



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

Ich habe zur Kenntnis genommen, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

Diplomarbeit

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Ich erkläre weiters Eides statt, dass ich meine Diplomarbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen selbstständig ausgeführt habe und alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, genannt habe.

Weiters erkläre ich, dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch Ausland (einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Wien, im Mai 2023

Vorname Nachname

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen Personen bedanken, die mich bei der Erstellung dieser Diplomarbeit sowohl fachlich als auch persönlich begleitet und unterstützt haben.

Ein besonderer Dank gilt dem Betreuerteam seitens der Technischen Universität Wien, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sebastian Schlund und Univ.-Ass. Dipl.-Ing. Fabian Holly B.Sc. sowie seitens der EFS Unternehmensberatung GesmbH, Günther Kolar und Constantin Magos. Vor allem die regelmäßigen Termine zur Besprechung des Diplomarbeitfortschritts und zur Klärung organisatorischer Fragepunkte haben sich für die Abwicklung dieser wissenschaftlichen Arbeit als überaus nützlich erwiesen.

Des Weiteren möchte ich mich herzlich bei allen Personen bedanken, die sich die Zeit genommen haben, um an den Interviews dieser Arbeit teilzunehmen. Ihre Beiträge waren von unschätzbarem Wert für die Durchführung dieser Studie.

Nicht zuletzt möchte ich mich bei meiner Familie bedanken, die mich nicht nur während meines Studiums, sondern auf meinem gesamten Lebensweg tatkräftig unterstützt hat. Ganz besonderer Dank gilt meinem Vater, Leopold, welcher immer in kürzester Zeit die benötigten Abschnitte korrekturgelesen hat und mit dem ich häufig anregende Diskussionen über die Inhalte dieser Arbeit geführt habe.

Zudem möchte ich mich bei meinen Freunden für ihren Rückhalt und ihre Unterstützung während meines Studiums bedanken.

Kurzfassung

Die meisten Unternehmen stehen derzeit vor der Herausforderung, welche zirkulären Geschäftsmodelle („Circular Business Model“, CBM) für ihre Organisation am besten geeignet sind, um eine größtmögliche Zirkularität ihrer Ressourcen zu erzielen. Insbesondere klein- und mittelständische Unternehmen (KMUs), deren Geschäftsmodelle und strategische Entscheidungen von einer Vielzahl spezifischer Faktoren und Anforderungen beeinflusst werden, benötigen einen umfassenden Ansatz zur Bewältigung dieser Herausforderung. Das Hauptziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines Ansatzes zur Entscheidungsunterstützung für KMUs im Maschinen-, Fahrzeug- und Anlagenbau in Industrieländern. Der Fokus liegt darauf, KMUs zu befähigen, das für ihr Unternehmen am besten geeignete CBM auszuwählen. Auf Grundlage einer Literaturrecherche wurden die fünf am häufigsten genannten CBMs und zwölf allgemeine Erfolgsfaktoren („Success Factor“, SF) identifiziert und mit Hilfe einer multikriteriellen Entscheidungsanalyse (MCDA) namens Fuzzy PROMETHEE bewertet. Die Methode ist in zwei Phasen unterteilt. In der ersten Phase wurden die identifizierten SFs durch qualitative Interviews mit Kreislaufwirtschaftsexpert*innen validiert und gewichtet. In Phase zwei wurden Entscheidungsträger*innen von KMUs zur Bewertung der CBMs anhand der SFs befragt.

Die Ergebnisse sind die Rankings der SFs und der CBMs. Die Rangreihenfolge der SFs indiziert, dass die wichtigsten Faktoren für die erfolgreiche Entwicklung und Umsetzung von CBMs in erster Linie Aspekte, wie die kreislaufwirtschaftsorientierte Aus- und Weiterbildung, Aufklärung und Motivation, gefolgt von der Zusammenarbeit und Kollaboration mit allen Interessensgruppen sowie der separaten Bereitstellung interner Finanzmittel für den Transformationsprozess sind. Nichtsdestotrotz haben alle behandelten SFs eine erhebliche Relevanz für CBMs und sollten nicht vernachlässigt werden. Insbesondere für KMUs kann die gleichzeitige Berücksichtigung einer Vielzahl von Faktoren überwältigend sein. Das Ranking gibt einen Hinweis darauf, in welcher Reihenfolge die SFs für die Planung der Einführung von CBMs priorisiert werden sollen. Gemäß der Rangfolge der CBMs ist das Circular Supplies Model das am besten geeignete CBM für KMUs, gefolgt vom Resource Recovery Model, Product Lifecycle Extension Model, Product-Service-Systems und Sharing-Platforms. Dies bedeutet jedoch nicht, dass ein CBM die anderen ausschließt. Basierend auf den Merkmalen der anderen CBMs könnte das Circular Supplies Model als Grundlage für die Einführung der anderen CBMs in der Reihenfolge des Rankings dienen.

Abstract

Most companies are currently facing the question which circular business models (CBMs) are best suited for their organization to achieve the highest possible circularity of their resources. Especially small and medium-sized enterprises (SMEs), whose business models as well as strategic decisions are influenced by a multitude of specific factors and requirements need a thorough approach to conquer this challenge. Therefore, the main objective of this study is to develop a decision support approach for SMEs in machinery, automotive and plant engineering in industrialized countries. The focus is to enable SMEs to choose the most appropriate CBM for their organization. Based on a literature review, the five most frequently mentioned CBMs and twelve general success factors (SFs) have been identified and evaluated using a multi-criteria decision analysis method (MCDA) called Fuzzy PROMETHEE. The method is divided into two phases. In phase one, the identified SFs were validated and weighted through qualitative interviews with circular economy experts. In phase two, decision makers of SMEs were interviewed to evaluate the CBMs against the SFs.

The results are the rankings of the SFs and the CBMs. The ranking of the SFs shows that the most important factors for the successful development and implementation of CBMs are primarily aspects such as training, education and motivation, followed by cooperation and collaboration with all internal and external stakeholders and the separate allocation of internal financial resources for the transformation process. Nevertheless, all addressed SFs have a significant relevance for CBMs and should not be neglected. Especially for SMEs, however, a simultaneous consideration of a multitude of factors can be overwhelming. The ranking provides an indication of in which order the SFs should be prioritized for planning the introduction of CBMs. According to the ranking of CBMs, the Circular Supplies Model is the most appropriate CBM for SMEs, followed by the Resource Recovery Model, Product Lifecycle Extension Model, Product-Service-Systems, and Sharing-Platforms. However, this does not mean that one CBM excludes the others. Based on the characteristics of the other CBMs, the Circular Supplies Model could serve as the basis for introducing the other CBMs in the order of ranking.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Ausgangssituation, Problemstellung und Problemdefinition	1
1.2	Forschungsfragen und Ziel dieser Arbeit.....	2
1.3	Methodische Vorgehensweise und Struktur der Arbeit.....	3
2	Theoretische Grundlagen.....	6
2.1	Kreislaufwirtschaft	6
2.1.1	Begriffsdefinition der Kreislaufwirtschaft	6
2.1.2	Strategien der Kreislaufwirtschaft	8
2.2	Klimaschutz und Kreislaufwirtschaft in der EU	14
2.2.1	Der Europäische Grüne Deal.....	14
2.2.2	Der Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft.....	14
2.3	Klein- und mittelständische Unternehmen im Allgemeinen.....	16
2.3.1	Definition von klein- und mittelständischen Unternehmen	16
2.3.2	Differenzierungsmerkmale zu Großunternehmen	18
2.3.3	Innovationsverhalten klein- und mittelständischer Unternehmen	20
2.4	Geschäftsmodelle und Kreislaufwirtschaft.....	21
2.4.1	Geschäftsmodelle im Allgemeinen.....	21
2.4.2	Kreislaufwirtschaftsfähige Geschäftsmodelle.....	26
2.4.3	Geschäftsmodell-Innovation und Kreislaufwirtschaft.....	30
2.5	Grundlagen für die Analyse und Auswahl von zirkulären Geschäftsmodellen 33	
2.5.1	Unsicherheit, Wirkung und Kausalität	33
2.5.2	Methoden zur Analyse und Auswahl von Geschäftsmodellen	35
2.6	Grundlagen des „Multi-Criteria Decision-Making“ Ansatzes	37
2.6.1	Bedeutung multikriterieller Entscheidungsverfahren	37
2.6.2	Kernelemente der MCDA	38
2.6.3	Einteilung von MCDA-Methoden.....	39
2.6.4	Durchführung von MCDAs	40
3	State of the Art Recherche	44
3.1	Zirkuläre Geschäftsmodelle (Circular Business Models)	46
3.1.1	Circular Supplies Model (CSM).....	48

3.1.2	Resource Recovery Model (RRM)	51
3.1.3	Product Lifecycle Extension Model (PLE)	54
3.1.4	Product-Service Systems (PSS)	57
3.1.5	Sharing Platforms (SP)	59
3.2	Erfolgsfaktoren zur Einführung von zirkulären Geschäftsmodellen	62
3.2.1	Produkte und Services	62
3.2.2	Ressourcen	64
3.2.3	Technologie und Infrastruktur	65
3.2.4	Netzwerk und Partnerschaften	67
3.2.5	Wirtschaftlichkeit und finanzielle Nachhaltigkeit	68
3.3	Zusammenfassung	70
4	Anwendung von Fuzzy PROMETHEE	73
4.1	Beschreibung der Methode	74
4.1.1	PROMETHEE Methode	74
4.1.2	Fuzzy-Set-Theorie	75
4.1.3	Fuzzy PROMETHEE Methode	78
4.2	Durchführung der Methode	84
4.2.1	Aufbau und Vorgehensweise	84
4.2.2	Festlegung der Alternativen und Kriterien	86
4.2.3	Gewichtung der Kriterien	89
4.2.4	Bewertung der Alternativen anhand der Kriterien	91
4.3	Darstellung und Zusammenfassung der Ergebnisse	93
4.3.1	Ranking der Kriterien	93
4.3.2	Ranking der Alternativen	94
5	Validierung der Ergebnisse	99
5.1	Sensitivitätsanalyse	99
5.2	Vergleichsanalyse	104
5.2.1	Ergebnisse von Fuzzy ELECTRE I	104
5.2.2	Ergebnisse von Fuzzy TOPSIS	105
5.3	Zusammenfassung und kritische Reflexion der Validierung	106
6	Diskussion und Ausblick	108
6.1	Beantwortung der Forschungsfragen	108

6.2	Diskussion der Ergebnisse	110
6.3	Einschränkung der Ansätze und Ergebnisse	113
6.4	Ausblick	114
7	Anhang	115
7.1	Zusammenfassungen Interviewphase 1	115
7.1.1	Experteninterview – Person 1	115
7.1.2	Experteninterview – Person 2	116
7.1.3	Experteninterview – Person 3	118
7.1.4	Experteninterview – Person 4	120
7.1.5	Experteninterview – Person 5	121
7.1.6	Experteninterview – Person 6	122
7.1.7	Experteninterview – Person 7	124
7.1.8	Experteninterview – Person 8	126
7.1.9	Experteninterview – Person 9	128
7.1.10	Experteninterview – Person 10	130
7.1.11	Experteninterview – Person 11	132
7.1.12	Experteninterview – Person 12	134
7.1.13	Experteninterview – Person 13	136
7.1.14	Experteninterview – Person 14	138
7.1.15	Experteninterview – Person 15	140
7.2	Zusammenfassungen Interviewphase 2	142
7.2.1	Bewertungen des CSM	142
7.2.2	Bewertungen des RRM	144
7.2.3	Bewertungen des PLE	146
7.2.4	Bewertungen des PSS	148
7.2.5	Bewertungen der SP	150
7.3	Anhang Vergleichsanalyse	152
7.3.1	Fuzzy ELECTRE I	152
7.3.2	Fuzzy TOPSIS	157
8	Literaturverzeichnis	160
9	Abbildungsverzeichnis	175
10	Formelverzeichnis	176

11	Tabellenverzeichnis	177
12	Abkürzungsverzeichnis	179

1 Einleitung

Der Klimawandel und die Zerstörung der Umwelt sind substantielle Gefahren für Europa und die Welt. In den nächsten vierzig Jahren soll laut Prognosen der globale Bedarf an Biomasse, fossilen Brennstoffen, Metallen, Mineralien und anderen Materialien um mehr als das Doppelte ansteigen und ein kritisches Niveau erreichen. Die Entnahme natürlicher Rohstoffe aus der Umwelt und dessen Weiterverarbeitung verursacht ca. 50 Prozent der Treibhausgasemissionen und ist Hauptgrund für Biodiversitätsverlust und Wassermangel. Um dieser ökologischen, politischen und gesellschaftlichen Krise entgegenzuwirken, ist ein ideologisches Umdenken in Bezug auf Produktion sowie Konsumverhalten erforderlich.¹ Dazu sind Alternativen zu einem System gefordert, welches auf die kontinuierliche Nutzung natürlicher Ressourcen angewiesen ist. Ein derartiges alternatives Wirtschaftskonzept repräsentiert die Kreislaufwirtschaft (CE).²

1.1 Ausgangssituation, Problemstellung und Problemdefinition

Um die Strategien der CE in einem Unternehmen erfolgreich implementieren zu können, bedarf es einer organisatorischen Umwandlung bestehender Geschäftsmodelle („*Business Models*“, BM) zu kreislaufwirtschaftsfähigen bzw. zirkulären Geschäftsmodellen, den sogenannten „*Circular Business Models*“ (CBM). Diese beruhen darauf, den Ressourcenverbrauch möglichst gering zu halten und dabei so viel wirtschaftlichen Wert wie möglich zu generieren.³

Die meisten Unternehmen stehen aktuell vor der Frage, welche CBMs am besten für ihre Organisation geeignet sind, um eine möglichst hohe Zirkularität ihrer Ressourcen zu erreichen.⁴ In der facheinschlägigen Literatur wurden bereits einige Instrumente zur Entscheidungsunterstützung entwickelt, die den Übergang zur CE erleichtern. Darunter befinden sich Methoden zur Überprüfung des Nachhaltigkeitsniveaus von Unternehmen, Werkzeuge zur Lösung spezifischer Probleme und Szenarioanalysen sowie Studien zum Vergleich von kreislaufwirtschaftsbezogenen mit linearen Verhaltensweisen.⁵ Jedoch liefern diese Studien nur pauschalisierte Aussagen zur Auswahl von CBMs und nehmen wenig bis gar keinen Bezug auf KMUs, deren BMs

¹ Vgl. Europäische Kommission, 2020.

² Vgl. Herrmann & Vetter, 2021, S. 16.

³ Vgl. Geissdoerfer et al., 2020, S. 2.

⁴ Vgl. Toker & Görener, 2022.

⁵ Vgl. Rosa et al., 2019.

sowie unternehmerische Entscheidungen durch eine Vielzahl spezifischer Einflussfaktoren und Anforderungen beeinflusst werden.⁶

Toker und Görener (2022) haben versucht mit ihrer Studie „*Evaluation of circular economy business models for SMEs using spherical fuzzy TOPSIS: an application from a developing countries' perspective*“ diese Forschungslücke zu schließen. Auf Basis einer Literaturrecherche und Experteninterviews wurden Kriterien zur Auswahl von vier definierten CBMs identifiziert und anhand der Fuzzy TOPSIS („*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*“) Methode wurde eine Empfehlung zur Auswahl von CBMs für KMUs in Entwicklungsländern abgegeben. Toker und Görener kamen zu dem Schluss, dass es durch die kontinuierliche und immer intensivere Weiterentwicklung der CE kein Optimum für alle Arten der Volkswirtschaft gibt. Um die Hypothesen von Toker und Görener (2022) zu belegen bzw. zu widerlegen bedarf es einer Studie für Industrieländer.⁷

Zur Schließung dieser Forschungslücke werden im nachfolgenden Kapitel Forschungsfragen definiert, um einen Ansatz zur Entscheidungsunterstützung bei der Auswahl von CBMs für KMUs im Maschinen-, Fahrzeug- und Anlagenbau in Industrieländern zu entwickeln.

1.2 Forschungsfragen und Ziel dieser Arbeit

Diese Diplomarbeit behandelt die Hauptforschungsfrage (Main Research Question – MQ):

„Wie können klein- und mittelständische Unternehmen im Maschinen-, Fahrzeug- und Anlagenbau in Industrieländern bei der Auswahl von zirkulären Geschäftsmodellen unterstützt werden?“

Aus der Hauptforschungsfrage resultieren folgende Subforschungsfragen (Subresearch Questions – SQ):

- **SQ₁**: *„Was ist der Stand der Forschung bezüglich CBMs?“*
- **SQ₂**: *„Welche Erfolgsfaktoren müssen KMUs im Maschinen-, Fahrzeug- und Anlagenbau in Industrieländern für die Einführung der identifizierten CBMs berücksichtigen?“*
- **SQ₃**: *„Welche CBMs sind für KMUs im Maschinen-, Fahrzeug- und Anlagenbau in Industrieländern am besten geeignet?“*

Das Hauptziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines Ansatzes zur Entscheidungsunterstützung für KMUs im Maschinen-, Fahrzeug- und Anlagenbau in

⁶ Vgl. Becker et al., 2013.

⁷ Vgl. Toker & Görener, 2022.

Industrieländern. Dabei wird der Fokus auf die Frage gelegt, welches CBM von KMUs in Industrieländern, die zu einem CE-Konzept übergehen, bevorzugt werden sollte. Zur Beantwortung der Hauptforschungsfrage ist es notwendig, relevante CBMs und deren SFs für deren Implementierung in einem produzierenden Unternehmen zu identifizieren. Basierend auf den erarbeiteten SFs wird eine Empfehlung, welche CBMs am besten geeignet sind, abgegeben. Dadurch werden KMUs befähigt eine schnelle und effiziente Wahl zu treffen.

Zusammengefasst ergeben sich folgende Forschungsziele (Objectives – O):

- **O₁**: Darstellung des Forschungsstandes von CBMs.
- **O₂**: Identifizierung der Erfolgsfaktoren, die produzierende Unternehmen im Maschinen-, Fahrzeug- und Anlagenbau in Industrieländern berücksichtigen müssen, um CBMs zu implementieren.
- **O₃**: Bewertung und Reihung der identifizierten CBMs nach Eignung für KMUs im Maschinen-, Fahrzeug- und Anlagenbau in Industrieländern anhand der festgelegten Erfolgsfaktoren.

1.3 Methodische Vorgehensweise und Struktur der Arbeit

Zur Beantwortung der Forschungsfragen wird der strukturierte Problemlösungsansatz des „*Design Science Research*“ (DSR) nach Hevner et al. (2004) herangezogen. Bei diesem Konzept handelt es sich um einen rigorosen Prozess, der neben dem Entwerfen von Artefakten zur Lösung festgestellter Probleme, die Mitwirkung an der Forschung, die Bewertung der Entwürfe und die Kommunikation der Ergebnisse an die richtigen Adressaten umfasst. DSR unterstützt beim effektiveren und effizienteren Analysieren, Entwerfen, Implementieren und Nutzen neuartiger Lösungen für Informationssysteme.⁸

Des Weiteren wird das iterative Prozessmodell aus „*Design Science Research Method for Information Systems Research*“ von Peffers et al. (2007) herangezogen, welches folgende sechs Phasen zur Durchführung von Designwissenschaft beinhaltet: (1) Problemidentifikation und -motivation, (2) Definition der Ziele der Lösung, (3) Entwurf und Entwicklung, (4) Demonstration, (5) Evaluierung und (6) Kommunikation. Bei dieser Arbeit wird die Phase der Evaluierung, welche die Überprüfung der Effizienz und Effektivität der Lösung vorsieht,⁹ durch einen Validierungsprozess ersetzt.

⁸ Vgl. Hevner et al., 2004.

⁹ Vgl. Peffers et al., 2007, S. 52–56.

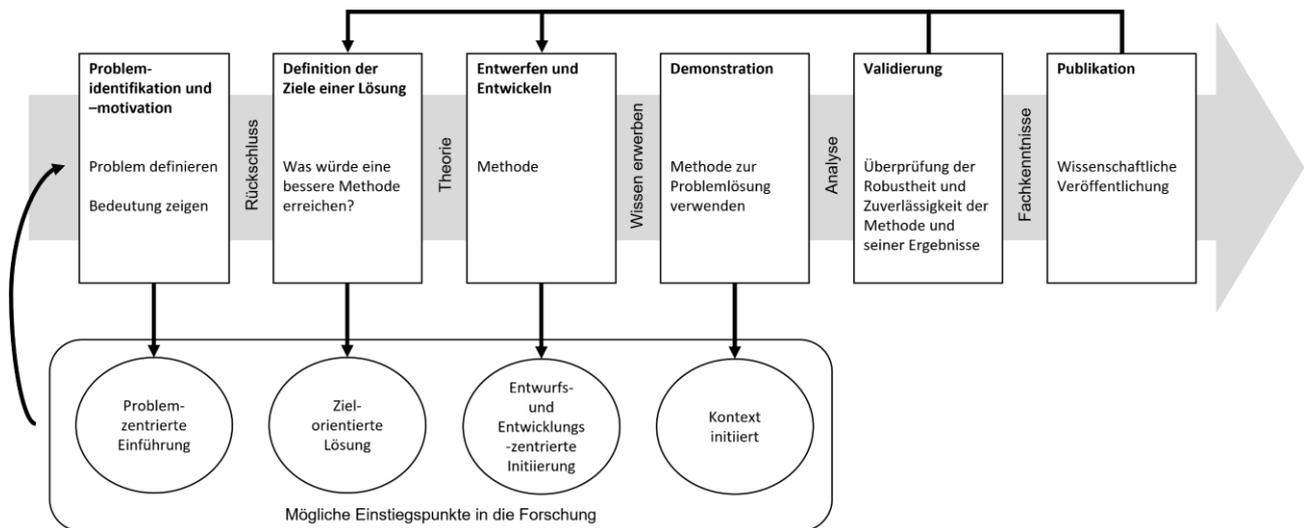


Abbildung 1: Design Science Research Methode Prozessmodell¹⁰

1. Problemidentifikation und -motivation: Definition der Problemstellung und Begründung der Bedeutsamkeit der Lösungen.
2. Definition der Ziele der Lösung
3. Entwurf und Entwicklung: Erstellung der Methode
4. Demonstration: Verwendung der Methode zur Lösung des Problems
5. Validierung: Überprüfung der Robustheit und Zuverlässigkeit der Methode und seiner Ergebnisse
6. Kommunikation: Offenlegung der Problemstellung und seiner Bedeutung, der Ziele, der Methode, der Nutzen und der Wirksamkeit

Um einen Ansatz zur Entscheidungsunterstützung zur Auswahl von CBMs zu entwickeln, ist die vorliegende Arbeit in weitere fünf Kapitel unterteilt. Zuerst wird in Kapitel 2 ein Überblick über die theoretischen Grundlagen über die CE, KMUs, BMs, CBMs und die theoretischen Ausgangspunkte für die Analyse und Auswahl von CBMs sowie über multikriterielle Entscheidungsverfahren offengelegt.

In Kapitel 3 wird zur Darstellung des Wissens- und Forschungsstandes bezüglich CBMs und deren SFs eine systematische Literaturanalyse durch Kombination der Verfahren nach Ritschl et al. (2016)¹¹ und Webster und Watson (2002)¹² durchgeführt.

Zur Auswertung der Ergebnisse wird in Kapitel 4 die Fuzzy PROMETHEE („*Preference Ranking Organization Method for the Enrichment of Evaluations*“) Logik herangezogen. Zunächst werden die theoretischen Grundlagen der Methode sowie die dafür erforderlichen mathematischen Operationen dargestellt. Anschließend wird die Methode für die vorliegende Problemstellung angewendet. Zur Sammlung der für die Bewertungsmethode erforderlichen Daten werden problemzentrierte Interviews nach

¹⁰ Vgl. Peffers et al., 2007, S. 54.

¹¹ Vgl. Ritschl et al., 2016.

¹² Vgl. Webster & Watson, 2002.

Witzel (2000) mit Kreislaufwirtschaftsexpert*innen und Entscheidungsträger*innen von KMUs durchgeführt.¹³

Um die gewählte Methode und ihre Ergebnisse zu validieren, wird im Kapitel 5 eine Sensitivitätsanalyse zur Prüfung der Robustheit der Ergebnisse sowie eine Vergleichsanalyse anhand alternativer MCDA-Methoden, um die Zuverlässigkeit der Ergebnisse und Anwendbarkeit der Methode zu bewerten, vollzogen.

Im abschließenden Kapitel werden die Forschungsfragen dieser Arbeit beantwortet, die Ergebnisse, deren Auswirkungen und Limitationen diskutiert sowie Empfehlungen für weitere Forschungsvorhaben abgegeben.

¹³ Vgl. Witzel, 2000.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Kreislaufwirtschaft

2.1.1 Begriffsdefinition der Kreislaufwirtschaft

Wie viele andere Termini, die im Zusammenhang mit Nachhaltigkeit stehen, variiert auch der Begriff der CE in seiner Definition. Grund dafür ist, dass in den vergangenen Jahrzehnten bislang zahlreiche Studien mit unterschiedlichen Perspektiven und Interpretationen zu dieser Thematik veröffentlicht wurden.¹⁴

Um den Begriff der CE eindeutig zu definieren, bedarf es einer Annäherung an und Gegenüberstellung mit der traditionellen linearen Wirtschaft. Die lineare Wirtschaft ist charakterisiert durch die Gewinnung der erforderlichen Ressourcen aus der Umwelt zur Herstellung von Produkten, der Nutzung und der anschließenden Entsorgung dieser Produkte. Dieses Modell sieht keine Wiederverwendung von Ressourcen oder Produkten vor und wird als "Wegwerfwirtschaft" bezeichnet.¹⁵ In der folgenden Abbildung ist das System der linearen Wirtschaft schematisch nach den Prinzipien Entnehmen („Take“), Erzeugen („Make“) und Entsorgen („Dispose“) veranschaulicht.



Abbildung 2: Modell der Linearen Wirtschaft

Der linearen Wirtschaft steht die CE gegenüber. Diese zielt primär auf die Maximierung der Nutzungsdauer von Produkten und Materialien sowie auf die weitgehende Schließung von Ressourcenkreisläufen ab. Dabei liegt der Fokus auf der Reduktion der aus der Umwelt entnommenen Ressourcen sowie der im Laufe der produzierenden Tätigkeiten erzeugten Abfälle und Emissionen. Um dies zu gewährleisten, ist ein Umdenken in Bezug auf Produktion und Konsumverhalten erforderlich. Aus der Umwelt entnommene Materialien und die daraus entstandenen Produkte werden auch nach dem Produktlebensende bestmöglich genutzt, wiederverwendet, repariert, aufgearbeitet und recycelt.¹⁶ In Abbildung 3 ist das Modell des Wirtschaftssystems CE ersichtlich.

¹⁴ Vgl. Kirchherr et al., 2017.

¹⁵ Vgl. Herrmann & Vetter, 2021, S. 16.

¹⁶ Vgl. Herrmann & Vetter, 2021, S. 16 f.

Die CE kann definiert werden „als ein regeneratives System, in dem Ressourceninput und Abfall, Emissionen und Energieverluste durch Verlangsamung, Schließung und Verengung von Material- und Energiekreisläufen minimiert werden. Dies kann durch langlebiges Design, Wartung, Reparatur, Wiederverwendung, Wiederaufbereitung, Aufarbeitung und Recycling erreicht werden.“¹⁷

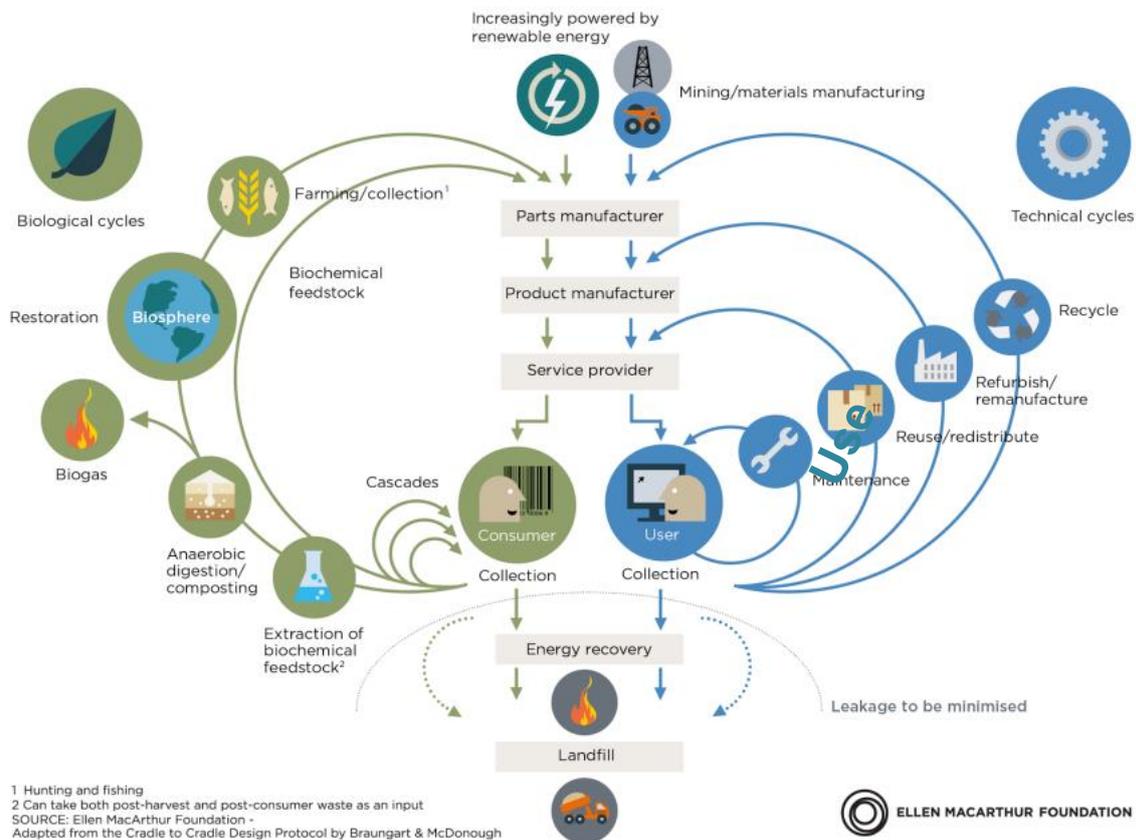


Abbildung 3: Modell der Kreislaufwirtschaft¹⁸

Der Wandel hin zu einer CE kann einige positive Effekte bewirken, wie zum Beispiel:

- Geringere Umweltbelastungen durch menschliche Aktivitäten
- Höhere Versorgungssicherheit bzgl. Rohstoffe - Verringerung von Lieferengpässen
- Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit
- Stimulierung von Innovation und Wirtschaftswachstum
- Schaffung neuer Arbeitsplätze¹⁹

¹⁷ Geissdoerfer et al., 2017, S. 759.

¹⁸ Piscicelli & Ludden, 2016, S. 3.

¹⁹ Vgl. Europäisches Parlament, 2015.

2.1.2 Strategien der Kreislaufwirtschaft

Die CE wird schon seit Jahrzehnten in diversen Studien untersucht, welche sich im Wesentlichen in ihren Grundprinzipien, den sogenannten Rahmenwerken oder auch "Frameworks" unterscheiden. Diese Frameworks dienen als Leitfaden zur Umsetzung der CE. Den wohl bekanntesten Vertreter stellt das 4R-Framework dar. Dieses bildet den Kern der *Abfallrahmenrichtlinie der Europäischen Union*, herausgegeben im Jahr 2008 und beinhaltet die vier Rs "Reduce", "Reuse", "Recycle" und "Recover". In der bestehenden Literatur werden weitere Rahmenwerke diskutiert, die im Laufe der Jahre, ausgehend vom *4R-Framework*, weiterentwickelt wurden und je nach Anforderungen des jeweiligen Einsatzgebietes und Höhe des erforderlichen Detaillierungsgrades Anwendung finden. Als differenziertestes Modell gilt das *9R-Framework*.²⁰ In nachfolgender Abbildung werden die verschiedenen Ausführungen der R-Frameworks visualisiert, deren Strategien nachfolgend beschrieben werden.

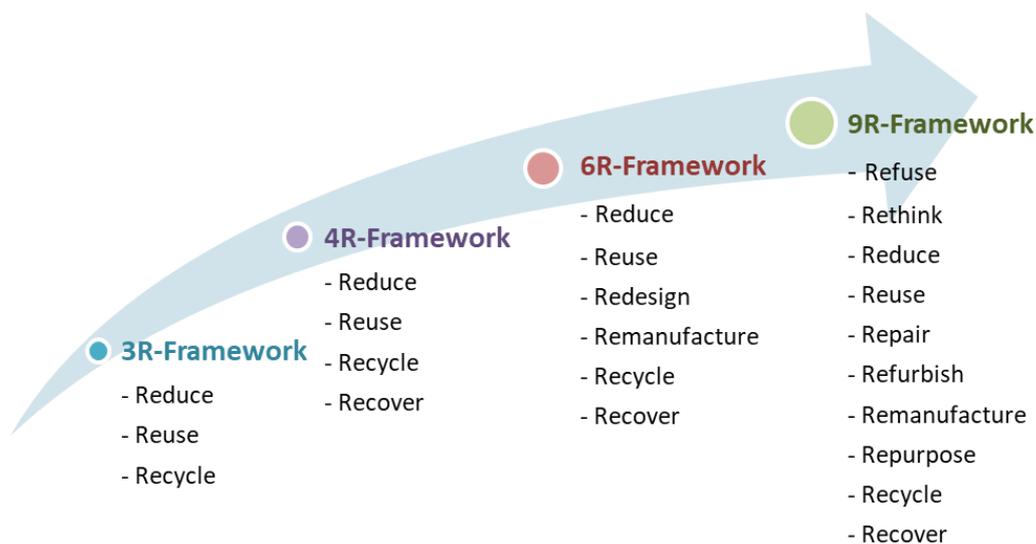


Abbildung 4: Evolution der R-Frameworks^{21,22}

Die Form des 9R-Frameworks entspricht einer Hierarchie, gereiht nach der Priorität der jeweiligen Strategien. Zum Beispiel hat Strategie R0 „Refuse“ einen größeren Stellenwert und somit einen größeren Effekt zur Erhöhung der Zirkularität als die darauffolgende Strategie R1 „Rethink“ usw. Durch die Wiederverwertung von Rohstoffen (R8 „Recycling“) wird in den meisten Fällen langfristig die Qualität der Materialien vermindert. Dieses Phänomen wird als "Downcycling" bezeichnet. Daher wird empfohlen, dass zur Erreichung einer CE, Strategien priorisiert werden sollen, die sich mit den Produktions-/Vertriebs- und Verbrauchsprozessen auseinandersetzen, bevor Recycling-Maßnahmen ergriffen werden.

