten Schritt wird auf die elementaren Eigenschaften ausgewählter Rohstoffe in Bezug auf die Kreislaufwirtschaft eingegangen. Nachfolgend wird die Realisierung mittels zuvor erworbener Kenntnisse im Sektor der Automobile betrachtet und mit Beispielen aus der Praxis bekräftigt.

Abschließend wird eine Zusammenfassung erstellt und ein Ausblick für die Zukunft gegeben. Hierbei werden die bedeutendsten Ergebnisse, die sich im Laufe der Bearbeitung ergeben haben, als auch die Klärung offener Fragen aufgezeigt. Die Ausfertigung der Arbeit basiert in erster Linie auf quantitativer Literaturarbeit in Verbindung mit praxisbezogenen Beispielen.

2. Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft

Der folgende Abschnitt wird in die Oberpunkte der Nachhaltigkeit sowie der sich hieraus ableitenden Strategie der Kreislaufwirtschaft, als Teillösung des Ressourcenproblems, aufgeteilt und nachfolgend auf Bestandteile eingegangen.¹²

2.1 Überblick über die Nachhaltigkeit

In einem ersten Schritt wird die Begriffsdefinition genannt. Des Weiteren befasst sich dieser Absatz mit der aktuellen Situation als auch mit einem Ausblick auf zukünftige Trends und grundlegende Vorschriften.

2.1.1 Begriffsdefinition der Nachhaltigkeit

Die Anfänge der Nachhaltigkeit reichen zurück bis in das 18. Jahrhundert, wo eine Aussage von Carlowitz bezüglich einer langfristig nutzbaren Forstwirtschaft getätigt wurde.¹³ Darüber hinaus ist die Nachhaltigkeit in die drei Säulen der Ökologie, Ökonomie und Soziales zu teilen, was durch folgende Abbildung verdeutlicht werden soll.

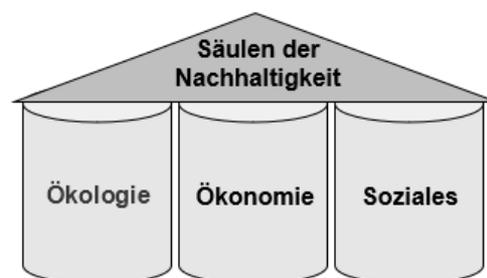


Abb. 1: Säulen der Nachhaltigkeit (Eigene Darstellung)

Ökologische Nachhaltigkeit

Dieser Aspekt bezieht sich auf das Kernthema der Natur, wobei es in erster Linie um den Umgang mit knappen Ressourcen geht.¹⁴ Dabei spielt die dauerhafte Nutzung und deren Sicherstellung eine erhebliche Rolle.¹⁵ Somit ist zu erwähnen, „dass das ökologische System die Lebensgrundlage [...] aller mensch-

¹² Vgl. Rat für Nachhaltige Entwicklung, © 2021.

¹³ Vgl. Kropp, 2019, S. 7.

¹⁴ Vgl. ebd., S. 11.

¹⁵ Vgl. Pufé, 2017, S. 100.

lichen Aktivitäten bildet“.¹⁶ Hierfür können unter anderem der Schutz unserer Luft und Gewässer erwähnt werden.¹⁷ Es ist zu erläutern, dass der Bereich der Ökologie einen hohen Stellenwert aufzeigt, da natürliche Ressourcen ohne deren Wertschätzung und somit ohne angemessene Behandlung vollständig verloren gehen können.¹⁸

Ökonomische Nachhaltigkeit

Der ökonomische Teil bezieht sich auf das Wirtschaften eines Unternehmens bzw. eines Landes. Dies setzt voraus, dass der Aspekt der ökologischen Nachhaltigkeit berücksichtigt wird, da hier der Verbrauch an Ressourcen eine bedeutende Rolle einnimmt.¹⁹ Jedoch ist anzuführen, dass in diesem Bezug keine natürlichen Ressourcen angesprochen werden, sondern das Ziel auf die Verfügbarkeit von Waren und Gütern gesetzt ist.²⁰ Hierfür kann beispielshalber der Einsatz umweltfreundlicherer Verfahren in der Produktion angeführt werden.²¹

Soziale Nachhaltigkeit

Die dritte Säule und somit der Bereich des Sozialen setzen den Menschen als auch die Gesellschaft und Organisationen in den Mittelpunkt der Nachhaltigkeit.²² Hierzu kann beispielsweise auf Unternehmensebene die Gleichberechtigung sowie der solidarische Umgang mit Mitarbeitern herangezogen werden.²³ Die Bekämpfung von Armut in der Gesellschaft im Zusammenhang mit der Errichtung einer gerechten Bildungschance sind ebenso bedeutungsvolle Aspekte der sozialen Nachhaltigkeit.²⁴

¹⁶ Hauff, 2021, S. 36.

¹⁷ Vgl. Hinrichs, 2021, S. 34.

¹⁸ Vgl. Nowak und Leymann, 2018a.

¹⁹ Vgl. Hauff, 2021, S. 37.

²⁰ Vgl. Nowak und Leymann, 2018b.

²¹ Vgl. Hinrichs, 2021, S. 35.

²² Vgl. Hauff, 2021, S. 39.

²³ Vgl. Nowak und Leymann, 2018c.

²⁴ Vgl. Hinrichs, 2021, S. 35.

2.1.2 Trends und zukünftige Entwicklung

Der Klimawandel ist nach wie vor eines der bedeutendsten Themen unserer Zeit.²⁵ Aus diesem Grund wurde 2015 zur Stärkung der internationalen Zusammenarbeit und der Verbesserung der Nachhaltigkeit in den drei Dimensionen, eine Reihe von 17 Zielen, die sogenannten Sustainable Development Goals (SDGs), aufgestellt. Hierbei wurden unter anderem Maßnahmen zum Klimaschutz als auch Innovation und Infrastruktur als langfristige Ziele gesetzt.²⁶

Der Bereich zur Bekämpfung des Klimawandels hat sich zur Aufgabe gemacht, Vorsorgen zu treffen, die zum Beispiel die Erreichung der CO₂ Neutralität bis 2050 betrifft. Naturkatastrophen können auf den Klimawandel zurückgeführt werden, die gleichermaßen in einem ersten Schritt bis 2030 verringert bzw. verhindert werden sollen.²⁷ Innovationen und Infrastruktur sollen ebenfalls gefördert werden, weshalb bis zum Jahr 2025 das Ziel gesetzt wurde, Ausgaben für Forschung und Entwicklung auf ein Minimum von 3,5 Prozent des Bruttoinlandsproduktes, kurz BIP, aufzustocken.²⁸

Nach Aussage der deutschen Bundesregierung konnten in einem fünf Jahresvergleich seit 2015 eindeutige Fortentwicklungen erreicht werden. Dies wird unter anderem mit der Erhöhung der Bruttoentwicklungsausgaben für medizinische Forschung und der Zusage, dass die biologische Vielfalt erhalten und nachhaltig genutzt wird, dargelegt.²⁹

Die 26. Weltklimakonferenz im Jahr 2021, konnte eine Umstellung der globalen Energiewende von Kohle auf die Subventionierung fossiler Energien und deren Akzeptanz aller Mitgliedsstaaten erreichen. Zusätzlich wurde durch Deutschland in Kombination mit elf weiteren Staaten eine Investition von zwölf Milliarden US Dollar bis 2025 für die Wiederaufbereitung von Wäldern zugesagt.³⁰

²⁵ Vgl. UN, © 2020, S. 50.

²⁶ Vgl. BMUV, 2020.

²⁷ Vgl. UN, © 2020, S. 50ff.

²⁸ Vgl. Engagement Global, © 2021.

²⁹ Vgl. Statistisches Bundesamt, 317/2021.

³⁰ Vgl. BMUV, 275/2021.

2.2 Überblick über die Kreislaufwirtschaft

In diesem Absatz wird ein Überblick über den Begriff der Kreislaufwirtschaft geschaffen. Außerdem wird das sogenannte 9R-Rahmenkonzept vorgestellt und auf verschiedene Geschäftsoptionen eingegangen.

2.2.1 Begriffsdefinition der Kreislaufwirtschaft

Der Ursprung der Kreislaufwirtschaft, auch Circular Economy oder kurz CE genannt, liegt im späten 18. Jahrhundert, wobei eine Entwicklung aufgrund der rasch anwachsenden Bevölkerung getätigt wurde.³¹

Heutzutage befinden wir uns in einer Transformation von der Linearwirtschaft hin zu einer Kreislaufwirtschaft.³² Im Folgenden wird ein Überblick über die Linearwirtschaft geschaffen und anschließend die Kreislaufwirtschaft näher betrachtet.

Linearwirtschaft

Das Prinzip einer linearen Wirtschaft, die auch als Wegwerfgesellschaft oder Cradle-to-Grave genannt werden kann, zielt im Wesentlichen auf vier Ebenen, die in folgender Abbildung aufgezeigt werden.³³

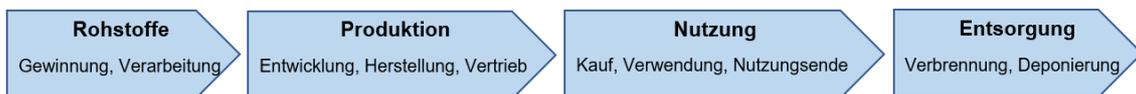


Abb. 2: Aufbau der Linearwirtschaft (Eigene Darstellung)

Kreislaufwirtschaft

Das Modell der Kreislaufwirtschaft, im englischen Circular Economy (CE) oder auch Cradle-to-Cradle genannt, kurz C2C, wurde von Dr. Michael Braungart und William McDonough entwickelt.³⁴ „Die Kreislaufwirtschaft ist ein Modell [...], bei dem bestehende Materialien und Produkte so lange wie möglich geteilt, geleast, wiederverwendet, repariert, aufgearbeitet und recycelt werden.“³⁵ Somit findet ein Austausch der Phase Entsorgung durch die sogenannte Zirkulation

³¹ Vgl. Lacy, Rutqvist und Buddemeier, 2015, S. 60.

³² Vgl. Walcher und Leube, 2017, S. 2.

³³ Vgl. ebd., S. 3f.

³⁴ Vgl. Utopia, 2019.

³⁵ Europäisches Parlament, 2021.

statt, sodass mit diesem Modell Stoffströme geschlossen werden (siehe Abb. 3).³⁶

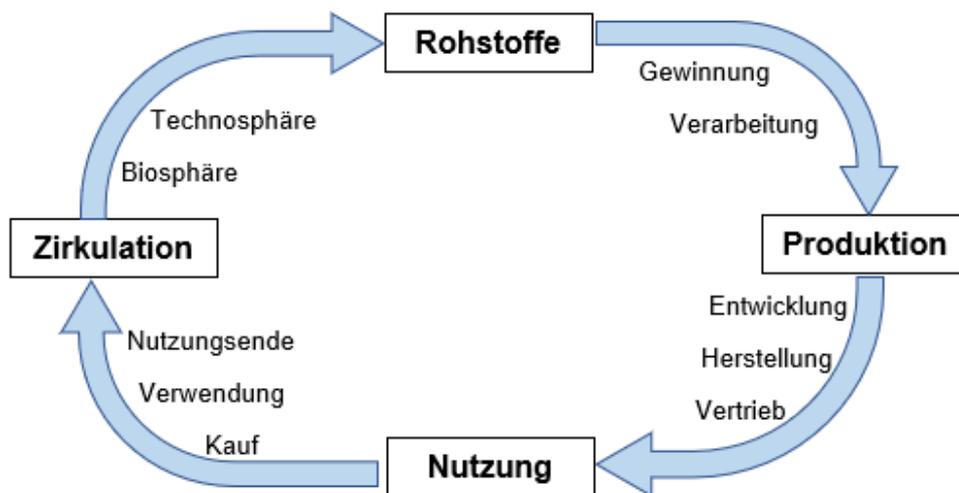


Abb. 3: Darstellung der Kreislaufwirtschaft (Eigene Darstellung)

Die Biosphäre beschreibt den Bereich biologisch abbaubarer Stoffe, die frei von Schäden der Natur zurückgeführt werden können. Andererseits werden Stoffe, deren wiederkehrende Erzeugung in der Natur nicht gegeben ist, in der Sparte der Technosphäre beschrieben (siehe Anhang 2).³⁷

Der hieraus resultierende Kreislauf hat das Ziel, im gesamten Produktions- und Konsumprozess keine Abfälle zu erzeugen.³⁸ Die ausschlaggebende Motivation liegt in erster Linie auf der Nachfrageseite, um die Kundenbindung an Unternehmen zu erhöhen. Nachfolgend wird definiert, in welcher Form das Produkt eines Unternehmens, sowohl während der Nutzung als auch nach Nutzungsende, Gebrauch findet. Abschließend soll die Entwicklung des verwendeten Ressourcenbedarfs dokumentiert werden.³⁹

2.2.2 Das 9R-Rahmenkonzept

Der Wandel von einer linearen zu einer zirkulären Wirtschaft erfordert diverse Strategien.⁴⁰ Im Laufe der Zeit hat das sogenannte 9R-Rahmenkonzept vermehrt Weiterentwicklungen durchlaufen. Hierfür bestehen mehrere verschiede-

³⁶ Vgl. Walcher und Leube, 2017, S. 4.

³⁷ Vgl. ebd., S. 2.

³⁸ Vgl. Utopia, 2019.

³⁹ Vgl. Lacy, Rutqvist und Buddemeier, 2015, S. 67.

⁴⁰ Vgl. Potting, Hekkert, Worrell und Hanemaaijer, 2017, S. 4.

ne Ansätze wie die 3R-Strategie, die mit den Kernbegriffen „reduce“, „reuse“ und „recycle“ definiert ist sowie das 4R-Konzept, das durch die Integration von „recover“ als neues Kernprinzip erweitert wurde.⁴¹

Die Kerninhalte bei allen R-Konzepten stimmen im Wesentlichen überein, einzig die Anzahl verwendeter inhaltlicher Strategien unterscheidet sich.⁴² Aufgrund der hohen Aussagefähigkeit des 9R-Konzepts, wird im Folgenden ein Überblick über die einzelnen Methoden gegeben, der durch die Abbildung 4 ersichtlich wird.⁴³

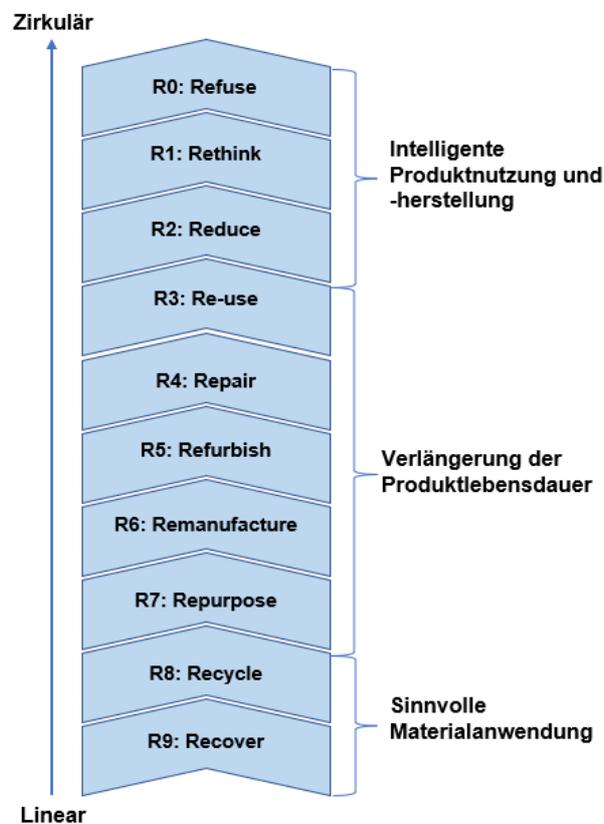


Abb. 4: Darstellung des 9R-Rahmenkonzepts (Eigene Darstellung)

Hierbei kann eine grobe Gliederung in die drei Bereiche der intelligenteren Produktnutzung und -herstellung (R0, R1 und R2), die Verlängerung der Produktlebensdauer (R3, R4, R5, R6 und R7) sowie der sinnvolleren Materialanwendung (R8 und R9) vorgenommen werden.⁴⁴

⁴¹ Vgl. Kirchherr, Reike und Hekkert, 2017, S. 223.

⁴² Vgl. Potting, Hekkert, Worrell und Hanemaaijer, 2017, S. 15.

⁴³ Vgl. Kirchherr, Reike und Hekkert, 2017, S. 223.

⁴⁴ Vgl. Potting, Hekkert, Worrell und Hanemaaijer, 2017, S. 15.

R0: Refuse

Die erste Ebene auf dem Weg zu einer absoluten Kreislaufwirtschaft wird durch den Ansatz „Refuse“ beschrieben. Hierbei geht es darum, bestehende Produkte für Kunden überflüssig zu machen. Dieses Vorhaben lässt sich in zwei Arten aufteilen. Bei der ersten Variante wird die vollständige Funktionsfähigkeit eines Produktes aufgegeben, wohingegen bei der zweiten Variante, die beständige Funktion auf ein anderes Produkt übertragen wird.⁴⁵

R1: Rethink

Bei dem Prozess des „Rethink“ wird der Umgang mit Produkten beschrieben und wie dieser verstärkt werden kann. Es wird versucht, eine umfassendere Nutzung des Produktes, beispielsweise mittels Product Sharing, zu erzielen.⁴⁶ Das genannte Prinzip bietet mehreren Kunden die Möglichkeit, dieselben Produkte zu verwenden, um gleichzeitig der Nachfrage nach Neuprodukten entgegenzuwirken.⁴⁷

R2: Reduce

Dieser Prozess bezieht sich auf den Produktionsprozess im Unternehmen, um eine Effizienzsteigerung anhand eines geringen Verbrauchs an natürlichen Materialien und Ressourcen zu erbringen.⁴⁸ Darüber hinaus kann der Ressourceneinsatz betrachtet werden, ob eine Optimierung mit Hilfe sonstiger Ressourcen gewährleistet ist.⁴⁹

R3: Re-use

Der „Re-use-Prozess“ beschreibt die erneute Verwendung eines noch funktionsfähigen Produktes, das bereits durch dessen Nutzer aussortiert wurde. Ziel dieser Gebrauchsgüter ist es, erneut an andere Verbraucher weitergegeben zu werden.⁵⁰ Damit eine vollständige Effektivität erreicht wird, ist bereits bei der

⁴⁵ Vgl. ebd., S. 15.

⁴⁶ Vgl. ebd., S. 15.

⁴⁷ Vgl. Lacy, Rutqvist und Buddemeier, 2015, S. 151.

⁴⁸ Vgl. Potting, Hekkert, Worrell und Hanemaaijer, 2017, S. 15.

⁴⁹ Vgl. PBL, 2017.

⁵⁰ Vgl. Potting, Hekkert, Worrell und Hanemaaijer, 2017, S. 15.

Produktentwicklung auf eine hohe Langlebigkeit und eine hochwertige Qualität zu achten.⁵¹

R4: Repair

Das Konzept „Repair“ zielt ebenfalls auf die Wiederverwendung eines Produktes ab, um eine erneute Eigennutzung zu gewähren. Ausgangssituation sind jedoch funktionsunfähige Geräte, die hinsichtlich einer Reparatur in einen funktionsfähigen Zustand versetzt werden sollen.⁵² Die Reparatur betreffend ist darauf zu achten, dass diese als schnelle und günstigere Alternative zur Neuanschaffung bereitgestellt wird.⁵³

R5: Refurbish

Die grundlegenden Gedanken der Strategie „Refurbish“ entsprechen einer Generalüberholung vorhandener technischer Funktionen. Dabei werden veraltete Produkte gesammelt und auf eine Art und Weise instandgesetzt, sodass diese neben der Funktionsfähigkeit, auch dem Anspruch eines neuwertigen Produktes entsprechen.⁵⁴ Es ist für Unternehmen darauf zu achten, dass neben dem Konzept der Wiederaufbereitung, ebenso eine Vorgehensweise entwickelt wird, um die Sammlung gebrauchter Waren sicherzustellen.⁵⁵

R6: Remanufacture

Werden die bisher genannten Strategien der Verlängerung der Produktlebensdauer verglichen, so wird deutlich, dass diese sich mit Möglichkeiten befassen, eine Wiederverwertung eines ganzen Produktes zu schaffen. Bei dem Konzept des „Remanufacture“ werden nur noch vereinzelte Bestandteile eines ausgesonderten Produktes wiederverwendet.⁵⁶ Der resultierende Zweck zielt darauf

⁵¹ Vgl. RLI, 2015, S. 7.