²⁰ Vgl. Kirchherr et al., 2017, S. 223.

²¹ Vgl. Kirchherr et al., 2017, S. 223 f.

²² Vgl. Lahane & Kant, 2021, S. 1.

Folglich ergibt sich die in Tabelle 1 dargestellte Hierarchie des 9R-Frameworks.²³ Die zehn Strategien des 9R-Frameworks werden in drei Gruppen mit unterschiedlichen Zielen und Auswirkungen auf Produkte und Prozesse unterteilt und entsprechen den Grundsätzen des Kreislaufwirtschaftsgesetzes:

- Vermeiden
- Verwenden
- stoffliche Verwertung
- energetische Verwertung
- Beseitigen²⁴

Kreislaufwirtschaft



Gruppe	Strategien	Beschreibung
Intelligenterere Produkt-herstellung und -nutzung	R0 Refuse	Produkt überflüssig machen, durch Aufgabe seiner Funktion oder indem dieselbe Funktion mit einem alternativen Produkt angeboten wird
	R1 Rethink	Längere und intensivere Nutzung eines Produktes (z.B.: Product Sharing)
	R2 Reduce	Effizienzsteigerung der Produktherstellung und/oder Produktnutzung durch geringeren Verbrauch von natürlichen Ressourcen und Materialien
Verlängerung der Lebensdauer von Produkten und deren Komponenten	R3 Reuse	Wiederverwendung eines gebrauchten, funktionsfähigen Produkts durch einen anderen Verbraucher
	R4 Repair	Reparatur und Wartung eines defekten Produkts, zur Nutzung in seiner ursprünglichen Funktion
	R5 Refurbish	Wiederherstellung und Aufbesserung von alten, gebrauchten Produkten in Bezug auf Funktionstüchtigkeit und Erscheinungsbild
	R6 Remanufacture	Wiederverwendung von Komponenten gebrauchter Produkte in neuen Produkten mit gleicher Funktion
	R7 Repurpose	Wiederverwendung gebrauchter Produkte oder ihrer Komponenten in neuen Produkten mit unterschiedlicher Funktion
Sinnvolle Verwertung von Stoffen	R8 Recycle	Wiederverwertung von Rohstoffen, um die gleiche (hochwertige) oder niedrigere (minderwertige) Qualität zu erhalten
	R9 Recover	Energetische Weiterverwertung von Materialien

Lineare Wirtschaft

Tabelle 1: Das 9R-Framework²⁵

²³ Vgl. Kirchherr et al., 2017, S. 223. f.

²⁴ Vgl. Herrmann & Vetter, 2021, S. 17.

²⁵ Vgl. Kirchherr et al., 2017, S. 224.

Die erste der drei Gruppen des *9R-Frameworks* („*Refuse*“, „*Rethink*“, „*Reduce*“) legt den Fokus auf die optimierte Herstellung und effizientere Nutzung von Produkten entlang ihrer Lebenszyklen. Dabei soll generiertes Wissen über das Produkt zur Entwicklung neuer Produkte oder Funktionen herangezogen werden. Die zweite Gruppe („*Reuse*“, „*Repair*“, „*Refurbish*“, „*Remanufacture*“ und „*Repurpose*“) zielt auf die Verlängerung der Lebensdauer von Produkten sowie deren Nutzungsdauer ab. Dazu werden alte, gebrauchte Produkte und/oder deren Komponenten wieder- oder weiterverwendet. Die dritte und letzte Gruppe („*Recycle*“ und „*Recover*“) sieht die Rückgewinnung von Rohstoffen aus Altprodukten sowie die Energiegewinnung durch Verwertung der genutzten Rohstoffe vor.²⁶

2.1.2.1 Sinnvolle Verwertung von Materialien

Diese Strategiegruppe bezieht sich auf Produkte bzw. Produktkomponenten sowie Abfälle, die am Ende ihres Lebenszyklus stehen und nach den Prinzipien der Linearwirtschaft üblicherweise entsorgt werden. Gemäß den kreislaufwirtschaftlichen Strategien sollen hier die „End-of-Life“-Materialien durch Recycling wiederverwertet bzw. durch Weiterverwertung („*Recover*“) energetisch genutzt werden.²⁷

Energetische Weiterverwertung (R9 „*Recover*“)

Zur energetischen Weiterverwertung kommen in erster Linie Produktionsabfälle oder Altprodukte in Frage, die aufgrund ihres Zustands nicht recycelt werden können. Durch die Verbrennung ist einerseits die Gewinnung von Energie möglich, andererseits werden die Materialien und Produkte irreversibel zerstört, wodurch die Rohstoffverschwendung weiterhin intensiviert wird.²⁸ Für den wirtschaftlichen Betrieb solcher Verbrennungsanlagen werden kostengünstige Abfälle mit ausreichender Quantität benötigt. In Anbetracht dessen sollte diese CE-Strategie nur dann zur Anwendung kommen, wenn engere Kreisläufe wie Recycling nicht mehr genutzt werden können. Nur in solchen Fällen liefert die energetische Weiterverwertung positive Effekte im Sinne der CE.²⁹

Wiederverwertung (R8 „*Recycling*“)

Unter Recycling wird die Gewinnung von sogenannten Sekundärmaterialien aus Altprodukten bzw. Abfällen verstanden.³⁰ Die wesentlichen Nachteile des Recyclings sind die erforderliche Zerstörung des ursprünglichen Produktes und der zugrundeliegende energieintensive Prozess. Weiters ist die Zweckmäßigkeit und Umsetzbarkeit der Wiederverwertung abhängig von der Art, dem Zustand und der Beschaffenheit des Materials. Beispielsweise erweist sich das Recycling von

²⁶ Vgl. Herrmann & Vetter, 2021, S. 19 f.

²⁷ Vgl. Morseletto, 2020, S. 4.

²⁸ Vgl. Potting et al., 2017, S. 20.

²⁹ Vgl. Reike et al., 2018, S. 257.

³⁰ Vgl. Morseletto, 2020, S. 5.

Verbundwerkstoffen aktuell als schwierig und unwirtschaftlich. Bei stark verunreinigten Abfällen bedarf es an zusätzlichen, teils zeit- und kostenintensiven Reinigungs- und Trennprozessen.³¹ Die Wiederverwertung von Altmaterialien ist abhängig von Abfällen und steht somit in gewisser Weise mit den Prinzipien der CE im Konflikt. Wie auch die Strategie der Weiterverwertung sollte Recycling nur in Betracht gezogen werden, sofern Strategien, die engere Ressourcenkreisläufe ermöglichen, nicht umsetzbar sind.³²

2.1.2.2 Verlängerung der Lebensdauer von Produkten und deren Komponenten

Die Strategiegruppe zur Verlängerung der Lebensdauer zielt auf die Ausdehnung der Nutzungsdauer mittels kontinuierlicher Werterhaltung und -verbesserung von Produkten und Produktkomponenten ab. Grundvoraussetzung zur Etablierung dieser Strategien sind bspw. Rücknahme- und Reparaturlogistiksysteme.³³

Umfunktionierung (R7 „Repurpose“)

Das Konzept dieser Strategie fundiert auf der Wiederverwendung gebrauchter Produkte oder ihrer Komponenten zur Herstellung neuer Produkte mit unterschiedlicher Funktion mit einer zumindest gleich hohen Qualität. Eine Umfunktionierung ist nicht in allen Fällen möglich, da sie von der Zerlegbarkeit in Einzelkomponenten und deren Kompatibilität mit anderen Produkten abhängt.³⁴

Wiederaufbereitung (R6 „Remanufacture“)

Die Wiederaufbereitung ist ähnlich der Strategie der Umfunktionierung mit dem Unterschied, dass die gebrauchten Produkte bzw. deren Komponenten in neue Produkte mit der gleichen Funktion integriert werden. Die Wiederaufbereitung beinhaltet die Zerlegung von Baugruppen sowie die Reinigung und Reparatur von weiterverwendbaren Teilen. Diese Methode ist ebenfalls abhängig von der Zerlegbarkeit und Kompatibilität und es sollte auf eine ausreichend hohe Qualität der verwendeten Bauteile geachtet werden.³⁵

Wiederherstellung (R5 „Refurbish“)

Die Wiederherstellung bezieht sich auf die Restauration und qualitative Aufwertung eines bestehenden Produktes, um dessen Funktion zu erhalten, zu verbessern und zu modernisieren. Zumeist beschränkt sich diese Strategie auf den Austausch beschädigter oder abgenutzter Einzelkomponenten.³⁶

³¹ Vgl. Jani & Hogland, 2014, S. 1768.

³² Vgl. Haupt & Zschokke, 2017, S. 836.

³³ Vgl. Morseletto, 2020, S. 5.

³⁴ Vgl. Bressanelli et al., 2018b, S. 7406.

³⁵ Vgl. Reike et al., 2018, S. 256.

³⁶ Vgl. Reike et al., 2018, S. 255.

Reparatur (R4 „Repair“)

Sinn und Zweck dieser Strategie ist die Verlängerung der Produktlebensdauer durch die Wartung und Reparatur defekter Produkte oder ihrer Komponenten, um deren ursprüngliche Funktion zu erhalten. Reparaturen können beispielsweise durch die Bereitstellung von Service- und Wartungsdiensten oder durch deren Integration in Instandhaltungspläne umgesetzt werden.³⁷

Wiederverwendung (R3 „Reuse“)

Unter Wiederverwendung ist die Verwendung eines funktionsfähigen Produktes durch andere Verbraucher*innen zur intensiveren Produktnutzung zu verstehen. Voraussetzung dafür ist der Zustand und die Funktionstüchtigkeit der betroffenen Produkte. Im optimalen Fall sind abgesehen von der Reinigung keine zusätzlichen Aktivitäten wie z.B. Anpassungen, Aufbesserungen oder Nacharbeit nötig, um die Wiederverwendung zu gewährleisten.³⁸

2.1.2.3 Intelligenterer Produktherstellung und -nutzung

Die intelligenterer Produktherstellung und -nutzung befasst sich mit Strategien, die bereits in den Stadien vor der Produktion, also in der Konzeption, Gestaltung und Entwicklung von Produkten Anwendung finden. Dieser Strategieguppe wird eine hohe Effektivität zugesprochen, da sie vorbereitend und unterstützend für andere Strategien des 9R-Frameworks wirkt und bei umfassender Anwendung die vollständige Transformation zur CE ermöglicht.³⁹

Reduzieren (R2 „Reduce“)

Diese Strategie der CE beinhaltet die Effizienzsteigerung der Produktherstellung und -nutzung durch die Reduktion der dafür erforderlichen natürlichen Ressourcen. Eine Erweiterung dieser Strategie beinhaltet die Verringerung der Anzahl von Produkten. Dadurch kann einerseits durch die Produktherstellung verursachter Abfall minimiert und andererseits Energie eingespart werden.⁴⁰

Überdenken (R1 „Rethink“)

Unter „Rethink“ werden Maßnahmen zusammengefasst, welche die Nutzungsphase des Produktes intensivieren. Dabei wird die bisherige Nutzung des Produktes in Frage gestellt und Alternativen zur künftigen Bereitstellung konzeptioniert. So kann durch das Teilen von Produkten zwischen den Nutzer*innen mittels Product-Sharing Plattformen das Produkt stärker ausgelastet werden. Ein weiterer Ansatz wäre die Substitution

³⁷ Vgl. Reike et al., 2018, S. 255.

³⁸ Vgl. Morsetto, 2020, S. 7.

³⁹ Vgl. Morsetto, 2020, S. 8.

⁴⁰ Vgl. Morsetto, 2020, S. 9.

materieller durch nichtmaterielle Produkte wie z.B. Softwarelösungen, die für die Verbraucher*innen den gleichen Nutzen aufweisen wie das ursprüngliche Produkt.⁴¹

Verwerfen (R0 „Refuse“)

Verwerfen gilt als die Strategie, die in der frühesten Phase der Transformation zu einer CE ansetzt, die größten Effekte verspricht und sowohl durch die Hersteller als auch durch die Verbraucher*innen umgesetzt werden kann. Dabei wird die Funktion eines Produktes oder einer Produktkomponente aufgegeben bzw. ersetzt, indem sie bspw. in einem alternativen Produkt integriert wird. Maßnahmen aus Hersteller- bzw. Konsumentensicht sind z.B. die Reduktion von Verpackungsmaterialien, die Verringerung der Produktion bzw. Nutzung von Einweg- oder Wegwerfprodukten oder auf Langlebigkeit und Wiederverwendung ausgelegter Produkte.⁴²

⁴¹ Vgl. Andrews, 2015, S. 312.

⁴² Vgl. Reike et al., 2018, S. 255.

2.2 Klimaschutz und Kreislaufwirtschaft in der EU

2.2.1 Der Europäische Grüne Deal

Im Dezember 2019 hat die Europäische Kommission einen Fahrplan für höheren Klima- und Umweltschutz und zur Sicherung der Nachhaltigkeit veröffentlicht. Dieses Programm, der sogenannte "*Green Deal*" hat zum Ziel bis 2050 die Schadstoffemissionen in der EU drastisch zu reduzieren, eine CE zu begünstigen und somit die EU zum ersten treibhausgasneutralen Staatenbund zu formen. Die Industrielandschaft der EU hat bereits die Umstellung zu einer CE begonnen, jedoch befindet sich dieser Prozess erst in der Anfangsphase und ist von langsamem Wachstum geprägt. Ca. 20 Prozent der Treibhausgasemissionen sind auf den Industriesektor zurückzuführen. Laut Schätzungen dauert es bis zu einem Vierteljahrhundert bis ein ganzer Sektor und dessen Wertschöpfungsketten eine zirkuläre Struktur annehmen. Unter der großen Anzahl an ambitionierten Zielen wird auch die Mobilisierung der Industrie für saubere und kreislaforientierte Wirtschaft sowie der schnellere Umstieg auf eine nachhaltigere und intelligentere Mobilität gefordert. Um die Entwicklung der Industriesektoren von einer linearen Wirtschaft zu einer CE innerhalb der EU zu beschleunigen, wurde im Jahr 2020 ein neuer *Aktionsplan* für die CE erarbeitet.⁴³ In Abbildung 5 sind die Elemente des europäischen *Green Deals* veranschaulicht.

2.2.2 Der Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft

Der Aktionsplan beinhaltet Maßnahmen entlang zentraler Produktwertschöpfungsketten in der Industrielandschaft der EU und soll nachhaltiges Wachstum sowie die Wettbewerbsfähigkeit sichern und im Sinne des Umweltschutzes die Wirtschaft für eine grüne Zukunft vorbereiten. Neben den vorgeschlagenen Maßnahmen zur Umsetzung einer CE wird explizit auf Industriesektoren hingewiesen, welche den größten Ressourcenverbrauch und hohes Kreislaufpotential aufweisen. Diese Branchen und Maßnahmen sind in Abbildung 6 ersichtlich. Unter den genannten Sektoren werden auch Batterien und Fahrzeuge thematisiert. Darunter werden Überarbeitungen von Rechtsrahmen wie der Batterierichtlinie bzw. Vorschriften für Altfahrzeuge angekündigt. Die Neuauflagen sollen

- die Recyclingquoten von Batterien erhöhen
- die sukzessive Einstellung der Verwendung von nicht wiederaufladbaren Batterien einleiten
- die Rückgewinnung wertvoller Materialien sicherstellen
- Regulierungen für verpflichtende Rezyklatanteile bestimmter Werkstoffe festlegen

⁴³ Vgl. Europäische Kommission, 2019.

- Synergien zwischen nachhaltiger Mobilität und der CE nutzen⁴⁴



Abbildung 5: Der europäische Green Deal⁴⁵



Abbildung 6: Übersicht des Aktionsplans für die Kreislaufwirtschaft (eigene Darstellung)⁴⁶

⁴⁴ Vgl. Europäische Kommission, 2020.

⁴⁵ Europäische Kommission, 2019.

⁴⁶ Vgl. Europäische Kommission, 2020.

2.3 Klein- und mittelständische Unternehmen im Allgemeinen

2.3.1 Definition von klein- und mittelständischen Unternehmen

Im Jahr 2020 zählten europaweit 99,8 Prozent aller Unternehmen zur Gruppe der klein- und mittelständischen Unternehmen (KMU), welche mit knapp 65 Prozent aller Beschäftigten und über 50 Prozent der Gesamtwertschöpfung einen wesentlichen Anteil am Erfolg der europäischen Wirtschaft beitrug.⁴⁷

Die Europäische Kommission definiert die Bezeichnung „Unternehmen“ wie folgt:

„Als Unternehmen gilt jede Einheit, unabhängig von ihrer Rechtsform, die eine wirtschaftliche Tätigkeit ausübt. Dazu gehören insbesondere auch jene Einheiten, die eine handwerkliche Tätigkeit oder andere Tätigkeiten als Einpersonen- oder Familienbetriebe ausüben, sowie Personengesellschaften oder Vereinigungen, die regelmäßig einer wirtschaftlichen Tätigkeit nachgehen.“⁴⁸

Wie auch bei den Begrifflichkeiten der CE und Nachhaltigkeit existieren in der fach einschlägigen Literatur keine geltenden Begriffsbestimmungen für KMUs, die für alle Anwendungsbereiche Verwendung finden. Die *„Empfehlung betreffend die Definition der Kleinstunternehmen sowie der kleinen und mittleren Unternehmen“* der Europäischen Kommission sieht eine rein quantitative Einteilung vor und berücksichtigt bei der Festlegung des Ausdruckes KMU folgende vier Kriterien:

- Mitarbeiteranzahl
- Umsatz
- Bilanzsumme
- Eigenständigkeit⁴⁹

Obwohl die Mitarbeiteranzahl als das ausdrucksstärkste Kriterium festgelegt wird, stellen finanzielle Aspekte eine unerlässliche Erweiterung dar, um die vollständige Bedeutung, Leistungsfähigkeit sowie Wettbewerbsbedingungen eines Unternehmens bewerten zu können. Zur Wiedergabe der Gesamtheit des Unternehmenswertes, müssen als finanzielle Kriterien der Umsatz und die Bilanzsumme kombiniert werden. Dies ist erforderlich, da üblicherweise Handelsunternehmen höhere Umsätze als produzierende Unternehmen gleicher Größe verzeichnen. Unter Eigenständigkeit von Unternehmen werden Kapitalanteile und Stimmrechte im Fremdbesitz verstanden.⁵⁰

⁴⁷ Vgl. Institut für Mittelstandsforschung.

⁴⁸ Europäische Kommission, 2003, S. 4.

⁴⁹ Vgl. Europäische Kommission, 2003.

⁵⁰ Vgl. Europäische Kommission, 2003, S. 1 f.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Kriterien der Europäischen Kommission zur Definition von KMUs mit den jeweiligen Grenzwerten dargestellt.

	Mitarbeiteranzahl	Umsatz	Bilanzsumme	Eigenständigkeit
Kleinst- unternehmen	≤ 9	≤ 2 Mio. €	≤ 2 Mio. €	Kapitalanteile oder Stimmrechte im Fremdbesitz < 25 Prozent
Klein- unternehmen	≤ 49	≤ 10 Mio. €	≤ 10 Mio. €	
Mittlere Unternehmen	≤ 249	≤ 50 Mio. €	≤ 43 Mio. €	
Groß- unternehmen	≥ 250	> 50 Mio. €	> 43 Mio. €	

Tabelle 2: Kriterien der Europäischen Kommission zur Definition von KMUs.⁵¹

Auf Basis von Tabelle 2 lassen sich KMUs als Unternehmen mit weniger als 250 Beschäftigten mit einem Jahresumsatz von bis zu 50 Millionen Euro oder einer Bilanzsumme von höchstens 43 Millionen Euro sowie Kapitalanteile oder Stimmrechte im Fremdbesitz von unter 25 Prozent definieren.

Gegenüber der Definition der Europäischen Kommission steht die Begriffsabgrenzung des IFM Bonn. Bei dieser werden lediglich die quantitativen Bezugsgrößen Mitarbeiteranzahl und Jahresumsatz ohne Berücksichtigung der Rechtsform und Eigentumsstruktur betrachtet. Der wesentliche Unterschied zur Definition der Europäischen Kommission liegt bei der Größe der Mitarbeiteranzahl für mittlere Unternehmen, wobei der Schwellenwert zu Großunternehmen bei 499 Beschäftigten liegt.⁵²

⁵¹ Vgl. Europäische Kommission, 2003.

⁵² Vgl. Institut für Mittelstandsforschung.

2.3.2 Differenzierungsmerkmale zu Großunternehmen

Bei der Unterscheidung zwischen Großunternehmen und KMUs wird in der Theorie zwischen vielseitigen Charakteristika differenziert, deren Deutlichkeit sich in der praxisbezogenen Anwendung oftmals durch variierende Rahmenbedingungen vermindert. Ein Sonderfall wäre der Vergleich eines KMUs mit 249 Mitarbeiter*innen mit einem Großunternehmen mit 250 Mitarbeiter*innen. Hierbei würden sich KMUs in seinen Merkmalen nur marginal unterscheiden. Entgegengesetzt hingegen besteht die Möglichkeit, dass Großunternehmen in dieser Dimension mehr Gemeinsamkeiten mit KMUs aufweisen als mit anderen Großunternehmen. Eine Gegenüberstellung eines Kleinstunternehmens mit einem Großunternehmen würde in allen Fällen eindeutige Differenzierungsmerkmale aufweisen.⁵³ Im Allgemeinen werden folgende qualitative Unterscheidungsmerkmale von KMUs zu Großunternehmen definiert:

KMUs verfügen oftmals über eine unklare bzw. fehlende Abgrenzung von Eigentümer- und Managementfunktionen. Durch die Einheit von Eigentum, Risiko und Kontrolle dominiert die Leitung bei strategischen und operativen Entscheidungen im Unternehmen, was zu schnelleren Entscheidungen und besseren Reaktionen auf kurzfristige Änderungen von Marktanforderungen führen kann. Bei Großunternehmen hingegen stehen das Eigentum und die Geschäftsführung meist nicht im direkten Zusammenhang.⁵⁴

Mitarbeiter*innen eines KMUs haben oftmals einen größeren Verantwortungs- und Arbeitsbereich, wodurch sich der Grad an Expertenwissen innerhalb des Unternehmens reduziert. Jedoch weisen Mitarbeiter*innen von KMUs einen höheren Motivationsgrad aufgrund flacherer Hierarchien, übersichtlicherer und flexiblerer Strukturen, schnellerer Kommunikation und die Empfindung an einem wesentlichen Anteil des Unternehmenserfolges beteiligt zu sein, auf.⁵⁵

Durch flachere Hierarchien ist die Tendenz zur Überorganisation bei KMUs wesentlich geringer als bei Großunternehmen. Durch die engere Zusammenarbeit zwischen Unternehmensleitung und Mitarbeiter*innen können die Interessen der Mitarbeiter*innen besser integriert werden und durch den persönlicheren Kontakt ist das Verantwortungsbewusstsein der Führung für die Beschäftigten höher. Dieses Phänomen wird als „*Corporate Social Responsibility*“ bezeichnet.⁵⁶

Großunternehmen zeichnen sich im Vergleich zu KMUs durch einen höheren Finanzmittelzugang sowie einem höheren Differenzierungsgrad bzgl. des Produkt- und Dienstleistungsportfolios aus.⁵⁷

Während sich Großunternehmen am Massenmarkt orientieren, sind KMUs oftmals auf Nischen-Strategien angewiesen, um sich Wettbewerbsvorteile zu verschaffen. Die

⁵³ Vgl. Dortmund, 2010, S. 9.

⁵⁴ Vgl. Ihlau et al., 2013, S. 3 ff.

⁵⁵ Vgl. Dortmund, 2010, S. 9.

⁵⁶ Vgl. Reinemann, 2013, S. 6 f.

⁵⁷ Vgl. Ihlau et al., 2013, S. 3 ff.

Planungsprozesse bei KMUs gestalten sich in der Regel kürzer, da durch flachere Hierarchien die Kommunikation einfacher ausfällt, was zur schnelleren Entscheidungsfindung führt. Der Fokus der Unternehmensstrategie wird auf Nachhaltigkeit gelegt. Bei Großunternehmen hingegen hängt die Strategie zumeist vom aktuellen Vorstand in Abstimmung mit diversen Gremien ab.⁵⁸ In Tabelle 3 sind Stärken und Schwächen von KMUs überblicksmäßig dargestellt.

Stärken	Schwächen
Einheit von Eigentum und Führung	Einheit von Eigentum und Führung, die zur Herausforderung werden kann
Verantwortliches Mitwirken der Leitung bei allen relevanten Entscheidungen im Unternehmen	Schwere Finanzierung und Herausforderung bei der Beschaffung von Fremdkapital
Verhältnismäßig schnelle Entscheidungsfindung und Umsetzung der Beschlüsse	Schlechte Voraussetzungen für „Economies of Scale“ (Skaleneffekte. Kostenersparnisse durch Produktion größerer Losmengen)
Räumliche und zeitliche Nähe zu den Kund*innen aufgrund einfacher Strukturen	Schlechte Voraussetzungen für „Economies of Scope“ (Verbundeffekte. Kostenvorteile durch eine höhere Produktvielfalt) ⁵⁹
Flache Hierarchien	Begrenzttes Eigenkapital
Kurze Kommunikationswege im Unternehmen	Knappe Ressourcen bzgl. Personalkapazitäten, Räumlichkeiten und Sortimentsgestaltung ⁶⁰
Hohes Maß an Flexibilität	Geringere Marktmacht ⁶¹
Engagement und Einbindung von Mitarbeiter*innen und Führung	Höhere wechselseitige Abhängigkeit zwischen Leitung und Beschäftigten ⁶²

Tabelle 3: Stärken und Schwächen von KMUs.⁶³

⁵⁸ Vgl. Dortmund, 2010, S. 9.

⁵⁹ Vgl. Moser et al., 2011, S. 97.

⁶⁰ Vgl. Becker & Ulrich, 2014, S. 47 f.

⁶¹ Becker & Ulrich, 2014, S. 47.

⁶² Vgl. Becker & Ulrich, 2014, S. 47 f.

⁶³ Haag & Roßmann, 2015, S. 3.

2.3.3 Innovationsverhalten klein- und mittelständischer Unternehmen

Bei dem Begriff der Innovation wird zwischen der ergebnis- bzw. prozessorientierten Perspektive unterschieden. Während bei der ergebnisorientierten Sichtweise am Markt oder betriebsinterne qualitative Modifikationen bzw. Neuheiten als Innovationen definiert werden, bezeichnet der prozessorientierte Blickwinkel alle Handlungen und Entscheidungen, die zur Einführung neuer Produkte oder zum Einsatz neuer Prozesse führen als Innovationsprozess.⁶⁴

KMUs weisen aufgrund der engen Zusammenarbeit zwischen Unternehmensführung und Belegschaft gegenüber Großunternehmen beachtliche Vorteile auf. Impulse zur Veränderung können durch die stärkere Einbindung des Managements in die Planung und Realisierung schneller und reibungsloser erfasst und umgesetzt werden, was kürzere Entwicklungszeiten zur Folge hat. Des Weiteren zeichnen sich KMUs durch technische bzw. technologische sowie kundenorientierte Spezialisierungseffekte aus. Dies hat eine hohe Sensibilität für potentiell auftretende Komplikationen zur Folge, wodurch eine hohe Problemlösungsfähigkeit gegeben ist und Innovationen vorangetrieben werden.⁶⁵

Jedoch sind KMUs im Vergleich zu Großunternehmen durch strukturelle Einschränkungen benachteiligt. Kleinere Unternehmen sind oft durch einen Mangel an Informationen und methodischen Wissen, Fachmitarbeiter*innen mit hoher Expertise und einem geringen Finanzmittelzugang gekennzeichnet. Durch letzteren Aspekt ist das Innovationsbudget eingeschränkt, wodurch größere bzw. mehrere parallellaufende Innovationsprojekte kaum umsetzbar sind.⁶⁶

Innovationen sind für KMUs von essenzieller Bedeutung und tragen einen wesentlichen Teil zur Wettbewerbsfähigkeit bei. Durch mangelnde Differenzierung im Wettbewerb wird der Konkurrenz- und somit der Preisdruck höher, die Gewinnspannen verringern sich und in dessen Folge stehen weniger Mittel zur Finanzierung von Innovationsprojekten zur Verfügung.⁶⁷

⁶⁴ Vgl. Schallmo, 2013, S. 23 ff.

⁶⁵ Vgl. Schwarz et al., 2006, S. 19 f.

⁶⁶ Vgl. Schwarz et al., 2006, S. 20.

⁶⁷ Vgl. Schwarz et al., 2006, S. 20 f.

2.4 Geschäftsmodelle und Kreislaufwirtschaft

Um den Begriff der CBMs zu definieren, bedarf es einer Annäherung über die Termini der traditionellen bzw. linearen und nachhaltigen BMs.

2.4.1 Geschäftsmodelle im Allgemeinen

2.4.1.1 Begriffsdefinition Geschäftsmodell

Die ersten Erwähnungen des Begriffs „Geschäftsmodell“ lassen sich in den Anfängen der Wirtschaftsinformatik Mitte der siebziger Jahre des letzten Jahrhunderts datieren, wobei der Fokus auf der Geschäftsmodellierung, dem Design von Informationssystemen und dem "Business Process Engineering" lag.⁶⁸ In den darauffolgenden Jahren wurde das ursprünglich rein informationstechnologische Konzept um Perspektiven der Organisationstheorie und Unternehmensstrategie amplifiziert und somit zu einem ganzheitlichen Analyseinstrument zur Entscheidungsunterstützung für das strategische Management transformiert.⁶⁹

Der Ausdruck „Geschäftsmodell“ setzt sich aus den Wörtern „Geschäft“ und „Modell“ zusammen und kann durch diese beschrieben werden. Ein Geschäft ist eine gewinnorientierte Produkt- oder Leistungsgruppe, die neben der Transformation von Ressourcen in Produkte oder Dienstleistungen auch in Wechselwirkung mit der Umwelt bzw. anderen Geschäften steht. Unter einem Modell versteht man die vereinfachte Abbildung der Realität bei idealen Verhältnissen. Aus der Kombination der beiden Begrifflichkeiten ist abzuleiten, dass BMs eine Veranschaulichung selektierter Aspekte der Ressourcen-Transformationsprozesse sowie von Interaktionen im Zuge der Geschäftstätigkeit eines Unternehmens darstellen.⁷⁰

In der fach einschlägigen Literatur liegen unterschiedliche Begriffsdefinitionen von BMs vor, die sich im Wesentlichen in ihren Komponenten überschneiden. Die wichtigsten Bestandteile von BM-Definitionen sind:

- Kombination der Elemente eines Unternehmens
- Erstellung von Produkten und Dienstleistungen
- Schaffung von Nutzen für Kund*innen und Partner
- Stärkung von Kundenbeziehungen und Differenzierung gegenüber Wettbewerbern
- Erreichen eines Wettbewerbsvorteils und Abschöpfung von Wert⁷¹

⁶⁸ Vgl. Becker et al., 2011, S. 12.

⁶⁹ Vgl. Melzner, 2020, S. 7 f.

⁷⁰ Vgl. Becker et al., 2011, S. 13.

⁷¹ Vgl. Schallmo, 2018, S. 14 ff.

Basierend auf den vorliegenden Gemeinsamkeiten ergibt sich folgende einheitliche Nomenklatur für den BM-Begriff:

*„Ein Geschäftsmodell ist die Grundlogik eines Unternehmens, die beschreibt, welcher Nutzen auf welche Weise für Kund*innen und Partner gestiftet wird. Ein Geschäftsmodell beantwortet die Frage, wie der gestiftete Nutzen in Form von Umsätzen an das Unternehmen zurückfließt. Der gestiftete Nutzen ermöglicht eine Differenzierung gegenüber Wettbewerbern, die Festigung von Kundenbeziehungen und die Erzielung eines Wettbewerbsvorteils...“⁷²*

Ein wiederkehrender Begriff in den Erörterungen in Bezug auf BMs und Unternehmensstrategie ist der Wert. Das Konzept des Wertes bildet in vielen Definitionen das Fundament des BM-Rahmens, welcher im Kern aus drei Elementen bzw. Komponenten besteht – das Wertversprechen, die Wertschöpfung und -bereitstellung sowie die Werterfassung.⁷³ In nachfolgender Abbildung ist die Architektur eines BMs mit seinen Komponenten und Elementen veranschaulicht.