⁵² Vgl. Potting, Hekkert, Worrell und Hanemaaijer, 2017, S. 15.

⁵³ Vgl. RLI, 2015, S. 36.

⁵⁴ Vgl. Potting, Hekkert, Worrell und Hanemaaijer, 2017, S. 15.

⁵⁵ Vgl. Rudolph, 2018, S. 131.

⁵⁶ Vgl. Potting, Hekkert, Worrell und Hanemaaijer, 2017, S. 15.

ab, dass eine Rohstoffeinsparung bei der Produktion realisiert werden kann, da die Herstellung neuer Produkte aus Teilen abgenutzter Produkte erfolgt.⁵⁷

R7: Repurpose

Wird der Prozess des „Repurpose“ betrachtet, ist eine Ähnlichkeit zu dem Konzept des „Remanufacture“ ersichtlich. Hierbei werden gleichermaßen einzelne Teile eines Altproduktes wiederverwendet. Jedoch erfolgt die anschließende Wiederverwertung in einem neuen Produkt mit einer anderen Funktion als das bisher genutzte Originalprodukt.⁵⁸

R8: Recycle

Das Prinzip des „Recycle“ stellt für Unternehmen die letzte Möglichkeit dar, eine Verarbeitung an Produkten am Ende ihres Lebenszyklus vorzunehmen. Dadurch wird das Ziel angestrebt, den Erhalt vorhandener Energie- und Arbeitsleistung sicherzustellen.⁵⁹ Es kann zwischen zwei grundlegenden Arten des Recyclings unterschieden werden. Das werkstoffliche Recycling beschreibt die Transformation veralteter Materialien ohne chemische Veränderungen, zur Anfertigung neuer Produkte.

Beim rohstofflichen Recycling hingegen, erfolgt der Einsatz chemischer Veränderungen, sodass eine ausschließliche Nutzung auf Basis von Molekülen stattfindet.⁶⁰

R9: Recover

Unter dem Prinzip „Recover“ ist die energetische Rückgewinnung aus Reststoffen durch Verbrennung zu verstehen, um die in den Stoffen enthaltene Energie nutzen zu können.⁶¹ Diese Option stellt die letzte Möglichkeit mit niedrigster Priorität für eine CE dar, da für den Kreislauf keine Materialien zur Verfügung gestellt werden können.⁶² Des Weiteren ist diese Alternative als ein kostenin-

⁵⁷ Vgl. RLI, 2015, S. 38.

⁵⁸ Vgl. Potting, Hekkert, Worrell und Hanemaaijer, 2017, S. 15.

⁵⁹ Vgl. Rudolph, 2018, S. 132.

⁶⁰ Vgl. Eckstein, Flamme, Hobohm und Kuchta, 2017, S. 253f.

⁶¹ Vgl. ebd., S. 254.

⁶² Vgl. Potting, Hekkert, Worrell und Hanemaaijer, 2017, S. 4.

tensiver Ansatz anzusehen, da Investitionen in neue Produktionsverfahren und Produktdesigns getätigt werden müssen.⁶³

2.2.3 Geschäftsoptionen der Kreislaufwirtschaft

Um ein Unternehmen und dessen Wertschöpfungskette von einer linearen zu einer zirkulären ausbauen zu können, wurden fünf verschiedene mögliche Optionen entwickelt.⁶⁴ Die nachfolgende Abbildung soll verdeutlichen, dass jede Geschäftsoption Anwendung in einem anderen Bereich findet.

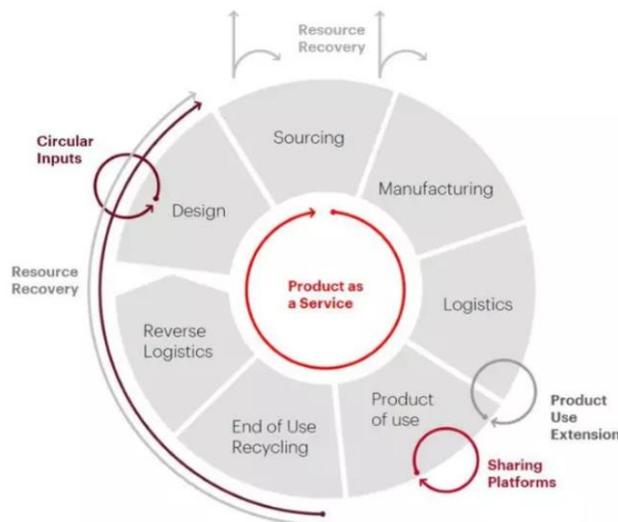


Abb. 5: Circular value loop - the five business models

Quelle: Lacy, Long und Spindler, 2020, S. 19

Circular Supply-Chain

Hierbei geht es um die Verwendung von Materialien, die im Gegensatz zu herkömmlichen eine vollständige Erneuerbarkeit und Recycelfähigkeit besitzen.⁶⁵ Diese stellen die Grundlage dar, um die Umsetzbarkeit des CE in Unternehmen zu realisieren.⁶⁶ Hierfür besteht die Möglichkeit, Materialien für den eigenen oder für einen anderen Betrieb zu produzieren.⁶⁷ Jene lassen sich in die Kategorien erneuerbarer Ressourcen, nachwachsende biobasierte Werkstoffe und nachwachsende künstliche Materialien klassifizieren.⁶⁸

⁶³ Vgl. Jörgensen, Jacob und Pedersen, 2018, S. 109.

⁶⁴ Vgl. Host, Buddemeier und Machur, 2018, S. 114.

⁶⁵ Vgl. Lacy, Rutqvist und Buddemeier, 2015, S. 83.

⁶⁶ Vgl. Corsten, Gössinger und Spengler, 2018, S. 75.

⁶⁷ Vgl. Lacy, Rutqvist und Buddemeier, 2015, S. 86.

⁶⁸ Vgl. Lacy, Long und Spindler, 2020, S. 21.

Bezugnehmend kann die Produktion biologisch abbaubarer Materialien sowie die Erzeugung erneuerbarer Energien angeführt werden. In Bezug auf die Produktion für andere Betriebe kann das Handelsunternehmen NatureWorks herangezogen werden, da hier die Herstellung von Biopolymeren stattfindet, die anschließend zur Produktion von Verpackungsmaterialien und Gebrauchsgütern an Dritte angeboten wird. Die Eigenproduktion verwendet beispielshalber der Einrichtungskonzern IKEA, der durch Investitionen in Solar- und Windkraftanlagen die Emission von CO₂ minimiert.⁶⁹

Wiederverwertung und Recycling

Diese Geschäftsoption bezieht sich auf Produkte, die die letzte Phase der Wertschöpfungskette erreicht haben.⁷⁰ Ziel ist es, Produkte zu entwickeln, bei denen am Ende der Nutzungsdauer die verwendeten Ressourcen zurückgewonnen und wiederverwendet werden können. Somit können Materialverluste ausgeschlossen und die Wirtschaftlichkeit eines Unternehmens erhöht werden.⁷¹ Jedoch sind bei den Ressourcen die Abfallhierarchie und die entsprechende Ebene zu beachten, um eine hohe Lebensdauer der Produkte zu gewährleisten (siehe Abb. 6).⁷²

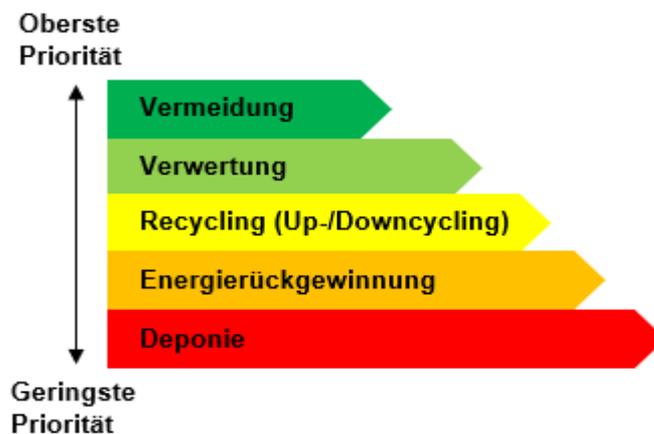


Abb. 6: Abfallhierarchie (Eigene Darstellung)

Die Vermeidung und somit die erste Stufe der Hierarchie, zielt darauf ab, dem Entstehen von Abfällen zu entgehen, indem bereits bei den Materialeinkäufen

⁶⁹ Vgl. Lacy, Rutqvist und Buddemeier, 2015, S. 86ff.

⁷⁰ Vgl. Lacy, Long und Spindler, 2020, S. 29.

⁷¹ Vgl. Lacy, Rutqvist und Buddemeier, 2015, S. 107f.

⁷² Vgl. Lacy, Long und Spindler, 2020, S. 29.

eine akkurate Planung erfolgt. Die darunter liegende Ebene, die Verwertung, beschäftigt sich unter anderem mit der Thematik der Sortierung von entstandenen Müll, um eine problemlose Weiterverarbeitung zu garantieren.⁷³ Das Recycling wird in ein Up- und Downcycling unter Berücksichtigung der Abfallverwendung unterteilt. Beim Upcycling werden Produkte höherer Qualität als das Original produziert. Das Downcycling hingegen, fertigt Produkte mit einer geringeren Beschaffenheit als das Originalprodukt. Bei nicht recyclebaren Abfällen wird auf der vierten Stufe versucht Nutzwärme und somit Energie zurückzugewinnen. Die Ebene mit der niedrigsten Priorität bezieht sich auf die Müllentsorgung und deren Verbrennung, die ausschließlich eingesetzt wird, wenn bereits alle Möglichkeiten ausgenutzt wurden.⁷⁴

Lebenszyklusverlängerung

Stetig wachsende optische Neuerungen und technische Verbesserungen von Produkten, erhöhen den Produktionsaufwand natürlicher Ressourcen. Der hier entstehende Ressourcenverbrauch kann mit der Methode der Lebenszyklusverlängerung minimiert werden.⁷⁵ Die Verlängerung des Lebenszyklus umfasst mehrere Vorgehensweisen wie z. B. die Reparatur oder Aktualisierung bzw. Überholung von Produkten.⁷⁶ Hiermit sollen Haltbarkeit als auch Funktionalität und Qualität hervorgehoben und über einen langfristigen Zeitraum aufrechterhalten werden.⁷⁷

Kollaborationsplattform

Güter können mit Hilfe einer Sharing-Plattform ihre Produktivität steigern.⁷⁸ Diese Möglichkeit bezieht sich im Wesentlichen auf Ressourcen, die lediglich eine begrenzte bzw. eine völlige Nichtnutzung aufweisen. Hierbei soll eine Steigerung der Produktnutzung durch ein gemeinschaftliches Teilen erreicht werden.⁷⁹ Ein auf dieser Option basiertes Modell erleichtert das Teilen und Ausleihen von

⁷³ Vgl. Naumann, 2020.

⁷⁴ Vgl. Lacy, Long und Spindler, 2020, S. 27.

⁷⁵ Vgl. Lacy, Rutqvist und Buddemeier, 2015, S. 129f.

⁷⁶ Vgl. Lacy, Long und Spindler, 2020, S. 27.

⁷⁷ Vgl. Lacy, Rutqvist und Buddemeier, 2015, S. 130.

⁷⁸ Vgl. ebd., S. 151.

⁷⁹ Vgl. Walcher und Leube, 2017, S. 20.

Produkten und Dienstleistungen.⁸⁰ Hierfür können die Unternehmen Airbnb, die Buchungen und Vermietungen von privaten Unterkünften anbietet sowie Uber, der Personentransporte vermittelt, als Beispiel aufgezeigt werden.⁸¹

Kunden soll die Alternative geboten werden, Gebrauch von Produkten zu machen, die in diesem Umfang nicht erworben werden könnten.⁸² Eine im Jahr 2019 in Deutschland durchgeführte Umfrage hat ergeben, dass nur 19 Prozent der Befragten bereits ein Sharing-Angebot verwendet und lediglich 19 weitere Prozent vorhaben, ein solches Angebot in ferner Zukunft zu nutzen (siehe Anhang 3).⁸³

Product as a Service

„Bei dieser Option bleiben Produkte i. d. R. im Eigentum des Dienstleisters oder Herstellers.“⁸⁴ Somit bestehen die Aufgaben der Unternehmen darin, ihren Schwerpunkt entlang der Wertschöpfungskette neu zu setzen und eine Umstellung von Volumen auf Leistung zu generieren.⁸⁵ Für diese Alternativmöglichkeit können verschiedene Formen wie Leasing oder Mieten angewendet werden, um Kunden über einen kurz- oder langfristigen Zeitraum Produkte zur Verfügung zu stellen.⁸⁶ Dies zeigt der Automobilhersteller BMW, der seinen Mitarbeitern ein Mietangebot von Fahrzeugen, die sogenannte JAWA Miete, über einen Zeitraum von vier bis elf Monaten zur Verfügung stellt. Hierbei zahlen Mitarbeiter lediglich einen Mietbetrag, in dem Versicherung und Steuern inbegriffen sind. Am Ende der Laufzeit wird das Fahrzeug dem Hersteller übergeben, wo es nachfolgend als junger Gebrauchter verkauft werden kann.⁸⁷

⁸⁰ Vgl. Lacy, Rutqvist und Buddemeier, 2015, S. 151ff.

⁸¹ Vgl. IONOS, 2019.

⁸² Vgl. Hinrichs, 2021, S. 128.

⁸³ Vgl. YouGov, 2019.

⁸⁴ Rudolph, 2018, S. 130.

⁸⁵ Vgl. Lacy, Long und Spindler, 2020, S. 25.

⁸⁶ Vgl. Lacy, Rutqvist und Buddemeier, 2015, S. 173f.

⁸⁷ Vgl. Kuntz, 2010.

3. Automobilindustrie in Deutschland

Die Automobilindustrie ist eine der bedeutungsvollsten Industriezweige in Deutschland und trägt ausschlaggebend zum Gesamtumsatz bei (siehe Anhang 4).⁸⁸ Im folgenden Kapitel soll ein Überblick über die nationale Bedeutung der Automobilindustrie verschafft werden.

3.1 Strukturdaten der deutschen Automobilindustrie

Die Grundlagen des Automobils reichen bis ins Jahr 1886, als die ersten Kutschen mit Benzinmotor durch Gottlieb Daimler und Wilhelm Maybach vorgestellt wurden.⁸⁹ Wird der Umsatz der Automobilindustrie betrachtet, dann ist festzustellen, dass es sich um den umsatzstärksten Bereich der Industrie in Deutschland handelt.⁹⁰ 2019 konnte ein Umsatz in Höhe von 436 Milliarden Euro erwirtschaftet werden. Dieser Umsatz zeigt sich in der Herstellung von 4,6 Millionen PKWs deutschlandweit, als auch mit einer Produktion von 11,4 Millionen deutscher Automobile im Ausland. Der Export ist als einer der bedeutsamsten Treiber der Automobilindustrie in Deutschland zu nennen, da rund drei Viertel aller in Deutschland produzierten Fahrzeuge ins Ausland exportiert werden.⁹¹ Es ist zu erwähnen, dass ein deutlicher Rückgang der Produktion im Jahr 2020, verglichen mit dem Vorjahr, in Höhe von 25 Prozent verzeichnet und somit ein Umsatz von lediglich 379 Milliarden Euro generiert werden konnte. Jedoch ist anzumerken, dass die genannte Produktionsabnahme auf die weltweiten Einschränkungen der Corona-Pandemie zurückzuführen ist.⁹²

Zum ersten Januar 2021 konnte Deutschland einen Fahrzeugbestand von 48,2 Millionen Fahrzeugen aufweisen, was einer Fahrzeugdichte von 710 PKWs auf 1.000 Einwohner entspricht. Dabei wurden rund 1,1 Millionen Fahrzeuge neu zugelassen. Zu den verbreitetsten Kraftstoffarten zählen weiterhin der Benzinmotor mit 65,2 Prozent sowie der Dieselmotor mit 31,2 Prozent am gesamten Fahrzeugbestand. Dennoch ist der Anteil alternativer Antriebsarten und somit

⁸⁸ Vgl. VCI, 2021.

⁸⁹ Vgl. Diez, Reindl und Brachat, 2016, S. 3.

⁹⁰ Vgl. VDA, © 2021b.

⁹¹ Vgl. BMWi, © 2021a.

⁹² Vgl. Statistisches Bundesamt, 076/2021.

die Elektro-, Hybrid- und Plug-in-Hybrid-Fahrzeuge, erneut angestiegen und umfasst rund 1,6 Millionen Fahrzeuge.⁹³

Der Bereich der Beschäftigung der Automobilindustrie kann in einen direkten und indirekten Sektor unterteilt werden. Unter der indirekten Beschäftigung werden 643.000 Mitarbeiter betrachtet, die im Markt für Ersatzteile sowie im Handel beschäftigt sind, als auch 654.000 Mitarbeiter der Automobilzulieferer.⁹⁴ Hierfür können Bosch, Denso und ZF Friedrichshafen als die drei größten weltweiten Automobilzulieferer, gemessen am weltweiten Umsatz, genannt werden (siehe Anhang 5).⁹⁵ Im Jahr 2020 waren in der Automobilindustrie 808.935 direkt Beschäftigte tätig, was einer Reduktion von 2,87 Prozent zum Vorjahr entspricht (siehe Anhang 6).⁹⁶

Die BMW Group, die Daimler AG und die Volkswagen Gruppe zählen, unter Berücksichtigung der Anzahl produzierter Fahrzeuge, zu den deutschlandweit größten Herstellern von Automobilen (siehe Anhang 7).⁹⁷

3.2 Herausforderungen und Trends der Automobilindustrie

Die Branche der Automobilindustrie muss sich vielen Herausforderungen, wie beispielsweise dem Wettbewerb und den daraus resultierenden erhöhten Qualitätsansprüchen, stellen. In dieser Arbeit soll insbesondere auf die Herausforderungen in den Bereichen der Nachhaltigkeit, der Digitalisierung sowie dem Verhältnis der Kundenbeziehungen eingegangen werden.

Mit Hilfe dieser Herausforderungen kann die Automobilbranche betrachten, worauf in Zukunft geachtet werden muss und welche Trends sich ergeben könnten.

3.2.1 Aktuelle Herausforderungen der Automobilindustrie

Zum einen steht das Thema der Nachhaltigkeit im Fokus der Herausforderungen. Zum anderen muss auf Weiterentwicklungen des Marktes, wie eine veränderte Kundenbeziehung und die Digitalisierung, geachtet werden.⁹⁸

⁹³ Vgl. KBA, © 2021.

⁹⁴ Vgl. BMWi, © 2021a.

⁹⁵ Vgl. Automotive News, 2021.

⁹⁶ Vgl. Statistisches Bundesamt, 2021.

⁹⁷ Vgl. Statista, 2021.

⁹⁸ Vgl. Deloitte, © 2021a.