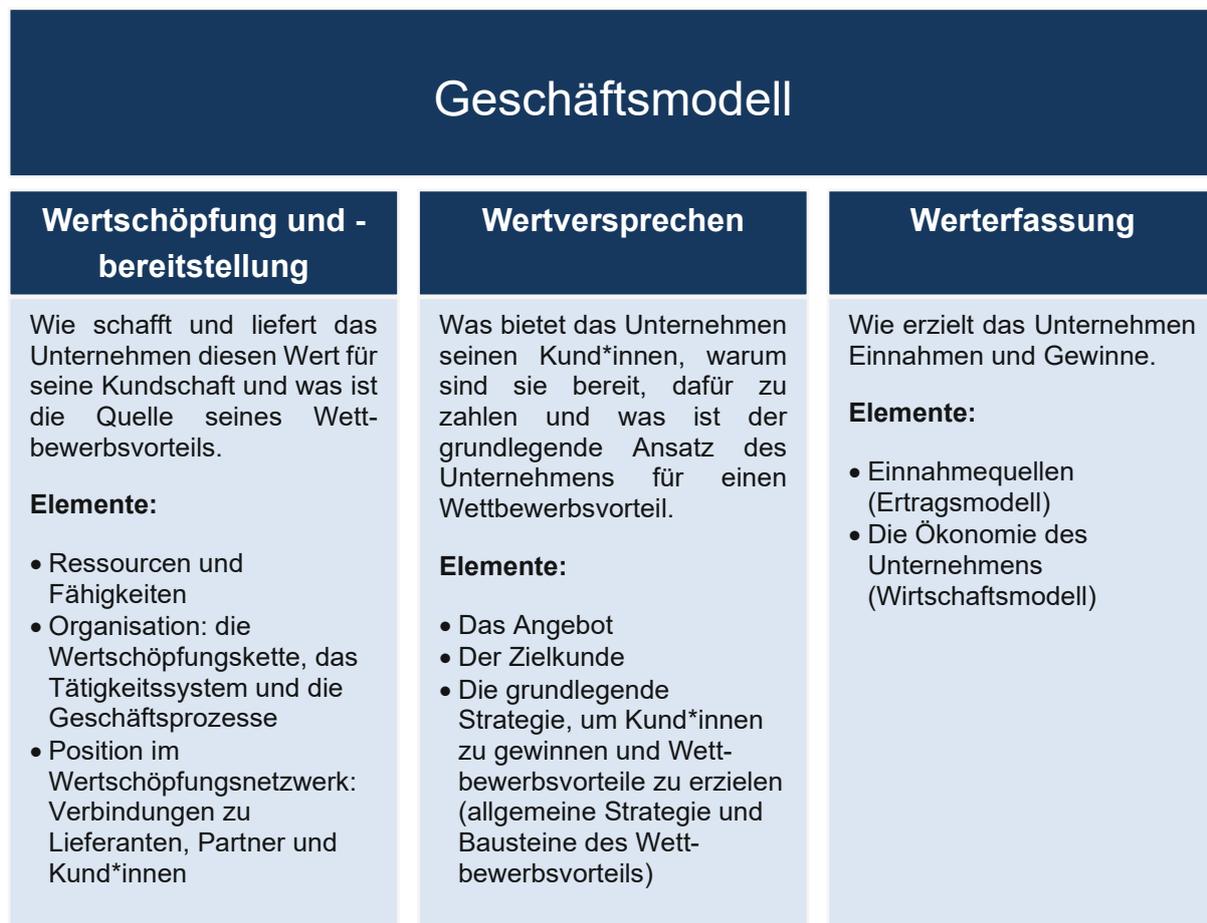


Abbildung 7: Das Geschäftsmodell-Rahmenwerk (eigene Darstellung)⁷⁴

⁷² Schallmo, 2013, S. 22 f.

⁷³ Vgl. Richardson, 2008, S. 138.

⁷⁴ Richardson, 2008, S. 138.

2.4.1.2 Geschäftsmodellkomponenten und -elemente

Wie bereits erwähnt besteht ein BM aus drei Komponenten, welche sich wiederum aus ihren jeweiligen BM-Elementen zusammensetzen.

Wertversprechen („value proposition“)

Das Wertversprechen ist eine kompakte, aber präzise Zusammenfassung der Wettbewerbsstrategie eines Unternehmens und gibt den Mehrwert an, den die Kund*innen durch den Erwerb bzw. die Nutzung der Produkte oder Dienstleistungen desselben Unternehmens erhalten. Es besagt auf welche Art und Weise eine Leistung zum Erwerb zur Verfügung gestellt wird, um gegenüber dem Angebot von Konkurrenzunternehmen einen höheren Nutzen zu bieten. Die Grundlage für den Wettbewerbsvorteil bildet die Entwicklung einer tragfähigen These darüber, wie das Unternehmen im wirtschaftlichen Wettbewerb konkurrieren kann. Die BM-Komponente des Wertversprechens setzt sich aus den Elementen Angebot, Zielkunde bzw. Zielmarkt und Strategie zusammen.⁷⁵ Während die ersteren beiden Elemente definieren, welchen Zielgruppen über welche Kommunikations- bzw. Vertriebskanäle der jeweilige Nutzen bzw. die Leistungen des BMs übermittelt werden,⁷⁶ stellt die Strategie die grundlegende Frage der Existenzberechtigung des Unternehmens und seines BMs. Die strategische Positionierung des Unternehmens ist das Grundkonzept mit dem Kund*innen gewonnen sowie Wettbewerbsvorteile erzielt werden sollen. Sie ist ein Indikator für die Aussagekraft des Wertversprechens.⁷⁷

Ein Unternehmen hat kein überzeugendes Wertversprechen, wenn es beabsichtigt, das gleiche Produkt auf einem Zielmarkt zu verkaufen, der bereits von zahlreichen anderen Unternehmen weitgehend abgedeckt wird. Dem gegenüber ist das Wertversprechen eines Unternehmens stark, wenn es seinen Zielkund*innen einen größeren Nutzen bietet als die Konkurrenz.⁷⁸

Wertschöpfung und -bereitstellung („value creation and delivery“)

Die Wertschöpfung und -bereitstellung bildet die zweite Komponente eines BMs, welche die Wettbewerbstheorie in Bezug auf dessen Umsetzung konkretisiert.⁷⁹ Sie beschreibt, welche materiellen und immateriellen Ressourcen innerhalb der Strukturen, Prozesse und Systeme eines BMs eingesetzt werden, um schließlich die gewünschten Leistungen zu erstellen, die Kundensegmente zu bedienen sowie Kundenbeziehungen zu erzeugen und zu festigen.⁸⁰ Die wesentlichen Elemente dieser BM-Komponente bilden die Ressourcen und Fähigkeiten, die Organisationsstruktur bzw. -architektur sowie die Position im Wertschöpfungsnetzwerk.⁸¹ Die Strukturen, Prozesse und Systeme werden unter den Fähigkeiten eines Unternehmens

⁷⁵ Vgl. Richardson, 2008, S. 139.

⁷⁶ Vgl. Schallmo, 2013, S. 126 ff.

⁷⁷ Vgl. Richardson, 2008, S. 139.

⁷⁸ Vgl. Richardson, 2008, S. 139.

⁷⁹ Vgl. Richardson, 2008, S. 139.

⁸⁰ Vgl. Schallmo, 2013, S. 130 ff.

⁸¹ Vgl. Richardson, 2008, S. 138.

zusammengefasst. Die Kompetenzen eines Unternehmens werden wiederum durch die Fähigkeiten und die Ressourcen dargestellt.⁸² Das Element der Position im Wertschöpfungsnetzwerk setzt sich mit der Frage auseinander mit welchen Partnern, Lieferanten oder strategischen Partnern über welche Kommunikations-, Beschaffungs-, Distributions- und Servicekanäle kooperiert wird. Die im BM nicht vorhandenen bzw. nicht erfolgskritischen Ressourcen und Fähigkeiten werden durch die Partner ergänzt, wodurch eine wirtschaftliche, vertragliche und auch emotionale Bindung mit gegenseitigem Nutzen entsteht.⁸³ Bei der Aufteilung von Tätigkeiten an Dritte muss darauf geachtet werden, dass die einfließenden Ressourcen und Fähigkeiten dem Wertversprechen entsprechen.⁸⁴ Das dritte Element der Komponente der Wertschöpfung und -bereitstellung bildet die Organisation. Diese beinhaltet die Wertschöpfungskette, das Tätigkeitssystem und die Geschäftsprozesse mit dessen Hilfe die Leistungen erzeugt und bereitgestellt werden.⁸⁵

Werterfassung („value capture“)

Ein starkes Wertversprechen sowie die Schaffung und Bereitstellung von Werten allein implizieren keine Garantie für hohe Umsätze und die Überlebensfähigkeit eines Unternehmens.⁸⁶ Zusätzlich wird eine BM-Komponente benötigt, welche die Umsätze, die durch die Erbringung und Veräußerung von Leistungen geschaffen werden und die Kosten, die durch die dazu erforderlichen Ressourcen, Prozesse und Partnerschaften entstehen, definiert.⁸⁷ Die Werterfassung setzt sich aus dem Ertragsmodell, welches alle potentiellen Einnahmequellen beschreibt und dem Wirtschaftsmodell, das die finanzwirtschaftlichen Faktoren des Unternehmens (Gewinne, Kosten) widerspiegelt, zusammen. Das Ertragsmodell und das Wirtschaftsmodell beschreiben gemeinsam, wie das Unternehmen Erträge erwirtschaften wird. Sie behandeln diverse Einnahmequellen, die Zahlungsströme und die Gewinnspannen.⁸⁸

Der Erfolg eines BMs ist abhängig vom Zusammenwirken seiner Komponenten und deren Elemente. Der Aufbau eines erfolgreichen BMs erfordert eine kreative und strategische Ausrichtung der Wertschöpfung und -bereitstellung auf das Wertversprechen und die Werterfassung.⁸⁹

⁸² Vgl. Schallmo, 2013, S. 131.

⁸³ Vgl. Schallmo, 2013, S. 132 ff.

⁸⁴ Vgl. Richardson, 2008, S. 140.

⁸⁵ Vgl. Richardson, 2008, S. 138 ff.

⁸⁶ Vgl. Richardson, 2008, S. 140.

⁸⁷ Vgl. Schallmo, 2013, S. 134 f.

⁸⁸ Vgl. Richardson, 2008, S. 141.

⁸⁹ Vgl. Richardson, 2008, S. 141.

2.4.1.3 Geschäftsmodell vs. Strategie

Wie auch der Begriff des BMs unterliegt auch die „Strategie“ der Problematik diverser Definitionen aus der Literaturlandschaft. Durch die unterschiedlichen Betrachtungsweisen kommt es zur Entgrenzung dieser beiden Begrifflichkeiten, wodurch der Unterschied von BM und Strategie oftmals nicht klar erkennbar ist. BMs und Strategien sind miteinander verwachsen und wirken wechselseitig aufeinander ein.⁹⁰

In der Literatur existieren drei maßgebende Ansätze zur Begriffsdefinition der Strategie. Ein Ansatz ist, dass die Strategie und das BM ein und dieselbe Funktion einnehmen und somit ident sind.⁹¹

Der zweite Ansatz besagt, dass die Strategie dem BM übergeordnet ist und diese aus einer Verknüpfung von BM-Element-Strategien besteht.⁹²

Der dritte Ansatz definiert das BM als Mittel zur Umsetzung der Strategie und Vision des Unternehmens.⁹³ Eine Erweiterung dieser drei Ansätze bildet die Theorie, dass die Beziehung zwischen Strategie und BM vom Integrationsgrad abhängt. Strategien können einerseits durch ein BM umgesetzt werden, andererseits können Strategien auf mehrere BMs zurückgreifen, die ihren individuellen BM-Strategien nachgehen. Letztere Variante kommt vorwiegend in Großunternehmen vor.⁹⁴

Abschließend lässt sich aus den Formulierungen ableiten, dass die Strategie wegweisend für die Entwicklung und Gestaltung von BMs fungiert. BMs dienen zur Konkretisierung und Umsetzung der in den Strategien enthaltenen Vorgaben und zielen auf die Befriedigung der Kundenbedürfnisse ab. Die Strategie orientiert sich an dem Unternehmensumfeld und hat den Zweck einen Wettbewerbsvorteil aufzubauen und sich gegenüber den Wettbewerbern hervorzuheben.⁹⁵ In Tabelle 4 sind die wesentlichen Unterschiede und Charakteristika von BMs und Strategien aufgelistet.

⁹⁰ Vgl. Wirtz & Becker, 2002, S. 85.

⁹¹ Vgl. Wirtz & Becker, 2002.

⁹² Vgl. Kallio & Nordberg, 2006, S. 439–457.

⁹³ Vgl. Osterwalder, 2004, S. 16.

⁹⁴ Vgl. Seddon & Lewis, 2003, S. 236 f.

⁹⁵ Vgl. Schallmo, 2013, S. 43.

	Geschäftsmodell	Strategie
Orientierung	Orientierung am Kundennutzen und Wertgestaltung	Orientierung am Umfeld und Branchenlogiken
Ziel	<ul style="list-style-type: none"> • Umsetzung von Strategien • Nachhaltige Unternehmenssicherung • Konfiguration von BM-Elementen 	<ul style="list-style-type: none"> • Aufbau und Aufrechterhaltung von Wettbewerbsvorteilen • Differenzierung gegenüber dem Wettbewerb • Anpassungen an Veränderungen im Umfeld
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> • Umfassende Analyse zur Beschreibung der Interaktion von Unternehmensaktivitäten • Logik der Werte- und Ertragsgestaltung • Anpassungen der BM-Elemente unter Berücksichtigung von Veränderungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Langfristiges Ziel / Richtung • Umfassende Analyse (Ist-Zustand, Planung der Aktivitäten) durch Betrachtung interner / externer Erfolgstreiber, deren Beschaffenheit und Entwicklung. • Erstellung unterschiedlicher Entwürfe / BM-Optionen

Tabelle 4: Unterschiede zwischen Strategie und Geschäftsmodell.⁹⁶

2.4.2 Kreislaufwirtschaftsfähige Geschäftsmodelle

Die zahlreichen Herausforderungen ökologischer und sozialer Natur, mit denen das derzeitige Wirtschaftssystem konfrontiert ist, wie z. B. der Klimawandel, die fortschreitende Zerstörung der Umwelt und die Verknappung der natürlichen Ressourcen, sind Ausdruck der mangelnden Nachhaltigkeit der bis heute üblichen Produktions- und Konsummodelle.⁹⁷ Um diesen Schwierigkeiten wirksam begegnen zu können, müssen die Unternehmen ihre Tätigkeit drastisch ändern, etwa durch eine stärkere Einbeziehung der Interessensgruppen und eine rasche Neuausrichtung oder Umgestaltung ihrer BMs.⁹⁸

Um auf diese sozial-ökologischen Megatrends angemessen reagieren zu können, ist die Etablierung eines nachhaltigen Geschäftsmodells („Sustainable Business Model“, SBM) erforderlich, dass sowohl die finanziellen und ökonomischen als auch die sozialen und ökologischen Ziele des Unternehmens definiert. Traditionelle BMs werden dahingehend verändert, dass die Aspekte der Nachhaltigkeit in das Unternehmen integriert werden, um ein SBM zu schaffen. Ein SBM zeichnet sich dadurch aus, dass es in der Lage ist, die Nachhaltigkeitsziele des Unternehmens zu erreichen und diese in die drei Säulen Wertversprechen, Wertschöpfung und -bereitstellung sowie Werterfassung zu integrieren.⁹⁹ SBMs berücksichtigen also neben den traditionellen Faktoren wie Kosten und Nutzen für Unternehmen und Kund*innen

⁹⁶ Melzner, 2020, S. 35.

⁹⁷ Vgl. Hofmann & Jaeger-Erben, 2020, S. 2770–2788.

⁹⁸ Vgl. Linder & Williander, 2015, S. 182–196.

⁹⁹ Vgl. Tiscini et al., 2020, S. 1622 ff.

auch die bisher vernachlässigten Interessensgruppen der Umwelt und der Gesellschaft.¹⁰⁰

Folglich werden SBMs als BMs definiert, die durch die Ausrichtung auf eine langfristige Perspektive, die proaktive Interaktion und Einbindung einer Vielzahl von Interessensgruppen und durch die Schaffung, Bereitstellung und Erfassung zusätzlicher monetärer und nicht-monetärer Werte eine nachhaltige Unternehmensentwicklung gewährleisten.¹⁰¹ Dies verdeutlicht die Wichtigkeit von SBMs zur Erlangung von Wettbewerbsvorteilen durch das Vorantreiben und die Integration nachhaltiger Unternehmensinnovationen in die Unternehmensziele und Geschäftsprozesse.¹⁰²

Eine Erweiterung der SBMs bilden CBMs. Diese werden als Modelle definiert, bei denen die Wertschöpfung auf der Verwendung restlichen wirtschaftlichen Werts zur Herstellung neuer Produkte basiert. Sie stellen einen konzeptionellen Rahmen dar, um "alte" Produkte vom Nutzer zum Produzenten zurückzuführen und somit die Liefer- und Materialkreisläufe zu schließen. Ansätze von CBM's sind das Durchlaufen („Cycling“), Verlängern („Extending“), Intensivieren („Intensifying“) und Dematerialisieren („Dematerialising“) von Material- und Energiekreisläufen, um einerseits den Einsatz von Ressourcen und andererseits Abfälle und Emissionen zu reduzieren.¹⁰³ In Abbildung 8 sind die Zusammenhänge bzw. Unterschiede zwischen traditionellen, nachhaltigen und kreislaufwirtschaftsfähigen BMs ersichtlich.

Das Durchlaufen („Cycling“) von Material- und Energiekreisläufen beschreibt den Prozess der Wiederverwendung, Wiederaufbereitung, Aufarbeitung und Wiederverwertung von Ressourcen und Energie innerhalb eines Systems. Die Produktrückführung bzw. -rücknahme ist ein entscheidender Bestandteil des Wertversprechens, welches in erster Linie durch Kooperation entlang der Wertschöpfungskette und effiziente End-of-Use-Strategien (Reparatur, Wiederaufbereitung, Aufarbeitung und Recycling) gefördert wird. Die Wertschöpfung besteht hierbei vor allem aus der Verringerung der Materialbeschaffungskosten und den Zusatzeinnahmen aus den Endprodukten/Materialien. Dieser Ansatz ist durch die längere Nutzungsdauer der Produkte bzw. deren Komponenten in der Lage, den Energieverbrauch, den Verbrauch von Primärrohstoffen und die Abfallproduktion zu reduzieren.¹⁰⁴

¹⁰⁰ Vgl. Bocken et al., 2019, S. 2 f.

¹⁰¹ Vgl. Geissdoerfer et al., 2018a, S. 713 f.

¹⁰² Vgl. Bocken et al., 2014, S. 42–56.

¹⁰³ Vgl. Geissdoerfer et al., 2020, S. 7 f.

¹⁰⁴ Vgl. Geissdoerfer et al., 2020, S. 10.

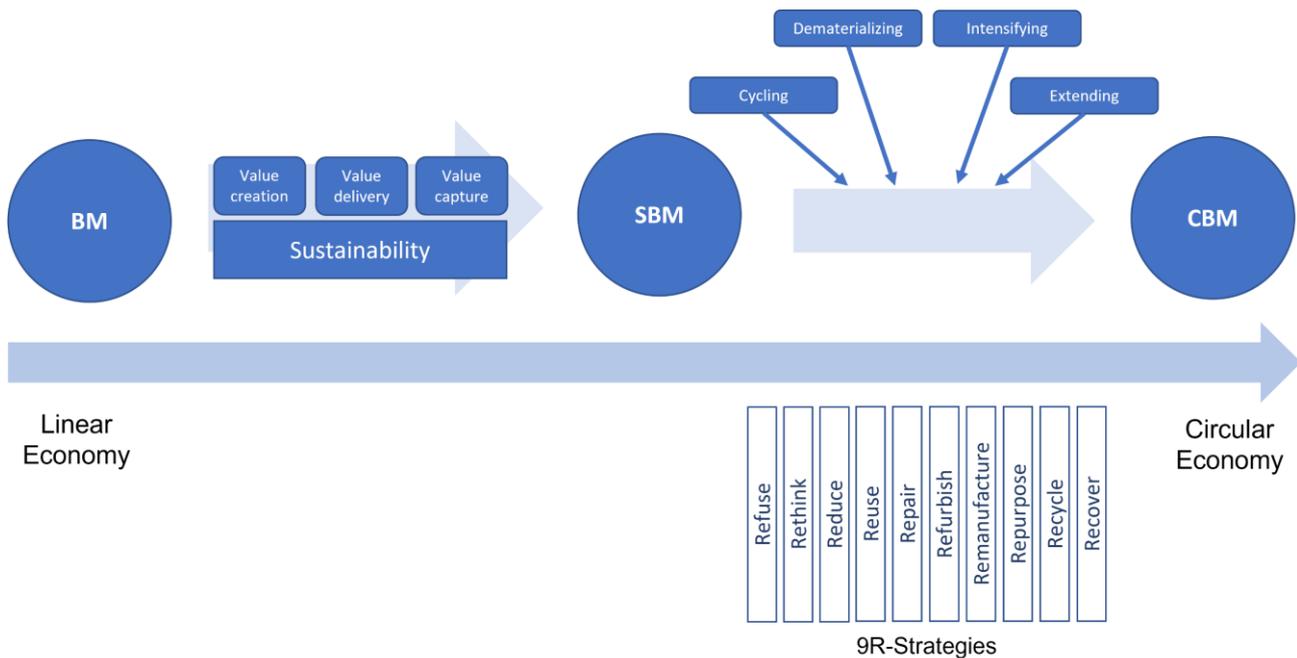


Abbildung 8: Traditionelle Geschäftsmodelle, nachhaltige Geschäftsmodelle und zirkuläre Geschäftsmodelle, (eigene Darstellung)¹⁰⁵

Die Verlängerung („Extending“) von Ressourcenkreisläufen beinhaltet das Verlängern der Nutzungsphase des Produkts durch ein langlebiges und zeitloses Design sowie ein im Hinblick auf verlängerte Nutzungsphasen, Wartung und Reparatur förderliches Marketing.¹⁰⁶ Neben der Schaffung langfristiger Kundenbeziehungen (Wertschöpfung und Lieferung) können langlebige Produkte (Wertversprechen), die während ihrer gesamten Lebensdauer gewartet werden, durch Servicepakete oder spezielle Verträge neue Einnahmequellen generieren. Die Umsetzung dieser Strategie führt zu einem Rückgang der Nachfrage nach der Produktion neuer Produkte.¹⁰⁷

Unter Intensivieren („Intensifying“) wird die Erhöhung der Auslastung von Produkten bzw. deren Komponenten in der Nutzungsphase verstanden. Mit Hilfe von Kapazitätsmanagement, digitalen Fähigkeiten und Kundenbeziehungsmanagement führt die Intensivierung zur Entwicklung neuer Wertangebote, die sich auf Sharing-Modelle stützen. Durch die Intensivierung werden neue BMs mit einer stärkeren Servicekomponente, wie beispielsweise Produkt-Service-Systeme, die wiederkehrende Einkommensströme bieten, ermöglicht. Weniger strukturelle Abfälle (Gegenstände, die vor ihrer festgelegten Lebensdauer entsorgt werden) oder Leerlaufzeiten sind die primären Umweltvorteile dieses Prinzips, die zu einer Verringerung des Bedarfs an neuen Produkten und einer Reduzierung der Abfallproduktion führt.¹⁰⁸

¹⁰⁵ Bigliardi & Filippelli, 2021, S. 4.

¹⁰⁶ Vgl. Murray et al., 2017, S. 369–380.

¹⁰⁷ Vgl. Geissdoerfer et al., 2020, S. 12.

¹⁰⁸ Vgl. Geissdoerfer et al., 2020, S. 12.

Das Dematerialisieren („Dematerialising“) von Ressourcenkreisläufen bezeichnet die Substitution materieller Ressourcen durch immaterielle Dienstleistungen und Softwarelösungen. Durch das Angebot von Produkt-Dienstleistungssystemen, die den gleichen Nutzen für die Endnutzer*innen darstellen, kann der Bedarf an neuen Produkten und somit der Ressourcenverbrauch für deren Herstellung reduziert werden.¹⁰⁹ Das Produkt-Dienstleistungssystem muss jedoch speziell für die Ressourcenentkopplung entwickelt werden, um unerwünschte oder Rebound-Effekte zu vermeiden, die zu einem Anstieg des Ressourcenverbrauchs führen könnten.¹¹⁰

Es ist entscheidend für CBMs, dass alle vier Prinzipien innerhalb eines einzigen BMs kombiniert werden können, insbesondere als Teil eines BM-Ökosystems.¹¹¹ Durch die Integration dieser vier Prinzipien wird das lineare BM neben ihren drei Kernelementen (Wertschöpfung und Wertbereitstellung, Werterfassung und Wertversprechen) um weitere Komponenten, welche die Wiederherstellung und Wiederbereitstellung sowie die Wiedererfassung von Werten beinhalten, ergänzt, wodurch ein erweitertes Wertversprechen angeboten wird.¹¹² In nachfolgender Abbildung sind die Kernelemente eines linearen BMs nach Richardson (2008)¹¹³ im Vergleich mit denen eines CBM nach Bocken et al.(2016)¹¹⁴ ersichtlich.



Abbildung 9: Die Kernelemente eines linearen BMs und eines CBMs (eigene Darstellung)

Aufgrund der gleichzeitigen Anwendung typischer linearer sowie zirkulärer BM-Komponenten weisen CBMs komplexere Strukturen als einfache lineare BMs auf.¹¹⁵ Die Wertschöpfungslogik kann mit den Prinzipien der CE in Einklang gebracht werden,

¹⁰⁹ Vgl. Geissdoerfer et al., 2020, S. 12.

¹¹⁰ Vgl. Pieroni Marina P.P. et al., 2019a, S. 198–216.

¹¹¹ Vgl. Geissdoerfer et al., 2020, S. 12.

¹¹² Vgl. Guldmann & Huulgaard, 2020, S. 2.

¹¹³ Vgl. Richardson, 2008, S. 133–144.

¹¹⁴ Vgl. Bocken et al., 2016, S. 308–320.

¹¹⁵ Vgl. Hopkinson et al., 2018, S. 71–94.

indem das BM um CBM-Komponenten erweitert wird. Obwohl CBMs auch nur mit einem Teil der vorgeschlagenen Komponenten einen gewissen Effekt erzielen, werden die bestmöglichen Resultate nur durch eine ganzheitliche Einbindung aller CBM-Elemente erzielt.¹¹⁶

2.4.3 Geschäftsmodell-Innovation und Kreislaufwirtschaft

Unter der Geschäftsmodell-Innovation („Business Model Innovation“, BMI) versteht man die Kombination der theoretischen Aspekte von BMs und Innovationen. Im Fokus der BMI steht die Neugestaltung bzw. Weiterentwicklung der jeweiligen BM-Elemente oder sogar des gesamten Unternehmens. Dadurch sollen neuartige Abläufe und Prozesse geschaffen werden, um bislang nicht verfügbare Produkte und Dienstleistungen anzubieten und somit unbefriedigte, aber auch neue bzw. bisher unbemerkte Kundenbedürfnisse zu stillen. Die Beweggründe der BMI können ihren Ursprung einerseits bei den Kund*innen andererseits auch beim Wettbewerb, bei der Branche und beim Unternehmen selbst haben. Sie fördert einerseits die Differenzierung im Wettbewerb und bietet die Möglichkeit neue Märkte zu erschließen.¹¹⁷

Die BMI kann definiert werden als *„die Konzeption und Umsetzung neuer Geschäftsmodelle, welche die Entwicklung völlig neuer Geschäftsmodelle, die Diversifizierung in zusätzliche Geschäftsmodelle, die Übernahme neuer Geschäftsmodelle oder die Umwandlung von einem Geschäftsmodell in ein anderes beinhalten kann. Die Transformation kann das gesamte Geschäftsmodell, einzelne oder eine Kombination seiner Elemente (Wertversprechen, Wertschöpfung und -erbringung sowie Werterfassung), die Wechselbeziehungen zwischen den Elementen und das Wertschöpfungsnetzwerk betreffen.“*¹¹⁸

Die BMI bildet somit einen entscheidenden Faktor für den fortwährenden Unternehmenserfolg. Vom strategischen Standpunkt aus sind sich Großunternehmen bereits bewusst, dass sie ihre BMs innovieren müssen, um ihr Überleben und Wachstum zu sichern, da sie sich mit der Bedrohung durch ständige Innovation auseinandersetzen müssen.¹¹⁹ Die BMI ist ein neuer Ansatz für die Entwicklung, Bereitstellung und Erhaltung des Wertes, der sich aus dem BM ergibt.¹²⁰ Für die Entwicklung und Umsetzung eines CBMs sind Innovationen erforderlich. Um die Entsorgung von Produkten am Ende ihrer Nutzungsdauer zu verringern, müssen Unternehmen, die eine CE umsetzen wollen, eine Innovationsperspektive einnehmen, die sich nicht auf eine veränderte Lieferkette einschränkt, sondern auch die Tatsache berücksichtigt, dass es mehrere Zyklen der Wertschöpfung gibt.¹²¹

¹¹⁶ Vgl. Geissdoerfer et al., 2018a, S. 712–721.

¹¹⁷ Vgl. Schallmo, 2013, S. 23 ff.

¹¹⁸ Geissdoerfer et al., 2018b, S. 405 f.

¹¹⁹ Vgl. Blank, 2018, S. 63 ff.

¹²⁰ Vgl. Osterwalder et al., 2010, S. 14 ff.

¹²¹ Vgl. Bocken et al., 2019, S. 4 ff.

CE-orientierte BMs basieren auf den Konzepten und Praktiken der CE, nutzen diese als Standards für die Entwicklung und Gestaltung von BMs und zielen auf die Schließung der Energie- und Materialkreisläufe sowie auf die Steigerung der Ressourceneffizienz und -effektivität ab.¹²² Folglich ist davon auszugehen, dass der Begriff der kreislaufwirtschaftsfähigen bzw. zirkulären Geschäftsmodell-Innovation („Circular Business Model Innovation“, CBMI) mit dem Konzept der BMI in gleicher Weise zusammenhängt, wie traditionelle BMs mit CBMs.¹²³

„Die zirkuläre Geschäftsmodell-Innovation kann als die Konzeption und Umsetzung zirkulärer Geschäftsmodelle, welche die Gründung zirkulärer Start-Ups, die Diversifizierung in zirkuläre Geschäftsmodelle, die Akquisition zirkulärer Geschäftsmodelle oder die Transformation eines Geschäftsmodells in ein zirkuläres Modell umfasst, definiert werden. Dies kann das gesamte Geschäftsmodell, eines oder mehrere seiner Elemente, die Wechselbeziehungen zwischen den Elementen und das Wertschöpfungsnetz betreffen.“¹²⁴

Die Definition von CBMI impliziert, dass ein Unternehmen durch die Integration von Komponenten der CE ein BM innovieren kann, indem es entweder das derzeitige BM dauerhaft ändert oder ein neues Geschäft in das bestehende Modell integriert. Im Allgemeinen unterscheidet sich die CBMI je nachdem, ob etablierte Unternehmen oder Start-ups betrachtet werden. Während erstere Taktiken bevorzugen, die es ihnen ermöglichen, ihr aktuelles BM in ein CBM umzuwandeln, bauen letztere die Entwicklung ihres BM auf elementare Aspekte der CE auf.¹²⁵

Unter einem zirkulären Start-Up versteht man ein neues BM, welches die Prinzipien eines CBM (Durchlaufen, Verlängern, Dematerialisieren, Intensivieren) außerhalb eines etablierten Unternehmens, also mit eigener Identität sowie eigenem Personal und Ressourcen umsetzt. Sie gelten als eigenständig und können durch Accelerator- und Inkubatorprogramme von außen unterstützt werden.¹²⁶

Unter Nutzung der Ressourcen und des Netzwerks einer bestehenden Organisation bezieht sich die Diversifizierung von CBMs auf die Schaffung neuer BMs, die die Strategien der CE nutzen. Das derzeitige BM der Stammorganisation wird beibehalten, die neuen BM werden entweder als Tochterunternehmen ausgelagert oder als neue Einheiten in die Organisation eingebunden. Projekte zur Innovation von BMs zusammen mit anderen Organisationen fallen ebenfalls unter diese Kategorie.¹²⁷

Unter Akquisition versteht man die Identifizierung, den Erwerb und die darauffolgende Integration von CBMs in die eigene Organisation, wobei der Grad der Einbindung

¹²² Vgl. Pieroni Marina P.P. et al., 2019b, S. 201.

¹²³ Vgl. Geissdoerfer et al., 2020, S. 8.

¹²⁴ Geissdoerfer et al., 2020, S. 8.

¹²⁵ Vgl. Guldmann & Huulgaard, 2020, S. 3 ff.

¹²⁶ Vgl. Geissdoerfer et al., 2020, S. 8.

¹²⁷ Vgl. Geissdoerfer et al., 2020, S. 8.

unterschiedlich sein kann.¹²⁸ Die Transformation eines BMs beinhaltet die Veränderung eines bestehenden BMs hin zu einem CBM. Unabhängig davon, ob das ursprüngliche BM als linear oder bereits als zirkulär gilt, beinhaltet das daraus entwickelte BM die Prinzipien der CE.¹²⁹

		Unternehmensgrenzen	
		Intern	Extern
Betroffener Geschäftsbereich	Hauptgeschäft	<p>CBM-Transformation</p> <p>Es existiert ein bestehendes BM, das in ein anderes BM umgewandelt wird, das als CBM eingestuft werden kann.</p>	<p>Zirkuläre Start-Ups</p> <p>Es gibt derzeit kein BM und es wird ein neues geschaffen.</p>
	Zusatzgeschäft	<p>CBM-Diversifizierung</p> <p>Das aktuelle BM bleibt bestehen und es wird ein zusätzliches CBM geschaffen - dazu gehören auch „Joint Ventures“</p>	<p>CBM-Akquisition</p> <p>Eine bestehendes CBM wird identifiziert, erworben und in die Organisation integriert</p>

Abbildung 10: Die vier Arten der CBMI (eigene Darstellung)¹³⁰

Handelt es sich beim Ausgangs-BM um ein lineares, so gilt die CBM-Transformation als die CBMI-Art mit der größten potentiellen Wirkung. Sowohl die Methode der zirkulären Start-ups als auch die CBM-Diversifizierung weisen viele gemeinsame Merkmale auf. Das neue BM kann vergleichbare, neue zirkuläre Lösungen hervorbringen, unabhängig davon, ob es intern von einer bereits bestehenden Organisation oder extern von einer neuen Einheit geschaffen wird.¹³¹ Bei diesen beiden Arten der CBMI besteht jedoch häufig die Gefahr, dass durch die Schaffung neuer Märkte und einer bisher nicht gedeckten Nachfrage, die Umweltauswirkungen verlagert oder sogar verstärkt werden.¹³² Das Ausmaß der resultierenden Ressourceneffizienzsteigerung im Zuge der CBM-Akquisition ist hingegen abhängig vom Erfolg der Integration des erworbenen CBM in die Organisation und die damit einhergehende Freisetzung von Synergieeffekten zwischen den BMs.¹³³

¹²⁸ Vgl. Geissdoerfer et al., 2020, S. 8.

¹²⁹ Vgl. Geissdoerfer et al., 2020, S. 8.

¹³⁰ Geissdoerfer et al., 2020, S. 8.

¹³¹ Vgl. Geissdoerfer et al., 2020, S. 12.

¹³² Vgl. Kjaer et al., 2018, S. 22–35.

¹³³ Vgl. Palich et al., 2000, S. 155–174.

2.5 Grundlagen für die Analyse und Auswahl von zirkulären Geschäftsmodellen

2.5.1 Unsicherheit, Wirkung und Kausalität

2.5.1.1 Entscheidungen unter Unsicherheit

Die Analyse und Auswahl von neuartigen BMs, und somit auch von CBMs lassen sich entscheidungstheoretisch operationalisieren.¹³⁴ Für die Analyse und Auswahl eines Bewertungsobjektes stellen der Zeitpunkt der Betrachtung und der Informationsstand ein signifikantes Kriterium dar. D.h., ausgehend von den zum Zeitpunkt der Analyse und Auswahl zur Verfügung stehenden Informationen werden Entscheidungen getroffen. Dabei ist zwischen gegenwärtigen (z.B.: Wettbewerbs- und Kundenverhalten), zukunftsgerichteten (z.B.: Trends und Schätzungen) oder vergangenheitsbezogenen Informationen (z.B.: Erfahrungswerte) zu unterscheiden.¹³⁵

Die Auswahl und Analyse neuer, innovativer BMs sind in Bezug auf Informationen, speziell in den Fällen von vergangenheits- und zukunftsgerichteten Informationen von erheblichen Unsicherheiten betroffen. Erworbenes Wissen aus vergangenen BM-Planungen sind nicht umfassend für die Planung eines zukünftigen BMs anwendbar. Zuzüglich werden zukunftsgerichtete Informationen aufgrund des dynamischen Umfelds eines Unternehmens als unsicher eingestuft. In der Regel ist die Anzahl der mitwirkenden Interessensgruppen sowie die Inhalte und Ziele eines zukünftigen BM-Ökosystems nicht vorhersehbar.¹³⁶

Gemäß der Entscheidungstheorie werden Entscheidungen unter Unsicherheiten in Entscheidungen unter Ungewissheiten und Entscheidungen unter Risiko differenziert.¹³⁷ Ungewissheit bezeichnet eine Entscheidungssituation, bei der die Form zukünftiger Entwicklungen zwar bekannt ist, aber keine Aussage über die Wahrscheinlichkeit des Eintretens getroffen werden kann. Bei Entscheidungen unter Risiko hingegen sind Wahrscheinlichkeiten zuordenbar.¹³⁸

2.5.1.2 Betrachtung nach Wirkung und Kausalität

Die Analyse und Auswahl von neuen BMs kann aus unterschiedlichen Perspektiven erfolgen. Eine davon ist die Perspektive der BMI.

Relevante Entscheidungspunkte zur Analyse und Auswahl von BMs sind die Entscheidung einen BM-Test in Form eines Prototyps zu finanzieren sowie die Entscheidung ein BM einzuführen und einer größeren Zielgruppe anzubieten.

¹³⁴ Vgl. Bredmar, 2015, S. 44–52.

¹³⁵ Vgl. Williamson, 1988, S. 355–362.

¹³⁶ Vgl. Dais S., 2017, S. 259–268.

¹³⁷ Vgl. Pfohl, 1972, S. 314.

¹³⁸ Vgl. Grothe, 1997, S. 254.

Während beim ersten Entscheidungspunkt vorwiegend analytische Methoden herangezogen werden, wird der zweite Entscheidungspunkt vorwiegend durch Tests realisiert.¹³⁹ Analytische Methoden fundieren auf der Entscheidungslogik der Kausalität, Ansätze mit Test-Fokus folgen der Wirkungsperspektive.¹⁴⁰

*„Kausale Prozesse nehmen eine bestimmte Auswirkung als gegeben an und konzentrieren sich auf die Auswahl zwischen verschiedenen Mitteln, um diese Wirkung zu erzielen.“*¹⁴¹ D.h., die Kausalitätsperspektive stuft die Zukunft als vorhersagbar ein und legt den Fokus auf die prognostizierbaren Aspekte einer ungewissen Zukunft. Sie besagt, dass die Zukunft genau in demselben Ausmaß kontrollierbar wie vorhersehbar ist.¹⁴²

*„Wirkungs-Prozesse nehmen einen Satz von Maßnahmen als gegeben an und konzentrieren sich auf die Auswahl zwischen möglichen Wirkungen, die mit diesen Satz von Maßnahmen erzielt werden können.“*¹⁴³ Die Wirkungsperspektive betrachtet die Zukunft als unvorhersehbar und konzentriert sich auf die kontrollierbaren Faktoren einer ungewissen Zukunft. Gemäß der zugrundeliegenden Logik muss die Zukunft nicht prognostizierbar sein, solange sie kontrolliert und beeinflusst werden kann.¹⁴⁴

Die Wahl zwischen Wirkungs-Prozessen und kausalen Prozessen ist abhängig von Anfangsbedingungen, wie der Grad der Unsicherheit und die Neuartigkeit des Marktes.¹⁴⁵ Während das Ergebnis der Wirkungsperspektive gänzlich von den zur Verfügung stehenden Mitteln abhängt, verfolgt die kausale Entscheidungslogik eine spezifische Zielsetzung und setzt Maßnahmen, um diese zu erreichen.¹⁴⁶

¹³⁹ Vgl. Tesch et al., 2017, S. 12 ff.

¹⁴⁰ Vgl. Tesch & Brillinger, 2017, S. 2252.

¹⁴¹ Sarasvathy, 2001, S. 245.

¹⁴² Vgl. Sarasvathy, 2001, S. 251 f.

¹⁴³ Sarasvathy, 2001, S. 245.

¹⁴⁴ Vgl. Sarasvathy, 2001, S. 251 f.

¹⁴⁵ Vgl. Reymen et al., 2015, S. 356.

¹⁴⁶ Vgl. Tesch & Brillinger, 2017, S. 2252.

2.5.2 Methoden zur Analyse und Auswahl von Geschäftsmodellen

Für die Analyse und Auswahl von BMs ist ein ideales Verhältnis zwischen Risiko und erwartetem Ergebnis von essenzieller Bedeutung. Unabhängig von der Wahl der Betrachtungslogik wird durch die Anwendung von Methoden zur Auswahl und Analyse von BMs die Wahrscheinlichkeit eines Misserfolgs reduziert und Ansätze zur Optimierung bestimmt.¹⁴⁷ In der nachfolgenden Tabelle sind verschiedene Ansätze zur Analyse und Auswahl von BMs, kategorisiert nach den im Kapitel 2.5.1 dargelegten Betrachtungsweisen ersichtlich.

	Qualitativ	Mixed Method	Quantitativ
Betrachtung nach Wirkung (effectual logic)	<ul style="list-style-type: none"> • Ontologien und Frameworks • Evaluationskriterien • Analogien durch Geschäftsmodellmuster • Roadmapping 	<ul style="list-style-type: none"> • Experimente und „Trial and Error“ • MVP-Ansatz (Minimum Viable Product) 	
Betrachtung nach Kausalität (causal logic)	<ul style="list-style-type: none"> • SWOT-Analyse • PESTEL • Trendanalyse • Experteninterview • Taxonomien und morphologischer Kasten 	<ul style="list-style-type: none"> • Balanced Scorecard • Metriken • Analytischer Hierarchieprozess (AHP) • Analytischer Netzwerkprozess (ANP) • Entscheidungsunterstützungssysteme • Szenarioplanung 	<ul style="list-style-type: none"> • Business Case und Financial Spreadsheets • Marktsimulationen • Technologie-Forecasting • Kundenumfragen

Tabelle 5: Ansätze zur Analyse und Auswahl von Geschäftsmodellen¹⁴⁸

Methoden der Wirkungsperspektive zur qualitativen Beurteilung wirken unterstützend zur Analyse und Auswahl von BMs und identifizieren die dafür erforderlichen Entscheidungskriterien. Sie begünstigen die fortwährende Weiterentwicklung von BMs, indem sie potentielle Stärken und Schwächen (Ontologien und Frameworks) bestimmen und Evaluierungskriterien, identifizierte BM-Muster und Methoden des „Roadmappings“ nutzen.¹⁴⁹ Mischformen aus qualitativen und quantitativen Betrachtungsweisen, wie Experimente, „*Trial and Error*“ und der MVP-Ansatz dienen zur genaueren Untersuchung von Detailspekten, wie zum Beispiel der Analyse des Kundenverhaltens.¹⁵⁰

Methoden zur Betrachtung nach Kausalität machen sich vergangenheits- und zukunftsbezogene Informationen zu Nutze, um BMs zu analysieren und auszuwählen. Sie gelten als ein bewährtes Vorgehen zur Entscheidungsfindung in der produzierenden Industrie.¹⁵¹ Die in Tabelle 5 ersichtlichen qualitativen Methoden ermöglichen die Analyse von BM-Designs, die Ableitung erster Entscheidungskriterien

¹⁴⁷ Vgl. Taran et al., 2015, S. 301–331.

¹⁴⁸ Tesch & Brillinger, 2017, S. 2255.

¹⁴⁹ Vgl. Melzner, 2020, S. 41 f.

¹⁵⁰ Vgl. McGrath, 2010, S. 247–261.

¹⁵¹ Vgl. Melzner, 2020, S. 40.

und die Vereinfachung von komplexen Entscheidungssituationen.¹⁵² Die SWOT-Analyse (Analyse von Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken)¹⁵³ und die PESTEL-Analyse (Untersuchung von politischen, ökonomischen, soziokulturellen, technologischen, umweltbezogenen und rechtlichen Einflussfaktoren)¹⁵⁴ finden vorwiegend in der Phase des „*Prototypings*“ von BMs Anwendung.¹⁵⁵ Zur vertiefenden Analyse von Detailspekten, wie die technologische Machbarkeit und die Kundenakzeptanz erweisen sich Experteninterviews als nützlich.¹⁵⁶ Zur quantitativen Betrachtung der Ergebnisse aus qualitativen Methoden, wie der PESTEL-, SWOT-Analyse oder Experteninterviews eignen sich analytische Hierarchie- und Netzwerkprozesse. Diese offerieren eine umfassende Analyse diverser Aspekte auf Basis von Statistiken und ermöglichen eine multikriterielle Entscheidungsanalyse („Multi-Criteria Decision Analysis“, MCDA).¹⁵⁷ Die Kombination dieser Verfahren werden als Entscheidungsunterstützungssystem zusammengefasst.¹⁵⁸

¹⁵² Vgl. Melzner, 2020, S. 40 f.

¹⁵³ Vgl. Melzner, 2020, S. 40.

¹⁵⁴ Vgl. Yüksel, 2012, S. 52.

¹⁵⁵ Vgl. D'Souza et al., 2015, S. 1–29.

¹⁵⁶ Vgl. Tesch et al., 2017, S. 2250–2268.

¹⁵⁷ Vgl. Görener, 2012, S. 194–208.

¹⁵⁸ Vgl. Melzner, 2020, S. 41.

2.6 Grundlagen des „Multi-Criteria Decision-Making“ Ansatzes

Der Begriff "*Multiple-Criteria Decision Analysis*" (MCDA), der in der Literatur auch als "*Multiple-Criteria Decision-Making*" (MCDM), "*Multi-Criteria Analysis*" (MCA), "*Multi-Objective Decision Analysis*" (MODA), "*Multiple-Attribute Decision-Making*" (MADM), oder "*Multi-Dimensional Decision-Making*" (MDDM) zu finden ist, bezieht sich auf eine Vielzahl von Methoden, Techniken und Werkzeugen, die bei Entscheidungs- bzw. Auswahlproblemen mit mehreren Kriterien und Zielen herangezogen werden. Seit dem späten 20. Jahrhundert hat diese Form der Entscheidungsfindung ein wachsendes Interesse in der Forschung und Praxis in einer Vielzahl von Sektoren geweckt.¹⁵⁹

2.6.1 Bedeutung multikriterieller Entscheidungsverfahren

Die MCDA-Methode ist eine Möglichkeit, komplexe Probleme zu untersuchen, die eine Kombination aus monetären und nicht-monetären Zielen beinhalten. Sie ermöglichen es eine Problemstellung in überschaubare Einheiten zu untergliedern, sodass Daten und Bewertungen auf diese Einheiten angewendet werden können. Anschließend werden diese Teilstücke zu einem kohärenten Gesamtergebnis zusammengesetzt und den Entscheidungsträgern vermittelt. Das primäre Ziel ist die Entscheidungsfindung und die entsprechenden Überlegungen zu unterstützen, nicht aber, die Entscheidung selbst zu treffen. Als Sammlung von Methoden liefert MCDA diverse Ansätze, um komplexe Probleme zu zerlegen, zu erfassen in welchem Ausmaß die Lösungsmöglichkeiten die Ziele erreichen, diese Ziele zu bewerten und die Teile wieder zusammensetzen.¹⁶⁰

Gerade in komplexen Fragestellungen in denen ökonomische, ökologische und soziale Aspekte berücksichtigt werden müssen, finden MCDA ihre Anwendung. Sie generieren Informationen und Lösungsvorschläge bzw. -alternativen anhand einer transparenten Struktur- und Inhaltsdefinition und unterstützen somit den Entscheidungsprozess. Dabei wird für mehrere Handlungsalternativen eine Bewertung durchgeführt, wodurch eine hierarchische Reihenfolge der Alternativen ermöglicht wird.¹⁶¹

Anwendungsmöglichkeiten für MCDA sind:

- Strukturierung von komplexen Entscheidungsproblemen
- Behandlung mehrdimensionaler Probleme
- Berücksichtigung heterogener Kriterien
- Einbeziehung gegensätzlicher Ziele
- Vergleich unterschiedlicher Managementstrategien

¹⁵⁹ Vgl. Dean, 2022, S. 3.

¹⁶⁰ Vgl. Dodgson et al., 2009, S. 46.

¹⁶¹ Vgl. Kangas et al., 2001, S. 215–227.

- Durchführung rationaler, transparenter und umfassender Analysen
- Einbindung qualitativer und quantitativer Daten in unterschiedlichen Maßstäben.¹⁶²

2.6.2 Kernelemente der MCDA

In der Literatur liegt eine Reihe an verschiedenen Methoden, sowie Unterkategorien dieser Methoden vor, die als MCDA bezeichnet werden. Obwohl diese Ansätze in vielen Fällen signifikant voneinander abweichen, stimmen sie in Bezug auf bestimmte Merkmale überein und weisen eine ähnliche Architektur der Entscheidungsunterstützung auf, die aus den folgenden wesentlichen Elementen bestehen:

Option

Vorschlag einer Handlungsalternative zur Lösung eines identifizierten Problems und Erreichung eines übergeordneten Zieles.

Ziel

Festlegung eines spezifischen Zieles, das es zu erreichen gilt und auf Basis dessen jede Option bewertet wird.

Kriterien

Definition quantifizierbarer Leistungsindikatoren einer Option bezüglich der Zielsetzung. Basierend auf den Kriterien kann eine Aussage über die Fähigkeit der Zielerreichung einer Option gemacht werden. Grundsätzlich unterscheiden sich diese in quantitative (numerische Messung der Leistung einer Option) und qualitative (Beschreibung der Leistung) Indikatoren. Letztere gelten aufgrund ihrer Abhängigkeit von persönlichen Wahrnehmungen und Haltungen der beteiligten Personen als subjektiver.

Bewertung der erwarteten Leistung

Zuweisung einer Zahl aus einer festgelegten Bewertungsskala zur Bewertung der Leistung einer Option gegenüber einem Ziel bzw. Kriterium.

Gewichtung der Kriterien

Numerische Bewertung der Wichtigkeit eines Zieles bzw. Kriteriums im Vergleich zu den anderen vorliegenden Zielen bzw. Kriterien.¹⁶³

¹⁶² Vgl. Wolfslehner et al., 2005, S. 159.

¹⁶³ Vgl. Dean, 2022, S. 9 ff.

Im Zuge von MCDAs wird in der Regel eine Vielzahl von Optionen auf Grundlage mehrerer Ziele und deren festgelegter Kriterien durch die Vergabe von Punkten bewertet. MCDAs sind charakterisiert durch die Regulierung, wie die Optionen, Ziele, Kriterien, Punktezahlen und Gewichtungen festgelegt und verwendet werden, um eine Bewertung, einen Vergleich, eine Aussonderung und Reihenfolgenbildung dieser Elemente zu ermöglichen.¹⁶⁴

2.6.3 Einteilung von MCDA-Methoden

MCDA- bzw. MCDM-Methoden werden in der facheinschlägigen Literatur in diskrete und kontinuierliche Verfahren unterteilt. Letztere werden auch MODM-Methoden genannt und kommen bei Problemen mit mehreren, oft widersprüchlichen Entscheidungskriterien und bei Einschränkungen durch Nebenbedingungen zur Anwendung. Diese Art der MCDA wird verwendet, wenn die Kriterien keine diskreten, sondern kontinuierliche Variablen annehmen. Beispiele für MODMs sind die Methoden des „Linear Programming“, „Non-linear Programming“, „Multi-objective Programming“, etc.¹⁶⁵

Diskrete MCDAs überprüfen und priorisieren eine begrenzte (endliche) Menge von Optionen und bewerten vorliegende Entscheidungs- bzw. Auswahlprobleme auf Grundlage subjektiver Einschätzungen von Entscheidungsträger*innen.¹⁶⁶ Diskrete Methoden werden auch als MADM bezeichnet und werden durch die drei folgenden zugrundeliegenden Theorien unterschieden:

- Methoden mit Nützlichkeitsfunktion ("Utility-based methods", UBM)
- Ausschließende Methoden ("Outranking methods", ORM)
- Kompromissmodelle („Compromise methods“, CM)¹⁶⁷

Während UBMs Verfahren beinhalten, die genaue Informationen für eine Vielzahl von Entscheidungsmöglichkeiten generieren und von der Abhängigkeit der Kriterien untereinander ausgehen, gehen ORMs nicht vom Prinzip der „einen besten Option“ aus und führen einen paarweisen Vergleich von Alternativen durch, um eine Rangreihenfolge der Optionen zu erhalten. Beispiele für UBMs bzw. ORMs sind AHP- und ANP-Methoden bzw. die Verfahren "*Elimination and Choice Expressing Reality*" (ELECTRE) und "*Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations*" (PROMETHEE).¹⁶⁸

CMs betrachten Problemstellungen mit gemischten Faktoren und unterstützen bei der Auswahl der bestmöglichen Option durch den Austausch von Gedanken, Meinung und Ideen. Beispiele für CMs bilden die Verfahren „*Technique for Order Performance by*

¹⁶⁴ Vgl. Dean, 2022, S. 11.

¹⁶⁵ Vgl. Danesh et al., 2018, S. 85 f.

¹⁶⁶ Vgl. Danesh et al., 2018, S. 84.

¹⁶⁷ Vgl. Danesh et al., 2018, S. 83 ff.

¹⁶⁸ Vgl. Danesh et al., 2018, S. 84 f.

“Similarity to Ideal Solution” (TOPSIS) und die “Multi-criteria Optimization and Compromise” bekannt als “Vlekriterijumsko Kompromisno Rangiranje” (VIKOR).¹⁶⁹

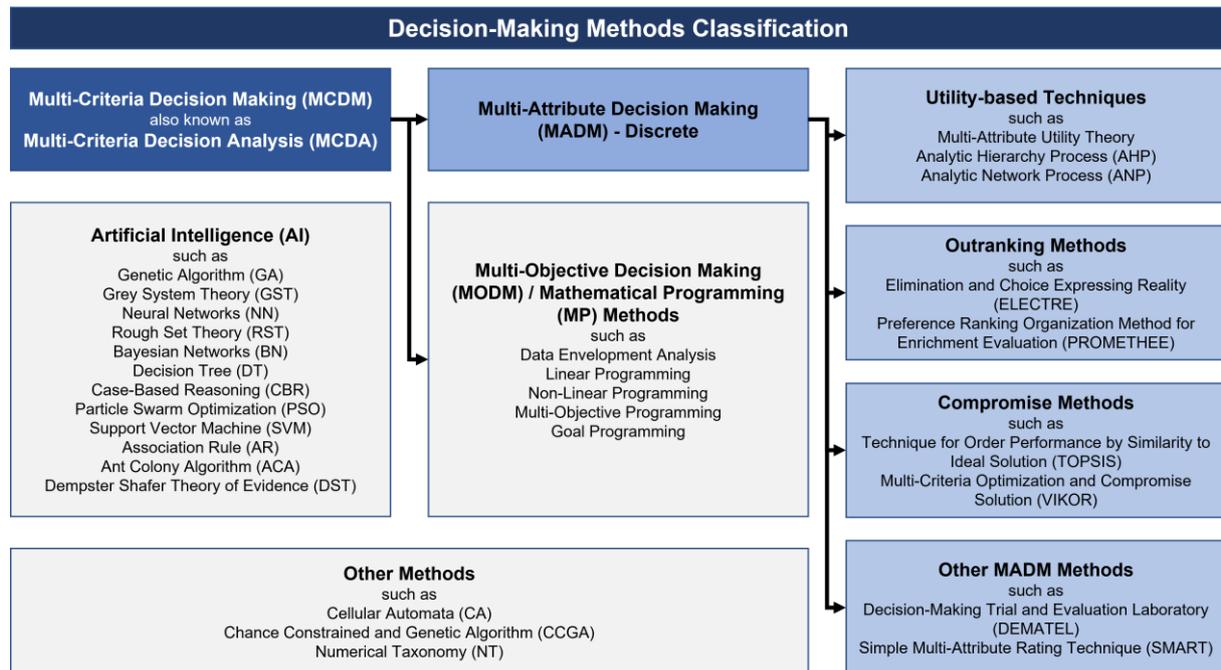


Abbildung 11: Einteilung von MCDA-Methoden (eigene Darstellung)¹⁷⁰

2.6.4 Durchführung von MCDAs

MCDAs können einerseits retrospektiv zur Bewertung bereits vorliegender Gegebenheiten und andererseits prospektiv zur Bewertung von zuvor nicht vorgekommenen Sachverhalten angewendet werden.¹⁷¹ Unabhängig von den beiden Verwendungszwecken wird die Durchführung von MCDAs in den folgenden Schritten durchgeführt:

1. Festlegung des Entscheidungskontexts
2. Ermittlung der zu prüfenden Optionen
3. Identifikation von Zielen und deren zugehörigen Kriterien
4. Bewertung der Optionen anhand der Kriterien
5. Gewichtung der Kriterien – Ermittlung der relativen Bedeutung für die Entscheidung
6. Kombination der Gewichtungen und Bewertungen zu einem Gesamtwert
7. Prüfung und Begutachtung der Ergebnisse
8. Sensitivitätsanalyse¹⁷²

¹⁶⁹ Vgl. Danesh et al., 2018, S. 85.

¹⁷⁰ Vgl. Danesh et al., 2018, S. 83.

¹⁷¹ Vgl. Dodgson et al., 2009, S. 49.

¹⁷² Vgl. Dodgson et al., 2009, S. 50.

2.6.4.1 Festlegung des Entscheidungskontexts

Im ersten Schritt wird definiert, welcher Nutzen und welche Ziele im Rahmen der MCDA erreicht werden sollen. Des Weiteren werden die Entscheidungsträger*innen und sonstige Interessensgruppen, die nützliche und signifikante Beiträge liefern können festgelegt und das sozio-technische System zur Durchführung der MCDA entwickelt. Dabei ist es zweckdienlich die sozialen und technischen Aspekte des Systems gemeinsam zu betrachten. Während die sozialen Aspekte die Fragestellungen, wie und wann die beteiligten Gruppierungen an der MCDA teilnehmen, betreffen, umfassen die technischen Faktoren die Festlegung welche MCDA-Methode wie angewendet wird. Durch die Beschreibung der aktuellen Situation und der darauffolgenden Festlegung der Ziele wird die Diskrepanz zwischen dem Ist-Zustand und der angestrebten Zielsetzung und somit die Bedeutung der MCDA verdeutlicht.¹⁷³

2.6.4.2 Ermittlung der zu prüfenden Optionen

In der zweiten Phase der MCDA werden sämtliche Merkmale und Alternativen ausgebildet und aufgelistet, die für die Lösung des Entscheidungs- bzw. Auswahlproblems und der damit verbundenen Ziele von Bedeutung sind. Alle Charakteristika, die zur Beschreibung herangezogen werden, müssen für alle Alternativen definiert werden können, um einen direkten Vergleich zu gewährleisten. Unabhängig davon, ob die Optionen vordefiniert sind oder erst entwickelt werden müssen, sollte sich nicht darauf beschränkt werden, nur die ursprünglichen Alternativen zu sammeln und deren Ausgestaltung festzulegen. Vielmehr soll die Möglichkeit genutzt werden, um zusätzlich die Diskussion mit den Entscheidungsträger*innen zu suchen und die Optionen im Verlauf der Analyse zu ändern oder durch weitere Alternativen zu ergänzen.¹⁷⁴

2.6.4.3 Identifikation von Zielen und deren zugehörigen Kriterien

Im Zuge der Definition des Entscheidungs- bzw. Auswahlproblems besteht zumeist eine bestimmte Vorstellung hinsichtlich des übergeordneten Ziels. In dieser Phase der MCDA wird dieses Verständnis konkretisiert, indem das übergeordnete Ziel in Sub-Ziele aufgespalten wird. Während das Hauptziel die „grobe Richtung“ vorgibt, spezifizieren die Unterziele das Zielsystem im Detail. Auf Basis des formulierten Zielsystems lassen sich anschließend die relevanten Kriterien festlegen, kategorisieren und in einer Kriterien-Hierarchie zusammenfassen. Diese Strukturierung der identifizierten Kriterien gewährleistet ein umfassenderes Verständnis über die Problemstellung und somit zu einer höheren Akzeptanz des

¹⁷³ Vgl. Dodgson et al., 2009, S. 50 ff.

¹⁷⁴ Vgl. Dodgson et al., 2009, S. 54 f.

Ergebnisses der MCDA. Ein geeignetes Instrument zur hierarchischen Darstellung der Kriterien bildet bspw. ein Wertebaum.¹⁷⁵

2.6.4.4 Bewertung der Optionen anhand der Kriterien

In diesem Schritt werden für die einzelnen Optionen die Präferenzwerte der Kriterien ermittelt. Diese drücken den Wert aus, der mit der Auswirkung der Option auf ein bestimmtes Kriterium verbunden ist. Dazu werden Präferenzskalen definiert, die an ihren Grenzen, durch die am meisten und am wenigsten bevorzugten Optionen für ein Kriterium beschränkt sind. Je Kriterium wird das entsprechende Objekt herangezogen. Anhand des Objektes und der damit verbundenen Einheit kann nun ermittelt werden, welchen Wert die einzelnen Alternativen bezüglich der Kriterien aufweisen. Die Ergebnisse werden in einer Entscheidungstabelle bzw. -matrix zusammengefasst, über die sich die Dominanz eines Objektes gegenüber einer Alternative überprüfen lässt.¹⁷⁶

2.6.4.5 Gewichtung der Kriterien – Ermittlung der relativen Bedeutung für die Entscheidung

Diese Phase besteht darin, die Bedeutung der Kriterien zu bestimmen. Dabei werden den Kriterien Gewichte bzw. Prioritäten zugewiesen, die ihre relative Wichtigkeit für den Entscheidungsprozess widerspiegeln. Dazu wird eine Gewichtungsskala, ähnlich der Präferenzskala aus der Bewertung der Optionen eingeführt. Die Gewichtung ist von grundlegender Bedeutung für die Wirksamkeit einer MCDA und wird in der Regel durch Entscheidungsträger*innen bzw. Teilnehmer*innen, die aufgrund ihrer Fachkenntnisse in der Lage sind, potentielle Unterschiede zwischen den Kriterien einschätzen zu können, durchgeführt.¹⁷⁷

2.6.4.6 Kombination der Gewichtungen und Bewertungen zu einem Gesamtwert

Nach Ermittlung der relativen Gewichtungen der jeweiligen Kriterien und der Bewertungen der Optionen gegenüber den Kriterien werden diese zu einer Gesamtgewichtung bzw. Gesamtbewertung für jedes Kriterium bzw. jede Option zusammengefasst. Mit Hilfe dieser Werte wird eine Rangfolge der Optionen und Kriterien erzielt, wobei die Art und Weise der Aggregation abhängig von der gewählten MCDA-Methode ist.¹⁷⁸

¹⁷⁵ Vgl. Dodgson et al., 2009, S. 54–58.

¹⁷⁶ Vgl. Dodgson et al., 2009, S. 59 ff.

¹⁷⁷ Vgl. Dodgson et al., 2009, S. 62 ff.

¹⁷⁸ Vgl. Dodgson et al., 2009, S. 65 ff.

2.6.4.7 Prüfung und Begutachtung der Ergebnisse

Oftmals können MCDAs unerwartete Ergebnisse hervorbringen. Daher ist es zweckdienlich temporäre Entscheidungssysteme in Form von Sitzungen zur Besprechung der Ergebnisse vorzusehen, um einen angemessenen Umgang mit unvorhergesehenen Resultaten und die Implikation neuer Perspektiven zu ermöglichen. Aus diesem vorläufigen System werden schließlich Empfehlungen für das Entscheidungsgremium abgeleitet.¹⁷⁹

2.6.4.8 Sensitivitätsanalyse

Bewertungs- oder Evaluierungsstudien sind aufgrund der oftmals geringen Zuverlässigkeit, mangelnden Genauigkeit und sogar Unvollständigkeit der verwendeten Daten mit einer gewissen Unsicherheit konfrontiert. Dies ist darauf zurückzuführen, dass im Rahmen einer MCDA oftmals willkürliche Entscheidungen getroffen werden müssen, da sich Entscheidungsträger*innen oft ihrer Präferenzen bzgl. der Bewertungs- und Gewichtungsskalen nicht sicher sind. Zur Berücksichtigung dieser Unsicherheiten und der Subjektivität der Entscheidungsträger*innen werden zur Überprüfung der Robustheit der Analyse Sensitivitätstests durchgeführt. Diese finden in Form von moderaten bis signifikanten Veränderungen der Parameter statt, um die Auswirkungen der Variationen auf die Ergebnisse der Analyse zu betrachten.¹⁸⁰

¹⁷⁹ Vgl. Dodgson et al., 2009, S. 67 f.

¹⁸⁰ Vgl. Dean, 2022, S. 69 f.

3 State of the Art Recherche

In diesem Kapitel werden anhand zweier separat durchgeführter Literaturrecherchen nach Ritschl et al. (2016)¹⁸¹ sowie Webster und Watson (2002)¹⁸² der aktuelle Stand der Forschung bzgl. der CBMs dargestellt und Faktoren, die zur erfolgreichen Entwicklung bzw. Umsetzung von CBMs beitragen identifiziert. Die Herangehensweise nach Ritschl et al. (2016) dient zur Ermittlung einer Basisliteraturliste. Dies erfolgt durch Bildung zweier Kategorien. Die erste Kategorie dient zur Beantwortung von SQ₁, welche auf die Darstellung des Forschungsstandes bzgl. CBMs abzielt. Kategorie 2 befasst sich mit SQ₂. Hierbei werden jene Faktoren identifiziert, die KMUs im Maschinen-, Fahrzeug- und Anlagenbau in Industrieländern berücksichtigen müssen, um CBMs erfolgreich zu entwickeln bzw. implementieren. Als primäre Online-Datenbanken wurden *ScienceDirect* und *Google Scholar* festgelegt. In Tabelle 6 sind die Search-Strings für Kategorie 1 und Kategorie 2 ersichtlich.

Forschungsfragen:

- **SQ₁:** „Was ist der Stand der Forschung bezüglich CBMs?“
- **SQ₂:** „Welche Erfolgsfaktoren müssen KMUs im Maschinen-, Fahrzeug- und Anlagenbau in Industrieländern für die Einführung der identifizierten CBMs berücksichtigen?“

Kategorie 1
<i>(“Circular Economy” OR “Circularity”) AND (“Circular Business Model” OR “Business Model”) OR (“Circular Business Model Innovation”)</i>
Kategorie 2
<i>((“Circular Economy” OR “Sustainability”) OR ((“Circular Economy” AND “Business Models”) OR “Circular Business Models”) AND (“Drivers” OR “Barriers” OR “Enabling Factors” OR “Success Factors” OR “Critical Success Factors”))</i>

Tabelle 6: Search-Strings für Kategorie 1 und Kategorie 2

Neben den Search-Strings wurde außerdem die Suche nach Literaturquellen durch vorab festgelegte Suchkriterien konkretisiert.