Nachhaltigkeit

Eine Herausforderung betrifft das Thema der Nachhaltigkeit und die daraus resultierenden Regulierungen.⁹⁹ Dabei spielt die Problematik der Treibhausgasemissionen eine erhebliche Rolle.¹⁰⁰ Der Verkehrsbereich erzielte mit rund 146 Millionen Tonnen fast ein Fünftel der gesamten Treibhausgasemissionen in Deutschland.¹⁰¹ „Durch zunehmende politische Regulierungen, aber auch durch das weiter steigende Umweltbewusstsein der Autokäufer wird das Angebot an umweltverträglichen [...] Antriebskonzepten in den nächsten Jahren zu einem der entscheidenden Faktoren.“¹⁰²

Des Weiteren ist bei der Ausrichtung des Nachhaltigkeitsansatzes auf die Betrachtung der Nachhaltigkeitsdimension einzugehen und somit ökologische, ökonomische und soziale Aspekte in Einklang zu bringen.

Es ist zu beachten, dass neben dem eigenen Unternehmen auch der Bereich der Lieferanten und Lieferketten eine entscheidende Rolle bei der Umsetzung der Nachhaltigkeitsstrategien einnehmen.¹⁰³ Im Juni 2021 wurde dem Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz, kurz Lieferkettengesetz, durch den Bundestag zugestimmt, das vorerst für Unternehmen mit einem Mitarbeiterbestand größer 3.000 im Jahr 2023 in Kraft tritt. Dadurch soll ein erhöhter Schutz der Menschenrechte in Lieferketten gewährt werden, weshalb Unternehmen aufgefordert werden, die gesetzlich vorgegebenen Forderungen über die gesamte Lieferkette, von der Beschaffung der Rohstoffe bis zur Fertigstellung verkaufsfähiger Produkte, einzuhalten.¹⁰⁴

Kundenbeziehung und Digitalisierung

Auch eine veränderte Kundenbindung stellt die Automobilbranche vor Herausforderungen. Dabei geht es um die Transformation, die den Mittelpunkt der Autoindustrie, weg vom Produkt und hin zu Kunden, neu setzt.¹⁰⁵ Die Digitalisierung spielt eine wesentliche Rolle, da hierdurch der physische Kontakt zwi-

⁹⁹ Vgl. Deloitte, © 2021b.

¹⁰⁰ Vgl. Schade, Zanker, Kühn und Hettesheimer, 2014, S. 29.

¹⁰¹ Vgl. BMUV, 042/2021.

¹⁰² Diez, 2018, S. 104.

¹⁰³ Vgl. Deloitte, © 2021b.

¹⁰⁴ Vgl. BMZ, © 2021.

¹⁰⁵ Vgl. Padberg, 2020, S. 197.

schen Händlern und Kunden abgeschafft wird.¹⁰⁶ Somit ergeben sich neue Alternativen, um die Beziehung zu Kunden im Kundenmanagement, dem sogenannten Customer Relationship Management (CRM), auf digitalem Wege aufrecht zu erhalten. Somit besteht die Möglichkeit, eine marketinggerechte Kommunikation, über Angebote und Inhalte sowie das Medium der Kommunikation, individuell zu gestalten. Darüber hinaus können aufgrund analytischer Funktionalitäten die Bedürfnisse des Kunden und Empfehlungen besser erfasst und getätigt werden.¹⁰⁷ Dennoch ist zu beachten, dass Maßnahmen erforderlich sind, um die Rolle des Händlers und demnach die entsprechenden Geschäftsmodelle neu zu gestalten.¹⁰⁸ Dabei bilden Kunden- und Marktanforderungen das Fundament, um entsprechende Produkte und Lösungen den jeweiligen Interessensgruppen anbieten zu können.¹⁰⁹

3.2.2 Trends der Automobilindustrie

In der Automobilindustrie können verschiedene Trends, die sowohl Hersteller als auch Kunden betreffen, aufgrund der bereits dargelegten Herausforderungen aufgeführt werden. Somit lassen sich neue Mobilitätskonzepte, Digitalisierung, autonomes Fahren und Elektromobilität als zukunftsweisende Trends charakterisieren.¹¹⁰

CarSharing

Neue Mobilitätskonzepte wie Carsharing, die auf dem Grundprinzip der Nutzung statt Besitz beruhen, konnten bereits in den vergangenen Jahren eine Wachstumsrate von 20 Prozent der Nutzerzahlen verzeichnen.¹¹¹ Bei diesem Mobilitätskonzept ist zwischen dem standortbasierten Sharing, der Abholung und Rückgabe des Fahrzeuges an einer bestimmten Station und dem free-floating, der Abholung an dem Standort, an dem das Fahrzeug durch den vorherigen Nutzer abgestellt wurde und Rückgabe an einem beliebigen Ort, zu unterschei-

¹⁰⁶ Vgl. Diez, 2018, S. 37ff.

¹⁰⁷ Vgl. Padberg, 2020, S. 187.

¹⁰⁸ Vgl. Köllner, 2020.

¹⁰⁹ Vgl. Winkelhake, 2019, S. 38.

¹¹⁰ Vgl. Rüger, 2018.

¹¹¹ Vgl. Schade, Zanker, Kühn und Hettesheimer, 2014, S. 20f.

den.¹¹² Die größte Stärke liegt in der Entlastung der Umwelt und des Verkehrs. Diesbezüglich konnte anhand einer Studie von 2012 festgestellt werden, dass bereits bis zu zehn PKWs im Privatbesitz durch lediglich ein stationsbasiertes CarSharing Fahrzeug ersetzt werden können. Des Weiteren konnte bei einer Untersuchung des englischen Carsharing-Verband Carplus ein niedrigerer Ausstoß in Höhe von einem Drittel Gramm je Kilometer (g/km) CO₂ im Vergleich zum durchschnittlichen PKW-Ausstoß verzeichnet werden. Dabei konnten bei Sharing-Fahrzeugen durchschnittlich 98 g/km CO₂ und im Vergleich bei den verbleibenden PKWs 153,9 g/km CO₂ verzeichnet werden. Diese Abweichung ist auf moderne, dem Kundennutzen angepasste Fahrzeuge sowie einen vermehrten Anteil an Elektrofahrzeugen zurückzuführen.¹¹³

Hierfür kann das Ride-Sharing MOIA in Hamburg als qualitatives Beispiel herangezogen werden, da es neben einer transparenten Bezahlungsmöglichkeit und einer unkomplizierten Buchung per App, über eine vollumfänglich emissionsfreie elektrische Fahrzeugflotte verfügt.¹¹⁴

Digitalisierung

Ein weiterer Trend der Automobilbranche betrifft den Bereich der Digitalisierung. In Zukunft werden Mobilitätsplattformen den klassischen Eigenschaften wie Leistungsmerkmalen vorgezogen.¹¹⁵ Demnach ist die interne und externe Vernetzung von Systemen ein bedeutsames Zukunftspotenzial. Die interne Vernetzung beschreibt unter anderem das Zusammenspiel von Motor, Getriebe und Achsen, wohingegen sich externe Systeme mit der Verknüpfung des Fahrzeuges zur Infrastruktur und anderen Fahrzeugen beschäftigt. Die externe Vernetzung bezieht sich auf die Verknüpfung des Fahrzeuges mit der Infrastruktur als auch mit anderen Fahrzeugen und Verkehrsträgern. Das hieraus abzuleitende Connected Car, dient dem Fahrer durch verschiedenste Assistenzsysteme, wie dem Spurhaltesystem oder dem automatischen Notruf zur Sicherheit, als Unterstützung während der Fahrt.¹¹⁶

¹¹² Vgl. BCS, (o. J.) a.

¹¹³ Vgl. BCS, (o. J.) b.

¹¹⁴ Vgl. MOIA, © 2021.

¹¹⁵ Vgl. Deloitte, © 2021a.

¹¹⁶ Vgl. Diez, 2018, S. 123f.

Autonomes Fahren

Im Zuge der Digitalisierung bezieht sich ein weiterer Trend auf den Bereich des autonomen Fahren, der sich durch die Veranschaulichung folgender Tabelle in fünf Level aufteilt.¹¹⁷

Stufen	Beschreibung	Beispiele
Stufe 1: Assistiertes Fahren	Unterstützung einzelner Assistenzsysteme	Tempomat
Stufe 2: Teilautomatisiertes Fahren	Fahrzeug hält unter definierten Bedingungen die Spur	Spurassistent
Stufe 3: Hochautomatisiertes Fahren	Selbstständig und ohne menschlichen Eingriff (begrenzter Zeitraum)	Selbstständiges Überholen, Bremsen, Beschleunigen (je nach Verkehrslage)
Stufe 4: Vollautomatisiertes Fahren	Fahrzeug bewältigt Fahrten auf bestimmten Strecken völlig selbstständig	Selbstständiges Auffahren auf Autobahnen und Einordnen in den Verkehr bei hoher Geschwindigkeit
Stufe 5: Autonomes Fahren	Passagiere ohne Fahraufgaben (kein Fahrer)	Jede Verkehrssituation wird durch das System übernommen

Tabelle 1: Stufen des autonomen Fahren (Eigene Darstellung)

Die Durchsetzbarkeit des autonomen Fahrens im Markt ist abhängig von der technischen Entwicklung und deren Funktionssicherheit, als auch den rechtlichen Rahmenbedingungen und die daraus resultierende Akzeptanz in der Gesellschaft.¹¹⁸ Eine im Jahr 2018 veröffentlichte Prognose der Unternehmensberatung PricewaterhouseCoopers (PwC) und Statista estimates zeigt, dass bereits 50 Prozent der neuzugelassenen PKWs bis 2030 in Europa autonom fahren (siehe Anhang 8).¹¹⁹

Alternative Antriebsvarianten

Angesichts des Klimaschutzes und steigender Nachfrage, wächst der Trend der Elektromobilität.¹²⁰ Unter Elektromobilitätsfahrzeugen werden reine Elektrofahrzeuge (BEV), Plug-in-Hybride (PHEV), Fahrzeuge mit Elektroantrieb (REX), Hybridfahrzeuge (HEV) und Brennstoffzellenfahrzeuge (FCV) zusammengefasst.¹²¹ Der Vorteil von Elektromotoren gegenüber herkömmlichen Verbren-

¹¹⁷ Vgl. ADAC, 2021.

¹¹⁸ Vgl. Diez, 2018, S. 138.

¹¹⁹ Vgl. Statista, 2018.

¹²⁰ Vgl. BMWi, © 2021b.

¹²¹ Vgl. Karle, 2021, S. 16.

nungsmotoren liegt in dem Wirkungsgrad hoher Energieeffizienz, der bei Motoren mit elektronischem Antrieb fast das Dreifache entspricht. Darüber hinaus ist die Produktion von Elektroautos aufgrund entfallender Anbauteile, wie Getriebe und Auspuffanlage, mit weniger Aufwand verbunden.¹²²

Eine weitere Alternativmöglichkeit stellt Wasserstoff dar, der den Grundbaustein synthetischer Kraftstoffe bilden soll. Ausschlaggebend dabei sind die grenzenlose Verfügbarkeit in der Natur und die Möglichkeit der klimaneutralen Herstellung. Da hier das Verfahren der Elektrolyse und somit der Freisetzung von Wasserstoff mittels Strom aus Wasser Anwendung findet. Allerdings ist der verstärkte Einsatz von Strom zu berücksichtigen, der eine Ausweitung erneuerbarer Energien beinhaltet. Am Ende der Herstellung verbleiben aufgrund hoher Wirkungsverluste lediglich zehn bis 15 Prozent der verwendeten Gesamtenergie im Unternehmen.¹²³

3.3 Kreislaufwirtschaft in der Automobilindustrie

Eine für Europa in Kraft getretene Verpflichtung, Altfahrzeuge ordnungsgemäß und umweltgerecht zu entsorgen schreibt vor, dass zum einen eine stoffliche Verwertungsquote von 85 Prozent sowie eine Gesamtverwertungsquote von 95 Prozent erreicht werden muss.¹²⁴ Im Jahr 2019 befanden sich rund 50 Millionen Fahrzeuge in Deutschland auf den Straßen, wovon etwa fünf Prozent als Gebrauchtwagen in das Ausland exportiert wurden. Zudem konnte eine Verwertungsanzahl in Höhe von 464.657 Altfahrzeugen aufgezeichnet werden.¹²⁵ Die Altfahrzeugverwertung läuft in zwei Phasen ab. In einem ersten Schritt werden Flüssigkeiten wie Öle und Kühlflüssigkeiten aus den Fahrzeugen entfernt. Darüber hinaus werden alle verwendungsfähigen Teile ausgebaut und aufbereitet, die anschließend als Ersatzteile dem Verkauf dienen. Nachfolgend erfolgt im zweiten Schritt das Schreddern der Karosserien.¹²⁶ Hinter diesem Hintergrund konnte Deutschland im Jahr 2019 eine stoffliche Wiederverwendungsquote von 86,9 Prozent und somit über der EU-Richtlinie, als auch eine Gesamtverwer-

¹²² Vgl. Winkelhake, 2021, S. 124.

¹²³ Vgl. Berninghausen, 2019.

¹²⁴ Vgl. Wagner, Koch und Seitz, 2018, S. 250.

¹²⁵ Vgl. Umweltbundesamt, 2021a.

¹²⁶ Vgl. Förtsch und Meinholz, 2015, S. 215.

tungsquote von 93,6 Prozent und somit weniger als von der EU-Richtlinie gefordert, erzielen.¹²⁷

Jedoch ist anzuführen, dass eine Verwertung angesichts des C2C-Konzeptes als ungenügend anzusehen ist. Hierfür sind alternative Möglichkeiten anzustreben, die dem Ansatz einer Kreislaufwirtschaft, die unter dem Abschnitt 2.2.3 näher definiert wurden, entsprechen.¹²⁸ Außerdem ist zu erwähnen, dass der Bereich der Wiederverwertung nur einen Teil der Kreislaufwirtschaft ausmacht und der Entwurf und die Produktion von Rohstoffen und Waren ebenfalls betrachtet werden muss.¹²⁹

¹²⁷ Vgl. BMU, 2021, S. 52.

¹²⁸ Vgl. Wagner, Koch und Seitz, 2018, S. 250f.

¹²⁹ Vgl. Gall und Neuhold, 2021.

4. Kreislaufwirtschaft in der Praxis der Automobilindustrie

Das folgende Kapitel setzt sich mit den Anforderungen der Kreislaufwirtschaft und deren Umsetzung in der Praxis auseinander. Zusätzlich wird ein Ausblick in die Zukunft geschaffen und eine kritische Würdigung der dokumentierten Informationen vorgenommen.

4.1 Technische Anforderungen der Kreislaufwirtschaft

Der folgende Absatz befasst sich mit den grundlegenden Anforderungen einzelner Fahrzeugkomponenten in der Kreislaufwirtschaft, um diese anschließend anhand von Praxisbeispielen zu betrachten.

4.1.1 Anforderungen an die Entwicklung und deren Rohstoffe

Hierbei findet neben der Gestaltung einer Idee und deren Prozesse, ebenfalls die Festlegung der notwendigen Werkstoffe statt. Dies stellt den Grundbaustein einer nachhaltigen Produktion dar.¹³⁰ Es ist zu erwähnen, dass ein Fahrzeug aus einer Vielzahl verschiedener Materialien besteht, die in folgender Abbildung aufgeführt werden.

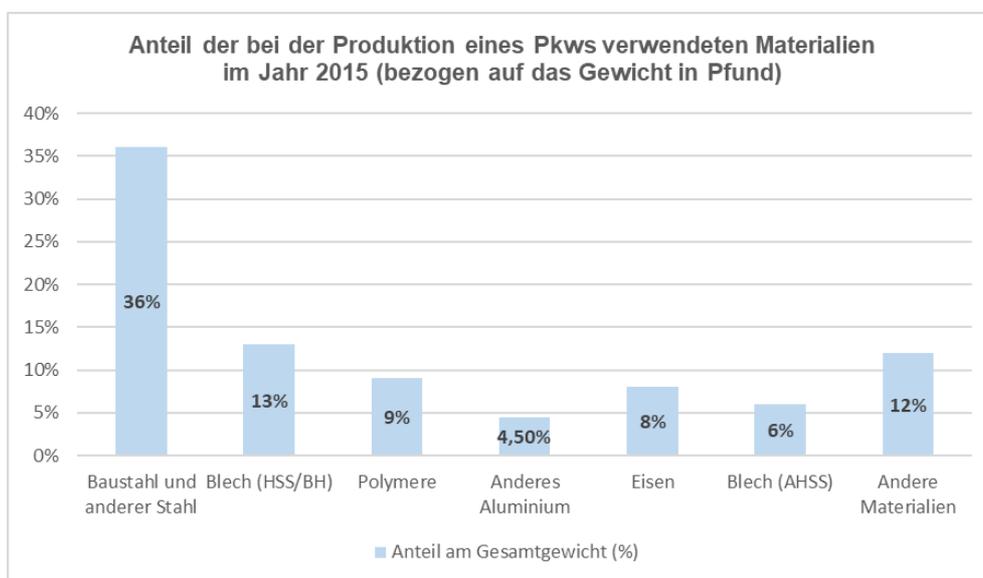


Abb. 7: Anteil der bei der Produktion eines Pkws verwendeten Materialien im Jahr 2015 (in Anlehnung an Ducker, 2016)

¹³⁰ Vgl. Förtsch und Meinholz, 2015, S. 107.

Aus der Grafik wird ersichtlich, dass neben dem Hauptmaterial Stahl, ebenso Kunststoff und Aluminium eine bedeutungsvolle Rolle spielen.¹³¹ Zudem ist der Aspekt der Batterie nicht zu vernachlässigen, da bis zum Jahr 2030 jedes vierte Fahrzeug ein Elektroauto sein soll (siehe Anhang 8).¹³²

Stahl

Stahl ist eine Hauptgruppe der Eisenwerkstoffe und besteht größtenteils aus Eisen und einem maximalen Anteil an Kohlenstoff- und Legierungselementen von zwei Prozent. Nach der europäischen Norm DIN EN 10020 ist Stahl in unlegierte Qualitäts- und Edelstähle, nichtrostende korrosionsbeständige und andere legierte Stahlkategorien zu teilen.¹³³ Die allgemeine Besonderheit betrifft die Materialhärte sowie die Robustheit gegen Korrosion, als auch die Möglichkeit, Stahl in individuellen Formen zu produzieren.¹³⁴ Die Produktion von Stahl ist in die Verfahrensrouten des Hochofen-Basissauerstoffofens (BF-HOF) und des Elektrolichtbogenofens (EAF), mit unterschiedlichem Gebrauch von Rohstoffen, zu unterteilen. Die Rohstoffe für die BF-HOF-Route bestehen im Wesentlichen aus Eisenerz, Kohle und recyceltem Stahl. Dabei findet in einem ersten Schritt die Reduktion von Eisenerz zu Eisen in einem Hochofen (BF) statt. Danach wird das gewonnene Roheisen in einem Basissauerstoffofen (HOF) zu Stahl umgeformt, um es anschließend durch Gießen und Walzen in Stangen und Bleche zu formen. Auf der anderen Seite ist die EAF-Route, deren Produktion grundsätzlich auf die Verwendung von Strom und recyceltem Stahl aufbaut, zu nennen. Der recycelte Stahl wird dabei mittels elektrischer Energie geschmolzen und um Zusatzstoffe wie Legierungen erweitert, um die angestrebte chemische Struktur zu erreichen. Die nachgelagerte Phase, um Stahl in den gewünschten Formen gestalten zu können, ist analog der BF-HOF-Route zu betrachten.¹³⁵

Die Nutzung von Stahl findet in Kreisläufen statt, sodass die Prinzipien einer Kreislaufwirtschaft eingehalten werden. Hierbei werden unter anderem die

¹³¹ Vgl. Ducker, 2016.

¹³² Vgl. Autohaus, 2020.

¹³³ Vgl. Martens und Goldmann, 2016, S. 121ff.

¹³⁴ Vgl. Pothen und Growitsch, 2019, S. 8.

¹³⁵ Vgl. World Steel Association, © 2021.