Suchkriterien

Betrachtungszeitraum	2018 bis 2022
Sprache	Englisch
Zugangsart	Freier Zugang

Tabelle 7: Suchkriterien der Literaturrecherche

¹⁸¹ Vgl. Ritschl et al., 2016.

¹⁸² Vgl. Webster & Watson, 2002.

Nach Durchführung der Suchläufe wurden, die in den jeweiligen Literaturdatenbanken angeführten Quellen anhand deren Titel und Zusammenfassungen analysiert. Publikationen, die nicht mithilfe der Titel und Zusammenfassungen ausgeschlossen werden konnten, wurden anhand ihrer Konklusion und Volltexte auf ihre Relevanz für die vorliegenden Forschungsfragen geprüft. In nachfolgender Tabelle sind die Publikationen aufgelistet, die im direkten Zusammenhang mit den Forschungsfragen stehen und in die Basisliteraturliste aufgenommen wurden.

<i>Literaturdatenbank</i>	<i>Anzahl der Ergebnisse</i>	<i>Anzahl der Ergebnisse nach Analyse von Titel und Zusammenfassungen</i>	<i>Anzahl der Ergebnisse nach Analyse der Konklusion und Volltexte (Basisliteraturliste)</i>
Kategorie 1			
ScienceDirect	4.071	11	6
Google Scholar	18.300	20	15
Kategorie 2			
ScienceDirect	4.817	10	8
Google Scholar	17.400	15	13

Tabelle 8: Anzahl der Ergebnisse nach Analyse der Volltexte

Demnach ergaben sich zwei Basisliteraturlisten für Kategorie 1 bzw. Kategorie 2 mit einer Gesamtanzahl von jeweils 21 Publikationen. Nach Auswertung der Basisliteratur wurde zur weiteren Vertiefung in die Materie und zur Suche weiterer themenspezifischer Studien die *Backward und Forward-Methode*, angelehnt an Webster und Watson (2002) angewendet. Dabei wurde vorwiegend die *Backward-Methode* herangezogen, wobei anhand der zitierten Quellen der Basisliteraturliste weitere relevante Literatur abgeleitet werden konnte.¹⁸³ Dazu wurden die jeweiligen Literaturverzeichnisse durchleuchtet und weitere Literatur anhand deren Titel und Kurzfassungen ausgewählt. Die Anzahl der, dadurch ermittelten vertiefenden Studien sowie die Anzahl der insgesamt zur Beantwortung der Forschungsfragen SQ₁ und SQ₂ verwendeten Publikationen sind in nachfolgender Tabelle veranschaulicht.

<i>Forschungsfrage</i>	<i>Anzahl der Publikationen der Basisliteraturliste</i>	<i>Anzahl vertiefende Publikationen</i>	<i>Anzahl der verwendeten Publikationen</i>
SQ1	21	11	32
SQ2	21	21	42

Tabelle 9: Anzahl der verwendeten Publikationen

¹⁸³ Vgl. Webster & Watson, 2002.

3.1 Zirkuläre Geschäftsmodelle (Circular Business Models)

In der Literatur werden aktuell fünf CBM diskutiert, welche den Übergang zur CE unterstützen und in Abhängigkeit von regionalen und branchenspezifischen Gegebenheiten, der Größe und Struktur der Unternehmen sowie der Produkt- bzw. Dienstleistungsart auf unterschiedliche Akzeptanz stoßen. Die identifizierten CBMs bieten individuell oder in Kombination einen praktikablen Zugang zur Umsetzung kreislaufwirtschaftlicher Strategien (siehe Kapitel 2.1.2) und tragen durch ihr Potential Abfälle, Emissionen und Ineffizienzen zu minimieren bzw. zu eliminieren zu einer erfolgreichen Transformation von einer linearen Wirtschaft zur CE bei. Auch wenn eine fokussierte und intensive Anwendung dieser CBMs erforderlich ist, um ihr kreislaufwirtschaftliches Potential mit größtmöglicher Wirkung zu erzielen, schließen sie sich nicht gegenseitig aus und sind durch ihre Kompatibilität untereinander charakterisiert. Eine größtmögliche Wirkung wird erzielt, wenn diese CBMs miteinander kombiniert werden.¹⁸⁴ Zu den identifizierten CBMs gehören:

- Circular Supplies Models (CSM)
- Resource Recovery Models (RRM)
- Product Lifecycle Extension Models (PLE)
- Product-Service Systems (PSS)
- Sharing Platforms (SP)

Die aufgelisteten CBMs erstrecken sich über die gesamte Wertschöpfungskette, wobei jedes der CBMs übergreifend in unterschiedlichen Stadien der Wertschöpfung ansetzen und teilweise aufeinander aufbauen (siehe Abbildung 12). Um diese CBMs anzuwenden und deren Potentiale optimal nutzen zu können müssen Entscheidungsträger*innen diese im Detail verstehen.¹⁸⁵

Auf den nachfolgenden Seiten werden die genannten CBMs näher erläutert. Dabei werden die wichtigsten Charakteristika, Treiber und etwaige Hindernisse für jedes der Modelle diskutiert und Beispiele für Ihre Umsetzung genannt.

¹⁸⁴ Vgl. Lacy & Partridge, 2020, S. 54 ff.

¹⁸⁵ Vgl. Lacy & Partridge, 2020, S. 57 f.

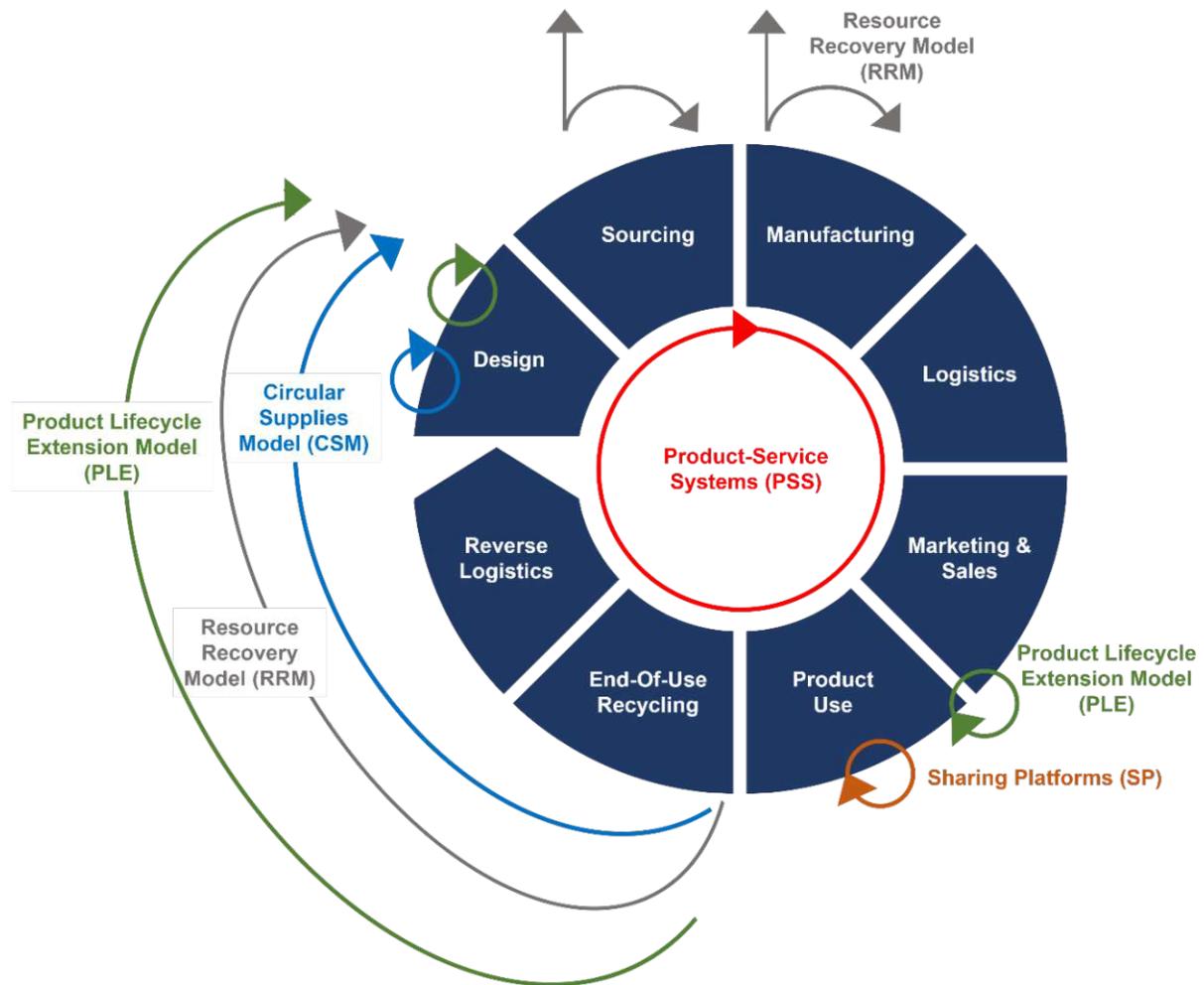


Abbildung 12: CBMs im Wertschöpfungskreislauf (eigene Darstellung in Anlehnung an Lacy & Partridge, 2020).¹⁸⁶

¹⁸⁶ Vgl. Lacy & Partridge, 2020, S. 19.

3.1.1 Circular Supplies Model (CSM)

Das Maxime des CSM beinhaltet die Substitution begrenzter Primärrohstoffe durch erneuerbare, recyclebare und biologisch abbaubare Werkstoffe. Der Begriff des CSM hängt dabei unmittelbar mit der Entwicklung von nachhaltigen, geschlossenen Lieferketten zusammen und zielt darauf ab die Abhängigkeit von Primärrohstoffen sowie den ökologischen Fußabdruck infolge der Produktion zu verringern und Lieferprozesse effizienter zu gestalten.¹⁸⁷

„Im Produktionsprozess werden erneuerbare, recycelte oder in hohem Maße recyclebare Rohstoffe verwendet, wodurch Abfälle und Umweltverschmutzungen teilweise oder ganz vermieden werden können.“¹⁸⁸

In der einschlägigen Literatur werden CSM auch als „*Circular Inputs*“ oder „*Circular Supply Chains*“ bezeichnet. Zur Umsetzung eines CSM ist es notwendig im Zuge der produzierenden Tätigkeit begrenzte Rohstoffe durch kreislaufwirtschaftsfähige bzw. zirkuläre Materialien, wie erneuerbare Ressourcen (z.B. Nutzung von Wind- und Sonnenenergie, Regenwassernutzung, etc.), erneuerbare biobasierte Materialien (z.B. Biokunststoffe, Naturstoffe, Chemikalien aus lebenden Organismen) und erneuerbare künstliche Materialien (z.B.: recyclingfähige nicht-organische Chemikalien) zu ersetzen, Altprodukte in den Herstellungsprozess wieder zurückzuführen und nachhaltige, geschlossene Lieferketten zu entwickeln.¹⁸⁹ Dazu ist eine dementsprechende Auswahl an Lieferanten und sonstigen Vertragspartnern erforderlich.¹⁹⁰

Ein Beispiel für ein erfolgreich umgesetztes CSM bildet das finnische Unternehmen *Sulapac*, welches durch ein biologisch abbaubares Verpackungsmaterial, bestehend aus Holzspänen und natürlichen Bindemitteln eine Alternative zu Einwegverpackungen aus erdölbasiertem Kunststoff entwickelt hat.¹⁹¹ Der deutsche Automobilhersteller *BMW* hat bzgl. der Substitution von Primärrohstoffen ebenfalls schon erste Versuche gestartet. Beim Modell *BMW i3* werden beispielsweise für die Innenausstattung vorwiegend nachwachsende und recycelte Materialien verwendet.¹⁹²

In der Theorie gibt es drei Betrachtungsweisen für nachhaltige Lieferketten, um CE-Strategien zu implementieren. Der Fokus bei „*Reverse Supply Chains*“ liegt bei dem Rückfluss von Produkten und Materialien, ohne einer Verknüpfung mit dem Herstellungsprozess. Die „*Open-Loop Supply Chain*“ (CLSC) hingegen berücksichtigt

¹⁸⁷ Vgl. Vermunt et al., 2018, S. 894.

¹⁸⁸ Lacy & Partridge, 2020, S. 21.

¹⁸⁹ Vgl. Lacy & Partridge, 2020, S. 21 f.

¹⁹⁰ Vgl. Tripathi & Petro, 2011, S. 24–32.

¹⁹¹ Vgl. Lacy & Partridge, 2020, S. 22.

¹⁹² Vgl. Bungard, 2018, S. 117.

auch den Vorwärtsstrom. Dabei wird der Rückfluss von Produkten und Materialien durch ein Drittunternehmen organisiert. Das Prinzip von CLSC umfasst die Produkt- und Materialströme beider Richtungen und koordiniert diese mit einem eigenen zentralen Managementsystem. Letzteres Konzept wird als vielversprechendste Herangehensweise zur Umsetzung von CE-Strategien gesehen.¹⁹³ Geschlossene Lieferketten haben das Potential einen erheblichen Anteil zur Vermeidung von Umweltbelastungen beizutragen.¹⁹⁴ CE-Praktiken haben die Eigenschaft, dass sie die Minimierung der Umweltverschmutzung und des Energieverbrauchs begünstigen, ohne den sozialen und technischen Fortschritt oder das Wirtschaftswachstum zu beeinträchtigen. Daher könnte die Einbindung von CE-Praktiken in eine CLSC erhebliche Vorteile mit sich bringen.¹⁹⁵

Gegenüber traditioneller Lieferketten geht die CLSC über die Lieferung von Produkten an die Endkund*innen hinaus und ist somit mit Unsicherheiten bzgl. der Nachfrage und der Quantität sowie Qualität der zurückgeführten Produkte konfrontiert, was zu Verzögerungen bei Rücknahme- und Wiederaufbereitungsprozesse führen kann.¹⁹⁶ Zur Minimierung dieser Risiken werden interne und externe Kollaborationen als vielversprechend angesehen. Dabei ist der ständige Informationsaustausch mit wichtigen Lieferanten und Kund*innen sowie deren Integration in Logistikprozesse, um die gemeinsame Verantwortung für die Produktrückgewinnung zu sichern, von großer Bedeutung. Als aussichtsreiche Option zur Verbesserung der Kommunikation mit externen Parteien werden neueste Technologien wie die Blockchain-Technologie angesehen.¹⁹⁷

Des Weiteren könnten anfänglich erhöhte Ausgaben, aufgrund erheblicher Anfangsinvestitionen der Lieferanten, die Beschaffung von Kreislaufmaterialien zu einer finanziellen Herausforderung machen.¹⁹⁸ Darüber hinaus bildet ein nachhaltiges Lieferantenmanagement eine zusätzliche Belastung und ein erhöhtes Risiko für Lieferanten, wodurch sie das Konzept als Gefahr für ihren Wettbewerbsvorteil ansehen könnten.¹⁹⁹ Dadurch verringert sich die Tendenz der Lieferanten zur Einführung von nachhaltigen Beschaffungspraktiken, wodurch sich wiederum die Auswahl an geeigneten Lieferanten für Unternehmen, die ein CSM umsetzen wollen, stark eingrenzt.²⁰⁰ Studien haben gezeigt, dass sich die Substitution von Materialien und Produkten durch zirkuläre Alternativen auch auf die Produktentwicklung auswirkt, da die Auslegung der Produkte für eine bessere biologische Abbaubarkeit, eine höhere Recyclingfähigkeit sowie Wiederverwendbarkeit in vielen Fällen ein neues

¹⁹³ Vgl. Gonbani et al., 2021, S. 2.

¹⁹⁴ Vgl. Perey et al., 2018, S. 631–642.

¹⁹⁵ Vgl. Marconi et al., 2019, S. 599–623.

¹⁹⁶ Vgl. Gonbani et al., 2021, S. 11.

¹⁹⁷ Vgl. Sudusinghe & Seuring, 2022, S. 6.

¹⁹⁸ Vgl. Giunipero et al., 2012, S. 258–269.

¹⁹⁹ Vgl. Ageron et al., 2012, S. 168–182.

²⁰⁰ Vgl. Vermunt et al., 2018, S. 894.

Produktdesign erfordert.²⁰¹ Abgesehen davon ist derzeit der Marktpreis für „neue“ Rohstoffe geringer als der von biobasierten, erneuerbaren Materialien. Dies würde sich auf den Produktpreis auswirken und Unternehmen davor abschrecken zirkuläre Alternativen zur Herstellung ihrer Produkte zu verwenden. Darüber hinaus sind zirkuläre Produkte auch von Imageproblemen betroffen. Kund*innen nehmen diese nach wie vor als qualitativ minderwertig wahr.²⁰²

Einen treibenden Faktor für CSM bilden Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten für Materialinnovationen. Durch die Entwicklung, Patentierung, Vermarktung und Nutzung neuer, zirkulärer Materialien erschließen sich für Unternehmen Möglichkeiten zur Generierung eines Wettbewerbsvorteils. Dazu muss eine Materialinnovation neben der Anforderung der Zirkularität auch andere Kriterien wie Qualitätsstandards und wettbewerbsfähige Preise erfüllen.²⁰³

Bisher wurde die Einführung von CSM weitgehend mit dem Ersatz von nicht-erneuerbaren bzw. nicht-wiederverwertbaren Ressourcen durch zirkuläre Alternativen vorangetrieben. Auf kurz- und mittelfristige Sicht sollten Unternehmen, sofern die kommerzielle und betriebliche Sinnhaftigkeit gegeben ist, den Fokus auf den Ersatz der Produktionsmittel durch zirkuläre Alternativen priorisieren und umsetzen. Langfristig sollte jedoch das Ziel verfolgt werden die Energie- und Materialkreisläufe zu schließen und zu dematerialisieren.²⁰⁴

²⁰¹ Vgl. Vermunt et al., 2018, S. 895.

²⁰² Vgl. Vermunt et al., 2018, S. 897 f.

²⁰³ Vgl. Lacy & Partridge, 2020, S. 21 ff.

²⁰⁴ Vgl. Lacy & Partridge, 2020, S. 21.

3.1.2 Resource Recovery Model (RRM)

Das RRM ist ein Verwertungsgeschäftsmodell, bei dem die Rückgewinnung von Materialien ausgemusterter Produkte im Zentrum steht. Dabei soll der Restwert entsorgter Produkte oder Bauteile durch einen Wiederverwertungsprozess, bei dem die ursprüngliche Funktion verloren geht, extrahiert und zur Herstellung neuer Produkte mit oder ohne derselben Funktion oder Zweckerfüllung eingesetzt werden. Voraussetzung für den Aufbau eines RRM ist die Organisation eines umfassenden, ausgereiften Produktrückführungssystems. Daher sollten diese Systeme auch als wichtiger Bestandteil eines RRM gesehen werden. Neben der Rückführung sind das Sammeln und Sortieren alter Produkte, das Zerlegen (Demontage) in Bauteilkomponenten und Materialien sowie die Weiterverarbeitung und -verwendung der Materialien wesentliche Kernprozesse einer RRM.²⁰⁵

„Der Wert eingebetteter Materialien oder Energie aus landwirtschaftlichen und industriellen Gütern wird durch Sammlung, Aggregation und Verarbeitung am Ende der Nutzung eines Produkts durch Recycling-, Upcycling- oder Downcycling-Infrastrukturen und -Verfahren erfasst.“²⁰⁶

Das RRM bildet eine Erweiterung der traditionellen Abfallwirtschaft und gilt unter den CBMs als das am weitesten verbreitete BM in der Industrie. Grund dafür ist, dass die meisten Unternehmen bereits über eine Form der Abfallwirtschaftsstrategie bzw. Ressourcenrückgewinnung verfügen und somit nur eine geringfügige Anpassung der bestehenden Strukturen erforderlich ist. Die zurückgewonnenen Ressourcen sollten idealerweise so genutzt werden, dass ihr höchstmöglicher Wert so lange wie möglich erhalten bleibt. D.h., Materialien, die am Ende der Nutzungsphase eines Produktes zurückgewonnen und wiederverwertet werden, sollten primär zur Herstellung von höherwertigen oder zumindest gleichwertigen Produkten („Upcycling“) herangezogen werden. Daher sollten sich Unternehmen bei der Umsetzung von RRM, unter Berücksichtigung der Komplexität und der technischen Machbarkeit stets hohe Ziele setzen und Konzepte, bei denen die Materialqualität vermindert („Downcycling“) wird, nur als ultima ratio in Betracht gezogen werden. Für Altprodukte, die aufgrund ihres Zustands nicht mehr recycelt werden können, besteht gemäß der Abfallhierarchie (siehe Abbildung 13) nur noch die Möglichkeit der energetischen Weiterverwertung ("Recover") und in letzter Instanz die Entsorgung.²⁰⁷

²⁰⁵ Vgl. Vermunt et al., 2018, S. 894.

²⁰⁶ Lacy & Partridge, 2020, S. 29.

²⁰⁷ Vgl. Lacy & Partridge, 2020, S. 29 f.

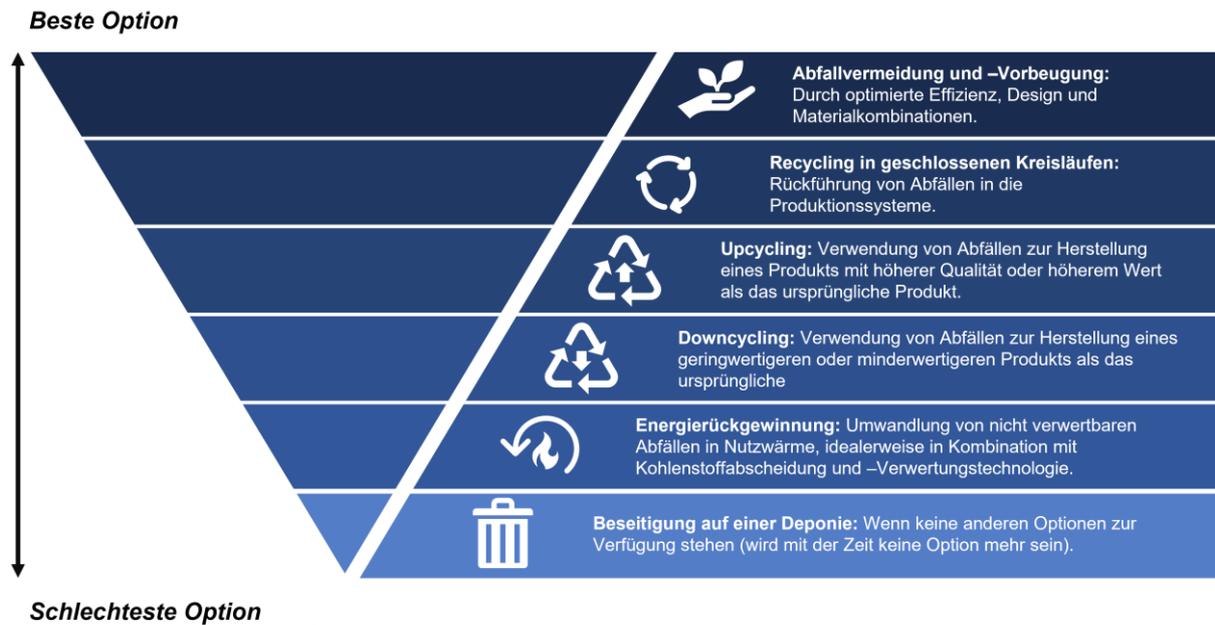


Abbildung 13: Die Abfallhierarchie aus dem Blickwinkel der CE (eigene Darstellung).²⁰⁸

RRM haben speziell in der Automobilindustrie reges Interesse geweckt, da die Herstellung von Fahrzeugen mit dem Einsatz von einerseits begrenzten und vor allem kostenintensiven Leichtbaumaterialien wie Aluminium verbunden ist. Diesbezüglich hat der deutsche Automobilhersteller Audi in Kooperation mit einem Lieferanten das Pilotprojekt "Aluminium Closed Loop" ins Leben gerufen. Dabei steht die Erprobung von effizienten Wegen zur Wiederverwertung von Aluminiumabfällen im Zentrum. Aluminium-Verschnitt aus den Presswerken des Automobilherstellers wird an den Lieferanten geliefert, welcher durch einen Recyclingprozess neue Sekundärrohstoffe herstellt, die wieder in den Materialkreislauf zur Herstellung neuer Fahrzeuge fließen.²⁰⁹ Auch Volkswagen hat für die Handhabung von Aluminiumabfällen eine Art RRM mit dem wesentlichen Unterschied zu Audi, dass keine Drittunternehmen in den Wiederverwertungsprozess involviert sind, etabliert. Dazu hat VW eine eigene Anlage gebaut, um Aluminiumreste vor Ort einzuschmelzen. Dies hat die Vorteile, dass weniger Aluminium-Legierungen beschafft, die Abhängigkeit von Lieferanten begrenzt sowie die damit verbundenen Transporte, deren Kosten sowie CO₂-Emissionen reduziert werden.²¹⁰

Durch die aktuellen wirtschaftlichen und technologischen Kompetenzen, wie bspw. für zeit- und kostenintensive Sammel-, Sortier- und Demontageprozesse, sind die Ressourcen für die Rückgewinnung nach Art und Menge begrenzt. Oftmals ist die bestehende Abfallinfrastruktur der Unternehmen nicht in der Lage, den quantitativen

²⁰⁸ Vgl. Lacy & Partridge, 2020, S. 29.

²⁰⁹ Vgl. Volkswagen Aktiengesellschaft.

²¹⁰ Vgl. Volkswagen Aktiengesellschaft.

oder qualitativen Anforderungen der Abnehmer*innen zu entsprechen.²¹¹ Angesichts der immer anwachsenden Komplexität von Produktzusammensetzungen und der steigenden Produktdiversifizierung werden die technologischen Anforderungen an RRM zur Rückgewinnung recyclingfähiger Materialien kontinuierlich höher.²¹² Eine weitere Schwierigkeit stellt die Abhängigkeit von anderen Parteien bzgl. der Bereitstellung von wiederverwendbaren Materialien dar. Damit geht die Frage einher, wie Informationen über die Qualität und Verfügbarkeit der verwendbaren Abfälle erhoben werden können, damit es nicht zu Lieferengpässen oder Versorgungsausfällen für die Recyclingprozesse kommt. Studien haben ergeben, dass RRM eine geringere Akzeptanz seitens der Konsument*innen erhalten, da oftmals Produkte aus recycelten Materialien fälschlicherweise als qualitativ minderwertig angesehen werden. Eine weitere Problematik sind die niedrigen Preise von Primärrohstoffen im Vergleich zu Sekundärrohstoffen, was ein Hemmnis für die Umsetzung von RRM für Unternehmen darstellt.²¹³

Dennoch gibt es ein erhebliches ungenutztes Potential für die Skalierung der aktuellen Technologien in Bezug auf die sammelbare Abfallmenge und die Recyclingqualität. Die kontinuierliche Weiterentwicklung der Technologien, innovative Lösungen und die stetig steigende Datenmenge ermöglichen die Automatisierung von bisher arbeitsintensiven Prozessen. Dadurch wird es den Unternehmen ermöglicht den Fokus auf die Werterhaltung und Rückgewinnung verschwendeter Ressourcen zu legen und somit RRM erfolgreich zu implementieren und weiterzuentwickeln. Aufgrund der vorherrschenden Ressourcenknappheit und Abfallproblematik, den damit einhergehenden zunehmenden Druck vonseiten der Verbraucher*innen und den gesetzlichen Regelungen wie bspw. die erweiterte Herstellerverantwortung („Extended Producer Responsibility“, EPR), welche dem herstellenden Unternehmen die Verantwortung für das Management der Nachnutzungsphase eines Produkts überträgt, wird sich langfristig das Konzept des RRM in der Industrie durchsetzen. Die Unternehmen sind gefragt Anreize zu setzen, um Kund*innen für die Rückgabe von Altprodukten und den Kauf recycelter Produkte zu motivieren.²¹⁴ Beispiele für solche Anreizsysteme sind das Rückgabeprogramm von Apple „*Apple Trade In*“ für Elektronikprodukte²¹⁵ und die „*reGAIN app*“ für ausgediente Kleidungsstücke²¹⁶, die für Gutschriften und Rabattgutscheine zurückgegeben werden können.

²¹¹ Vgl. Lacy & Partridge, 2020, S. 30.

²¹² Vgl. Vermunt et al., 2018, S. 894.

²¹³ Vgl. Vermunt et al., 2018, S. 894 ff.

²¹⁴ Vgl. Lacy & Partridge, 2020, S. 30.

²¹⁵ Vgl. Apple Inc., 2023.

²¹⁶ Vgl. reGAIN app, 2023.

3.1.3 Product Lifecycle Extension Model (PLE)

Das PLE ist ein Modell bei dem primär auf die Verlängerung des Produktlebenszyklus, welcher sich von der Entwicklungsphase bis zum Lebensende des Produktes erstreckt, abgezielt wird. Dabei werden mittels Wiederverwendungs- und/oder Produktverbesserungsstrategien aus dem Restwert gebrauchter Produkte neue Werte erstellt.²¹⁷ Zur Verlängerung der Lebensdauer der Produkte kommen verschiedene Ansätze zum Einsatz. Einerseits werden Maßnahmen in der Design- und Konzeptphase gesetzt, welche zu einer Ausweitung der funktionalen Lebensdauer der Produkte führen. Andererseits kann durch Reparatur- und Wartungsdienstleistungen die langfristige Nutzung der Produkte gewährleistet und somit die Nutzungsphase ausgedehnt werden.²¹⁸

„Die Nutzung eines Produkts in seiner vorgesehenen Anwendung wird durch Designüberlegungen, Reparaturen, Aufarbeitung von Komponenten, Upgrades und Wiederverkauf auf Sekundärmärkten gezielt verlängert.“²¹⁹

PLE-Strategien werden in der Literatur in drei Phasen des Lebenszyklus eines Produktes eingeteilt. Das erste Konzept wird am Beginn des Lebenszyklus angesetzt. *"Beginning-of-Life"-PLE* (BoL-PLE) befasst sich mit dem Design des Produktes, um durch modulare Gestaltung und Standardisierung von Bauteilen die Langlebigkeit, Zuverlässigkeit, Wartungs- und Reparaturfähigkeit, Aufrüst- und Zerlegbarkeit zu erhöhen sowie Möglichkeiten der Produkthanbindung zu schaffen. Dieses Modell dient zur intelligenteren Produktherstellung und -nutzung und bietet die Voraussetzungen, um künftige Wiederverwendungs- und Wiederverwertungsprozesse zu erleichtern.²²⁰

Das zweite Konzept *"Middle-of-Life"-PLE* (MoF-PLE) behandelt Chancen zur Verlängerung der Nutzungsphase des Produktes. Ein Ansatz wäre auf Produktpooling oder -sharing, also der Verwendung des Produktes durch mehrere Nutzer*innen, zu setzen. Ein weiteres Szenario bildet die Rückführung und Wiederverwendung (*Reuse*) durch Leasingverträge oder den direkten Weiterverkauf des Produktes durch den derzeitigen Besitzer. Dieses Konzept beinhaltet auch Konzepte zum Rückruf fehlerhafter Produkte, die Einbindung von zusätzlichen Dienstleistungen wie präventive, vorausschauende Wartungs- und Reparaturmaßnahmen und auch Services zur Modernisierung der Produkte.²²¹

Das *"End-of-Life"-PLE* (EoL-PLE) befasst sich mit der Handhabung und weiteren Vorgehensweise von Produkten, sobald diese das Ende ihres Lebenszyklus erreicht haben. Dabei wird der Fokus auf das Wiederaufbereiten (*Remanufacture*), die

²¹⁷ Vgl. Vermunt et al., 2018, S. 894.

²¹⁸ Vgl. Ertz et al., 2019.

²¹⁹ Lacy & Partridge, 2020, S. 27.

²²⁰ Vgl. Khan et al., 2018, S. 1155 f.

²²¹ Vgl. Khan et al., 2018, S. 1156.

Aufbesserung (*Refurbish*), sowie das Wiederverwenden von Bauteilen (*Reuse*) und das Recycling von Materialien gelegt. Die Wiederaufbereitung bietet neben der Möglichkeit die Produkte in einen neuwertigen Funktionszustand zu bringen auch die Chance neue, von Kund*innen gewünschte technologische Innovationen in das bestehende Produkt zu integrieren und somit dessen Attraktivität zu erhöhen. Traditionell wird Remanufacturing als eine EoL-Strategie angesehen, in diesem Kontext kann sie zwischen MoL und EoL eingeordnet werden.²²²

Beispiele für PLEs finden sich bspw. in der Automobilindustrie. Mit der Nutzung von Fahrzeugen geht deren fortschreitender Alterungsprozess einher, wodurch es zu Abnutzungserscheinungen der Fahrzeuge kommt. Um die Intensivierung der Fahrzeugnutzung und dabei die Gebrauchssicherheit zu gewährleisten ist es erforderlich regelmäßige Wartungs- und Reparaturmaßnahmen durchzuführen. Für Hersteller bietet sich somit eine Erweiterung ihres BMs durch das zusätzliche Angebot dieser Dienstleistungen. Durch die Integration neuer Technologien der Industrie 4.0 wie zum Beispiel „Big Data“ und „Internet of Things“ eröffnen sich Chancen zur Implementierung modernster Sensoren, um eine vorbeugende Wartung („*Predictive Maintenance*“) zu ermöglichen.²²³ Der französische Automobilhersteller Renault gilt als Pionier im Bereich der CE und hat im Jahr 2020 mit "*RE: Factory*" einen neuen Standort zur Entwicklung und Umsetzung von CE-Aktivitäten gegründet. Renault macht sich dabei das Prinzip des PLE zu Nutze, um Fahrzeugkomponenten wie Getriebe und Turbokompressoren wiederaufzubereiten, den Anteil an Kunststoffrezyklaten zu erhöhen und die Basis zur Wiederverwendung von Fahrzeugbatterien zu schaffen.²²⁴

Ein weiteres Beispiel für PLE bildet das Möbeldesignunternehmen *Vitsoe*, welches in seinem Produktportfolio ein modulares, aufrüstbares Regalsystem führt, das auf Langlebigkeit und Modularität konzipiert ist und den Verbraucher*innen die Möglichkeit bietet ihr erworbenes Regal jederzeit durch Regale, Schubladen etc. zu erweitern.²²⁵

PLEs ermöglichen es, die Nutzungsdauer des Produktes optimal zu nutzen und ungenutzte bzw. entsorgte Rohstoffe für die Herstellung neuer Produkte zu verwenden.²²⁶ Des Weiteren kann durch das Design für Langlebigkeit, Reparatur und Wartung das Vertrauen der Kund*innen in das Produkt und somit die Kundenbindung gestärkt werden.²²⁷ Die Erweiterung des Wertangebotes durch Service-Dienstleistungen wie Wartung, Reparatur, Aufrüstung oder Wiederaufbereitung bereits im Umlauf gebrachter Produkte eröffnet neue Einkommensquellen und hat zudem

²²² Vgl. Khan et al., 2018, S. 1156.

²²³ Vgl. Martins et al., 2021, S. 6.

²²⁴ Vgl. Ellen McArthur Foundation.

²²⁵ Vgl. Vitsø Ltd.

²²⁶ Vgl. Goyal et al., 2018, S. 729–740.

²²⁷ Vgl. Selvefors et al., 2019, S. 1014–1028.

einen positiven Effekt auf die Produktionskosten bzgl. der Herstellung neuer Produkte.²²⁸

PLEs bieten einige Vorteile für Unternehmen, jedoch steht die Umsetzung in der Praxis noch vor einigen Herausforderungen und Barrieren. Um Maßnahmen zur Wiederverwendung oder Produktverbesserung durchführen zu können sind Produktrückführungssysteme erforderlich. Weiters macht es einen Unterschied, ob das zurückgeführte Produkt aus dem eigenen Sortiment kommt oder nicht. Wurde das Design des Produktes durch das Unternehmen nicht entwickelt, d.h. ist das Unternehmen nicht der Hersteller des Produktes, ist die Anwendung von PLE-Prozessen mit höheren Kosten und Komplikationen verbunden. Studien haben außerdem ergeben, dass Kund*innen stark durch neueste Modeerscheinungen beeinflusst werden und diese gegenüber den Produkten der PLE-Modelle, die durch Zeitlosigkeit und Modularität geprägt sind, bevorzugen. Daraus ist abzuleiten, dass Produkte mit einem verlängerten Lebenszyklus für die Konsument*innen als weniger attraktiv erscheinen. Außerdem stehen Unternehmen, die ein PLE umsetzen wollen vor der Herausforderung geeignete Partner für die Belieferung wiederverwendbarer Ressourcen zu finden.²²⁹

Die Einführung von PLEs erfordert oftmals den Aufbau neuer Fähigkeiten sowie Änderungen am Produktdesign, was mit anfänglichen Investitionskosten verbunden ist. Außerdem sind auch Veränderungen der Finanzmodelle erforderlich, um temporär geringere Produktumsätze auszugleichen.²³⁰ Aus den Herausforderungen und Barrieren für PLEs ist abzuleiten, dass für eine erfolgreiche Einführung dieses CBMs neben einem Produktrückführungssystem einerseits die Innovationsfähigkeit der Unternehmen gefragt ist und andererseits Investitionen in die dafür erforderlichen Technologien für die Wiederverwendungs- und Wiederverwertungsstrategien getätigt werden müssen. Weiters ist für die Akzeptanz der im Rahmen eines PLE erstellten Produkte die Aufklärung und Sensibilisierung der Verbraucher*innen und Lieferanten von essentieller Bedeutung.

Die drei Konzepte des PLE bieten lukrative Möglichkeiten zur intelligenteren Produktherstellung und -nutzung, Verlängerung der Lebensdauer von Produkten und deren Komponenten sowie der sinnvollen Verwertung von gebrauchten Materialien. Zwar ist es möglich BoL-, MoF- und EoL-PLEs einzeln umzusetzen, jedoch ist es empfehlenswert die drei Konzepte als ein ganzes System zu sehen und zusammenzuführen, um Synergieeffekte zu nutzen. Gesetzte Maßnahmen im BoL bilden die Basis um künftige CE-Aktivitäten in den darauffolgenden Phasen (MoF und EoL) zu erleichtern.

²²⁸ Vgl. Chen, 2020, S. 48–58.

²²⁹ Vgl. Vermunt et al., 2018, S. 896 ff.

²³⁰ Vgl. Lacy & Partridge, 2020, S. 28.

3.1.4 Product-Service Systems (PSS)

Das PSS ist ein CBM, bei dem materielle Produkte mit immateriellen Services verbunden und in dieser Konstellation den Kund*innen zum Verkauf angeboten werden.²³¹ Durch diesen Ansatz kommt es zu einer Verlagerung des Geschäftsfokus vom Mengenabsatz (d.h. den Verkauf der Produkte) zur Leistung (d.h. Verkauf der Funktion des Produktes).²³²

„Die Unternehmen behalten das Eigentum eines Produktes und verkaufen dessen Vorteile auf Dienstleistungsbasis, sind aber weiterhin für die Wartung und Behandlung des Produkts am Ende der Nutzungsdauer verantwortlich.“²³³

PSS werden in drei Kategorien unterteilt: Produktorientierte PSS (pPSS), nutzungsorientierte PSS (uPSS) und ergebnisorientierte PSS (rPSS). Bei pPSS wird das Produkt mit bestimmten Dienstleistungen, wie z.B.: Wartung und Beratung, kombiniert, um in der Nutzungsphase die Kund*innen zu unterstützen und damit die Produktlebensdauer zu verlängern. Während bei pPSS das Eigentum des Produkts an die Verbraucher*innen übertragen wird, verbleibt der Hersteller bei den anderen beiden Arten der Inhaber. Die Kund*Innen können dann mittels Leasing- oder Mietverträgen sowie Sharing-Konzepten die Nutzungsrechte des Produkts über einen definierten Zeitraum erwerben.²³⁴ uPSS stellen eine Form dar, bei der Kund*innen nur die Nutzungsrechte erhalten, ohne bestimmter Zusatzleistungen von Seiten der Hersteller. Bei rPSS ist der Hersteller für die Dauer der Nutzung vollständig für den Zustand und die Funktionstüchtigkeit des Produktes verantwortlich. Dabei ist stets das von den Kund*innen erwartete Ergebnis zu erfüllen.²³⁵ Modelle wie uPSS und rPSS, bei denen der Besitz des Produktes beim Hersteller verbleibt und dieses als Dienstleistung zur Verfügung gestellt wird, werden auch als „*Product-as-a-service*“ Systeme zusammengefasst.²³⁶ rPSS und uPSS bieten die Möglichkeit, dass alte, funktionsfähige oder auch beschädigte Produkte im Besitz des Herstellers bleiben. Das bringt eine höhere Motivation mit sich, die Produktlebensdauer zu verlängern und den Materialkreislauf durch Wiederverwendung, Reparatur, Aufbesserung oder Recycling nachhaltig zu schließen.²³⁷

Ein Anwendungsbeispiel für ein PSS ist das Konzept „*MAN Trucknology*“ des LKW-Herstellers MAN. Dieses ist ein Dienstleistungskonzept, bei dem der Hersteller die Verantwortung über die Effizienz und Funktionsfähigkeit der LKWs übernimmt und im Gegenzug kundenseitig mit festen Betriebskosten (Kraftstoff, Reparatur, Wartung) vergütet wird.²³⁸

²³¹ Vgl. Xingzhi et al., 2020, S. 594.

²³² Vgl. Lacy & Partridge, 2020, S. 25.

²³³ Lacy & Partridge, 2020, S. 25.

²³⁴ Vgl. Yang et al., 2018, S. 500.

²³⁵ Vgl. Pallaro et al., 2017, S. 33.

²³⁶ Vgl. Mhatre et al., 2021, S. 198.

²³⁷ Vgl. Yang et al., 2018, S. 502.

²³⁸ Vgl. Pallaro et al., 2017, S. 36 f.

Die Anwendung von PSS ermöglicht den Unternehmen die Kundenbindung durch den Verkauf von zusätzlichen Dienstleistungen langfristig zu stärken sowie Nutzungsdaten zu monetarisieren und somit das technische Know-How des Unternehmens hinsichtlich der eigenen Produkte zu intensivieren. Jedoch steht die Umsetzung in der Praxis vor einigen Herausforderungen und Barrieren. Der Übergang vom absatzorientierten BM zu einem dienstleistungs- und wertorientierten System führt zu einer grundlegenden Neuausrichtung des Wertversprechens.²³⁹ Während sich für kleinere Unternehmen aufgrund begrenzter Ressourcen diese Umwandlung als schwierig erweist, können sich größere Unternehmen diesbezüglich leichter organisieren. Eine weitere Barriere stellt die geringfügige Anzahl an adäquaten Verfahren und Instrumenten, um diese Transformation durchzusetzen, dar.²⁴⁰ Bspw. ist die Schaffung von Buchhaltungsmodellen, die auf die Nutzung der Produkte durch mehrere Verbraucher*innen ausgelegt sind, anstatt auf den einmaligen Kauf durch eine einzelne Person, eine Herausforderung. Solche Modelle gelten als entscheidende Kriterien für PSS. Unternehmen sind angehalten ihre bisherigen finanziellen Vorstellungen anzupassen, um Verlagerungen des Produktbesitzes, Produktabschreibungen, längere Produktlebenszyklen, die Rücknahme und Wartung sowie die Bestimmung des Restwertes eines Produktes am Ende der Nutzungsphase berücksichtigen zu können.²⁴¹

Die Serviceorientierung erfordert die Einführung zusätzlicher Funktionen, wie bspw. Kundendienste und eine ausgereifte Abhol- bzw. Rücknahmelogistik.²⁴² Dies ist mit zusätzlichem administrativem Aufwand und Vorabinvestitionen verbunden. Gerade bei „billigen“ Produkten bzw. Produktkomponenten muss der Einsatz von PSS hinterfragt werden, da die Servicekosten die Produktkosten übersteigen und somit ein PSS unwirtschaftlich machen könnte.²⁴³

Um einerseits die Produktrückführung zu sichern und andererseits die Materialkreisläufe zu schließen ist es neben der Einführung eines PSS notwendig die Lieferkette zu schließen. Eine geschlossene Lieferkette besteht aus einer vorwärts- und einer rückwärtsgerichteten Lieferkette. Studien haben gezeigt, dass PSS sich vorwiegend auf die Konsum- bzw. Nutzungsphase beziehen. Um die End-of-Life (EoL) Phase mitzuberücksichtigen ist es notwendig Reverse-Logistik Prozesse zu integrieren.²⁴⁴ Die Investitionen in den Aufbau dieser Funktionen wirken sich auf die Gesamtbetriebskosten aus und müssen durch das Preismodell abgefangen werden. Ein weiteres Problem ergibt sich aus der Fragestellung über das Eigentum der gesammelten Nutzungsdaten. Unklarheiten über die Verwendung dieser Daten könnten Bedenken auslösen und potentielle Kund*innen abschrecken.²⁴⁵

²³⁹ Vgl. Lacy & Partridge, 2020, S. 25 f.

²⁴⁰ Vgl. Pacheco et al., 2019.

²⁴¹ Vgl. Lacy & Partridge, 2020, S. 26.

²⁴² Vgl. Lacy & Partridge, 2020, S. 25 f.

²⁴³ Vgl. Vermunt et al., 2018, S. 897 f.

²⁴⁴ Vgl. Pallaro et al., 2017, S. 33 f.

²⁴⁵ Vgl. Lacy & Partridge, 2020, S. 25 f.

Neben diesen Aspekten sind PSS auch von Vertrauensproblemen betroffen. Gründe dafür sind unter anderem Unsicherheiten und mangelnde Datentransparenz in Bezug auf Besitzverhältnisse sowie Wartungs- und Reparaturdokumentationen. Speziell in der Automobilbranche ist das leasing-basierte PSS für PKWs durch das häufige Vorkommen von Tachomanipulationen oder des Austausches von Fahrzeugkomponenten undefinierbaren Ursprungs durch Dritte, die gegenseitige Vertrauensbasis geschädigt.²⁴⁶ Daher sind für die erfolgreiche Entwicklung von PSS die proaktive Zusammenarbeit mit den Kund*innen zur Erarbeitung des Dienstleistungsangebots von entscheidender Bedeutung.²⁴⁷

3.1.5 Sharing Platforms (SP)

Unter dem Begriff Sharing Economy (SE) versteht man die optimale Auslastung von Ressourcen wie Materialien, Produkte, Produktkomponenten sowie Flächen und Räume und auch Energie durch intersektionales Teilen. Dieses Prinzip fundiert auf kollaborativem Konsum und hat in den letzten Jahren vermehrt an Zuspruch gewonnen. Technische und gesellschaftliche Aspekte, wie die Chancen des Internets, neue BMs, der verstärkte Trend zur Kosteneffizienz, das zunehmende Umweltbewusstsein und die abnehmende Bedeutung von Eigentum als Statussymbol sind treibende Faktoren der SE. Als Instrumente zur Umsetzung des SE-Konzeptes werden in der Literatur vorwiegend sogenannte „*Sharing Platforms*“ (SP) genannt.²⁴⁸

„Der Auslastungsgrad der Produkte und Vermögenswerte wird durch gemeinsames Eigentum, gemeinsamen Zugang und gemeinsame Nutzung optimiert, was in der Regel durch digitale Technologien ermöglicht wird.“²⁴⁹

Mit SPs als Schnittstelle können Unternehmen ihre Ressourcen optimal nutzen, eine Gemeinschaftskultur mit anderen Interessensgruppen aufbauen und einen einfachen und kostengünstigen Zugang zu ihren Produkten und Dienstleistungen verschaffen.²⁵⁰ Bei der Entwicklung von SP-Netzwerken ist zu unterscheiden zwischen welchen Konsumgruppen das Teilen der Ressourcen stattfindet. Dazu gibt es in der Literatur drei Prinzipien. Unter einem „*Peer-to-Peer*“ (P2P) Netzwerk versteht man die Kollaboration zwischen Gleichgestellten, also die Zusammenarbeit zwischen Produzenten oder Konsument*innen untereinander. Der „*Business-to-Customer*“ (B2C) Ansatz behandelt die Interaktion zwischen dem Hersteller und den Kund*innen. Das „*Business-to-Business*“ (B2B) Netzwerk ist die Variante der SE, die den Austausch von Ressourcen zwischen den Herstellern beinhaltet. Zu den bekanntesten Vertretern für SP zählen *AirBnB* und *DriveNow*. Letzteres entspricht dem B2C Prinzip,

²⁴⁶ Vgl. Xingzhi et al., 2020, S. 594.

²⁴⁷ Vgl. Lacy & Partridge, 2020, S. 26.

²⁴⁸ Vgl. Schwanholz & Leipold, 2020, S. 3 ff.

²⁴⁹ Lacy & Partridge, 2020, S. 23.

²⁵⁰ Vgl. Lacy & Partridge, 2020, S. 23.

wobei das Unternehmen den Konsumenten Fahrzeuge zur Verfügung stellt, die per digitaler App ausgeliehen werden können.²⁵¹

Das Modell der SP hat sich bereits in unterschiedlichen Märkten und Branchen etabliert. Zu den gängigsten Anwendungsbereichen zählt das Teilen von Fahrzeugen und Unterkünften.²⁵² Ein Paradebeispiel für die Entwicklung neuer CE-Geschäftsoptionen und dem Wandel vom traditionellen Automobilhersteller zum Mobilitätsdienstleister ist das vom deutschen Automobilhersteller *Daimler* entwickelte Carsharing-Konzept „*car2go*“. Dieses bietet ein globales Netzwerk von buchbaren Fahrzeugen, die jederzeit und überall gegen eine Nutzungsgebühr in Anspruch genommen werden können. Auch andere Größen der Automobilindustrie wie *BMW (DriveNow)* und *Audi (Audi unite)* haben ähnliche Konzepte von SPs entwickelt. Letzteres Modell bietet eine Plattform zur Organisation der gemeinsamen Nutzung eines Fahrzeuges in einer Gruppe von bis zu fünf Personen für eine Dauer von ein bis zwei Jahren. Ein weiteres Beispiel für das Verleihen und Anmieten von Fahrzeugen ist die SP „*Drivy*“. Diese Onlineplattform ermöglicht es Privatnutzer*innen ihre Fahrzeuge für bestimmte Zeitspannen zu vermieten.²⁵³

Eine der vielversprechendsten Möglichkeiten für bietet wohl das B2B-Konzept von SPs. Für Unternehmen, die im Besitz kostenintensiver Maschinen, Werkzeuge und Anlagen mit unwirtschaftlichen Nutzungsgrad sind, eröffnet sich die Chance der gemeinsamen Nutzung dieser Ressourcen mit anderen Unternehmen, um deren Auslastung zu erhöhen.²⁵⁴ Ein Beispiel bildet der „*KMU SharingMarket*“, welcher im Rahmen eines Forschungsprojektes von *InnoSuisse*, der *Hochschule Luzern (HSLU)* und der *Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW)* entwickelt wurde. Diese SP bildet für KMUs eine prozessorientierte Unterstützung, um bspw. Hebebühnen, Stapler, CNC-Maschinen, Messmittel, technische Mitarbeiter*innen und auch Expertenwissen in Form von Beratung mit anderen Unternehmen gemeinsam zu teilen und zu nutzen.²⁵⁵

SP können aber auch neben dem Teilen von Produkten oder Ressourcen für andere Zwecke verwendet werden, wie dem Informationsaustausch über Wiederaufbereitungs-, Verwertungs- und Abfallbewirtschaftungsprozesse, um dafür notwendige Verfahren leichter zu gestalten. Ein Beispiel dafür wäre eine digitale Plattform für sektorübergreifende kollaborative Wertschöpfungsnetzwerke, die im Rahmen des *H2020 DigiPrime*-Projektes entwickelt wurde, um beispielsweise die Wiederverwendung von Batteriezellen zu organisieren. Dabei wird durch die SP der Zustand und die Verfügbarkeit von Batterien proaktiv verfolgt und die Struktur der

²⁵¹ Vgl. Schwanholz & Leipold, 2020, S. 3 ff.

²⁵² Vgl. Lacy & Partridge, 2020, S. 24.

²⁵³ Vgl. Bungard, 2018, S. 116 f.

²⁵⁴ Vgl. Lacy & Partridge, 2020, S. 24.

²⁵⁵ Vgl. KMU-Digitalisierung.agency, 2022.

Batterien visualisiert, um Demontage- und Wiederaufbereitungen für das jeweilige Modell anpassen zu können. Dadurch werden auf dieser Plattform Dienstleistungen zur Verfügung gestellt, um Informationen über Angebot und Nachfrage sowie über Demontage und Wiederaufbereitung gebrauchter Autobatterien zu ermöglichen. Der Leitgedanke bei der Entwicklung dieser Plattform ist die Erleichterung des Recyclings von Batterien, jedoch bietet diese SP auch Chancen zur Adaption für andere CE-Strategien.²⁵⁶

Eine SP bietet die Möglichkeit für Unternehmen ihre Ressourcen bestmöglich auszulasten, dennoch ist dieses CBM noch mit einigen Herausforderungen und Barrieren zu konfrontiert. Selbst wenn Unternehmen sich auf eine gemeinsame Nutzung geeinigt haben, ist die Effizienz der Ressourcen aus Sicht der Sharing-Partner nicht immer verlässlich, wodurch SPs von Vertrauensproblemen betroffen sind. Ein Grund dafür könnte, trotz vertraglicher Regelungen, die Schwierigkeit der Aufrechterhaltung der Datentransparenz bzgl. der geteilten Ressourcen sein. Außerdem ist durch die Abhängigkeit von anderen Unternehmen hinsichtlich Liefer- bzw. Termintreue ein gewisses Risiko gegeben. Ein weiteres Problem stellt die mangelnde Zusammenarbeit zwischen den Interessensgruppen dar. Dies ist auf das unzureichende Bewusstsein und Wissen über das SE-Konzept und der vermeintlichen Komplexität zurückzuführen, wodurch die Akteure einerseits keine Notwendigkeit für SEs bzw. SPs sehen und andererseits zögern, sich an diesen Konzepten zu beteiligen. Des Weiteren existiert noch ein zu geringes Angebot an ausgereiften SPs für die produzierende Industrie, die bei der Verteilung und Nutzung von Ressourcen unterstützen können.²⁵⁷

Um die Barrieren für SPs überwinden zu können ist eine proaktive Zusammenarbeit mit allen Interessensgruppen, deren Aufklärung über die Vorteile und Notwendigkeit der SE bzw. SPs von essentieller Bedeutung. Neue Technologien, wie bspw. IoT-Geräte oder die Blockchain-Technologie bieten die Möglichkeit einer besseren Messung und Rückverfolgbarkeit der Ressourcen. Die Politik ist gefragt Anreize zu setzen, um Unternehmen zur Teilnahme an Sharing-Projekten zu motivieren. Dies wird dazu beitragen funktionierende SPs zu entwickeln und umzusetzen.²⁵⁸

²⁵⁶ Vgl. Soldatos et al., 2021, S. 64–69.

²⁵⁷ Vgl. Govindan et al., 2020, S. 6 f.

²⁵⁸ Vgl. Govindan et al., 2020.

3.2 Erfolgsfaktoren zur Einführung von zirkulären Geschäftsmodellen

In diesem Kapitel werden allgemeine SFs für CBMs offengelegt, die KMUs im Maschinen-, Fahrzeug- und Anlagenbau in Industrieländern für die erfolgreiche Einführung bzw. Umsetzung der identifizierten CBMs berücksichtigen müssen. Unter SFs werden im Allgemeinen Merkmale oder Strukturen eines Unternehmens oder seines Umfelds verstanden, die den Unternehmenserfolg maßgeblich positiv beeinflussen.²⁵⁹ D.h. SFs sind jene Maßnahmen und Aktivitäten, die zum zukünftigen Erfolg eines Unternehmens signifikant beitragen. Die Bereitstellung der SFs für CBMs ermöglicht es den Unternehmen, geeignete Faktoren zu priorisieren und somit den Managementaufwand zu reduzieren sowie die Erfolgswahrscheinlichkeit und die Managementeffizienz bei der Auswahl, Entwicklung und Umsetzung von CBMs zu erhöhen.²⁶⁰ Im Rahmen der Literaturrecherche wurden zwölf qualitative SFs identifiziert, welche im Sinne der Übersichtlichkeit in fünf Dimensionen eingeteilt wurden. Diese Dimensionen sind (1) Produkte und Services, (2) Ressourcen, (3) Technologie und Infrastruktur, (4) Netzwerk und Partnerschaften sowie (5) Wirtschaftlichkeit und finanzielle Nachhaltigkeit. Auf den nachfolgenden Seiten werden die SFs näher diskutiert.

3.2.1 Produkte und Services

3.2.1.1 Kreislauforientiertes Produktdesign

Die Entwicklung von Produktdesigns steht am Anfang des Produktlebenszyklus und bildet die Grundlage für das Erreichen kreislaufwirtschaftlicher Ziele, wie die Verlängerung der Lebens- bzw. Nutzungsdauer von Produkten und Konsumgütern, die Vermeidung bzw. Reduzierung von Abfällen und das Schließen von Ressourcenkreisläufen.²⁶¹ Des Weiteren bieten kreislauforientierte Produktdesigns Ansätze zur Erweiterung des Dienstleistungsangebotes der Unternehmen durch Services wie bspw. Reparatur und Wartung der Produkte. Um die Anforderungen an solche Dienstleistungen zu erfüllen, müssen die physischen Produkteigenschaften mit den Merkmalen des Dienstleistungsangebotes in Einklang gebracht werden.²⁶²

Produkte sind physisch haltbar und ästhetisch ansprechend zu gestalten, um deren Lebenszyklen zu verlängern und die Wartung und Reparatur der Produkte und die Wiederverwendung, Aufarbeitung, Wiederaufbereitung sowie Wiederverwertung von deren Komponenten bzw. Materialien zu ermöglichen bzw. zu erleichtern.²⁶³ Um dies zu gewährleisten, müssen Designpraktiken, die sich auf die kreislauforientierte

²⁵⁹ Vgl. Tereschenko & Kieneke, 2007, S. 4 ff.

²⁶⁰ Vgl. Rösch, 2013, S. 34 f.

²⁶¹ Vgl. Lacy & Partridge, 2020, S. 32.

²⁶² Vgl. Adams et al., 2015, S. 180–199.

²⁶³ Vgl. Selvefors et al., 2019, S. 1021.

Produktzusammensetzung und -herstellung, Produktnutzung und Produktrückgewinnung fokussieren, angewendet werden.²⁶⁴ Zu solchen Praktiken gehören das Design zur

- Bindung und Vertrauensbildung der Verbraucher*innen an und für das Produkt
- Produkthaltbarkeit und -widerstandsfähigkeit
- Standardisierung und Kompatibilität mit anderen Produkten (Modularisierung)
- Einfachen Wartung und Reparatur
- Aufrüstbarkeit und Anpassungsfähigkeit
- De- und Wiedermontage.²⁶⁵

Kreislauforientierte Produktdesigns führen zu höherer Energie- und Ressourceneffizienz sowie weniger Abfall im Zuge der Produktion. Sie ermöglichen die Anwendung von CE-Strategien (Repair, Reuse, Refurbish, Remanufacture, Recycling) in den darauffolgenden Stadien der Wertschöpfungskette und gelten als ein kritischer SF für die Umsetzung von CBMs.²⁶⁶

3.2.1.2 Verbesserte Funktionalität und Produktlebensdauer durch Services

Die Verbindung von Dienstleistungs- und Servicevereinbarungen mit dem Produkt bietet einerseits die Möglichkeit die Leistung des Produktes zu verbessern sowie attraktiver zu gestalten²⁶⁷ und andererseits die Leistungsfähigkeit defekter Produkte wiederherzustellen, um eine möglichst lange Nutzungsdauer zu gewährleisten.²⁶⁸ Integrierte Dienstleistungen wie bspw. Wartungs-, Reparatur- und Wiederherstellungsservices führen zu einer langfristigen Kundenbindung, bieten neue Einnahmequellen und eröffnen Möglichkeiten zur Datensammlung für die Intensivierung des technischen Wissens über die eigenen Produkte, was in weiterer Folge zur Verbesserung der Produkte und Dienstleistungen führt.²⁶⁹

Einen weiteren Ansatz bildet die Erweiterung des Leistungsangebotes um Kundenservices zur Unterstützung der Verbraucher*innen während der Produktnutzung.²⁷⁰ Die Bereitstellung sowie einfache Weitergabe produktspezifischer Informationen über die ordnungsgemäße Reinigung, Installation und Deinstallation sowie Anleitungen für kleinere Reparaturen können die Nutzer*innen befähigen den Zustand und die Qualität des Produktes zu beurteilen und den richtigen Zeitpunkt zur Rück- bzw. Weitergabe für Wartungs- und Reparaturarbeiten zu erkennen. Dadurch

²⁶⁴ Vgl. Lacy & Partridge, 2020, S. 33.

²⁶⁵ Vgl. Fontell & Heikkilä, 2017, S. 22.

²⁶⁶ Vgl. Mektadir et al., 2020, S. 3616.

²⁶⁷ Vgl. Reim et al., 2021, S. 2751.

²⁶⁸ Vgl. Aparecida de Mattos & Albuquerque, 2018.

²⁶⁹ Vgl. Lacy & Partridge, 2020, S. 25 f.

²⁷⁰ Vgl. Potting et al., 2017.

kann die Funktionalität des Produktes aufrechterhalten und die Produktlebensdauer verlängert werden.²⁷¹

3.2.2 Ressourcen

3.2.2.1 Einsatz erneuerbarer Energien

Die Umsetzung von CBMs bringt einige Vorteile in Bezug auf Umweltauswirkungen. Studien haben jedoch belegt, dass CBMs in einigen Fällen primär wirtschaftliche Nutzen generieren und negative Effekte auf die Umwelt haben, sofern nicht auf eine nachhaltige Ressourcenbeschaffung und Energieversorgung geachtet wird.²⁷² Durch Berücksichtigung dieser Aspekte kann erst sichergestellt werden, dass die Einführung von CBMs sowohl einen wirtschaftlichen als auch ökologischen Nutzen mit sich bringt.²⁷³ Daher sollten Unternehmen erneuerbare Energiequellen für ihre Produktionsprozesse präferieren, anstatt auf fossile Brennstoffe zu setzen.²⁷⁴

3.2.2.2 Einsatz regenerativer und wiederverwertbarer Materialien

Weltweit werden der Produktion und dem Verbrauch von Materialien in nahezu allen Bereichen Umweltbeschränkungen auferlegt. Darunter fallen Einschränkungen bzgl. des Schutzes der Artenvielfalt, Landnutzungsänderungen, Klimaauswirkungen und biogeochemischer Prozesse. Um die Auswirkungen des Materialverbrauchs für die Herstellung von Produkten einzudämmen sind multidisziplinäre Lösungsansätze erforderlich.²⁷⁵ Eine Strategie besteht darin "lineare", also Rohstoffe mit hohen negativen Umweltauswirkungen durch erneuerbare oder zirkuläre Materialien für die Herstellungsprozesse zu ersetzen. Zu solchen Materialien gehören bspw.:

- Regenerative biobasierte Materialien: Materialien, die auf Basis nachwachsender Rohstoffe bzw. lebender Organismen hergestellt werden, wie z.B. Biokunststoffe oder mikrobielle Agrochemikalien.
- Regenerative künstliche Materialien: Künstliche anorganische Werkstoffe, die ohne einen erheblichen Verlust der Qualität bzw. physikalischer Eigenschaften beliebig oft recycelt werden können.²⁷⁶

Die Verwendung von Rezyklaten bzw. wiederverwertbaren Materialien verringert die Abhängigkeit von neuen Materialien. Dadurch können Kosteneinsparungen bewirkt und die Umweltauswirkungen im Rahmen des Abbaus natürlicher Ressourcen reduziert werden.²⁷⁷

²⁷¹ Vgl. Selvefors et al., 2019, S. 1023 ff.

²⁷² Vgl. Kuo, 2010, S. 1239–1249.

²⁷³ Vgl. Reim et al., 2021, S. 2748.

²⁷⁴ Vgl. Whalen & Whalen, 2020.

²⁷⁵ Vgl. Olivetti & Cullen, 2018, S. 1396.

²⁷⁶ Vgl. Lacy & Partridge, 2020, S. 21 f.

²⁷⁷ Vgl. Horvath et al., 2018, S. 15 ff.

3.2.2.3 Optimale Ressourcennutzung und Abfallreduktion

Die Ressourceneffizienz ist ein technischer Ausdruck der sich auf die Erhöhung der Ressourcenproduktivität oder die Verringerung der Ressourcenintensität der genutzten Metalle, Mineralien, Brennstoffe, Wasser, Land, Holz, Flächen, sauberen Luft und Biodiversität bezieht.²⁷⁸ Im weiteren Sinne umfasst dieser Begriff Ansätze und Initiativen zur Erhöhung der Material- und Energieeffizienz sowie Unterstützung der Entkopplung der Ressourcennutzung von der wirtschaftlichen Entwicklung.²⁷⁹ Zu diesen Ansatzpunkten gehören:

- Reduktion von Ressourcenverlusten durch Qualitätsverbesserungen
- Optimierung der Produktionsprozesse durch die Reduzierung bzw. Vermeidung von produktionsbedingtem Abfall
- Ressourcenschonendes Produktdesign (z.B. Leichtbau)
- Verstärktes Recycling von Werkstoffen
- Höhere Anlagen- und Maschinenauslastung²⁸⁰
- Reduzierung der Lagerbestände²⁸¹

Durch den geringeren Verbrauch von Ressourcen können einerseits Kosten und Umweltauswirkungen reduziert und andererseits die Rohstoffversorgung gesichert werden.²⁸² Des Weiteren können dadurch Energieeinsparungen erzielt werden.²⁸³ In Anbetracht der begrenzten globalen Ressourcenverfügbarkeit ist zur Zielerreichung der CE eine vollständige Nutzung der Ressourcen unabdingbar.²⁸⁴ Die betriebliche Effizienz bildet somit einen wesentlichen SF für die Umsetzung und Skalierung von CBMs.²⁸⁵

3.2.3 Technologie und Infrastruktur

3.2.3.1 Technologien zur Mechanisierung kreislaufwirtschaftlicher Strategien

Einen weiteren SF zur Umsetzung von CBMs und zur Erreichung kreislaufwirtschaftlicher Ziele bildet die technologische Modernisierung. Damit geht die Entwicklung effizienter Technologien einher, um die Wiederverwendung (Reuse), Wiederherstellung (Refurbish), Wiederaufbereitung (Remanufacture), Umfunktionierung (Repurpose) und Wiederverwertung (Recycling) von Produkten bzw. deren Komponenten zu ermöglichen.²⁸⁶ Studien haben gezeigt, dass der Einsatz

²⁷⁸ Vgl. Europäische Kommission, 2011.

²⁷⁹ Vgl. Rockström et al., 2009.

²⁸⁰ Vgl. Ritthoff et al., 2007, S. 11.

²⁸¹ Vgl. Goyal et al., 2022, S. 5203.

²⁸² Vgl. Rohn et al., 2009, S. 11.

²⁸³ Vgl. Reim et al., 2021, S. 2751.

²⁸⁴ Vgl. Hasanuzzaman & Bhar, 2019.

²⁸⁵ Vgl. Bocken et al., 2022, S. 807.