Mengen an eingesetzten Rohstoffen reduziert (Reduce) sowie Altprodukte für einen ähnlichen oder gleichbleibenden Zweck wiederverwendet (Re-use).¹³⁶ Dies zeigt sich in der Einsparung in Höhe von 1,5 Tonnen Eisenerz je wieder eingesetzter Tonne Stahl- und Eisenschrott.¹³⁷ Zusätzlich werden veraltete Produkte durch Wiederherstellung zu einem neuwertigen Produkt gefertigt (Remanufacture) als auch durch Schmelzung zur Herstellung neuer Stahlprodukte (Recycling) verwendet.¹³⁸ Zu erwähnen ist, dass mithilfe von sechsmaligem Recyclen eines Stahlproduktes, die vierfache Menge daraus erzielt werden kann.¹³⁹ Somit werden heute 60 Prozent weniger Energie als 1960 zur Herstellung einer Tonne Stahl benötigt.¹⁴⁰

Das Recycling ist dabei in die Verfahrensschritte der Erfassung, der Aufbereitung und der Prüfung geteilt. Die Erfassung beschäftigt sich mit Sicht- und Vorprüfungen, bei denen zum Beispiel Magnete zum Einsatz kommen. Hierauf folgt die Aufbereitung, die mittels Schredder-Anlagen die Zerkleinerung und automatische Trennung unterschiedlicher Stoffe und somit sortenreine Einheiten garantiert. Letzteres werden die Einheiten anhand eines digitalen Spektrometers einer Prüfung unterzogen, um die entsprechenden chemischen Strukturen bestimmen zu können. Anschließend werden kompakte Bündel gepresst, um einen wirtschaftlichen Transport zu weiterverarbeitenden Betrieben zu gewährleisten.¹⁴¹ Nach dem Recycling bestehen unveränderte Stahleigenschaften, weshalb recycelter Stahl beim Verfahren des EAF zu 100 Prozent und beim BF-HOF-Verfahren bis zu 30 Prozent eingesetzt werden kann.¹⁴²

Kunststoff

Kunststoff, auch Polymere genannt, ist ein Produkt, das durch eine chemische Synthese der Hauptelemente Wasserstoff, Sauerstoff, Kohlenstoff, sowie weitere Nichtmetalle oder Silizium, als Werkstoff genutzt werden kann.¹⁴³ Jedoch ist

¹³⁶ Vgl. Pothen und Growitsch, 2019, S. 12.

¹³⁷ Vgl. Hegemann und Guder, 2020, S. 98.

¹³⁸ Vgl. Pothen und Growitsch, 2019, S. 12.

¹³⁹ Vgl. Hegemann und Guder, 2020, S. 97.

¹⁴⁰ Vgl. World Steel Association, © 2021.

¹⁴¹ Vgl. Hegemann und Guder, 2020, S. 98f.

¹⁴² Vgl. World Steel Association, © 2021.

¹⁴³ Vgl. Martens und Goldmann, 2016, S. 271.

für die Verwendung von Kunststoff der Einsatz von Zusatzstoffen erforderlich. Hierbei werden unter anderem Füllstoffe verwendet, die ein festes Material darstellen, um eine Verbesserung der Stabilität zu erzielen. Darüber hinaus kann mit Hilfe von Weichmachern die Flexibilität gesteigert werden. Außerdem sorgen Farbmittel dafür, den optischen Eindruck zu verbessern.¹⁴⁴

Es ist zwischen verschiedenen Kunststoffgruppen zu unterscheiden, die unterschiedliche chemische Verbindungen aufweisen. Elastomere weisen eine große Maschenweite auf, wodurch eine hohe Flexibilität und Zugfestigkeit gegeben ist.¹⁴⁵ Hinter diesem Hintergrund ist auch von den typischen Eigenschaften eines Gummis die Rede.¹⁴⁶

Thermoplasten hingegen besitzen eine mittlere Steifigkeit und Zugfestigkeit, da es sich um Kunststoffe ohne Vernetzung handelt, bei denen eine Verschiebung der Ketten bei hoher Belastung auftritt.

Duroplasten sind starr mit einer hohen Zugfestigkeit, die sich aus einer engmaschig vernetzten Struktur ergibt.¹⁴⁷ Somit ist das gewünschte Resultat bereits bei der Synthese in Form zu bringen.¹⁴⁸

Im Jahr 2019 konnte bereits eine Kunststoffverwertungsquote in Deutschland von 99,4 Prozent erreicht werden. Dieser Wert setzt sich zusammen aus einer 46,6 prozentigen Werk- und Rohstoffnutzung sowie einer energetischen Verwertung von 52,8 Prozent. Zusätzlich konnte eine Erhöhung des Einsatzes von Rezyklaten, im Vergleich zu 2017, von 10,2 Prozent dokumentiert werden.¹⁴⁹ Somit sind die Alternativmöglichkeiten der werkstofflichen, rohstofflichen und energetischen Verwertung zu nennen. Die werkstoffliche Verwertung schmilzt verbrauchte Kunststoffe in neue um, um eine Rohstoffrückgewinnung zu garantieren.¹⁵⁰ „Als Qualität ist hier in erster Linie die Freiheit von Verunreinigungen und Fremdstoffen zu verstehen sowie die Reinheit der eigentlichen Kunststoff-

¹⁴⁴ Vgl. Förtsch und Meinholz, 2015, S. 324f.

¹⁴⁵ Vgl. Martens und Goldmann, 2016, S. 272f.

¹⁴⁶ Vgl. Mellen und Becker, 2018, S. 328.

¹⁴⁷ Vgl. Martens und Goldmann, 2016, S. 273.

¹⁴⁸ Vgl. Förtsch und Meinholz, 2015, S. 318.

¹⁴⁹ Vgl. Umweltbundesamt, 2021b.

¹⁵⁰ Vgl. Förtsch und Meinholz, 2015, S. 334.

art.“¹⁵¹ Dies erfordert jedoch eine sortenreine Trennung sowie aufeinander angepasste Sortier-, Reinigungs- und Aufarbeitungsprozesse.¹⁵²

Im Gegensatz dazu steht die rohstoffliche Verwertung, bei der der Kunststoff in seine Ausgangsbestandteile zerlegt wird, um einen Nutzen aus deren Eigenschaften zu ziehen. Im Gegensatz zur werkstofflichen, findet die rohstoffliche Verwertung bei grundsätzlich allen Kunststoffen Anwendung und ist als teureres Verfahren mit mehr Aufwand anzusehen.¹⁵³

Wie bereits erwähnt, ist das energetische Recyclingverfahren das Verfahren, das am häufigsten in der Kunststoffverwertung Anwendung findet. Dieses Verwertungsverfahren bezieht sich auf die Nutzung des Brennwertes der Kunststoffe, weshalb bereits 2015 die thermische Verwertung, für die Erzeugung von Strom, Wärme und Dampf, 53 Prozent der Gesamtverwertung verzeichnete. Ziel ist es, die im Kunststoff gelagerte Energie, die mit über 30.000 kJ/kg (Kilojoule pro Kilogramm) als gleichwertig zu herkömmlichen Brennstoffen, wie beispielsweise dem Heizöl anzusehen ist, als Alternative der Wärmeerzeugung zu nutzen.¹⁵⁴

Aluminium

Aluminium ist in gleicher Weise wie Blei und Kupfer Bestandteil der Gruppe von Nichteisen-Metallen, die ebenfalls als Basis- bzw. Industriemetalle kategorisiert werden können.¹⁵⁵ Die Eigenschaften umfassen neben einer geringen Dichte und einer hohen Wärmeleitfähigkeit, ebenso eine vergleichsweise hohe elektrische Leitfähigkeit, die im Vergleich zu Kupfer als doppelt so hoch angesehen wird.¹⁵⁶ Darüber hinaus ist das Aluminiumvorkommen in der Erdkruste, mit einem Anteil von ca. 7,5 Prozent, als relativ häufig einzustufen.¹⁵⁷ In der Industrie werden zwei verschiedene Formen des Aluminiums verwendet. Den Hauptrohstoff für die Herstellung von Primäraluminium stellt Bauxit dar, bei dem der Anteil an Aluminiumoxiden mehrfach über 50 Prozent beträgt. Der Entste-

¹⁵¹ Mellen und Becker, 2018, S. 338.

¹⁵² Vgl. Förtsch und Meinholz, 2015, S. 334.

¹⁵³ Vgl. ebd., S. 336.

¹⁵⁴ Vgl. Mellen und Becker, 2018, S. 339.

¹⁵⁵ Vgl. Schmitz, 2018, S. 452.

¹⁵⁶ Vgl. Ostermann, 2014, S. 213ff.

¹⁵⁷ Vgl. Förtsch und Meinholz, 2015, S. 367.

hungsprozess setzt sich hierbei in einem ersten Schritt aus der Gewinnung von Aluminiumoxiden und der Oxidreduktion zu metallischem Aluminium in einem zweiten Schritt zusammen.¹⁵⁸

Die Erzeugung von Sekundäraluminium wird mittels Schmelzung metallischer Stoffe durchgeführt. Hierbei kommen unter anderem Neu- und Altschrott, Späne und Krätzen zum Einsatz. Unter Neuschrott werden Produktionsausschüsse aus der Primäraluminiumherstellung verstanden, die aufgrund ihrer Reinheit eine Recyclingrate von 95 – 99 Prozent aufweisen. Altschrotte fallen jedoch erst nach der Nutzung eines Produktes an, weshalb Verunreinigungen durch andere Materialien eine Verringerung der Recyclingquote auf 75 – 95 Prozent bewirken. Nach der spanabhebenden Formgebung werden Späne angesichts ihres hohen Oxidationsanteils in einem Schmelzprozess kompaktiert. Da es sich bei Krätze um Legierungen auf Aluminium handelt, werden Krätzen gemahlen und der daraus resultierende Mahlstaub separiert und aufgearbeitet. Nachfolgend werden magnetische von nicht magnetischen Stoffen anhand eines Magneten getrennt und enthaltenes Aluminium dem Schmelzprozess übergeben.

Hinsichtlich der Umweltbelastung ist das Recycling und somit die Wiederverwendung von Aluminium als Sekundärprodukt als zentrale Position in der Industrie zu verankern.¹⁵⁹ Hintergrund ist der erhöhte Primärenergiebedarf, der infolge der Elektrolyse und Kalzinierung, bei der eine Erhitzung, Entwässerung, Zersetzung oder chemische Umwandlung fester Stoffe stattfindet. Bei Primäraluminium ist ein Energiebedarf von 164 Gigajoule pro Tonne (GJ/t) und bei Sekundäraluminium von 20 GJ/t zu verzeichnen. Der erhöhte Emissionsausstoß bei Primäraluminium mit 204 Kilogramm je Tonne (Kg/t) entspricht dem 17-fachen von Sekundäraluminium mit 12 kg/t.¹⁶⁰ Des Weiteren weist Primäraluminium einen höheren Wasserverbrauch mit 57 Kubikmeter je Tonne (m³/t) in Bezug auf die Stromerzeugung auf, verglichen mit 1,6 m³/t zu Sekundäraluminium. Darüber hinaus verbleiben auch erhöhte feste Rückstände.¹⁶¹

¹⁵⁸ Vgl. Ostermann, 2014, S. 741ff.

¹⁵⁹ Vgl. Förtsch und Meinholz, 2015, S. 371ff.

¹⁶⁰ Vgl. IBU-tec advanced materials, (o. J.).

¹⁶¹ Vgl. Förtsch und Meinholz, 2015, S. 375.

Batterie

In der Automobilindustrie werden derzeit vorwiegend Lithium-Ionen-Akkus als Antrieb für Elektrofahrzeuge verwendet.¹⁶² Diese Form ist bei den Sekundärbatteriesystemen einzuordnen.¹⁶³ Die Besonderheit bei Sekundärzellen, den sogenannten Akkumulatoren oder kurz Akku, betrifft die Möglichkeit der Wiederaufladbarkeit.¹⁶⁴ Hauptmerkmale einer Lithiumbatterie sind deren hohe Energiedichte sowie eine geringe Selbstentladungsrate. Darüber hinaus gehört neben einer niedrigen Temperaturempfindlichkeit, ebenfalls eine hohe Zellspannung zu den Eigenschaften einer Lithiumbatterie.¹⁶⁵

In Anbetracht der Lebensdauer von bis zu zehn Jahren, ist auf den Umgang gebrauchter Batterien zu achten.¹⁶⁶ Vorschriften durch das 2009 ausgefertigte Batteriegesetz ergeben, dass nach §5 BattG die Verpflichtung des Herstellers besteht, Altbatterien vom Verbraucher abzunehmen und diese nach rechtlichen Vorschriften zu behandeln und zu entsorgen. Diese Vorschriften zeigen sich im §14 BattG, nach dem eine gesetzlich definierte Verwertungsquote, wie die Entfernung aller Flüssigkeiten und Säuren sowie eine 50 prozentige Recyclingeffizienz der durchschnittlichen Masse, eingehalten werden muss.¹⁶⁷

Dies zeigte sich im Jahr 2020 in Deutschland, wobei 186.611 Tonnen an Altbatterien dem Recyclingprozess zurückgeführt und daraus 146.490 Tonnen als Sekundärrohstoffe gewonnen werden konnte.¹⁶⁸

Somit ergeben sich die Möglichkeiten des Recyclings, der Entsorgung und der Weiterverwendung, um eine Kreislaufwirtschaft zu gewährleisten.

Die Wiederverwendung setzt dabei auf ein sogenanntes zweites Leben der Batterie, indem Erneuerungen der Steuerungselektronik und des Gehäuses vorgenommen werden, jedoch ohne die Zellen zu verändern. Für den Wiedereinsatz werden stationäre Optionen, wie die Bereitstellung als Zwischenspeicher für Ei-

¹⁶² Vgl. Verivox, © 2021.

¹⁶³ Vgl. Martens und Goldmann, 2016, S. 479f.

¹⁶⁴ Vgl. Förtsch und Meinholz, 2015, S. 145.

¹⁶⁵ Vgl. Giern, 2018, S. 435.

¹⁶⁶ Vgl. Grimmer, 2021.

¹⁶⁷ Vgl. Batteriegesetz vom 25. Juni 2009 (BGBl. I S. 1582), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 3. November 2020 (BGBl. I S. 2280) geändert worden ist.

¹⁶⁸ Vgl. Umweltbundesamt, 2021d.

genheime, bevorzugt.¹⁶⁹ Die Lebenszeit einer Lithiumbatterie kann unter anderem verlängert werden, indem ein vollständiges Ent- und Aufladen auf einen Ladestand zwischen 20 und 80 Prozent reduziert wird. Die Vollladung ist nur als sinnvoll anzusehen, wenn eine sofortige Nutzung des Fahrzeuges oder eine Langstreckenfahrt angestrebt wird.¹⁷⁰

Bei der Entsorgung, bleiben in gleicherweise wie bei der Wiederverwendung die Batteriezellen unberührt. Allerdings finden gesammelte Altbatterien bei dieser Variante keinen Nutzen und werden stattdessen in Deponien entsorgt.¹⁷¹ Diese Vorgehensweise ist in Bezug auf die Kreislaufwirtschaft, wie bereits unter dem Punkt 2.2.3 der Wiederverwertung und Recycling aufgeführt, mit der geringsten Priorität anzusehen.

Die letzte Alternative stellt das Recycling dar. Dabei werden nach der Sammlung in einem ersten Schritt Batterien nach deren Gemische sortiert. Nach einer erfolgreich durchgeführten Vorsortierung kann die eigentliche Sortierung in zwei verschiedenen Verfahren erfolgen. Beim Röntgenverfahren ereignet sich nach einer Größensortierung die Erkennung des Batteriesystems mittels Röntgensensoren. Bei Batterien ohne Quecksilber, wird ein UV sensibler Lack aufgetragen, um anschließend durch einen UV-Sensor erkannt und aussortiert werden zu können. Im Gegensatz dazu, werden mit Hilfe des elektromagnetischen Verfahrens unterschiedliche Störungen des elektromagnetischen Feldes erzeugt. Anschließend findet ein Abgleich der Störungen mit einer Datenbank statt, woraufhin unterschiedliche Batterietypen erfasst und getrennt werden können. Nachfolgend erfolgt die Übergabe der Batterien an Verwertungsanlagen, wo das Recycling in drei verschiedenen Verfahren durchgeführt werden kann. In einem hydrometallurgischen Prozess werden Metallbindungen in wässrigen Lösungen gelöst. Beim pyrometallurgischen Prozess hingegen, werden die Batterien in einem trockenchemischen Verfahren aufgeschmolzen.¹⁷² Dieser Vorgang dient dazu, die Rückgewinnung der Inhaltsstoffe wie Kobalt, Kupfer und Nickel sicherzustellen.¹⁷³ Der mechanische Prozess wird überwiegend in der

¹⁶⁹ Vgl. Schmidt, 2021.

¹⁷⁰ Vgl. Hänsch-Petersen, 2021.

¹⁷¹ Vgl. Schmidt, 2021.

¹⁷² Vgl. Förtsch und Meinholz, 2015, S. 148ff.

¹⁷³ Vgl. RecyclingPortal, 2019.

Vorbehandlung verwendet, um das Aufbrechen des Batteriegehäuses zu ermöglichen.¹⁷⁴

4.1.2 Umsetzung der Kreislaufwirtschaft an Fahrzeugkomponenten

Die Betrachtung der Erzeugung von Treibhausgasen sowie die Einhaltung einer souveränen Klimabilanz, nehmen eine bedeutende Position in der Autoindustrie ein. Neben einer ausreichenden Verwendung von Ökostrom, ist die Wiederverwertung von Rohstoffen ein erheblicher Bestandteil bei dem Lebenszyklus von Fahrzeugen.¹⁷⁵ Somit rückt der Aspekt einer Leichtbaustrategie und somit einer Gewichtsreduzierung der Fahrzeuge weiter in den Fokus der Automobilindustrie.¹⁷⁶

Stahl

Der Werkstoff Stahl ist nach wie vor eines der meist verwendeten Werkstoffe in der Automobilbranche, da hierdurch angestrebte Ziele, wie eine Gewichtsreduktion und Recyclingfähigkeit, sichergestellt werden können.¹⁷⁷ In der Automobilproduktion findet Stahl aufgrund physikalischer Eigenschaften und der Kombinationsfähigkeit mit anderen technischen Eigenschaften, bevorzugt in der Karosserie, dem Fahrwerk sowie dem Antrieb, Anwendung.¹⁷⁸ Nach Berechnungen der Unternehmensberatung Ernst & Young, können Re-use-, Refurbish- und Recycling-Ansätze der Kreislaufwirtschaft im Stahlsektor, zu einer Verringerung der Treibhausgase zwischen 50 und 60 Prozent bis 2050 beitragen.¹⁷⁹ Im Hinblick auf die Verwendung klimaneutraler und recycelter Werkstoffe, strebt die Bundesregierung Deutschland eine Abnahmequote von grünem Stahl durch die Automobilindustrie an, um einen Anreiz für weitere Grundstoffe zu schaffen.¹⁸⁰ Diesbezüglich sollen Investitionen in Höhe von acht Milliarden Euro deutschlandweit in Projekte investiert werden, um die in der Politik herausra-

¹⁷⁴ Vgl. Förtsch und Meinholz, 2015, S. 150.

¹⁷⁵ Vgl. WirtschaftsWoche, 2020.

¹⁷⁶ Vgl. Friedrich und Krishnamoorthy, 2017, S. 1.

¹⁷⁷ Vgl. Steininger, 2019.

¹⁷⁸ Vgl. Dieringa und andere, 2017, S. 238.

¹⁷⁹ Vgl. Gall und Neuhold, 2021.