²⁸⁶ Vgl. Benz, 2022, S. 4.

geeigneter Technologien zur Mechanisierung dieser Aktivitäten für den Erfolg von CBMs von essentieller Bedeutung sind.²⁸⁷ Sie führen zu einer Verringerung des Verbrauchs an Primärressourcen, zu Energieeinsparungen sowie zur Abfall- und Emissionsreduzierung²⁸⁸ und eröffnen Möglichkeiten zur Erweiterung des Dienstleistungsportfolios von Unternehmen, z.B. durch den Wiederverkauf von reparierten bzw. wiederaufbereiteten Produkten.²⁸⁹

3.2.3.2 Digitale Technologien

Neueste digitale Technologien gelten als ein vielversprechendes Mittel zur intelligenteren Nutzung von Ressourcen und eröffnen neue Möglichkeiten, um die Produktherstellung und den Konsum in Richtung CE zu führen.²⁹⁰ Technologien des „Internet of Things“ (IoT) und der künstlichen Intelligenz („Artificial Intelligence“, AI) haben bspw. das Potential Echtzeitdaten über die Auslastung, Nutzbarkeit und Funktionalität ihrer Maschinen und Anlagen und auch veräußerten Produkte zu überwachen sowie Sammel- und Trennprozesse zur Rückgewinnung wertvoller Materialien zu automatisieren.²⁹¹ Digitale Funktionen bieten Chancen zur Entwicklung von Produktrückführungssystemen, zur Verlängerung der Lebensdauer von Produkten und deren Komponenten, bspw. durch digitale prädiktive/präskriptive Wartungs- und Reparatursysteme („Predictive/prescriptive Maintenance“). Des Weiteren unterstützen sie den Informations- und Kommunikationsfluss mit verschiedenen Akteuren in der externen Umgebung, den erneuten Verkauf und die gemeinsame Nutzung von gebrauchten Produkten sowie die Produkt- und Prozessplanung zur Erhöhung der Energie- und Ressourceneffizienz.²⁹² Die Einführung von E-Ordering, E-Procurement und E-Billing wird dazu beitragen, die Verwaltungskosten für Dienstleistungen drastisch zu senken.²⁹³

Die erfolgreiche Umsetzung der CE-Ziele und somit von CBMs ist von der Verfügbarkeit digitaler Lösungen abhängig, daher gelten digitale Technologien als wesentlicher SF für CBMs.

²⁸⁷ Vgl. Zafar et al., 2021, S. 265.

²⁸⁸ Vgl. Goyal et al., 2022, S. 5201.

²⁸⁹ Vgl. Awan & Sroufe, 2022, S. 9.

²⁹⁰ Vgl. Qinglan et al., 2022, S. 2171.

²⁹¹ Vgl. Lacy & Partridge, 2020, S. 37 f.

²⁹² Vgl. Qinglan et al., 2022.

²⁹³ Vgl. Goyal et al., 2022, S. 5203.

3.2.3.3 *Separate Abfallsammlungs- und Produktrückführungssysteme*

Abfallsysteme zur Sammlung und Trennung von kritischen Rohstoffen, Sekundärrohstoffen, Nebenprodukten und Verpackungsabfällen²⁹⁴ sowie die Rückwärtslogistik, um beschädigte Produkte oder teilweise funktionsfähige Altprodukte zurückzuführen stellen Schlüsselfunktionen für fast alle CBMs dar.²⁹⁵ Das Management der Produktrückführung und Abfallverwertung ist ein wesentlicher Grundsatz der CE und ermöglicht die Wiederverwertung, Wiederverwendung oder Wiederaufbereitung von Produkten bzw. Produktionsabfällen und fördert die Verlängerung der Produktlebensdauer und das Schließen der Materialkreisläufe.²⁹⁶ Zur Umsetzung und Skalierung von CBMs ist die Beseitigung von Infrastrukturlücken bzgl. der Rückführung ungenutzter, unerwünschter, beschädigter, nicht mehr genutzter oder ausgedienter Produkte von großer Bedeutung.²⁹⁷

3.2.4 Netzwerk und Partnerschaften

3.2.4.1 *Kreislaufwirtschaftsorientierte Aus- und Weiterbildung, Aufklärung und Motivation*

Die Fähigkeiten und Fertigkeiten der Mitarbeiter*innen bilden einen wesentlichen SF zur Umsetzung von CBMs. Durch die kontinuierliche Weiterbildung und Qualifizierung der Belegschaft hinsichtlich der kreislaufwirtschaftlichen Prinzipien und der dafür erforderlichen Technologien wird die Transformation hin zur CE beschleunigt.²⁹⁸ Neben diesem Aspekt ist auch die CE-orientierte Aufklärung und Motivation der Lieferanten und Partner von essentieller Bedeutung. Die CE erfordert neue qualitative Anforderungen an die Materialien, Produkte und Dienstleistungen. Die Qualität und Zuverlässigkeit des Endproduktes sind abhängig von der Beschaffenheit ihrer Materialien und Komponenten. Um kreislauffähige Produkte herzustellen, müssen alle beteiligten Lieferanten und sonstige Partner hochmotiviert und zuverlässig gegenüber der CE sein.²⁹⁹

Nicht nur die Kompetenzen der Hersteller oder Dienstleistungserbringer sind für die erfolgreiche Umsetzung von CBMs wichtig, sondern auch die Marktwahrnehmung bzgl. fortgeschrittener CE-Produkte und -Dienstleistungen. Die Kund*innen müssen über die kreislaufwirtschaftlichen Vorteile aufgeklärt und auf Reparatur- und Wartungsdienstleistungen aufmerksam gemacht werden³⁰⁰, um deren Bedenken in Bezug auf Qualitäts- und Sicherheitsfragen von bspw. recycelten Produkten zu

²⁹⁴ Vgl. Gusmerotti et al., 2019.

²⁹⁵ Vgl. Lacy & Partridge, 2020, S. 35 f.

²⁹⁶ Vgl. Aparecida de Mattos & Albuquerque, 2018, S. 4.

²⁹⁷ Vgl. Lacy & Partridge, 2020, S. 35 ff.

²⁹⁸ Vgl. Aloini et al., 2020, S. 5 f.

²⁹⁹ Vgl. Goyal et al., 2022, S. 5201.

³⁰⁰ Vgl. Reim et al., 2021, S. 2752.

beseitigen und den nachhaltigen Konsum zu fördern. Es sollten also Sensibilisierungskampagnen organisiert und CE-orientiertes Marketing verfolgt werden, um die Öffentlichkeit und die Partner dementsprechend zu informieren. Denn CBMs können nur erfolgreich sein, wenn die Motivation aller Interessensgruppen gegeben ist und sich diese an dem Transformationsprozess beteiligen.³⁰¹

3.2.4.2 Zusammenarbeit und Kollaboration

Durch die Neuausrichtung der Unternehmen und deren Produktionsprozesse auf kreislaufwirtschaftliche Prinzipien und Strategien sowie durch die Erbringung neuer Dienstleistungen stehen diese vor neuen Aufgaben und Tätigkeiten. Unternehmen sind häufig nicht in der Lage diese Aufgaben eigenständig zu erfüllen, daher müssen Netzwerke und Partnerschaft-Infrastrukturen aufgebaut werden.³⁰² Für CBMs gilt vor allem die Verfügbarkeit geeigneter Partner als entscheidender SF.³⁰³ Darüber hinaus ist eine proaktive Zusammenarbeit aller Interessengruppen über die gesamte Wertschöpfungskette für die gemeinsame Entwicklung von Fähigkeiten und Produkten sowie für die zirkuläre Gestaltung der Lieferketten erforderlich. Dazu ist die Vernetzung und der kontinuierliche Informations- und Wissensaustausch über die Prozesse, Technologien, Produkte sowie Montage- und Demontageverfahren zweckdienlich.³⁰⁴

Für die erfolgreiche Umsetzung von CBMs ist die Zusammenarbeit mit der Politik ebenfalls von entscheidender Bedeutung, da dadurch ein CE-förderliches Ökosystem durch die gemeinsame Gestaltung von Regulatorien, Maßnahmen und Sensibilisierungskampagnen der Gesellschaft geschaffen werden kann.³⁰⁵

3.2.5 Wirtschaftlichkeit und finanzielle Nachhaltigkeit

3.2.5.1 Separate Bereitstellung interner Finanzmittel

Eine der größten Barrieren für KMUs zur Einführung kreislaufwirtschaftlicher Praktiken und somit für CBMs bildet der eingeschränkte Zugang bzw. Mangel an Finanzmitteln.³⁰⁶ Der Übergang zu einem zirkulären Produktions-/Geschäftsmodell ist für Unternehmen mit einem erheblichen Zeit- und Investitionsaufwand verbunden, da dazu Aufgaben wie die Vertriebsplanung, das Bestandsmanagement, die Produktionsplanung, die Forschung und Entwicklung (F&E) sowie der Aufbau und das Management eines Rückwärtslogistik-Netzwerks erforderlich sind.³⁰⁷ Gerade für KMUs, die im Gegensatz zu Großunternehmen durch eine höhere Empfindlichkeit gegenüber zusätzlichen Kosten charakterisiert sind, ist die Höhe der

³⁰¹ Vgl. Zafar et al., 2021, S. 265.

³⁰² Vgl. Reim et al., 2021, S. 2747.

³⁰³ Vgl. Urbinati et al., 2021, S. 553.

³⁰⁴ Vgl. Aloini et al., 2020, S. 7.

³⁰⁵ Vgl. Lacy & Partridge, 2020, S. 354 f.

³⁰⁶ Vgl. Trianni & Cagno, 2012, S. 497.

³⁰⁷ Vgl. Kok et al., 2013, S. 39 f.

Vorabinvestitionen, die indirekten Kosten für Zeit- und Personalaufwände sowie die erwartete Amortisationsdauer von großer Bedeutung.³⁰⁸ In diesem Zusammenhang sollten Unternehmen separate Budgets für Vorabinvestitionen bzgl. der zusätzlich anfallenden Aktivitäten, den Aufbau einer CE-förderlichen Infrastruktur (z.B.: Rückwärtslogistik), F&E und für CBMs erforderliche Zertifizierungs- und Konformitätsverfahren einplanen.³⁰⁹

3.2.5.2 Finanzielle Unterstützung durch Interessensgruppen und Politik

Die mit der Entwicklung und Einführung von CBMs verbundenen Anfangsinvestitionen stellen speziell für KMUs eine große Herausforderung dar. Oftmals fehlt es den Unternehmen an Möglichkeiten des einfachen Zugangs zu internen oder externen Finanzierungsquellen.³¹⁰ Für die erfolgreiche Umsetzung von CBMs bedarf es daher an finanzieller Unterstützung durch wichtige Interessensgruppen, Partner, regionale Behörden und die Regierung.³¹¹ Legislative Unterstützungen durch öffentliche Einrichtungen könnten bspw. in Form von Darlehen, Steuerbegünstigungen und finanziellen Anreizen für kreislauffähige Produkte, Subventionen und Rückerstattungen auftreten. Steuersenkungen und Anreize für die Entwicklung innovativer Lösungen zur Abfallsammlung, für die Herstellung kreislauffähiger Produkte und für die Wieder- und Weiterverwendung bzw. -verwertung von deren Materialien³¹² können zur Senkung der Kosten kreislauffähiger Produkte beitragen, was in weiterer Folge den Verkauf dieser Produkte steigern und den Erfolg der CE-Initiative fördern würde.³¹³

³⁰⁸ Vgl. Hollins, 2011, S. 20.

³⁰⁹ Vgl. Hart et al., 2019, S. 623.

³¹⁰ Vgl. Aloini et al., 2020, S. 7 f.

³¹¹ Vgl. Jabbour et al., 2020.

³¹² Vgl. Aloini et al., 2020, S. 5 ff.

³¹³ Vgl. Tian, 2018.

3.3 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde ein Überblick über die derzeit in der Literatur am häufigsten diskutierten CBMs, die den Wandel zu einer CE unterstützen sowie über allgemeine Aspekte von Faktoren, die bei der erfolgreichen Umsetzung der CBMs berücksichtigt werden müssen, verschafft. Die identifizierten CBMs sind das CSM, RRM, PLE, PSS und SP.

Das Kernprinzip des CSM beinhaltet die Substitution kritischer Rohstoffe durch zirkuläre Alternativen, wie bspw. erneuerbare Energiequellen sowie regenerative oder recyclebare Materialien. Ziel ist es langfristig die Ressourcenkreisläufe zu dematerialisieren, indem der Einsatz von Primärressourcen und Abfälle reduziert sowie Sekundärmaterialien für die Herstellung neuer Produkte herangezogen werden. Das RRM bezieht sich auf die Rückgewinnung und Wiederverwertung der Materialien von Altprodukten, Bauteilen oder Abfällen, die das Ende ihrer Lebenszyklen erreicht haben, um neue Produkte herzustellen. Dabei liegt der Fokus auf die sinnvolle Verwertung der Rohstoffe durch Wiederverwertungs- oder Weiterverwertungsprozesse.

Das PLE zielt auf die Verlängerung der funktionalen Lebensdauer von Produkten und deren Komponenten durch Produktverbesserungsstrategien in der Design- und Konzeptphase sowie Wiederverwendungs-, Wiederherstellungs- und Aufbereitungsstrategien in der Nutzungsphase, bspw. durch Wartungs- und Reparaturdienstleistungen ab. Wie beim PLE steht auch beim PSS und bei SP die Nutzungsphase der Produkte im Mittelpunkt. PSS basieren auf der Kombination der Produkte mit Dienstleistungen. Abhängig von der Form des PSS geht der Produktbesitz entweder an die Kund*innen über, wobei der Hersteller durch ein zusätzliches Dienstleistungsangebot (z.B.: Wartung, Reparatur, Kundensupport, etc.) die Verantwortung über den Zustand und die Funktion der Produkte übernimmt, oder der Produktbesitz verbleibt beim Hersteller. Bei letzterem Konzept wird die Funktion (z.B.: Pay-per-Use) bzw. die Nutzung (z.B.: Leasing, Sharing, etc.) des Produkts als Dienstleistung an die Verbraucher*innen veräußert. SPs zielen darauf ab, die Nutzung von Ressourcen bzw. Produkten durch intersektionales Teilen zu intensivieren und deren Auslastung zu optimieren.

Wie in Abbildung 12 ersichtlich, decken die CBMs im Wesentlichen die gesamte Wertschöpfungskette ab. Während CSM den Fokus auf die Herstellung der Produkte mit kreislauffähigen Ressourcen legt, besteht die Aufgabe des RRM darin, Materialien oder Energie aus Produkten, die das Ende ihrer Lebensdauer erreicht haben zu extrahieren und wieder in den Produktionskreislauf zurückzuführen.

PSS und SP zielen auf die Konsum- bzw. Nutzungsphase sowie auf die Beziehung zwischen den Verbraucher*innen und dem Produkt ab. Sie erweitern dadurch den Produktnutzen und die Herstellerverantwortung, wodurch für Hersteller Anreize generiert werden, um hochqualitative Materialien einzusetzen und den Wert sowie die Lebensdauer der Produkte zu maximieren. Das PLE bildet das Bindeglied zwischen der Herstellung und der Nutzung der Produkte durch ein zirkuläres Produktdesign und durch die Erweiterung des Dienstleistungsportfolios des Unternehmens.

Alle CBMs unterstützen bei der Erreichung der Ziele der CE und verfolgen dabei teilweise unterschiedliche Prinzipien. Der Einsatz eines bestimmten CBM schließt jedoch nicht ein anderes aus und es besteht durchaus die Möglichkeit mehrere verschiedene CBMs in einem Unternehmen zu etablieren. Vielmehr gilt es, um das volle Potential von CBMs auszuschöpfen und eine größtmögliche Zirkularität der Ressourcen in einem Unternehmen zu ermöglichen, die verschiedenen CBMs zu kombinieren und Synergieeffekte zu nutzen.

Die erfolgreiche Entwicklung bzw. Umsetzung von CBMs erfordert einen systemischen Ansatz und ein umfassendes Verständnis für die Verflechtung von wirtschaftlichen, sozialen und ökologischen Faktoren.³¹⁴ Um diesen Anspruch gerecht zu werden und bei der Auswahl von CBMs zu unterstützen, wurden in diesem Kapitel neben dem Stand der Forschung bzgl. CBMs zwölf allgemeine SFs für die Umsetzung bzw. Entwicklung von CBMs identifiziert, welche in fünf Dimensionen eingeteilt wurden.

Die erste Dimension umfasst die Konzeption und Bereitstellung von Produkten und Services. Das kreislauforientierte Produktdesign ist ein wesentlicher Faktor, der die Gestaltung von Produkten für die CE beinhaltet, wobei der Schwerpunkt auf Haltbarkeit, Reparierbarkeit und Recyclingfähigkeit liegt. Die Verbesserung der Funktionalität und Verlängerung der Produktlebensdauer durch Dienstleistungen spielen ebenfalls eine entscheidende Rolle bei der Förderung von CBMs, indem sie einen Mehrwert für die Kunden*innen schaffen und Abfall reduzieren.

Die Dimension der Ressourcen befasst sich mit den eingesetzten Materialien und Energiequellen für die Herstellung der Produkte. Erneuerbare Energien, erneuerbare und wiederverwertbare Materialien, die optimierte Ressourcennutzung und Abfallvermeidung tragen zur Nachhaltigkeit von CBMs bei, indem sie die Abhängigkeit von kritischen Ressourcen bzw. Primärressourcen verringern sowie Abfall reduzieren und den Ressourcenverbrauch minimieren.

Bei der Dimension der Technologie und Infrastruktur liegt der Fokus auf die technischen und infrastrukturellen Gegebenheiten, um den Erfolg eines CBM zu fördern. Während Technologien zur Mechanisierung kreislaufwirtschaftlicher Strategien und digitale Technologien das Potential haben die Effizienz und die

³¹⁴ Vgl. Kirchherr et al., 2017, S. 229.

Effektivität von CBMs zu verbessern, bieten getrennte Abfallsammlungs- und Produktrückführungssysteme Möglichkeiten zur Sicherstellung der ordnungsgemäßen Sammlung, Trennung, Sortierung, Entsorgung und Rückgewinnung bereits genutzter Ressourcen. Diese SFs fördern die Ressourceneffizienz, erhöhen die Verfügbarkeit von Sekundärrohstoffen und reduzieren die Abfallströme im Zuge der unternehmerischen Tätigkeit.

Neben den ersten drei Dimensionen, die vorwiegend ökologisch-technische Aspekte behandeln, befasst sich die Dimension der Netzwerke und Partnerschaften mit sozialen Gesichtspunkten. Die kreislaufwirtschaftsorientierte Aus- und Weiterbildung, Aufklärung und Motivation aller internen und externen Interessensgruppen können das Bewusstsein für die CE stärken, Verhaltensänderungen fördern sowie die Akzeptanz gegenüber dem CBM erhöhen und somit zu dessen Erfolg wesentlich beitragen. Die Zusammenarbeit und Kollaboration mit allen Interessensgruppen unterstützen durch den Aufbau von Partnerschaftsnetzwerken und den kontinuierlichen Wissensaustausch die Bildung eines günstigen Umfeldes für den Übergang zu einem CBM.

Die fünfte Dimension, Wirtschaftlichkeit und finanzielle Nachhaltigkeit, befasst sich mit ökonomischen SFs für CBMs. Die separate Bereitstellung interner Budgets für den Veränderungsprozess bildet einen entscheidenden SF für KMUs bei der Einführung von CBMs. Sie berücksichtigt die notwendigen finanziellen Ressourcen, um kreislaufwirtschaftliche Verfahren sowie die dazu notwendige Infrastruktur einzuführen. Der Zugang für KMUs zu externen finanziellen Mitteln von Seiten der Interessensgruppen und der Politik kann dabei unterstützen, die anfänglichen Investitionskosten zu überwinden und die Einführung nachhaltiger und kreislauforientierter Verfahren zu erleichtern. Daher ist es von großer Bedeutung, dass Regierungen, Finanzinstitute und andere Stakeholder Möglichkeiten zur finanziellen Unterstützung für KMUs bereitstellen, um ein günstiges Umfeld für die Umsetzung von CBMs zu schaffen.

4 Anwendung von Fuzzy PROMETHEE

Für die Anwendung von kausalen Methoden zur Entscheidungsfindung werden, wie im Kapitel 2.5 erläutert, gegenwärtige, vergangenheits- und zukunftsbezogene Informationen benötigt. Aus der facheinschlägigen Literatur bzgl. der CE und CBMs lassen sich bereits durch Erfahrungswerte, Trends und Schätzungen einige Aspekte und Kriterien ableiten, welche die Wirksamkeit und Durchführbarkeit der CBMs belegen. Dennoch resultiert aus dem begrenzten Forschungsstand zur Einführung von zirkulären Anwendungen eine gewisse Prognoseunsicherheit bzgl. der Wahrscheinlichkeit von Entwicklungen, sodass die Auswahl und Analyse von CBMs durch ein bestimmtes Maß an Unsicherheiten geprägt ist. Des Weiteren existieren in der Theorie und Praxis bereits einige unterschiedliche CBMs und damit verbundene Faktoren, die bei der Auswahl von CBMs berücksichtigt werden müssen, woraus eine höhere Komplexität des Entscheidungs- bzw. Auswahlproblems resultiert. Um dieser Komplexität und diesen Unsicherheiten entgegenzuwirken, eignet sich zur Beantwortung der Forschungsfragen eine MCDA, welche eine Kombination von qualitativen und quantitativen Methoden der Kausalitäts-Perspektive darstellt.

Auf den nachfolgenden Seiten werden im ersten Abschnitt die PROMETHEE-Methode, die Fuzzy-Set-Theorie, das Konzept und die Formulierung der Fuzzy-PROMETHEE-Methode sowie dessen mathematische Definitionen und die vorgeschlagene Vorgehensweise beschrieben. Im zweiten Abschnitt wird die Fuzzy PROMETHEE-Methode für das vorliegende Auswahlproblem angewendet. Abschließend werden die Ergebnisse dargestellt und kritisch reflektiert bevor diese im darauffolgendem Kapitel validiert werden.

4.1 Beschreibung der Methode

In dieser Arbeit wird der alternative Ansatz nach Aytac et al. (2016) angewendet, welcher die Fuzzy-Set-Theorie in die PROMETHEE Methode integriert, um Entscheidungsträger*innen von KMUs im Maschinen-, Fahrzeug-, und Anlagenbau bei der Auswahl von CBMs zu unterstützen.

4.1.1 PROMETHEE Methode

Die PROMETHEE Methode gehört zu der Gruppe der ORM unter den MCDA (siehe Kapitel 2.6.3) und wurde von Brans Anfang der 1980er Jahre, aus Kritik gegenüber klassischen MADM-Methoden entwickelt.³¹⁵ Diese Methode findet häufige Anwendungen im europäischen Raum und es existieren bereits diverse Weiterentwicklungen, wobei zwischen PROMETHEE I bis VI unterschieden wird.³¹⁶

Im Zuge der PROMETHEE-Methode kann eine endliche Anzahl an unterschiedlichen Alternativen auf Basis von Paarvergleichen analysiert und bewertet werden. Durch den paarweisen Vergleich der Alternativen wird die Intensität der Präferenzen von Entscheidungsträger*innen dargestellt. Im Vergleich zu klassischen Verfahren wird bei PROMETHEE nicht angenommen, dass gerade in unsicheren Entscheidungsumgebungen, Entscheidungsträger*innen sich ihrer Präferenzen eindeutig bewusst sind und diese auch formulieren können. Zur Darstellung dieser Präferenzunsicherheiten werden bei PROMETHEE-Methoden sogenannte Präferenzfunktionen herangezogen, welche die Alternativen untereinander vergleichen. Das besondere hierbei ist, dass durch die Abbildung der Präferenz-Ausprägungen schwache Präferenzen oder sogar Unvergleichbarkeiten hinsichtlich der Kriterien ausgedrückt werden können.³¹⁷ Diese Präferenz-Funktionen variieren je nach vorliegendem Auswahlproblem.³¹⁸ In dieser Arbeit werden als Präferenzfunktionen die Fuzzy-Hamming-Distanzen verwendet.³¹⁹

Ein weiterer Vorteil gegenüber klassischen Verfahren ist, dass durch die Berücksichtigung der inneren Beziehungen jedes Bewertungsfaktors während des Entscheidungsprozesses,³²⁰ die vollständige Kompensation zwischen den Kriterien vermieden wird. Dies kann sich besonders bei Entscheidungs- bzw. Auswahlproblemen bzgl. ökologischer und somit auch nachhaltiger und kreislaufwirtschaftlicher Herausforderungen als vorteilhaft erweisen.³²¹

³¹⁵ Vgl. Brans & Bertrand, 2005, S. 163–186.

³¹⁶ Vgl. Geldermann & Lerche Nils, 2014, S. 53.

³¹⁷ Vgl. Geldermann & Lerche Nils, 2014, S. 53.

³¹⁸ Vgl. Brans et al., 1986, S. 228–238.

³¹⁹ Vgl. Aytac & Nilsen Karakasoglu, 2016, S. 184.

³²⁰ Vgl. Murat et al., 2015, S. 729–738.

³²¹ Vgl. Geldermann & Lerche Nils, 2014, S. 53.

Es ist anzumerken, dass die PROMETHEE-Methode vorwiegend als Instrument zur Entscheidungsunterstützung fungiert und nicht den Entscheidungsträger*innen durch ein automatisiertes Rechenverfahren die Entscheidung gänzlich abnimmt. Vielmehr sollen die einzelnen Verfahrensschritte von PROMETHEE die Entscheidungsträger*innen in den Entscheidungsprozess aktiv miteinbeziehen und durch die Bereitstellung zusätzlicher Informationen unterstützen eine fundierte Entscheidung zu treffen. Diese Eigenschaften der PROMETHEE-Methode können zu einer höheren Akzeptanz des Ergebnisses unter den Entscheidungsträger*innen führen.³²²

4.1.2 Fuzzy-Set-Theorie

Die größte Herausforderung besteht darin, die von Menschen gemachten qualitativen Beobachtungen und Präferenzen in quantitative Eingabedaten zu transformieren.³²³ Die Komplexität von MCDA-Problemen ergibt sich aus dem Entscheidungsumfeld. Dies ist auf den Mangel an spezifischem Wissen über die Ziele und Restriktionen und auf die Schwierigkeit, das Problem eindeutig in klaren Werten zu beschreiben, zurückzuführen.³²⁴ Um bei der Lösung dieser Problematik zu unterstützen und aus unsicheren und mehrdeutigen Daten die gewünschten Ergebnisse zu erhalten, stellt die von Zadeh (1965) entwickelte Verwendung der Fuzzy-Set-Theorie eine geeignete Maßnahme dar. Dabei werden linguistische Variablen mit numerischen Fuzzy-Sets bzw. unscharfen Mengen verknüpft, mit deren Hilfe linguistische Ausdrücke mathematisch dargestellt werden.³²⁵

Zu den Grundbestandteilen der Fuzzy-Set-Theorie gehören die Zugehörigkeitsfunktionen, welche die unscharfen Mengen visualisieren und die Aggregationsoperatoren. Letztere dienen zur mathematischen Verknüpfung unscharfer Mengen.³²⁶ Die Form der Zugehörigkeitsfunktion ist abhängig von der Art der Fuzzy-Zahlen. In der facheinschlägigen Literatur existieren dazu mehrere verschiedene Ansätze, darunter befinden sich bspw. Dreiecks-, Trapez- und Gaußsche Fuzzy-Zahlen.³²⁷ Während Gaußsche Fuzzy-Zahlen vermehrt für Systeme geeignet sind, die Wahrscheinlichkeiten und statistischen Daten zugrunde liegen, eignen sich einfachere Formen wie die Dreiecks- und Trapez-Fuzzy-Zahlen zur Darstellung von Variablen, deren Zugehörigkeitsfunktionen auf ungenauen oder qualitativen Daten basieren.³²⁸

Obwohl Dreiecks-Fuzzy-Zahlen eine einfache Methode darstellen, um mit unzureichenden bzw. ungenauen Daten umzugehen, ist dieses Konzept mit der

³²² Vgl. Geldermann & Lerche Nils, 2014, S. 54.

³²³ Vgl. Goumas & Lygerou, 2000, S. 606–613.

³²⁴ Vgl. Bellman & Zadeh, 1970, S. 141–164.

³²⁵ Vgl. Zadeh, 1965.

³²⁶ Vgl. Pincaré, 1999, S. 64.

³²⁷ Vgl. Chakraverty et al., 2019, S. 53.

³²⁸ Vgl. Adil & Ali, 2015.

Problematik konfrontiert, dass durch die dreieckige Form der Zugehörigkeitsfunktion nur ein Punkt zur Darstellung des wahrscheinlichsten Wertes herangezogen werden kann. In der Praxis kann jedoch häufig kein eindeutiger Spitzenwert definiert werden, wodurch es bei der Anwendung von Dreiecks-Fuzzy-Zahlen oftmals zu stark ausgeprägten Simulationsfehlern kommt, die sich auf die Ergebnisse auswirken können. Eine trapezförmige Zugehörigkeitsfunktion hingegen hat ähnliche Vorteile wie eine dreieckige Zustandsfunktion und zeichnet sich durch ihre Anpassungsfähigkeit für Parameterverteilungen über Intervalle von Spitzenwerten aus. D.h. Trapez-Fuzzy-Zahlen berücksichtigen zumindest zwei Spitzenwerte, wodurch das Problem der Simulationsfehler einfach behoben werden kann.³²⁹ Aus diesem Grund werden in dieser Arbeit Trapez-Fuzzy-Zahlen herangezogen.

4.1.2.1 Definitionen zur Fuzzy-Set-Theorie

Definition 1: Eine Fuzzy-Menge A über eine Universalmenge X ist definiert als

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X\}$$

Formel 1: Definition Fuzzy-Menge

wobei $\mu_A : X \rightarrow [0,1]$ den Grad der Zugehörigkeit des Elements x zu A darstellt, sodass für $\mu_A(x) \in [0,1]$ alle $x \in X$.³³⁰

Definition 2: Eine Fuzzy-Zahl ist eine normale, konvexe Zugehörigkeitsfunktion, d.h. ihre Zugehörigkeitsfunktion ist stückweise kontinuierlich und es existiert mindestens ein $x_0 \in \mathbb{R}$, sodass $\mu_A(x_0) = 1$.³³¹

Definition 3: Trapezförmige Fuzzy-Zahlen sind als Quadrupel (a_1, a_2, a_3, a_4) definiert und ihre Zugehörigkeitsfunktion wird beschrieben als:³³²

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ \frac{x - a_4}{a_3 - a_4}, & a_3 \leq x \leq a_4 \\ 0, & x > a_4 \end{cases}$$

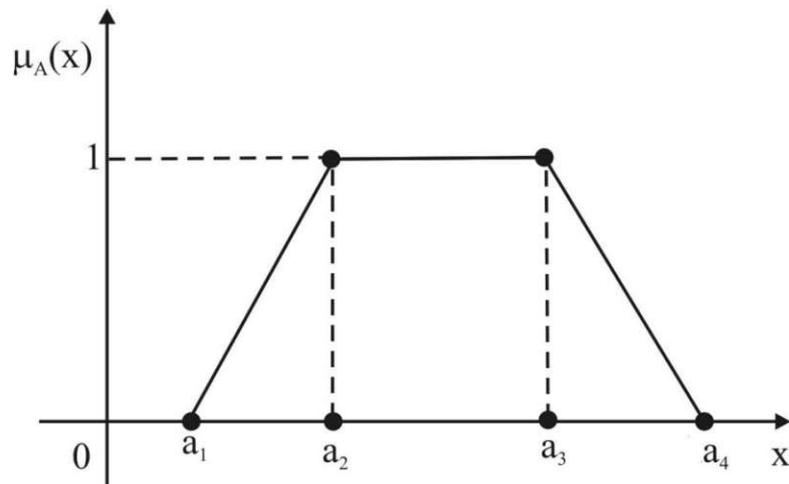
Formel 2: Zugehörigkeitsfunktion trapezförmiger Fuzzy-Zahlen

³²⁹ Vgl. Liu & Wang, 2023, S. 3.

³³⁰ Zadeh, 1965.

³³¹ Klir & Yuan, 1995.

³³² Aytac & Nilsen Karakasoglu, 2016, S. 186.

Abbildung 14: Trapezförmige Fuzzy-Zahl³³³

4.1.2.2 Aggregationsoperatoren von Fuzzy-Zahlen

Gegeben seien zwei positive, trapezförmige Fuzzy-Zahlen

$$A = (a_1, a_2, a_3, a_4)$$

$$B = (b_1, b_2, b_3, b_4)$$

und eine positive reelle Zahl r . Dann können einige Hauptoperationen der Fuzzy-Zahlen A und B wie folgt ausgedrückt werden:³³⁴

$$A + B = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3, a_4 + b_4)$$

$$A - B = (a_1 - b_1, a_2 - b_2, a_3 - b_3, a_4 - b_4)$$

$$A \times r = (a_1 r, a_2 r, a_3 r, a_4 r)$$

$$A \times B = (a_1 b_1, a_2 b_2, a_3 b_3, a_4 b_4)$$

$$A \div B = (a_1 \div b_4, a_2 \div b_3, a_3 \div b_2, a_4 \div b_1)$$

Formel 3: Hauptoperationen von Fuzzy-Zahlen

In der einschlägigen Literatur existieren einige unterschiedliche Defuzzifizierungs-Verfahren. In dieser Arbeit wird die von Chen et al. (1997) vorgeschlagene Methode herangezogen.

Es sei $A = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ eine trapezförmige Fuzzy-Zahl, dann wird der defuzzifizierte Wert x_A der Fuzzy-Zahl A wie folgt ermittelt:³³⁵

³³³ Elizabeth & Sujatha, 2015, S. 189.

³³⁴ Kaufmann & Gupta, 1991.