¹⁸⁰ Vgl. Handelsblatt, 2021.

gende Kernthematik der Produktion mittels der Verwendung von Wasserstoff voranzutreiben.¹⁸¹

Als deutsches Praxisunternehmen ist der Automobilhersteller BMW Group zu nennen, da hier eine Optimierung der Stahlbeschaffung stattfindet. Dabei zielt das bayerische Automobilunternehmen bis 2025 darauf ab, Stahl von dem schwedischen Start-up H2 Green Steel zu beziehen. Besonderheit ist das entsprechende Produktionsverfahren, bei dem Wasserstoff als Reduktionsgas verwendet wird, um somit eine Treibhausgasreduktion in Höhe von bis zu 95 Prozent zu erreichen. Darüber hinaus werden die im Herstellungsprozess bei der BMW Group entstandenen Blechreste retourniert und von dem Start-up-Unternehmen aufbereitet, sodass es anschließend als neuer Stahl erneut an Werke ausgeliefert werden kann.¹⁸²

Kunststoff

In Anbetracht steigender Akzeptanz des automobilen Leichtbaues, ist ein Anstieg an Kunststoff und dessen Verbundwerkstoffen zu erwarten.¹⁸³ Aufgrund spezifisch einstellbarer Eigenschaften, ist die hohe Variantenvielfalt dieses Werkstoffes in der Autoindustrie zu nennen, das sowohl im Exterieur als auch im Interieur eines Fahrzeuges zu finden ist. Diese Vielseitigkeit umfasst neben Hochleistungskunststoffen und technischen Textilien, ebenfalls Faserverbundsysteme. Der Bereich des Exterieurs rückt die Funktionsfähigkeit in den Fokus, um Schutz im Falle eines Unfalles, durch eine hohe Festigkeit und eine gute Verbindungseigenschaft, zu garantieren. Zusätzlich wird hierdurch das Design eines Fahrzeuges aufgewertet. Im Inneren dient der Werkstoff als Aufbesserung des Raumgefühls für Insassen, indem Optik und Haptik sowie die Akustik verbessert werden.¹⁸⁴

Der Bereich Wiederverwertung und Recycling stellt die Automobilindustrie vor Herausforderungen, da derzeit Neukunststoffe und somit der Einsatz von Erdöl der Verwendung von Altkunststoffen vorgezogen wird. Zudem werden haupt-

¹⁸¹ Vgl. Vetter, 2021.

¹⁸² Vgl. Eder, 2021.

¹⁸³ Vgl. Schönmayr, 2017, S. 472.

¹⁸⁴ Vgl. Dieringa und andere, 2017, S. 370.

sächlich thermische Ansätze verwendet, um Kunststoffe aus Altfahrzeugen zu entnehmen. Anschließend erfolgen die Deponierung und die Ausfuhr ins Ausland.¹⁸⁵ Die Hauptursache der Umsetzung von Recycling liegt in der Materialvielfalt, da hier größtenteils Spritzgussteile, wie Stoßstangen, Tanks und Gehäuse eingesetzt werden, bei denen zum einen verstärkte Kunststoffe und zum anderen Kunststoffgemische zum Einsatz kommen.¹⁸⁶

Diese Problematik wird in einem Pilotprojekt des Karlsruher Institutes für Technologie (KIT) und dem Automobilhersteller Audi angegangen. Hierbei wird versucht, Kunststoffgemische mit Hilfe von chemischen Recyclingverfahren aus Fahrzeugen zu extrahieren, um diese nachfolgend als Neuwarenqualität in Produkten wiederzuverwenden. Intention dabei ist es, eine Ergänzung für das mechanische Recycling zu schaffen, wodurch die energetische Verwertung angenommen werden kann. Das chemische Verfahren zielt darauf ab, von Audi bereitgestellte Altkunststoffe, wie beispielsweise Kraftstofftanks und Kühlerschutzgitter, zu Pyrolyseöl umzuwandeln. Damit soll gewährleistet werden, dass Kunststoffbauteile ohne Verlust von Qualität zurückgeführt und somit Kreisläufe geschlossen werden können.¹⁸⁷

Aluminium

Zunehmende Vorschriften und Regulierungen an Automobilhersteller, um bestimmte Grenzwerte wie den Abgasausstoß bei Fahrten einzuhalten, fordern die Branche auf, kontinuierlich Lösungen zu erforschen und zu erarbeiten.¹⁸⁸ Bereits in den letzten Jahren wurde auf Leichtbau in der Fahrzeugproduktion geachtet. Angesichts technischer Eigenschaften und der daraus resultierenden Anwendbarkeit für verschiedene Verfahren sowie eine unbeschränkte Ressourcenverfügbarkeit und eine nachhaltige Möglichkeit des Recyclings zeigen, weshalb diese Komponente als geeignet angesehen wird.¹⁸⁹ Aus diesem Grund lässt sich ein wachsender Aluminiumanteil je Fahrzeug in Höhe von 32 kg im

¹⁸⁵ Vgl. Schönmayr, 2017, S. 472.

¹⁸⁶ Vgl. Eder, 2015.

¹⁸⁷ Vgl. Lehné, 104/2020.

¹⁸⁸ Vgl. Höll, 2017.

¹⁸⁹ Vgl. Dieringa und andere, 2017, S. 274.

Jahr 1978 auf 160 kg im Jahr 2015 verzeichnen. Dieser Bedarf ist vorwiegend im Fahrwerk, der Karosserie und dem Motor zu finden.¹⁹⁰

Die Recyclingfähigkeit zeigt sich in der Endlosigkeit Aluminium zu recyceln ohne jeglichen Verlust der Qualität und der Ausgangseigenschaften. Demgemäß kann im Automobilssektor bereits eine Recyclingrate von über 90 Prozent dokumentiert werden. Somit ist eine Realisierbarkeit der Umsetzung des Nachfrageziels bis 2050, die Hälfte der Nachfragemenge mit recyceltem Aluminium zu versorgen, gegeben.¹⁹¹

Beispielsweise wird bei der BMW Group in Dingolfing auf eine Trennung nach Sorten geachtet. Die dabei entstandenen Restbleche werden über Schrottrutschen sortenrein aufgespalten, sodass eine Pressung in Würfel, um eine Materialmischung zu vermeiden, über nachfolgende Förderbänder gewährleistet ist.¹⁹² Der nächste Schritt betrifft die Zusammenarbeit mit dem Recycling-Spezialisten Novelis, einem weltweit führenden Unternehmen hochwertiger Walz- und Recyclinganlagen.¹⁹³ Zu Beginn findet der Transport der Überreste von BMW zu Novelis statt, das eine Schmelzung der Aluminiumreste, gefolgt von einer Legierung der Materialien und einer Wiederherstellung zu Aluminiumblechen durchführt. Daraus entstandenes Neualuminium kann somit in der gesamten Industrie wiederverwendet werden.¹⁹⁴

Batterie

Angesichts der ansteigenden Modellvielfalt im Bereich der elektrifizierten Automobilbranche und einer hohen zur Verfügung gestellten Kaufprämie durch den Staat, nimmt die Kaufbereitschaft ein Elektrofahrzeug zu erwerben kontinuierlich zu. Daraus ergibt sich ein Anstieg der in den Fahrzeugen verbauten Batterien, die lediglich eine Lebensdauer von bis zu 10 Jahren aufweisen. Diese Lebensdauer ist jedoch von verschiedenen Faktoren abhängig und kann infolge der unterschiedlichen Lademöglichkeiten, wie normales Laden und Schnellla-

¹⁹⁰ Vgl. Aluminium Deutschland, © 2021.

¹⁹¹ Vgl. Berger, 2020.

¹⁹² Vgl. Fuchslocher, 2020.

¹⁹³ Vgl. Novelis, © 2021.

¹⁹⁴ Vgl. Fuchslocher, 2020.

den, variieren.¹⁹⁵ Der in einem Elektrofahrzeug verbaute Lithium-Ionen-Akku benötigt zu dessen Herstellung Nickel, Kobalt, Mangan, Lithium und Graphit als Rohstoffe.¹⁹⁶ Für einige dieser Rohstoffe besteht nur eine eingeschränkte Verfügbarkeit, weshalb am Ende des Lebenszyklus auf eine Wiederverwertung geachtet werden muss. Bei diesem Vorhaben werden allerdings hohe Anforderungen beansprucht, um zum einen eine große Menge an Material zu gewinnen und zum anderen die Treibhausgase gering zu halten. Herkömmliche Verfahren setzen auf die Nutzung eines Hochofens, um die Batterien zu schmelzen, was jedoch den Verlust von Rohstoffen wie Lithium herbeiführt. Im Vergleich dazu stehen mechanische Verfahren, bei denen in einem ersten Schritt eine elektrische Tiefentladung durchgeführt wird, sodass nachfolgend die entladenen Akkumulatoren auseinandergelöst und geschreddert werden können. Es wird jedoch als Nachteil betrachtet, dass bei diesem Vorgehen brennbare und giftige Stoffe entstehen, die die Emission von Treibhausgasen beeinträchtigt.¹⁹⁷ In Anbetracht der technischen Umsetzbarkeit des Recyclings, fordert der Allgemeine Deutsche Automobil-Club (ADAC) die Aufstockung der gesetzlichen Recyclingeffizienz von 50 auf 90 Prozent.¹⁹⁸

In einem Feldversuch des Volkswagen Group Components wird ein eigens geschaffenes Verfahren, der sogenannte LithoRec-Prozess, am Standort Salzgitte angewendet, um einen Kreislauf von Batterien zu gestalten und somit eine Wiederverwertungsquote von mindestens 90 Prozent zu erreichen. Dabei werden einzig Batterien verwendet, deren Nutzung in einer anderen Art und Weise, wie beispielsweise die Anwendung in Energiespeichern als zweites Leben, ausgeschlossen ist. Zu Beginn kommt ein mechanisches Verfahren zum Einsatz, bei dem Batterien entladen und demontiert werden. Hieraus können bereits Rohstoffe wie Kunststoff und Aluminiumgehäuse gewonnen und dem Kreislauf zurückgeführt werden. Anschließend entsteht eine feuchte Masse, das sogenannte Granulat, das durch eine starke Zerkleinerung der übrigen Batteriemodule und der resultierenden austretenden flüssigen Elektrolyten entsteht.

¹⁹⁵ Vgl. Wilke, 2021.

¹⁹⁶ Vgl. Huber, 2021.

¹⁹⁷ Vgl. Wilke, 2021.

¹⁹⁸ Vgl. Finke, 2021.

Nachfolgend findet eine Trocknung der Masse statt, um es hinterher anhand verschiedener Siebe und Magnetbänder zu verfeinern. Resultat daraus ist ein schwarzes Pulver, das unter anderem Grafit, Mangan, Kobalt, Nickel und Lithium beinhaltet. In einem letzten Schritt wird das Pulver mit Hilfe von Lösemitteln und Wasser, dem sogenannten hydrometallurgischen Verfahren, in die Einzelheiten aufgetrennt, damit es im Zuge dessen als Sekundärrohmaterial, ohne jeglichen Verlust der Qualität, für den Kathodenbau neuer Batterien eingesetzt werden kann.¹⁹⁹

4.2 Die Zukunft der Automobilindustrie

Die Möglichkeit der Umsetzbarkeit einer 100-prozentigen Kreislaufwirtschaft wurde durch die Vorstellung eines neu entwickelten Fahrzeugkonzeptes der BMW Group auf der Internationalen Automobil-Ausstellung, kurz IAA, 2021 vorgestellt. Dabei repräsentiert das Fahrzeug einen Ausblick für das Jahr 2040, indem neben einer vollständigen Verwendung recycelter Materialien in gleicherweise eine absolute Recyclingfähigkeit der verwendeten Materialien erzielt werden soll. Hinter diesem Hintergrund basiert die Entwicklung dieses Fahrzeuges auf einem 4R-Konzept, das die Grundsätze des Rethink, Reduce, Re-use und Recycle vereint.

Rethink zielt hierbei auf die Umstellung bisheriger Ansätze ab, dadurch werden bisherige Prozesse und Technologien beleuchtet und überprüft, um Positionen abzuschaffen und neu auszuarbeiten.

Mit Hilfe von Reduce setzt die BMW Group auf die Einschränkung von Fahrzeugelementen und somit auf den Verzicht bestimmter Komponenten wie Außenlacke und Leder. Alternativ bildet hellgold eloxiertes Sekundäraluminium das äußere Erscheinungsbild ab. Zudem wird der ökologische Fußabdruck mittels des Einsatzes biobasierter Rohstoffe in Materialien verkleinert. Darüber hinaus wird der Materialeinsatz anhand der Digitalisierung von Bedienelementen reduziert.

Das Prinzip des Re-use bezieht sich auf eine hohe Lebenszeit, die unter anderem durch die im Interieur und Exterieur angewendeten digitalen Anzeigeflä-

¹⁹⁹ Vgl. Volkswagen Group News, 2021.

chen einen Mehrwert der Optik schaffen. Angesichts unkomplizierter Verbindungssysteme ist die Möglichkeit gegeben, Bauteile und Materialien individuell zu kombinieren und somit den Lebenszyklus des Fahrzeuges infolge von Wiederaufbereitung (Refurbishing) zu erhöhen.

Der Recycle-Prozess fokussiert sich auf die Wiederverwendung der verwendeten Materialien am Ende des Lebenszyklus. Diesbezüglich setzt BMW auf eine geringe Anzahl an Materialgruppen und den Einsatz problemloser Verbindungen wie beispielsweise Kordeln, Knöpfe oder Schnellverschlüsse und somit den Verzicht auf Verklebungen und Verbundwerkstoffen. Hierzu wurde ein spezieller Schnellverschluss entwickelt, der es erlaubt, mit dem Gebrauch lediglich eines Werkzeuges, eine hohe Anzahl an Bauteilen zu demontieren.²⁰⁰

4.3 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurden zentrale Fahrzeugkomponenten der Automobilindustrie hinsichtlich deren Potenziale und Herausforderungen, bezogen auf die Kreislaufwirtschaft, untersucht. Hinter diesem Hintergrund wurden Stahl, Kunststoff, Aluminium und die Batterie als wesentliche Bestandteile des Automobilssektors beleuchtet (siehe Tabelle 2).

	Potenziale	Herausforderungen
Stahl	<ul style="list-style-type: none"> - Grüner Stahl (Wasserstoff) - Recycling ohne Verlust der Qualität/Eigenschaften 	<ul style="list-style-type: none"> - Sortenreinheit - Recyclingaufwand
Kunststoff	<ul style="list-style-type: none"> - Verarbeitung zu Pyrolyseöl 	<ul style="list-style-type: none"> - Sortenreine Trennung - Verwendung von Erdölen
Aluminium	<ul style="list-style-type: none"> - Aluminiumvorkommen - Recycling ohne Verlust der Qualität/Eigenschaften 	<ul style="list-style-type: none"> - Energiebedarf - Verunreinigungen
Batterie	<ul style="list-style-type: none"> - Energiespeicher - Verarbeitung zu Pulver 	<ul style="list-style-type: none"> - Recyclingaufwand - Brennbare/giftige Stoffe - Eingeschränkte Verfügbarkeit (Rohstoffe) - Lebensdauer

Tabelle 2: Zusammenfassende Darstellung der Potenziale und Herausforderungen (Eigene Darstellung)

²⁰⁰ Vgl. PressClub Deutschland, 2021.

Die aufgezeigten Herausforderungen von Stahl beinhalten die Sortenreinheit dieses Werkstoffes, verbunden mit dem sich daraus ergebenden erhöhten Recyclingaufwand. Dies zeigt sich in der Aufteilung in die Verfahrensschritte, zum einen in die Erfassung, bei der die Durchführung von Sicht- und Vorprüfungen stattfindet. Die nachgelagerte Aufbereitung umfasst neben der Zerkleinerung, ebenfalls die automatische Trennung in die einzelnen Stoffe, um anschließend die chemischen Strukturen anhand einer Prüfung auszuweisen. Die Potenziale basieren auf einem Recycling ohne Verlust der Eigenschaften sowie dem Einsatz von grünem Stahl, durch das Praxisunternehmen der BMW Group, wobei bis zu 95 Prozent der Treibhausgase, aufgrund der Verwendung von Wasserstoff als Reduktionsgas, erreicht werden kann.

Die Problematik der Kunststoffe hingegen, bezieht sich neben einer sortenreinen Trennung des Materials aufgrund von Zusatzstoffen, Weichmachern und Farbstoffen, ebenfalls auf den Einsatz von Neukunststoffen und somit der Verwendung von Erdölen. In einem Pilotprojekt, durch die Zusammenarbeit von Audi und KIT, soll Pyrolyseöl aus veralteten Kunststoffen erzeugt werden, um es anschließend dem Kreislauf, ohne jeglichen Verlust der Qualität, zurückzuführen.

Ein erhöhter primärer Energiebedarf hinsichtlich des Einsatzes von Elektrolyse und Kalzinierung sowie Verunreinigungen durch Altschrotte bei der Erzeugung von Sekundäraluminium, bilden die Herausforderungsgrundlage von Aluminium. Neben einer hohen Ressourcenverfügbarkeit, die sich durch ein hohes Aluminiumvorkommen in der Erdkruste abzeichnet, sind die technischen Eigenschaften und die daraus resultierenden Möglichkeiten der Anwendung unterschiedlichster Recyclingmethoden ohne Qualitätsverlust zu nennen.

Der Gebrauch mechanischer Verfahren bei der Verwertung von Batterien erzeugt brennbare und giftige Stoffe, weshalb Treibhausgasemissionen nachteilig beeinträchtigt werden. Zudem besteht für das Recycling ein erhöhter Aufwand, da neben einer generellen Vorsortierung der verschiedenen Gemische und einer Hauptsortierung, bei der ein Röntgen- und ein elektromagnetisches Verfahren zur Verfügung stehen, ebenfalls die Verwertung in einen hydrometallurgischen, einen pyrometallurgischen und einen mechanischen Prozess zu unter-

teilen ist. Darüber hinaus ist die begrenzte Verfügbarkeit bestimmter Rohstoffe als auch eine endliche Lebensdauer von bis zu zehn Jahren anzumerken. Diesen Herausforderungen soll sowohl mit Hilfe eines sogenannten zweiten Lebens als Energiespeicher für Eigenheime als auch durch ein im Feldversuch des Volkswagen Group Components entwickeltes Verfahren, das ein Pulver aus Altbatterien erzeugt, entgegengearbeitet werden.

Den Ergebnissen liegt zugrunde, dass Unternehmen aufgrund steigender Bedeutung nachhaltiger Wertschöpfungsketten und sich daraus ergebenden gesetzlichen Vorschriften und Regulierungen die Pflicht besteht, neue Produktionsansätze zu entwickeln und laufend zu verbessern.

Es ist zu berücksichtigen, dass sich diese Arbeit ausschließlich mit den Aspekten deutscher Automobilunternehmen befasst. Bei der Berücksichtigung anderer Automobilhersteller in anderen Ländern können die Ergebnisse möglicherweise abweichen.

Diese Bachelorarbeit hat erste Erkenntnisse zu dem Themenbereich der Kreislaufwirtschaft in der deutschen Automobilindustrie geliefert. Für weitere Forschungen ist daher die Empfehlung, den Sektor der Automobilindustrie weiter auszubauen und somit den europäischen Raum zu betrachten. Des Weiteren ist eine Erweiterung des Aspektes der Kreislaufwirtschaft, um kostentechnische Anforderungen vorzunehmen und demnach die Wirtschaftlichkeit eines Unternehmens zu betrachten.

5. Fazit

Die vorliegende Bachelorarbeit ging der Frage nach „Welche Potenziale und Herausforderungen bestimmter Fahrzeugkomponenten ergeben sich bei der Anwendung der Kreislaufwirtschaft in der Automobilindustrie?“. Für die Beantwortung wurde eine quantitative Analyse durchgeführt und mit aktuellen Beispielen aus der Praxis beleuchtet.

Die Ergebnisse der Forschung zeigen, dass in Bezug auf die wesentlichen Fahrzeugkomponenten in der Automobilbranche eine Fülle an Herausforderungen bestehen, die aufgrund des ökologischen Fußabdrucks sowie gesetzlichen Regulierungen zu bewältigen sind. Allerdings können bereits erste Automobilhersteller Erfolge in der Umsetzung verzeichnen. Hierbei steht neben der Reduktion von Treibhausgasemissionen ebenfalls die Schonung von Ressourcen und somit das Prinzip der Wiederverwertung im Fokus der Hersteller.

Durch den festgelegten Schwerpunkt auf den Bereich deutscher Automobilproduzenten als auch die Beschränkung auf die technischen Anforderungen einzelner Komponenten, wurde im Rahmen dieser Arbeit auf den Aspekt der europäischen Automobilindustrie und die Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit eines Unternehmens nicht genauer eingegangen. Jedoch stellt dies einen bedeutungsvollen Grundgedanken zukünftiger Forschungen dar.

Anhand dieser quantitativen Forschung wurde dargelegt, dass die Umsetzung der Kreislaufwirtschaft in der Automobilindustrie mit einer Reihe von Herausforderungen verbunden ist. Dies wird unter anderem in Bezug auf zukünftige Vorschriften und die Problematik der Ressourcenknappheit aufgezeigt. Neu entwickelte Fertigungsverfahren und Recyclingtechniken zeigen Potenziale auf, die bei der Anwendung als Unterstützung dienen.

Literatur- und Quellenverzeichnis

ALLGEMEINER DEUTSCHER AUTOMOBIL-CLUB E.V., 2021. *Autonomes Fahren: Die 5 Stufen zum selbstfahrenden Auto* [online]. München: Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e.V., 15.07.2021 [Zugriff am: 06.11.2021]. Verfügbar unter: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/ausstattung-technik-zubehoer/autonomes-fahren/grundlagen/autonomes-fahren-5-stufen/>

ALUMINIUM DEUTSCHLAND E.V., © 2021. *Aluminium im Verkehrswesen: Mit Leichtigkeit bewegen* [online]. Düsseldorf: Aluminium Deutschland e. V. [Zugriff am: 18.11.2021]. Verfügbar unter: <http://www.aluinfo.de/mobilitaet.html>

AUTOHAUS, 2020. Anteil der Elektroautos am Bestand der Personenkraftwagen in Deutschland von 2018 bis 2020 und Prognose bis 2030. In: *Statista* [online]. Hamburg: Statista GmbH [Zugriff am: 09.11.2021]. Verfügbar unter: <https://de-statista-com.thi.idm.oclc.org/statistik/daten/studie/1202904/umfrage/anteil-der-elektroautos-am-pkw-bestand-in-deutschland/>

BERGER, Christoph, 2020. Aluminiumbranche will die Recyclingraten erhöhen. In: *Springer Professional* [online]. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 13.05.2020 [Zugriff am: 11.11.2021]. Verfügbar unter: <https://www.springerprofessional.de/metalle/werkstoffrecycling/aluminiumbranche-will-die-recyclingraten-erhoehen/17974836>

BERNINGHAUSEN, Carl, 2019. Synthetische Kraftstoffe – Energieträger der Zukunft. Interview durch Wolfgang RUDSCHIES. In: *Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e. V.* [online]. 07.11.2019 [Zugriff am: 24.11.2021]. Verfügbar unter: <https://www.adac.de/verkehr/tanken-kraftstoff-antrieb/alternative-antriebe/synthetische-kraftstoffe/>

BERYLLS STRATEGY ADVISORS, 2021. Größte Automobilzulieferer nach weltweitem Umsatz in den Jahren 2019 und 2020 (in Millionen Euro). In: *Statista* [online]. Hamburg: Statista GmbH [Zugriff am: 01.11.2021]. Verfügbar unter: <https://de-statista-com.thi.idm.oclc.org/statistik/daten/studie/1257807/umfrage/umsatzstaerkste-automobilzulieferer-weltweit/>

BROT FÜR DIE WELT, © 2021. *Über den ökologischen Fußabdruck* [online]. Berlin: Brot für die Welt – Evangelischer Entwicklungsdienst [Zugriff am: 25.11.2021]. Verfügbar unter: <https://www.fussabdruck.de/oekologischer-fussabdruck/ueber-den-oekologischen-fussabdruck/>

BUNDESMINISTERIUM FÜR DIGITALES UND VERKEHR, 2021. *Mobilität in Deutschland (MiD)* [online]. Berlin: Bundesministerium für Digitales und Verkehr, 27.09.2021 [Zugriff am: 25.10.2021]. Verfügbar unter: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/mobilitaet-in-deutschland.html>

BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND NUKLEARE SICHERHEIT, 2021. *Jahresbericht über die Altfahrzeug-Verwertungsquoten in Deutschland im Jahr 2019* [online]. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit [Zugriff am: 02.11.2021]. Verfügbar unter: https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Verkehr/jahresbericht_alfahrzeug_verwertungsquoten_2019_bf.pdf

BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, NUKLEARE SICHERHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ, 2020. *Die 2030-Agenda für Nachhaltige Entwicklung* [online]. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, 07.05.2020 [Zugriff am: 29.10.2021]. Verfügbar unter: <https://www.bmu.de/themen/nachhaltigkeit-digitalisierung/nachhaltigkeit/die-2030-agenda-fuer-nachhaltige-entwicklung>

BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, NUKLEARE SICHERHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ, 042/2021. *Treibhausgasemissionen sinken 2020 um 8,7 Prozent* [online]. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, 16.03.2021 [Zugriff am: 01.11.2021]. Verfügbar unter: <https://www.bmu.de/pressemitteilung/treibhausgasemissionen-sinken-2020-um-87-prozent>

BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, NUKLEARE SICHERHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ, 275/2021. *26. Weltklimakonferenz: Fossiles Zeitalter geht zu Ende* [online]. *Beschlüsse für mehr Tempo beim Klimaschutz und weltweite Solidarität*. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, 13.11.2021 [Zugriff am: 18.11.2021]. Verfügbar unter: <https://www.bmu.de/pressemitteilung/26-weltklimakonferenz-fossiles-zeitalter-geht-zu-ende>

BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND KLIMASCHUTZ, © 2021a. *Automobilindustrie* [online]. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz [Zugriff am: 18.10.2021]. Verfügbar unter: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Textsammlungen/Branchenfokus/Industrie/branchenfokus-automobilindustrie.html>

BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND KLIMASCHUTZ, © 2021b. *Elektromobilität in Deutschland* [online]. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz [Zugriff am: 01.11.2021]. Verfügbar unter: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/elektromobilitaet.html>

BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFTLICHE ZUSAMMENARBEIT UND ENTWICKLUNG, © 2021. *Das Lieferkettengesetz ist da* [online]. Berlin: Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung [Zugriff am: 24.11.2021]. Verfügbar unter: <https://www.bmz.de/de/entwicklungspolitik/lieferkettengesetz>

BUNDESVERBAND CARSHARING E.V., [kein Datum] a. *Was ist CarSharing* [online]. Berlin: Bundesverband CarSharing e.V. [Zugriff am: 01.11.2021]. Verfügbar unter: <https://carsharing.de/alles-ueber-carsharing/was-ist-carsharing>

BUNDESVERBAND CARSHARING E.V., [kein Datum] b. *Umweltbilanz* [online]. *CarSharing entlastet Umwelt und Verkehr*. Berlin: Bundesverband CarSharing e.V. [Zugriff am: 01.11.2021]. Verfügbar unter: <https://carsharing.de/alles-ueber-carsharing/umweltbilanz>

CORSTEN, Hans, Ralf GÖSSINGER und Thomas SPENGLER, Hrsg., 2018. *Handbuch Produktions- und Logistikmanagement in Wertschöpfungsnetzwerken* [online]. Berlin: De Gruyter Oldenbourg. De Gruyter Handbook [Zugriff am: 25.10.2021]. ISBN 978-3-11-047380-3. Verfügbar unter: <https://doi-org.thi.idm.oclc.org/10.1515/9783110473803>

COUNCIL FOR THE ENVIRONMENT AND INFRASTRUCTURE, 2015. *Circular Economy* [online]. *From wish to practice*. Den Haag: Council for the Environment and Infrastructure [Zugriff am: 27.10.2021]. ISBN 978-90-77323-25-0. Verfügbar unter: https://www.rli.nl/sites/default/files/advice_rli_circular_economy_interactive_def.pdf

DELOITTE, © 2021a. *Automotive 4.0 – eine Branche im Umbruch* [online]. *Digitalisierung, Elektromobilität und autonomes Fahren zwingen die Automobilindustrie zu strategischen Weichenstellungen*. München: Deloitte GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft [Zugriff am: 01.11.2021]. Verfügbar unter: <https://www2.deloitte.com/de/de/pages/consumer-industrial-products/articles/automotive40.html>

DELOITTE, © 2021b. *Nachhaltigkeit in der deutschen Automobilindustrie* [online]. *Wie reagieren OEMs und Zulieferer 2021 auf den Megatrend Sustainability*. München: Deloitte GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft [Zugriff am: 01.11.2021]. Verfügbar unter: <https://www2.deloitte.com/de/de/pages/consumer-business/articles/nachhaltigkeit-deutsche-automobilindustrie-studie-2021.html>

DIERINGA, Hajo und andere, 2017. Die Leichtbauwerkstoffe für den Fahrzeugbau. In: Horst FRIEDRICH, Hrsg. *Leichtbau in der Fahrzeugtechnik* [online]. 2. Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 207-450. ATZ/MTZ-Fachbuch [Zugriff am: 08.11.2021]. ISBN 978-3-658-12295-9. Verfügbar unter: <https://doi-org.thi.idm.oclc.org/10.1007/978-3-658-12295-9>

DIEZ, Willi, Stefan REINDL und Hannes BRACHAT, Hrsg., 2016. *Grundlagen der Automobilwirtschaft: Das Standardwerk der Automobilbranche*. 6. Auflage. München: Autohaus, Buch & Formular. ISBN 978-3-574-60014-2

DIEZ, Willi, 2018. *Wohin steuert die deutsche Automobilindustrie*. 2., überarbeitete und aktualisierte Auflage. Berlin: De Gruyter Oldenbourg. ISBN 978-3-11-048115-0

DUCKER, 2016. Anteile der bei der Produktion eines Pkws verwendeten Materialien im Jahr 2015 (bezogen auf das Gewicht in Pfund). In: *Statista* [online]. Hamburg: Statista GmbH [Zugriff am: 09.11.2021]. Verfügbar unter: <https://de-statista-com.thi.idm.oclc.org/statistik/daten/studie/658683/umfrage/verwendete-materialien-in-der-automobilproduktion/>

ECKSTEIN, Katharina, Sabine FLAMME, Julia HOBHOHM und Kerstin KUCHTA, 2017. Verwertung von Altprodukten. In: Martin KRANERT, Hrsg. *Einführung in die Kreislaufwirtschaft* [online]. *Planung – Recht – Verfahren*. 5. Auflage, S. 253-294. Wiesbaden: Springer Vieweg [Zugriff am: 28.10.2021]. ISBN 978-3-8348-2257-4. Verfügbar unter: <https://doi-org.thi.idm.oclc.org/10.1007/978-3-8348-2257-4>

EDER, Sigrid, 2015. *Kunststoffrecycling in der Autoindustrie* [online]. Düsseldorf: VDI Fachmedien GmbH & Co. KG, 01.06.2015 [Zugriff am: 09.11.2021]. Verfügbar unter: <https://www.ingenieur.de/fachmedien/umweltmagazin/abfall-und-kreislauf/kunststoffrecycling-in-der-autoindustrie/>

EDER, Stephan, 2021. *Wasserstoff: BMW kauft grünen Stahl aus Schweden* [online]. Düsseldorf: VDI Fachmedien GmbH, 20.10.2021 [Zugriff am: 08.11.2021]. Verfügbar unter: <https://www.vdi-nachrichten.com/technik/automobil/wasserstoff-bmw-kauft-gruenen-stahl-aus-schweden/>

ENGAGEMENT GLOBAL GGMBH, © 2021. *Ziel 9: Industrie, Innovation und Infrastruktur* [online]. Bonn: Engagement Global gGmbH [Zugriff am: 24.10.2021]. Verfügbar unter: <https://17ziele.de/ziele/9.html>

EUROPÄISCHES PARLAMENT, 2021. *Kreislaufwirtschaft: Definition und Vorteile* [online]. Berlin: Europäisches Parlament, 07.01.2021 [Zugriff am: 20.10.2021]. Verfügbar unter: <https://www.europarl.europa.eu/news/de/headlines/economy/20151201STO05603/kreislaufwirtschaft-definition-und-vorteile>

FINKE, Christina, 2021. *Recycling von E-Auto-Akkus* [online]. *Elektroauto Batterie: Lebensdauer/Entsorgung*. Hamburg: Bauer Xcel Media Deutschland KG, 01.02.2021 [Zugriff am: 10.11.2021]. Verfügbar unter: <https://www.autozeitung.de/elektroauto-batterie-lebensdauer-entsorgung-199140.html>

FRIEDRICH, Horst und Sivakumara KRISHNAMOORTHY, 2017. Leichtbau als Treiber von Innovationen. In: Horst FRIEDRICH, Hrsg. *Leichtbau in der Fahrzeugtechnik* [online]. 2. Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 1-32. ATZ/MTZ-Fachbuch [Zugriff am: 08.11.2021]. ISBN 978-3-658-12295-9. Verfügbar unter: <https://doi-org.thi.idm.oclc.org/10.1007/978-3-658-12295-9>

FUCHSLOCHER, Götz, 2020. *BMW bringt im Presswerk Dingolfing das Recycling von Aluminium voran* [online]. Pattensen: Media-Manufaktur GmbH, 13.02.2020 [Zugriff am: 11.11.2021]. Verfügbar unter: <https://www.automobilproduktion.de/technik-produktion/produktionstechnik/bmw-bringt-im-presswerk-dingolfing-aluminium-recycling-voran-105.html>

FÖRTSCH, Gabi und Heinz MEINHOLZ, 2015. *Handbuch Betriebliche Kreislaufwirtschaft* [online]. Wiesbaden: Springer Spektrum [Zugriff am: 02.11.2021]. ISBN 978-3-658-06445-7. Verfügbar unter: <https://doi-org.thi.idm.oclc.org/10.1007/978-3-658-06445-7>

GALL, Constantin und Martin NEUHOLD, 2021. *Warum die Automobilbranche mehr Kreislaufwirtschaft braucht* [online]. Stuttgart: Ernst & Young GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft, 07.09.2021 [Zugriff am: 02.11.2021]. Verfügbar unter: https://www.ey.com/de_de/decarbonization/die-automobilbranche-braucht-mehr-kreislaufwirtschaft

GIERN, Sandra, 2018. Lithiumbatterien, In: Peter KURTH, Anno OEXLE und Martin FAULSTICH, Hrsg. *Praxishandbuch der Kreislauf- und Rohstoffwirtschaft* [online]. Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 435-450 [Zugriff am: 10.11.2021]. ISBN 978-3-658-17045-5. Verfügbar unter: <https://doi-org.thi.idm.oclc.org/10.1007/978-3-658-17045-5>

GLOBAL FOOTPRINT NETWORK, 2021. Ökologischer Fußabdruck: Anzahl der benötigten Erden, wenn die Weltbevölkerung wie die Bevölkerung der aufgeführten Länder leben würde (Stand 2021). In: *Statista* [online]. Hamburg: Statista GmbH [Zugriff am: 25.11.2021]. Verfügbar unter: <https://de-statista-com.thi.idm.oclc.org/statistik/daten/studie/588224/umfrage/oekologischer-fussabdruck-der-laender-mit-den-hoechsten-werten/>

GRIMMER, Claudia, 2021. *Wohin mit ausgepowerten E-Auto-Batterien* [online]. *Elektromobilität*. Hamburg: tagesschau.de, 28.06.2021 [Zugriff am: 10.11.2021]. Verfügbar unter: <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/technologie/batterien-elektroautos-recycling-101.html>

HANDELSBLATT, 2021. *Bundesregierung plant Quote für Abnahme von grünem Stahl durch Autobranche* [online]. *Klimaschutz*. Düsseldorf: Handelsblatt GmbH, 20.06.2021 [Zugriff am: 08.11.2021]. Verfügbar unter: <https://www.handelsblatt.com/politik/deutschland/klimaschutz-bundesregierung-plant-quote-fuer-abnahme-von-gruenem-stahl-durch-autobranche/27304814.html>

HAUFF, Michael von, 2021. *Nachhaltige Entwicklung* [online] *Grundlagen und Umsetzung*. 3., überarbeitete und erweiterte Auflage. Berlin: De Gruyter Oldenbourg [Zugriff am: 03.11.2021]. ISBN 978-3-11-072253-6. Verfügbar unter: <https://doi-org.thi.idm.oclc.org/10.1515/9783110722536>

HEGEMANN, Karl-Rudolf und Ralf GUDER, 2020. *Stahlerzeugung* [online]. *Integrierte Hüttenwerks- und Gasreinigungsanlagen*. Wiesbaden: Springer Vieweg [Zugriff am: 11.11.2021]. ISBN 978-3-658-29091-7. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1007/978-3-658-29091-7>

HINRICHS, Bernd, 2021. *Nachhaltigkeit als Unternehmensstrategie: Roadmap für nachhaltiges Wirtschaften und Innovation*. Freiburg: Haufe Group. ISBN 978-3-648-14811-2

HOLST, Alexander, Philipp BUDDEMEIER und Wolfgang MACHUR, 2018. Circular Economy – Deutsche Unternehmen auf dem Weg zu transformativen Geschäftsmodellen. In: Patrick BUNGARD, Hrsg. *CSR und Geschäftsmodelle* [online]. *Auf dem Weg zum zeitgemäßen Wirtschaften*. Berlin: Springer Gabler, S. 113-122. Management-Reihe Corporate Social Responsibility [Zugriff am: 25.10.2021]. ISBN 978-3-662-52882-2. Verfügbar unter: <https://doi-org.thi.idm.oclc.org/10.1007/978-3-662-52882-2>

HUBER, Andreas, 2021. *Was bringt das Tauschen statt Laden von E-Auto-Akkus* [online]. *Elektroauto-Batterie: CO2-Abdruck, Lebensdauer, kaufen, richtig laden, Recycling*. Berlin: Axel Springer SE, 27.10.2021 [Zugriff am: 10.11.2021]. Verfügbar unter: <https://www.autobild.de/artikel/elektroauto-batterie-co2-abdruck-lebensdauer-kaufen-richtig-laden-recycling-16202315.html>

HÄNSCH-PETERSEN, Lars, 2021. *10 Tipps für eine längere Lebensdauer Ihres Elektroauto-Akkus* [online]. Berlin: Axel Springer SE, 11.04.2021 [Zugriff am: 10.11.2021]. Verfügbar unter: <https://www.autobild.de/artikel/elektroauto-batterie-akku-lithium-ionen-pflege-tipps-19454827.html>

HÖLL, Dieter, 2017. *Aluminium – ein begehrter Werkstoff im Automobilbau* [online]. *Moderne Legierungen erfüllen hohe Ansprüche an Design, Funktion und Sicherheit*. Düsseldorf: VDI Fachmedien GmbH & Co. KG, 12.06.2017 [Zugriff am: 11.11.2021]. Verfügbar unter: <https://www.ingenieur.de/fachmedien/vdi-z/automobilindustrie/aluminium-ein-begehrter-werkstoff-im-automobilbau/>

IBU-TEC ADVANCED MATERIALS AG, [kein Datum]. *Kalzinierung* [online]. *Kalzinierung Ihrer Materialien in Drehrohröfen oder Pulsationsreaktoren*. Weimar: IBU-tec advanced materials AG [Zugriff am: 04.01.2022]. Verfügbar unter: <https://www.ibu-tec.de/expertise/prozesse/kalzinierung>

INITIATIVE ZINK, © 2021. *C2C – Das Designkonzept* [online]. Düsseldorf: Initiative ZINK [Zugriff am: 30.10.2021]. Verfügbar unter: <https://www.zink.de/zink/nachhaltigkeit/c2c-cradle-to-cradle/>

IONOS SE, 2019. *Sharing Economy* [online]. Montabaur: IONOS SE, 07.11.2019 [Zugriff am: 18.11.2021]. Verfügbar unter: <https://www.ionos.de/digitalguide/online-marketing/verkaufen-im-internet/sharing-economy-definition-vorteile-und-nachteile/>

JÖRGENSEN, Sveinung, Lars JACOB und Tynes PEDERSEN, 2018. *RESTART Sustainable Business Model Innovation* [online]. Cham: Palgrave Macmillan [Zugriff am: 28.10.2021]. ISBN 978-3-319-91971-3. Verfügbar unter: <https://doi-org.thi.idm.oclc.org/10.1007/978-3-319-91971-3>

KARLE, Anton, 2021. *Elektromobilität* [online]. *Grundlagen und Praxis*. 5., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. München: Hanser [Zugriff am: 01.11.2021]. ISBN 978-3-446-46861-0. Verfügbar unter: <https://doi-org.thi.idm.oclc.org/10.3139/9783446468610>

KIRCHHERR, Julian, Denise REIKE und Marko HEKKERT, 2017. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. In: *Resources, Conservation & Recycling* [online]. **12**(127), S. 221-232 [Zugriff am: 27.10.2021]. Elsevier. ISSN 1879-0658. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>

KRAFTFAHRT-BUNDESAMT, © 2021. *Jahresbilanz 2020* [online]. *Zahlen, Daten, Fakten*. Flensburg: Kraftfahrt-Bundesamt [Zugriff am: 03.11.2021]. Verfügbar unter: https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/Jahresbilanz_Neuzulassungen/jahresbilanz_node.html

KROPP, Ariane, 2019. *Grundlagen der Nachhaltigen Entwicklung: Handlungsmöglichkeiten und Strategien zur Umsetzung*. Wiesbaden: Springer Gabler [Zugriff am: 20.10.2021]. ISBN 978-3-658-23072-2. Verfügbar unter: <https://doi-org.thi.idm.oclc.org/10.1007/978-3-658-23072-2>

KUNTZ, Michael, 2010. *Aus Freude am Sparen* [online]. *Jahreswagen – mieten statt kaufen*. München: Süddeutsche Zeitung GmbH, 17.05.2010 [Zugriff am: 18.11.2021]. Verfügbar unter: <https://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/jahreswagen-mieten-statt-kaufen-aus-freude-am-sparen-1.162278>

KÖLLNER, Christiane, 2020. Neun Herausforderungen für die Automobilbranche. In: *Springer Professional* [online]. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 29.12.2020 [Zugriff am: 05.11.2021]. Verfügbar unter: <https://www.springerprofessional.de/mobilitaetskonzepte/transformation/neun-herausforderungen-fuer-die-automobilbranche/18653170>

LACY, Peter, Jakob RUTQVIST und Philipp BUDDEMEIER, 2015. *Wertschöpfung statt Verschwendung: Die Zukunft gehört der Kreislaufwirtschaft*. München: Redline Verlag. ISBN 978-3-86881-599-3

LACY, Peter, Jessica LONG und Wesley SPINDLER, 2020. *The Circular Economy Handbook: Realizing the Circular Advantage*. London: Palgrave Macmillan. ISBN 978-1-349-95967-9

LEHNÉ, Margarete, 104/2020. *KIT und Audi arbeiten an Recycling-Methode für automobile Kunststoffe* [online]. Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie, 19.05.2021 [Zugriff am: 09.11.2021]. Verfügbar unter:

https://www.kit.edu/kit/pi_2020_104_kit-und-audi-arbeiten-an-recycling-methode-fuer-automobile-kunststoffe.php

MARTENS, Hans und Daniel GOLDMANN, 2016. *Recyclingtechnik* [online]. *Fachbuch für Lehre und Praxis*. 2. Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg [Zugriff am: 09.11.2021]. ISBN 978-3-658-02786-5. Verfügbar unter: <https://doi-org.thi.idm.oclc.org/10.1007/978-3-658-02786-5>

MELLEN, Dirk und Tobias BECKER, 2018. Kunststoffe, In: Peter KURTH, Anno OEXLE und Martin FAULSTICH, Hrsg. *Praxishandbuch der Kreislauf- und Rohstoffwirtschaft* [online]. Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 327-346 [Zugriff am: 09.11.2021]. ISBN 978-3-658-17045-5. Verfügbar unter: <https://doi-org.thi.idm.oclc.org/10.1007/978-3-658-17045-5>

MOIA, © 2021. *MOIA, Hamburg* [online]. Berlin: MOIA GmbH [Zugriff am: 27.11.2021]. Verfügbar unter: <https://www.moia.io/de-DE/hamburg>

NAUMANN, Martina, 2020. *Abfallhierarchie: Das sind die fünf Stufen* [online]. München: Utopia GmbH, 13.07.2020 [Zugriff am: 18.11.2021]. Verfügbar unter: <https://utopia.de/ratgeber/abfallhierarchie-das-sind-die-fuenf-stufen/>

NOVELIS, © 2021. *Unser Unternehmen* [online]. Göttingen: Novelis [Zugriff am: 11.11.2021]. Verfügbar unter: <https://de.novelis.com/about-us/>

NOWAK, Alexander und Frank LEYMANN, 2018a. Ökologische Nachhaltigkeit. In: *Gabler Wirtschaftslexikon* [online]. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 19.02.2018 [Zugriff am: 19.10.2021]. Verfügbar unter: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/oekologische-nachhaltigkeit-53450/version-276539>

NOWAK, Alexander und Frank LEYMANN, 2018b. Ökonomische Nachhaltigkeit. In: *Gabler Wirtschaftslexikon* [online]. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 19.02.2018 [Zugriff am: 19.10.2021]. Verfügbar unter: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/oekonomische-nachhaltigkeit-53449/version-276538>

NOWAK, Alexander und Frank LEYMANN, 2018c. Soziale Nachhaltigkeit. In: *Gabler Wirtschaftslexikon* [online]. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 19.02.2018 [Zugriff am: 19.10.2021]. Verfügbar unter: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/soziale-nachhaltigkeit-53451/version-276540>

OSTERMANN, Friedrich, 2014. *Anwendungstechnologie Aluminium* [online]. 3., neu bearbeitete Auflage. Berlin: Springer Vieweg. VDI-trimet [Zugriff am: 31.11.2021]. ISBN 978-3-662-43807-7. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1007/978-3-662-43807-7>

PADBERG, Jürgen, 2020, Connected Car – Connected Customer: Die Automobilindustrie entdeckt den direkten Kundenkontakt. In: STADELMANN Martin, Mario PUFAHL und David LAUX, Hrsg. *CRM goes digital: Digitale Kundenschnittstellen in Marketing, Vertrieb und Service exzellent gestalten und nutzen* [online]. Wiesbaden: Springer Gabler, S. 181-198. Edition Sales Excellence [Zugriff am: 02.11.2021]. ISBN 978-3-658-27016-2. Verfügbar unter: <https://doi-org.thi.idm.oclc.org/10.1007/978-3-658-27016-2>

PLANBUREAU VOOR DE LEEFOMGEVING, 2017. *Waarom een circulaire economie* [online]. Den Haag: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency [Zugriff am: 27.10.2021]. Verfügbar unter: <https://themasites.pbl.nl/o/circulaire-economie/>

POTHEN, Frank und Christian GROWITSCH, 2019. *Stahl-Kreisläufe* [online]. *Stahl als Enabler der Kreislaufwirtschaft aus der Perspektive der Haushalte in Deutschland*. Halle: Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS [Zugriff am: 12.11.2021]. Verfügbar unter: https://www.stahl-online.de//wp-content/uploads/STUDIE_Stahl-als-Enabler-der-Kreislaufwirtschaft_Fraunhofer_IMWS_Web1-1.pdf

POTTING, José, Marko HEKKERT, Ernst WORRELL und Aldert HANEMAAIJER, 2017. Circular Economy: Measuring innovation in the product chain. In: *ResearchGate* [online]. Den Haag: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency [Zugriff am: 29.10.2021]. Verfügbar unter: https://www.researchgate.net/publication/319314335_Circular_Economy_Measuring_innovation_in_the_product_chain

PRESSCLUB DEUTSCHLAND, 2021. *Der BMW i Vision Circular* [online]. München: BMW AG, 06.09.2021 [Zugriff am: 16.12.2021]. Verfügbar unter: <https://www.press.bmwgroup.com/deutschland/article/detail/T0341253DE/der-bmw-i-vision-circular?language=de>

PUFÉ, Iris, 2017. *Nachhaltigkeit*. 3., überarbeitete und erweiterte Auflage. Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH. ISBN 978-3-8252-8705-4.

RAT FÜR NACHHALTIGE ENTWICKLUNG, © 2021. *Ressourcenschonung und Kreislaufwirtschaft* [online]. Berlin: Rat für Nachhaltige Entwicklung [Zugriff am: 10.12.2021]. Verfügbar unter: <https://www.nachhaltigkeitsrat.de/nachhaltige-entwicklung/ressourcenschonung-und-kreislaufwirtschaft/?cn-reloaded=1>

RECYCLINGPORTAL, 2019. *Das Recycling von Altbatterien ist ein entscheidender Zukunftsmarkt* [online]. Alling: MSV Mediaservice & Verlag GmbH, 18.01.2019 [Zugriff am: 14.11.2021]. Verfügbar unter: <https://recyclingportal.eu/Archive/45716>

RUDOLPH, Christian, 2018. Geschäftsmodell Circular Economy: Gegenwart und Zukunft der (erweiterten) Kreislaufwirtschaft. In: Patrick BUNGARD, Hrsg. *CSR und Geschäftsmodelle* [online]. *Auf dem Weg zum zeitgemäßen Wirtschaften*. Berlin: Springer Gabler, S. 123-138. Management-Reihe Corporate Social Responsibility [Zugriff am: 27.10.2021]. ISBN 978-3-52882-2. Verfügbar unter: <https://doi-org.thi.idm.oclc.org/10.1007/978-3-662-52882-2>

RÜGER, Michael, 2018. *Automobilhersteller müssen ihre Produktion neu aufstellen* [online]. München: Roland Berger GmbH, 13.06.2018 [Zugriff am: 01.11.2021]. Verfügbar unter: <https://www.rolandberger.com/de/Insights/Publications/Automobilhersteller-m%C3%BCssen-ihre-Produktion-neu-aufstellen.html>

SAILER, Ulrich, 2020. *Nachhaltigkeitscontrolling: Was Controller und Manager über die Steuerung der Nachhaltigkeit wissen sollten*. 3., überarbeitete Auflage. München: UVK Verlag. ISBN 978-3-8252-5332-5

SCHADE, Wolfgang, Christoph ZANKER, André KÜHN und Tim HETTESHEIMER, 2014. *Sieben Herausforderungen für die deutsche Automobilindustrie: Strategische Antworten im Spannungsfeld von Globalisierung, Produkt- und Dienstleistungsinnovationen bis 2030*. Berlin: Edition Sigma. Studien des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag. Nummer 40. ISBN 978-3-8360-8140-5

SCHMIDT, Herbie, 2021. Elektroauto-Batterien sind ein Musterbeispiel für Kreislaufwirtschaft. *Neue Zürcher Zeitung* [online]. Zürich: Neue Zürcher Zeitung, 23.01.2021 [Zugriff am: 13.11.2021]. Verfügbar unter: <https://www.nzz.ch/mobilitaet/auto-mobil/kreislaufwirtschaft-bei-batterien-fuer-elektroautos-ld.1597597>

SCHMITZ, Ralf 2018. Nichteisenmetalle, In: Peter KURTH, Anno OEXLE und Martin FAULSTICH, Hrsg. *Praxishandbuch der Kreislauf- und Rohstoffwirtschaft* [online]. Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 451-464 [Zugriff am: 16.11.2021]. ISBN 978-3-658-17045-5. Verfügbar unter: <https://doi-org.thi.idm.oclc.org/10.1007/978-3-658-17045-5>

SCHÖNMAYR, David, 2017. Industrielles Recycling automotiver Kunststoffe – wie entwickelt sich der Polymerwerkstoffkreislauf in der Automobilindustrie. In: *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft* [online]. **69**(11-12), S. 470-475 [Zugriff am: 19.11.2021]. Bibliothek der Technischen Hochschule Ingolstadt. ISSN 1613-7566. Verfügbar unter: <http://dx.doi.org.thi.idm.oclc.org/10.1007/s00506-017-0422-z>

STATISTA, 2018. Prognose der Anzahl der Neuzulassungen von Personenkraftwagen (Pkw) in Europa nach Art der Fahrzeugnutzung im Zeitraum der Jahre 2018 bis 2030 (in Millionen). In: *Statista* [online]. Hamburg: Statista GmbH [Zugriff am: 01.11.2021]. Verfügbar unter: <https://de-statista-com.thi.idm.oclc.org/statistik/daten/studie/875198/umfrage/prognostizierte-pkw-neuzulassungen-in-europa-nach-art-der-pkw-nutzung/>

STATISTA, 2021. Größte Automobilhersteller aus Deutschland nach Anzahl produzierter Fahrzeuge von 2015 bis 2020 (in Millionen). In: *Statista* [online]. Hamburg: Statista GmbH [Zugriff am: 01.11.2021]. Verfügbar unter: <https://de-statista-com.thi.idm.oclc.org/statistik/daten/studie/246827/umfrage/automobilproduktion-deutscher-hersteller/>

STATISTISCHES BUNDESAMT, 2021. Anzahl der Beschäftigten in der Automobilindustrie in Deutschland von 2010 bis 2020. In: *Statista* [online]. Hamburg: Statista GmbH [Zugriff am: 04.11.2021]. Verfügbar unter: <https://de-statista-com.thi.idm.oclc.org/statistik/daten/studie/30703/umfrage/beschaefigtetenzahl-in-der-automobilindustrie/>

STATISTISCHES BUNDESAMT, 076/2021. Industrieproduktion im Jahr 2020 um mehr als 10% gesunken: Automobilhersteller und Maschinenbauer besonders betroffen. In: *Statistisches Bundesamt* [online]. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt, 22.02.2021 [Zugriff am: 02.11.2021]. Verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/02/PD21_076_421.html

STATISTISCHES BUNDESAMT, 317/2021. Fünf Jahre Berichterstattung: Wie nachhaltig ist Deutschland: Zweiter Fortschrittsbericht der Bundesregierung beim weltweiten Forum für Nachhaltige Entwicklung. In: *Statistisches Bundesamt* [online]. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt, 05.07.2021 [Zugriff am: 20.10.2021]. Verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/07/PD21_317_325.html

STEININGER, Viktoria, 2019. *Die Rolle von Stahl in der Elektromobilität* [online]. Linz: Voestalpine AG, 22.03.2019 [Zugriff am: 08.11.2021]. Verfügbar unter: <https://www.voestalpine.com/blog/de/mobilitaet/automotive/die-rolle-von-stahl-in-der-elektromobilitaet/>

UMWELTBUNDESAMT, 2021a. *Altfahrzeugverwertung und Fahrzeugverbleib* [online]. Dessau-Roßlau: Bundesrepublik Deutschland, 02.08.2021 [Zugriff am: 05.11.2021]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/altfahrzeugverwertung-fahrzeugverbleib>

UMWELTBUNDESAMT, 2021b. *Kunststoffabfälle* [online]. Dessau-Roßlau: Bundesrepublik Deutschland, 11.01.2021 [Zugriff am: 09.11.2021]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/kunststoffabfaelle>

UMWELTBUNDESAMT, 2021c. *Ressourcennutzung und ihre Folgen* [online]. Dessau-Roßlau: Bundesrepublik Deutschland, 24.08.2021 [Zugriff am: 09.12.2021]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/ressourcennutzung-ihre-folgen>

UMWELTBUNDESAMT, 2021d. *Altbatterien* [online]. Dessau-Roßlau: Bundesrepublik Deutschland, 18.10.2021 [Zugriff am: 05.01.2021]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/altbatterien#im-jahr-2020-hat-deutschland-alle-von-der-eu-geforderten-mindestziele-erreicht>

UNITED NATIONS, © 2020. *Ziele für nachhaltige Entwicklung* [online]. *Bericht 2020*. New York: United Nations Publications [Zugriff am: 23.10.2021]. Verfügbar unter: <https://www.un.org/Depts/german/millennium/SDG%20Bericht%202020.pdf>

UTOPIA, 2019. *Cradle-to-Cradle – die Vision von der Kreislaufwirtschaft ohne Abfall* [online]. München: Utopia GmbH, 29.07.2019 [Zugriff am: 26.10.2021]. Verfügbar unter: <https://utopia.de/ratgeber/cradle-to-cradle-kreislaufwirtschaft/>

VCI, 2021. Umsatzanteile ausgewählter Industriebranchen am Verarbeitenden Gewerbe in Deutschland in den Jahren 2018 bis 2020. In: *Statista* [online]. Hamburg: Statista GmbH [Zugriff am: 31.10.2021]. Verfügbar unter: <https://de-statista-com.thi.idm.oclc.org/statistik/daten/studie/240956/umfrage/umsatzanteile-der-branchen-im-verarbeitenden-gewerbe-in-deutschland/>

VERBAND DER AUTOMOBILINDUSTRIE E.V. © 2021a. *Zeitstrahl – Innovationen der letzten 130 Jahre* [online]. Berlin: Verband der Automobilindustrie e.V. [Zugriff am: 16.10.2021]. Verfügbar unter: <https://en.vda.de/de/themen/innovation-und-technik/zeitstrahl/zeitstrahl-innovationen.html>

VERBAND DER AUTOMOBILINDUSTRIE E.V., © 2021b. *Volkswirtschaftliche Bedeutung der Automobilindustrie* [online]. Berlin: Verband der Automobilindustrie e.V. [Zugriff am: 02.11.2021]. Verfügbar unter: <https://www.vda.de/vda/de/themen/automobilindustrie/volkswirtschaftliche-bedeutung-der-ai>

VERIVOX, © 2021. *Elektroauto-Batterie* [online]. Heidelberg: Verivox GmbH [Zugriff am: 10.11.2021]. Verfügbar unter: <https://www.verivox.de/elektromobilitaet/themen/elektroauto-batterie/>

VETTER, Philipp, 2021. *Jetzt zittert die Autoindustrie vor der Klimaquote beim Stahl* [online]. Berlin: Axel Springer SE, 28.05.2021 [Zugriff am: 08.11.2021]. Verfügbar unter: <https://www.welt.de/wirtschaft/article231443729/Gruener-Wasserstoff-Jetzt-zittert-die-Autoindustrie-vor-der-Klimaquote-beim-Stahl.html>

VOLKSWAGEN GROUP NEWS, 2021. *Aus alt mach neu – Batterierecycling in Salzgitter* [online]. Wolfsburg: Volkswagen AG, 29.01.2021 [Zugriff am: 10.11.2021]. Verfügbar unter: <https://www.volkswagen-newsroom.com/de/stories/aus-alt-mach-neu-batterierecycling-in-salzgitter-6782>

WAGNER, Harry, Barbara KOCH und Fabian SEITZ, 2018. Cradle to Cradle in der Automobilindustrie. In: Harry WAGNER und Stefanie KABEL, Hrsg. *Mobilität 4.0 – neue Geschäftsmodelle für Produkt- und Dienstleistungsinnovationen* [online]. Wiesbaden: Springer Gabler, S. 245-270 [Zugriff am: 03.11.2021]. ISBN 978-3-658-21106-6. Verfügbar unter: <https://doi-org.thi.idm.oclc.org/10.1007/978-3-658-21106-6>

WALCHER, Dominik und Michael LEUBE, 2017. *Kreislaufwirtschaft in Design und Produktmanagement* [online]. *Co-Creation im Zentrum der zirkulären Wertschöpfung*. Wiesbaden: Springer Gabler. Essentials [Zugriff am: 26.10.2021]. ISBN 978-3-658-18512-1. Verfügbar unter: <https://doi-org.thi.idm.oclc.org/10.1007/978-3-658-18512-1>

WILKE, Felicitas, 2021. *Der Schatz im Schrott* [online] *Lithium-Ionen-Akkus*. Hamburg: ZEIT ONLINE GmbH, 05.05.2021 [Zugriff am: 10.11.2021]. Verfügbar unter: <https://www.zeit.de/mobilitaet/2021-04/lithium-ionen-akkus-elektro-auto-recycling-entsorgung/komplettansicht>

WINKELHAKE, Uwe, 2019. Herausforderungen bei der digitalen Transformation der Automobilindustrie. In: *Automobiltechnische Zeitschrift (ATZ)* [online]. **121**(7/8), S. 36-43 [Zugriff am: 29.11.2021]. Bibliothek der Technischen Hochschule Ingolstadt. ISSN 2192-8800. Verfügbar unter: <http://dx.doi.org.thi.idm.oclc.org/10.1007/s35148-019-0064-5>

WINKELHAKE, Uwe, 2021. *Die digitale Transformation der Automobilindustrie* [online]. *Treiber – Roadmap – Praxis*. 2. vollständig überarbeitete Auflage. Berlin: Springer Vieweg [Zugriff am: 31.10.2021]. ISBN 978-3-662-62102-8. Verfügbar unter: <https://doi-org.thi.idm.oclc.org/10.1007/978-3-662-62102-8>

WIRTSCHAFTSWOCHE, 2020. *Wo die Autoindustrie beim Recycling steht* [online]. Düsseldorf: WirtschaftsWoche, 11.04.2020 [Zugriff am: 08.11.2021]. Verfügbar unter: <https://www.wiwo.de/unternehmen/auto/batterien-reifen-russ-wo-die-autoindustrie-beim-recycling-steht/25722228.html>

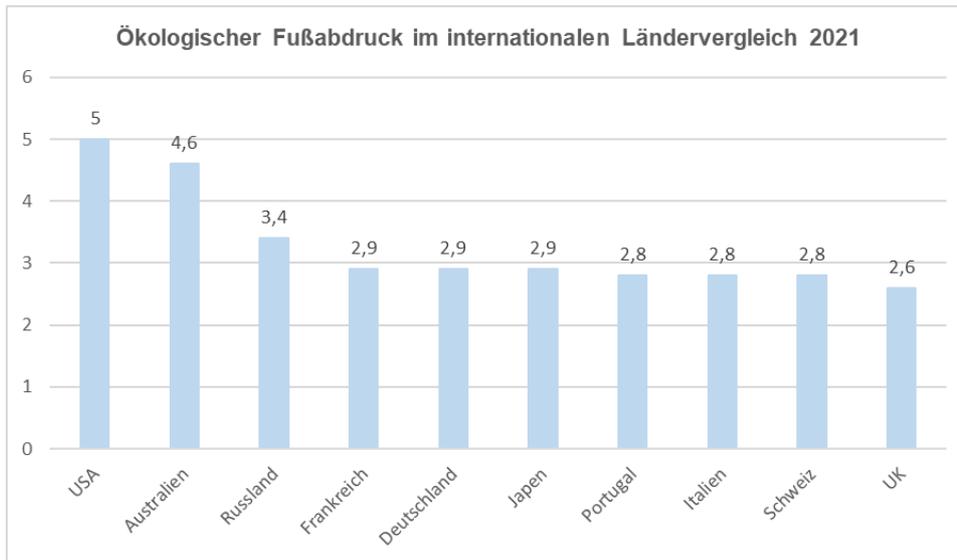
WORLD STEEL ASSOCIATION, © 2021. *About steel* [online]. *How is steel made*. Brüssel: World Steel Association AISBL [Zugriff am: 12.11.2021]. Verfügbar unter: <https://www.worldsteel.org/about-steel/about-steel.html>

YUGOV, 2019. Haben Sie schon mal ein Sharing-Angebot genutzt. In: *Statista* [online]. Hamburg: Statista GmbH [Zugriff am: 25.10.2021]. Verfügbar unter: <https://de-statista-com.thi.idm.oclc.org/statistik/daten/studie/1086186/umfrage/umfrage-zur-nutzung-von-angeboten-im-bereich-sharing-economy-in-deutschland/>

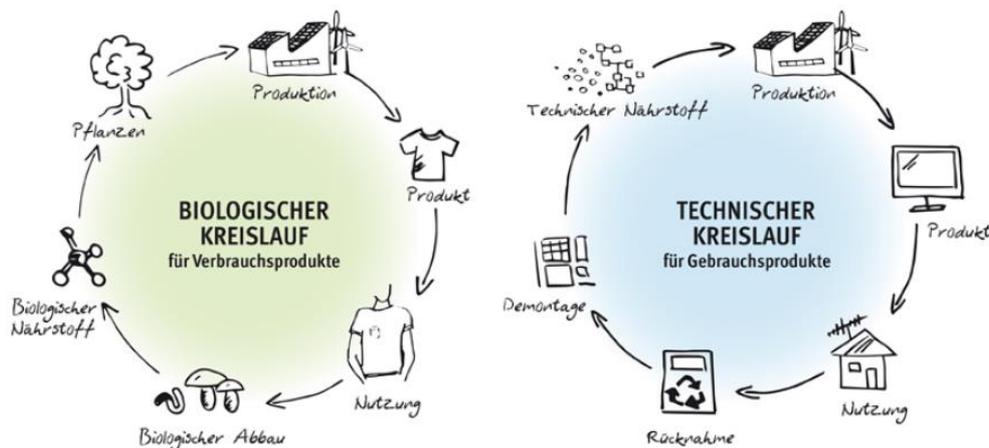
Anhangsverzeichnis

Anhang 1: Ökologischer Fußabdruck im internationalen Ländervergleich 2021	XXII
Anhang 2: Biologischer und technischer Kreislauf	XXII
Anhang 3: Haben Sie schon mal ein Sharing-Angebot genutzt?	XXII
Anhang 4: Umsatzanteile ausgewählter Industriebranchen am Verarbeitenden Gewerbe in Deutschland in den Jahren 2018 bis 2020	XXIII
Anhang 5: Größte Automobilzulieferer nach weltweitem Umsatz in den Jahren 2019 und 2020 (in Millionen Euro).....	XXIII
Anhang 6: Anzahl der Beschäftigten in der Automobilindustrie in Deutschland von 2010 bis 2020	XXIII
Anhang 7: Größte Automobilhersteller aus Deutschland nach Anzahl produzierter Fahrzeuge von 2015 bis 2020 (in Millionen).....	XXIV
Anhang 8: Prognose der Anzahl der Neuzulassungen von Personenkraftwagen (Pkw) in Europa nach Art der Fahrzeugnutzung im Zeitraum der Jahre 2018 bis 2030 (in Millionen)	XXIV
Anhang 9: Anteil der Elektroautos am Bestand der Personenkraftwagen in Deutschland von 2018 bis 2020 und Prognose bis 2030	XXV

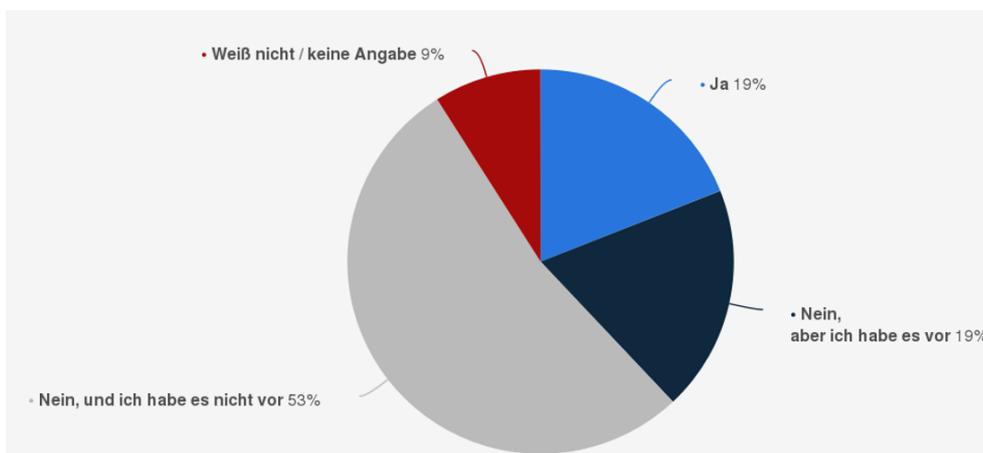
Anhang



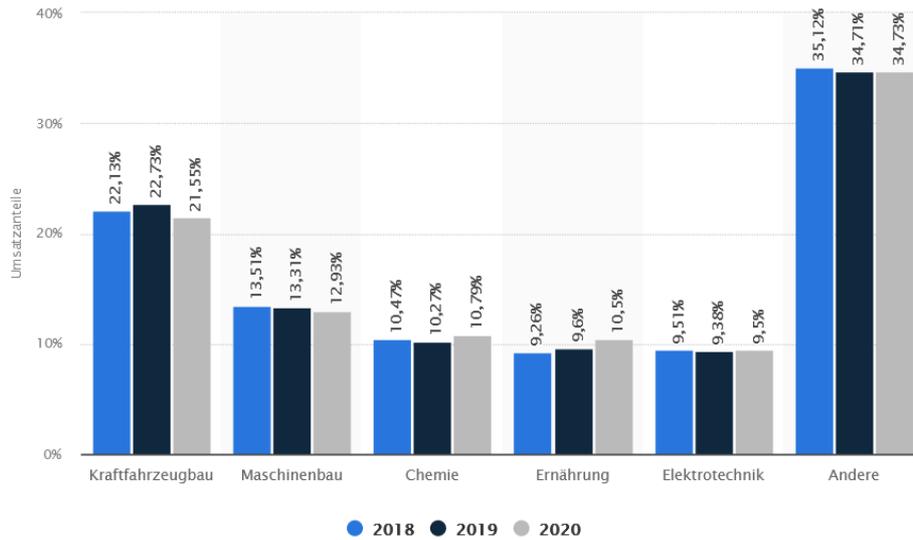
Anhang 1: Ökologischer Fußabdruck im internationalen Ländervergleich 2021 (in Anlehnung an Global Footprint Network, 2019)



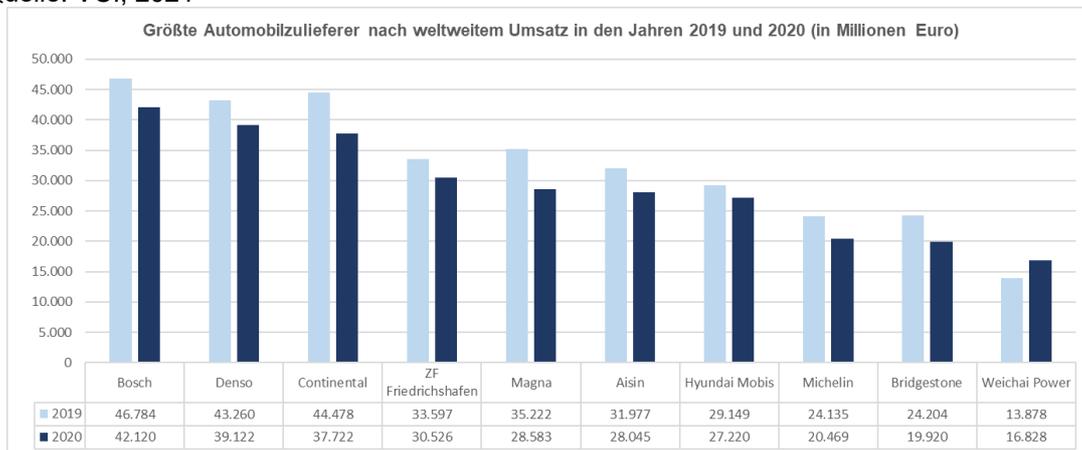
Anhang 2: Biologischer und technischer Kreislauf
Quelle: Initiative ZINK, © 2021



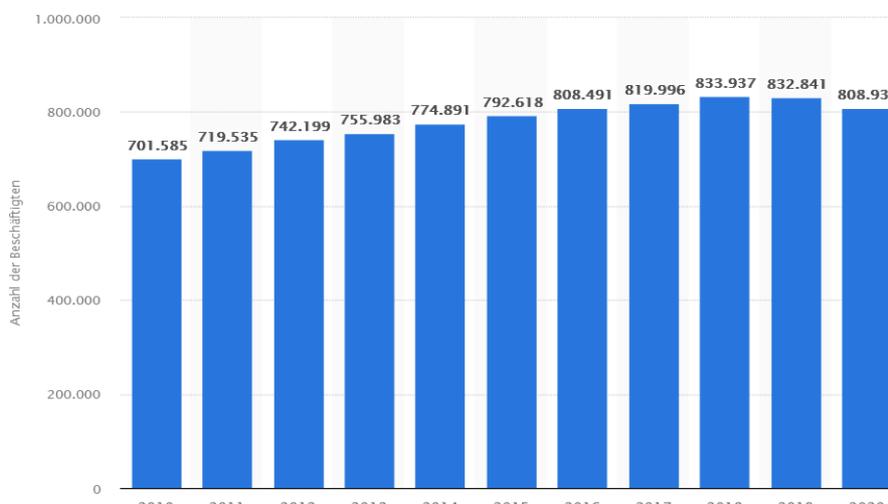
Anhang 3: Haben Sie schon mal ein Sharing-Angebot genutzt?
Quelle: YouGov, 2019



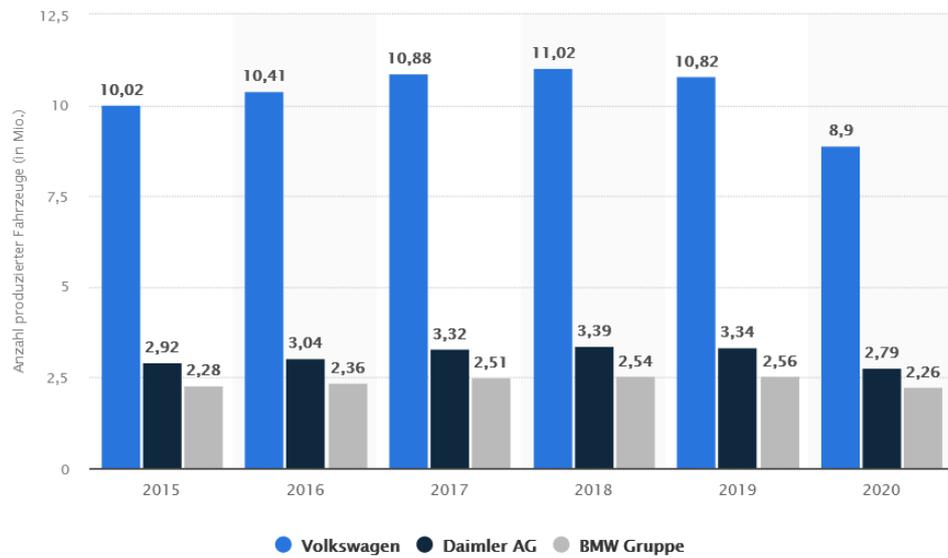
Anhang 4: Umsatzanteile ausgewählter Industriebranchen am Verarbeitenden Gewerbe in Deutschland in den Jahren 2018 bis 2020
 Quelle: VCI, 2021



Anhang 5: Größte Automobilzulieferer nach weltweitem Umsatz in den Jahren 2019 und 2020 (in Millionen Euro)
 Quelle: In Anlehnung an Berylls Strategy Advisors, 2021

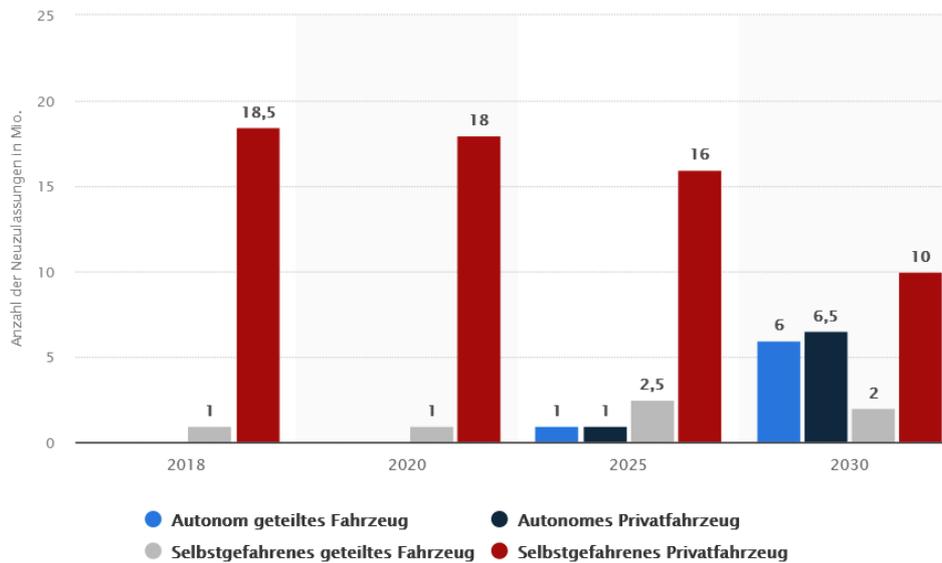


Anhang 6: Anzahl der Beschäftigten in der Automobilindustrie in Deutschland von 2010 bis 2020
 Quelle: Statistisches Bundesamt, 2021



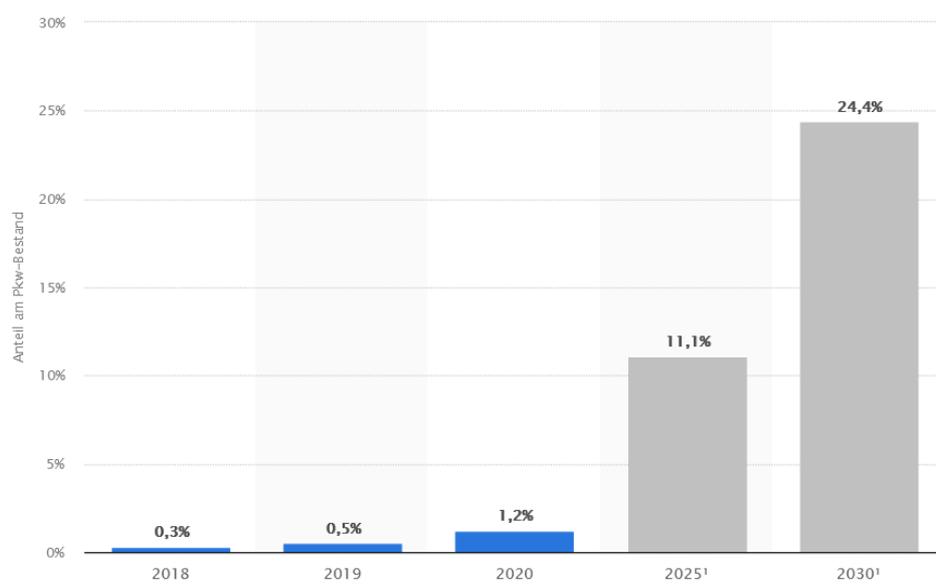
Anhang 7: Größte Automobilhersteller aus Deutschland nach Anzahl produzierter Fahrzeuge von 2015 bis 2020 (in Millionen)

Quelle: Statista, 2021



Anhang 8: Prognose der Anzahl der Neuzulassungen von Personenkraftwagen (Pkw) in Europa nach Art der Fahrzeugnutzung im Zeitraum der Jahre 2018 bis 2030 (in Millionen)

Quelle: Statista, 2018



Anhang 9: Anteil der Elektroautos am Bestand der Personenkraftwagen in Deutschland von 2018 bis 2020 und Prognose bis 2030
Quelle: Autohaus, 2020



Erklärung nach § 18 Abs. 4 Nr. 7 APO HI

Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die Arbeit selbständig verfasst, noch nicht anderweitig für Prüfungszwecke vorgelegt, keine anderen als die angegebenen Quellen oder Hilfsmittel benützt sowie wörtliche und sinngemäße Zitate als solche gekennzeichnet habe.

Ampermoching, 14.01.2022
(Datum)

Steve Schmidt
(Unterschrift)
Vorname Name