³³⁵ Vgl. Chen et al., 1997.

$$x_A = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + a_4}{4}$$

Formel 4: Ermittlung des defuzzifizierten Wertes einer Fuzzy-Zahl

4.1.3 Fuzzy PROMETHEE Methode

Wie bereits erwähnt, ist eine wesentliche Problematik bei diversen MCDA-Verfahren, darunter auch die PROMETHEE-Methode, die mangelnde Fähigkeit unscharfe Daten, aufgrund von Unsicherheiten des menschlichen Urteils, in der realen Entscheidungsumgebung zu verarbeiten.³³⁶ Um bei dieser Herausforderung zu unterstützen wurde die Fuzzy-Set-Theorie in die PROMETHEE-Methode erstmals von Le Téo und Mareschal (1998) in ihrer Studie für den Vergleich des Designs von Bauprodukten mit unscharfen Daten bzgl. der Umweltqualität integriert.³³⁷ In den letzten zwei Jahrzehnten fand diese Vorgehensweise vermehrt an Zuspruch und wurde in unterschiedlichsten Anwendungsbereichen eingesetzt, wie bspw. bei der Bewertung von Energienutzungsprojekten, der Auswahl von Informationssystemen, Logistikdienstleistern, Materialtransportanlagen aber auch bei der Priorisierung von Fehlerarten bei elektrischen Energieanlagen und der Zustandsbewertung von Rohrleitungen.³³⁸

4.1.3.1 Verfahrensschritte von Fuzzy PROMETHEE

In diesem Abschnitt werden die Verfahrensschritte in Anlehnung an den vorgeschlagenen Ansatz von Fuzzy PROMETHEE nach Aytac et al. (2016) beschrieben. Für die Anwendung der Methode sind die nachfolgenden Schritte erforderlich.

Schritt 1 – Bildung von Entscheidungsgremien

Im Gegensatz zu dem Ansatz von Aytac et al. (2016) werden bei dieser Arbeit zwei Entscheidungsgremien gebildet. Gruppe 1 besteht aus einer Anzahl k von Kreislaufwirtschaftsexpert*innen EX_k ($k = 1, 2, \dots, K$) deren Aufgabe es ist, die Kriterien für das vorliegende Auswahlproblem nach relativer Wichtigkeit zu bewerten. Gruppe 2 besteht aus einer Anzahl k von Entscheidungsträger*innen DM_k ($k = 1, 2, \dots, K$) von KMUs im Maschinen-, Fahrzeug- und Anlagenbau, welche die Alternativen anhand der Kriterien bewerten. Die Gewichtungen und Bewertungen der Entscheidungsgremien werden als trapezförmige Fuzzy-Zahlen \mathcal{R}_k ($k = 1, 2, \dots, K$) mit der Zugehörigkeitsfunktion $\mu_{\mathcal{R}_k}(x)$ dargestellt.³³⁹

³³⁶ Vgl. Wang et al., 2008, S. 361–365.

³³⁷ Vgl. Le Téo & Mareschal, 1998, S. 522–529.

³³⁸ Vgl. Aytac & Nilsen Karakasoglu, 2016, S. 185.

³³⁹ Vgl. Aytac & Nilsen Karakasoglu, 2016, S. 186.

Schritt 2 – Festlegung der Bewertungskriterien und der Alternativen

Für das Bewertungsverfahren werden m realisierbare Alternativen $A_m (m = 1, 2, \dots, m)$ und n Bewertungskriterien $C_n (n = 1, 2, \dots, n)$ festgelegt.³⁴⁰

Schritt 3 – Definition von linguistischen Variablen und Fuzzy-Zahlen

Zur Gewichtung der Kriterien und Bewertung der Alternativen gegenüber diesen Kriterien werden geeignete linguistische Variablen definiert und entsprechende trapezförmige Fuzzy-Zahlen zugeordnet.³⁴¹

Schritt 4 – Aggregation der Kriterien-Gewichtungen und der Bewertungen der Alternativen

Nach der Einholung der Gewichtungen bzw. Bewertungen der zwei Entscheidungsgremien gegenüber den Kriterien bzw. Alternativen werden die Fuzzy-Gewichtungen und Fuzzy-Bewertungen aggregiert.

Es seien $w_{jk} = (w_{jk}^l, w_{jk}^p, w_{jk}^q, w_{jk}^u)$ mit $k = 1, 2, \dots, K$ und $j = 1, 2, \dots, n$ die Gewichtungen des k -ten Entscheidungsträgers in Form von trapezförmigen Fuzzy-Zahlen. Dann werden die aggregierten Fuzzy-Gewichtungen wie folgt aggregiert:³⁴²

$$w_j = (w_j^l, w_j^p, w_j^q, w_j^u)$$

$$w_j^l = \min_k \{w_{jk}^l\}, \quad w_j^p = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K w_{jk}^p, \quad w_j^q = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K w_{jk}^q, \quad w_j^u = \max_k \{w_{jk}^u\}$$

Formel 5: Aggregation der Fuzzy-Gewichtungen

und es sei $x_{ijk} = (a_{ijk}, b_{ijk}, c_{ijk}, d_{ijk})$ mit $k = 1, 2, \dots, K$, $i = 1, 2, \dots, m$ und $j = 1, 2, \dots, n$ die Bewertung der j -ten Alternative gegenüber den i -ten Kriterien der k -ten Entscheidungsträger*in in Form von trapezförmigen Fuzzy-Zahlen. Dann werden die aggregierten Fuzzy-Bewertungen wie folgt aggregiert:³⁴³

$$x_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}, d_{ij})$$

$$a_{ij} = \min_k \{a_{ijk}\}, \quad b_{ij} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K b_{ijk}, \quad c_{ij} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K c_{ijk}, \quad d_{ij} = \max_k \{d_{ijk}\}$$

Formel 6: Aggregation der Fuzzy-Bewertungen

³⁴⁰ Vgl. Aytac & Nilsen Karakasoglu, 2016, S. 186.

³⁴¹ Vgl. Aytac & Nilsen Karakasoglu, 2016, S. 186.

³⁴² Vgl. Aytac & Nilsen Karakasoglu, 2016, S. 187.

³⁴³ Vgl. Aytac & Nilsen Karakasoglu, 2016, S. 187.

Schritt 5 – Bildung der Fuzzy-Entscheidungsmatrix

Die Fuzzy-Entscheidungsmatrix kann nach folgendem Schema konstruiert werden:

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}, \quad W = [w_1, w_2, \dots, w_n]$$

Formel 7: Fuzzy-Entscheidungsmatrix

wobei $x_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}, d_{ij})$ und $w_j = (w_j^l, w_j^p, w_j^q, w_j^u)$ mit $i = 1, 2, \dots, m$ und $j = 1, 2, \dots, n$ durch positive trapezförmige Fuzzy-Zahlen angenähert werden können.³⁴⁴

Schritt 6 – Bildung der normalisierten Fuzzy-Entscheidungsmatrix

Die Normalisierung der Fuzzy-Entscheidungsmatrix erfolgt mit der Formel der linearen Normalisierung:

$$\mathcal{R} = [r_{ij}]_{m \times n} \quad \text{mit } i = 1, 2, \dots, m \text{ und } j = 1, 2, \dots, n$$

$$r_{ij} = \left(\frac{a_j^-}{d_{ij}^-}, \frac{a_j^-}{c_{ij}^-}, \frac{a_j^-}{b_{ij}^-}, \frac{a_j^-}{a_{ij}^-} \right) \quad a_j^- = \min_i a_{ij}, \quad j \in \Omega_C$$

$$r_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{d_j^*}, \frac{b_{ij}}{d_j^*}, \frac{c_{ij}}{d_j^*}, \frac{d_{ij}}{d_j^*} \right) \quad d_j^* = \max_i d_{ij}, \quad j \in \Omega_B$$

Formel 8: Normalisierung der Fuzzy-Entscheidungsmatrix

Die normalisierte Fuzzy-Entscheidungsmatrix wird mit \mathcal{R} bezeichnet, wobei Ω_B bzw. Ω_C die Indexmengen der Nutzen- bzw. Kostenkriterien bezeichnen. Da in dieser Arbeit vorwiegend Nutzenkriterien behandelt werden, wird in erster Linie die Formel für Nutzenkriterien herangezogen.³⁴⁵

Schritt 7 – Bildung der gewichteten, normalisierten Fuzzy-Entscheidungsmatrix

Durch Multiplikation der normalisierten Fuzzy-Entscheidungsmatrix \mathcal{R} mit den aggregierten Gewichtungen der jeweiligen Kriterien wird die gewichtete, normalisierte Fuzzy-Entscheidungsmatrix V ermittelt.³⁴⁶

³⁴⁴ Vgl. Aytac & Nilsen Karakasoglu, 2016, S. 187.

³⁴⁵ Vgl. Aytac & Nilsen Karakasoglu, 2016, S. 187.

³⁴⁶ Vgl. Aytac & Nilsen Karakasoglu, 2016, S. 187 f.

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ v_{m1} & v_{m2} & \dots & v_{mn} \end{bmatrix}, \quad v_{ij} = r_{ij}(\cdot)w_j$$

mit $i = 1, 2, \dots, m$ und $j = 1, 2, \dots, n$

Formel 9: Gewichtete, normalisierte Fuzzy-Entscheidungsmatrix

Schritt 8 – Paarweiser Vergleich der Alternativen mittels Präferenzfunktion

In dieser Arbeit wird als Präferenzfunktion für den paarweisen Vergleich der Alternativen g und f gegenüber jedem Kriterium die Methode der Hamming-Distanz herangezogen. Die Hamming-Distanzen und die Präferenzfunktion werden wie folgt ermittelt:³⁴⁷

Zuerst wird das Maximum zwischen den Fuzzy-Zahlen zweier gewichteter, normalisierter Bewertungen je Kriterium ermittelt.

$$\max_j(v_{gj}, v_{fj})$$

Anschließend werden die Hamming-Distanzen ermittelt:

$$d(\max_j(v_{gj}, v_{fj}), v_{gj})$$

$$d(\max_j(v_{gj}, v_{fj}), v_{fj})$$

Die Präferenzfunktion wird wie folgt gebildet:

$$P_j(g, f) = \begin{cases} d(\max_j(v_{gj}, v_{fj}), v_{gj}) & v_{gj} < v_{fj} \\ d(\max_j(v_{gj}, v_{fj}), v_{fj}) & v_{gj} \geq v_{fj} \end{cases}$$

Formel 10: Präferenz-Funktion

Mit $v_{gj} \geq v_{fj}$ wenn und nur wenn $d(\max_j(v_{gj}, v_{fj}), v_{fj}) \geq d(\max_j(v_{gj}, v_{fj}), v_{gj})$ und $v_{gj} < v_{fj}$ wenn und nur wenn $d(\max_j(v_{gj}, v_{fj}), v_{fj}) < d(\max_j(v_{gj}, v_{fj}), v_{gj})$.

Wenn g besser als f ist dann $P_j(g, f) > 0$, sonst $P_j(g, f) = 0$.

³⁴⁷ Vgl. Aytac & Nilsen Karakasoglu, 2016, S. 188.

Schritt 9 – Berechnung des Fuzzy-Präferenz-Index

Der Fuzzy-Präferenz-Index wird benötigt, um den Wert der Outranking-Beziehung zwischen den Alternativen g und f zu ermitteln.³⁴⁸

$$\pi(g, f) = \frac{\sum_{j=1}^n [w_j P_j(g, f)]}{\sum_{j=1}^n w_j}$$

Formel 11: Fuzzy-Präferenz-Index

Schritt 10 – Ermittlung der Ein- und Ausgangsströme der Alternativen

$$\Phi^+(g) = \sum_{\substack{f \neq g \\ f=1}}^m \pi(g, f)$$

$$\Phi^-(g) = \sum_{\substack{f \neq g \\ f=1}}^m \pi(f, g)$$

Formel 12: Ein- und Ausgangsströme der Alternativen

Die Ergebnisse der Eingangsströme $\Phi^-(g)$ und Ausgangsströme $\Phi^+(g)$ werden als Fuzzy-Zahlen dargestellt.³⁴⁹ Zur Defuzzifizierung wird Formel 4 herangezogen.

³⁴⁸ Vgl. Aytac & Nilsen Karakasoglu, 2016, S. 188.

³⁴⁹ Vgl. Aytac & Nilsen Karakasoglu, 2016, S. 188.

Schritt 11 – Auswertung nach PROMETHEE I

Bei PROMETHEE I wird eine partielle Präordnung ermittelt. Dies ist ein besonderes Merkmal der PROMETHEE Methode, denn durch den Vergleich von Ein- und Ausgangsströmen können neben Präferenzen auch Indifferenzen und Unvergleichbarkeiten zwischen den Alternativen dargestellt werden.³⁵⁰

Nach der Defuzzifizierung der Ein- und Ausgangsströme je Alternative kann die partielle Präordnung wie folgt ermittelt werden.³⁵¹

$$\begin{array}{l}
 gP^I f \quad \text{iff} \\
 gI^I f \quad \text{iff} \\
 gR^I f \quad \text{iff}
 \end{array}
 \left\{
 \begin{array}{l}
 \Phi^+(g) > \Phi^+(f) \quad \text{und} \quad \Phi^-(g) < \Phi^-(f) \quad \text{oder} \\
 \Phi^+(g) = \Phi^+(f) \quad \text{und} \quad \Phi^-(g) < \Phi^-(f) \quad \text{oder} \\
 \Phi^+(g) > \Phi^+(f) \quad \text{und} \quad \Phi^-(g) = \Phi^-(f) \\
 \Phi^+(g) = \Phi^+(f) \quad \text{und} \quad \Phi^-(g) = \Phi^-(f) \\
 \Phi^+(g) > \Phi^+(f) \quad \text{und} \quad \Phi^-(g) > \Phi^-(f) \quad \text{oder} \\
 \Phi^+(g) < \Phi^+(f) \quad \text{und} \quad \Phi^-(g) < \Phi^-(f)
 \end{array}
 \right.$$

Formel 13: Bedingungen für die partielle Präordnung nach PROMETHEE I

Mit P^I als Präferenz, I^I als Indifferenz und R^I als Unvergleichbarkeit.

Schritt 12 – Auswertung nach PROMETHEE II

PROMETHEE II stellt eine Erweiterung von PROMETHEE I dar, wobei anstatt einer partiellen Präordnung eine vollständige Präordnung bzw. Totalordnung ermittelt wird. Die Größe der jeweiligen Nettostrome geben Aufschluss über die Outranking-Beziehungen der Alternativen. Je höher der Nettostrom, desto besser die Position in der Totalordnung. Dabei wird der Nettostrom je Alternative wie folgt ermittelt:³⁵²

$$\Phi^{NET}(g) = \Phi^+(g) - \Phi^-(g)$$

Formel 14: Nettostrom der Alternativen

Angesichts der Tatsache, dass bei der Aggregation zum Nettostrom wichtige Informationen wie Indifferenzen und Unvergleichbarkeiten verloren gehen, empfiehlt es sich bei der Anwendung von PROMETHEE Methoden, sowohl PROMETHEE I und PROMETHEE II einzusetzen.³⁵³

³⁵⁰ Vgl. Geldermann & Lerche Nils, 2014, S. 63.

³⁵¹ Vgl. Aytac & Nilsen Karakasoglu, 2016, S. 188.

³⁵² Vgl. Geldermann & Lerche Nils, 2014, S. 63.

³⁵³ Vgl. Geldermann & Lerche Nils, 2014, S. 64.

4.2 Durchführung der Methode

4.2.1 Aufbau und Vorgehensweise

Zur Durchführung der MCDA, welche sich in zwei Phasen unterteilt, wurden in Phase eins anhand einer systematischen Literaturrecherche fünf CBMs als Alternativen und zwölf allgemeine Aspekte von SFs für CBMs als Entscheidungskriterien identifiziert und festgelegt. Diese CBMs und SFs sind in Kapitel 3 im Detail erläutert. Im Zuge von qualitativen Experteninterviews wurden anschließend die festgelegten Kriterien durch 15 Kreislaufwirtschaftsexpert*innen gewichtet und in eine Hierarchie gereiht. Die Anzahl der Interviewpartner*innen richtet sich nach der Studie von Boddy (2016), die besagt, dass die theoretische Daten-Sättigung bei qualitativen Forschungsarbeiten bei einer Stichprobengröße von mindestens zwölf Teilnehmer*innen in einer relativ homogenen Population auftritt.³⁵⁴

In Phase zwei wurden, ebenfalls im Rahmen qualitativer Interviews, die jeweiligen CBMs anhand der SFs durch fünf Entscheidungsträger*innen von KMUs im Maschinen-, Fahrzeug- und Anlagenbau bewertet, wodurch eine Rangordnung der CBMs generiert wird. In diesem Prozess besteht die Aufgabe der Entscheidungsträger*innen darin, qualitative Beurteilungen der Leistung der Alternativen gegenüber den einzelnen Kriterien im Hinblick auf das übergeordnete Ziel des Auswahlproblems bereitzustellen.³⁵⁵ Für die Größe der Expertengruppe in Phase zwei einer MCDA gibt es im Allgemeinen keine Empfehlungen, da keine theoretischen und empirischen Argumentationen existieren, die einen Zusammenhang zwischen der Größe des Expertengremiums und aussagekräftigeren Ergebnissen belegen. Vielmehr ist das Fachwissen der teilnehmenden Personen für die Qualität der Resultate von Bedeutung.³⁵⁶

In Abbildung 15 ist der Ablauf der vorgeschlagenen Bewertungsmethode schematisch dargestellt.

³⁵⁴ Vgl. Boddy, 2016.

³⁵⁵ Vgl. Kuo et al., 2007, S. 324–339.

³⁵⁶ Vgl. Bulut & Duru, 2018, S. 41.

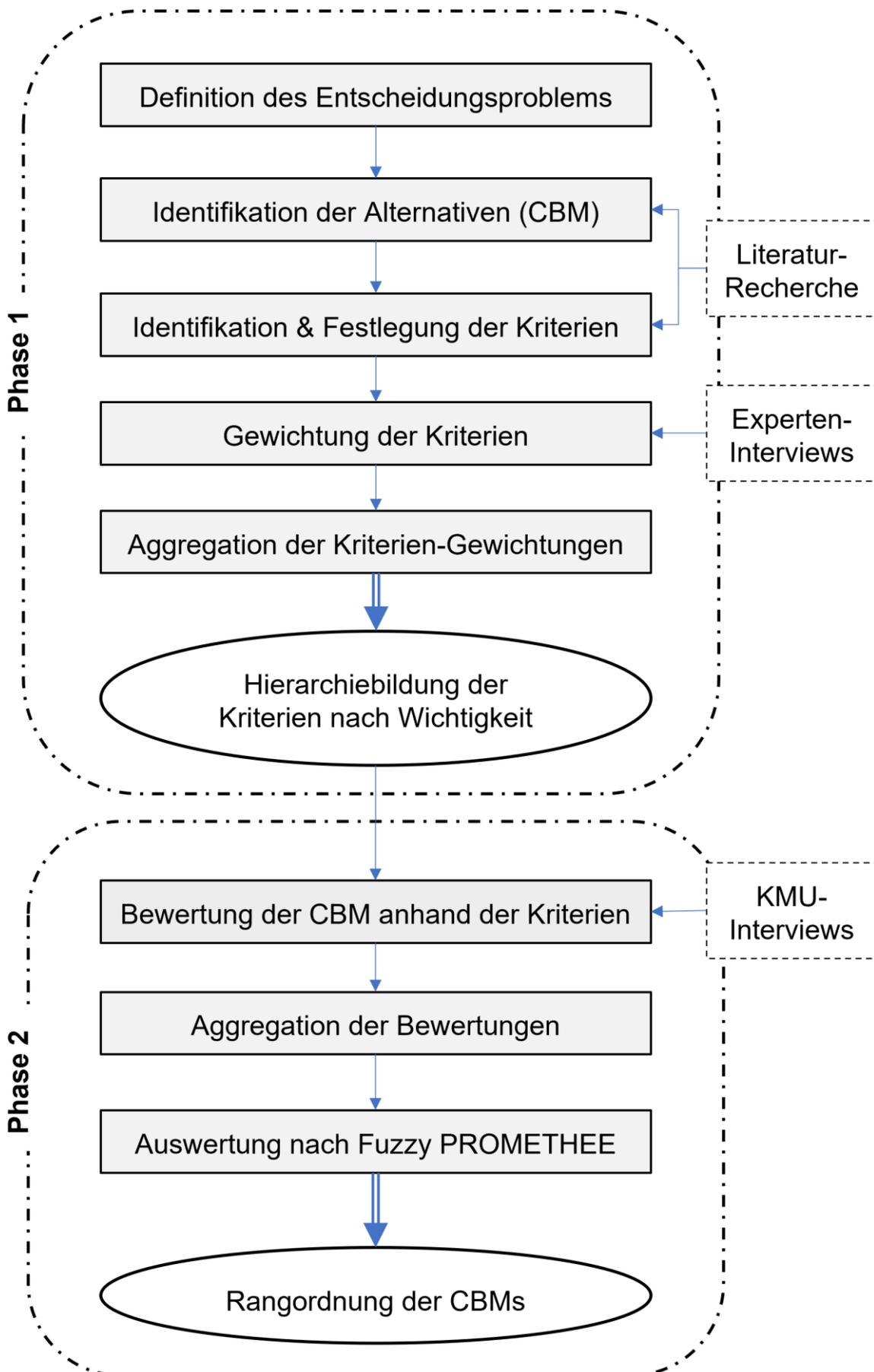


Abbildung 15: Ablauf der Bewertungsmethode

4.2.2 Festlegung der Alternativen und Kriterien

Zur Durchführung der Fuzzy PROMETHEE Methode werden, wie in den Kapiteln 2.6.4.2 und 2.6.4.3 erläutert, die zu bewertenden Alternativen und Kriterien definiert. Als Alternativen werden die folgende fünf CBMs herangezogen:

- Circular Supplies Model
- Resource Recovery Model
- Product Lifecycle Extension Model
- Product-Service Systems
- Sharing Platforms

Wie im vorherigen Abschnitt beschrieben, werden als Kriterien allgemeine SFs für die Entwicklung bzw. Umsetzung von CBMs herangezogen, die im Rahmen einer umfassenden Literaturrecherche (Kapitel 3) identifiziert wurden. Diese SFs sind in Tabelle 10 und Tabelle 11 dargestellt.

Faktorgruppe	Ci	Bezeichnung	Beschreibung	Referenzen
Produkte & Services	C1	Kreislauforientiertes Produktdesign	<p>Design-Praktiken für:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Produkthaltbarkeit & Widerstandsfähigkeit - Standardisierung & Kompatibilität - Recyclingfähigkeit - Einfache Wartung, Reparatur, De- und Wiedermontage - Anpassungsfähigkeit & Aufrüstbarkeit - Bindung und Vertrauensbildung 	Reim et al. (2021), Selvefors et al. (2019), Bakker et al. (2014), Moreno et al. (2017), Whalen & Whalen (2020), Bressanelli et al. (2018a), Lacy & Partridge (2020)
	C2	Verbesserte Funktionalität und Produktlebensdauer durch Services	<p>Evaluierung von Dienstleistungs- & Servicevereinbarungen für:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Wartung, Reparatur, Wiederherstellung - Informationsbereitstellung zur Reinigung, Installation, einfache Reparaturen für die Verbraucher*innen 	Reim et al. (2021), Selvefors et al. (2019), Morsetto (2020), Aparecida de Mattos & Albuquerque (2018), Potting et al. (2017)
	C3	Technologien zur Mechanisierung kreislaufwirtschaftlicher Strategien	<ul style="list-style-type: none"> - Technologische Modernisierung - Effiziente Technologien für R-Strategien (Reuse, Repair, Remanufacturing, Refurbish, Recycling, ...) <p>Bspw. Robotik, 3D-Druck, Sensorik zur Abfall- oder Materialsortierung, Zerkleinerungs- bzw. Shredder-Anlagen, etc.</p>	Goyal et al. (2022), Reim et al. (2021), Horvath et al. (2018), Lewandowski (2016), Aloini et al. (2020), Urbinati et al. (2021)
Technologie & Infrastruktur	C4	Digitale Technologien	<p>Technologien des IoT, AI, Blockchain, etc. für:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Überwachung von Echtzeitdaten <ul style="list-style-type: none"> ▪ Tracking ▪ Digitale Produkt- / Materialpässe - Automatisierung - Predictive / Prescriptive Maintenance - Kommunikations- & Informationsfluss - Produkt & Prozessplanung 	Goyal et al. (2022), Lacy & Partridge (2020), Aloini et al. (2020), Aparecida de Mattos & Albuquerque (2018), Urbinati et al. (2021)
	C5	Separate Abfallsammelungs- und Produktrückführungssysteme	<ul style="list-style-type: none"> - Sammlung und Trennung kritischer Rohstoffe - Rückführung von Altprodukten 	Tura et al. (2019), Gusmerotti et al. (2019), Moktadir et al. (2020), Awan & Sroufe (2022), Aparecida de Mattos & Albuquerque (2018)
Ressourcen	C6	Einsatz erneuerbarer Energien	<ul style="list-style-type: none"> - Reduktion von Emissionen durch fossile Energiequellen - Sicherstellung des ökologischen Nutzens von zirkulären Geschäftsmodellen 	Whalen & Whalen (2020), Lahti et al. (2018), Mentink (2014), Aggemang et al. (2019), Chen (2020)

Tabelle 10: Allgemeine Erfolgsfaktoren von zirkulären Geschäftsmodellen (C1-C6)

Faktorgruppe	Ci	Bezeichnung	Beschreibung	Referenzen
Ressourcen	C7	Einsatz regenerativer und wiederverwertbarer Materialien	Substitution kritischer Rohstoffe durch - Erneuerbare, biobasierte Materialien - Recyclingfähige Materialien	Kuo (2010), Whalen & Whalen, Reim et al. (2021), Horvath et al. (2018), Lewandowski (2016)
	C8	Optimale Ressourcennutzung & Abfallreduktion	Erhöhung der Material- und Energieeffizienz - Qualitätsverbesserungen - Produkt- und Prozessoptimierung - Höhere Anlagen- und Maschinenauslastung - Reduzierung der Lagerbestände	Reim et al. (2021), Goyal et al. (2022), Hasanuzzaman & Bhar (2019), Roy et al. (2019), Sharma et al. (2020)
Netzwerk & Partnerschaften	C9	Kreislaufwirtschaftsorientierte Aus- und Weiterbildung, Aufklärung und Motivation	- Kreislaufwirtschaftsorientierte Aufklärung und Motivation von Lieferanten, Partner, Kund*innen & Mitarbeiter*innen - Weiterbildung & Qualifikation der Mitarbeiter*innen	Reim et al. (2021), Goyal et al. (2022), Hasanuzzaman & Bhar (2019), Sharma et al. (2020), Aloini et al. (2020), Bocken et al. (2022)
	C10	Zusammenarbeit und Kollaboration	- Aufbau von Netzwerken & Partnerschaften - Kontinuierlicher Wissensaustausch - Zusammenarbeit mit der Politik (Maßnahmen, Regulatorien)	Reim et al. (2021), Lewandowski (2016), Goyal et al. (2022), Daou et al. (2020), Jabbour et al. (2020), Aloini et al. (2020), Aparecida de Mattos & Albuquerque (2018)
Wirtschaftlichkeit & finanzielle Nachhaltigkeit	C11	Separate Bereitstellung interner Finanzmittel	- Budgets für (Vorab-) Investitionen für den Übergang zu einem zirkulären Produktions-/ Geschäftsmodell. Bspw. für F&E, Infrastruktur, Technologien, etc.	Rizos et al. (2016), Goyal et al. (2022), Hart et al. (2019), Aranda-Usoñ et al. (2019), Reim et al. (2021), Aloini et al. (2020)
	C12	Finanzielle Unterstützung durch Interessensgruppen & Politik	Darlehen, Steuerbegünstigungen und finanzielle Anreize für kreislauffähige Produkte, Subventionen und Rückerstattungen, etc.	Goyal et al. (2022), Jabbour et al. (2020), Lewandowski (2016), Horvath et al. (2018), Lacy & Partridge (2020), Aloini et al. (2020)

Tabelle 11: Allgemeine Erfolgsfaktoren von zirkulären Geschäftsmodellen (C7-C12)

4.2.3 Gewichtung der Kriterien

Zur Gewichtung der Kriterien wurden problemzentrierte Interviews nach Witzel (2000) mit Kreislaufwirtschaftsexpert*innen durchgeführt.³⁵⁷ Nach Kontaktaufnahme und der anschließenden Terminvereinbarung wurden die Interviewteilnehmer*innen durch Zusendung eines Informationsbogens über die CBMs und die identifizierten SFs bzgl. der theoretischen Hintergründe der Arbeit in Kenntnis gesetzt. Zu Beginn der Interviews wurden die Ausgangssituation, Ziele und methodische Vorgehensweise der Bewertungsmethode vom Verfasser präsentiert, um die Wichtigkeit dieses Forschungsvorhabens zu verdeutlichen. Im weiteren Verlauf der Interviews wurden von Seiten der Kreislaufwirtschaftsexpert*innen die SFs auf Basis ihrer Erfahrungen und subjektiven Wahrnehmungen validiert und anhand der in Tabelle 12 ersichtlichen linguistischen Variablen gewichtet. Zzgl. wurden die Interviewteilnehmer*innen befragt, welche SFs ihrer Meinung nach für die erfolgreiche Entwicklung bzw. Umsetzung von CBMs zusätzlich berücksichtigt werden müssen. Die Zusammenfassungen der Interviews sind im Anhang (Kapitel 7.1) ersichtlich. Die Gewichtungen der jeweiligen SFs durch die Expert*innen sind in Tabelle 13 veranschaulicht.

Nachfolgende zusätzliche SFs wurden von den Kreislaufwirtschaftsexpert*innen genannt, welche in der Zusammenfassung der Interviews detailliert beschrieben werden:

- Ganzheitliche Optimierung der Lieferkette nach CE-Gesichtspunkten
- Analyse der unternehmensinternen Kapazitäten und Fähigkeiten
- Reduktion der Produktkomplexität
- Die Rolle des Change-Managements
- Wirtschaftliche und ökologische Erfolgsmessung von CBMs
- Strategische Positionierung des Unternehmens bzgl. der Produktausrichtung und Kundenbeziehung
- Auswirkungen der geplanten Initiative auf langjährige Partnerschaftsbeziehungen
- Regionale Wirtschaftsförderungen
- Zusammenarbeit bei F&E
- Inklusive Lösungen für alle Gesellschaftsschichten

Die aufgelisteten zusätzlichen SFs wurden im Rahmen dieser Arbeit nicht berücksichtigt, jedoch sollten diese für weitere Studien in Betracht gezogen werden.

³⁵⁷ Vgl. Witzel, 2000.

Linguistische Variable	Abkürzung	Fuzzy-Zahlen (a_1, a_2, a_3, a_4)
Keine Wichtigkeit	KW	(0.0, 0.0, 0.1, 0.2)
Weniger wichtig	WW	(0.1, 0.2, 0.3, 0.4)
Geringfügige Wichtigkeit	GW	(0.3, 0.4, 0.6, 0.7)
Wichtig	W	(0.6, 0.7, 0.8, 0.9)
Sehr wichtig	SW	(0.8, 0.9, 1.0, 1.0)

Tabelle 12: Linguistische Variablen und deren trapezförmige Fuzzy-Zahlen für die Gewichtung der Kriterien

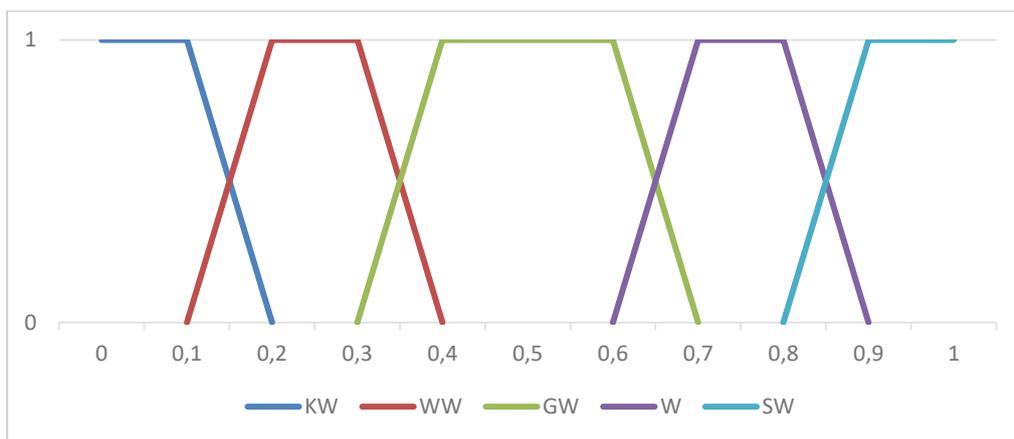


Abbildung 16: Trapezförmige Fuzzy-Zahlen für die Gewichtung der Kriterien

C_i	EX₁	EX₂	EX₃	EX₄	EX₅	EX₆	EX₇	EX₈	EX₉	EX₁₀	EX₁₁	EX₁₂	EX₁₃	EX₁₄	EX₁₅
C1	SW	WW	SW	SW	SW	SW	SW								
C2	SW	SW	GW	SW	W	SW	W	SW	SW	W	W	W	W	GW	SW
C3	GW	W	GW	GW	SW	W	GW	W	SW	GW	W	W	GW	W	W
C4	W	W	GW	W	SW	SW	GW	W	SW	W	SW	GW	W	W	SW
C5	SW	W	W	WW	GW	W	SW	W	SW	GW	W	SW	SW	SW	GW
C6	GW	SW	SW	W	GW	GW	WW	SW	W	WW	SW	W	GW	W	SW
C7	W	W	SW	W	SW	SW	W	GW	SW	WW	SW	SW	SW	SW	SW
C8	W	W	GW	GW	W	SW	GW	SW	SW	W	SW	WW	W	SW	SW
C9	SW	SW	SW	SW	W	SW	GW	SW	SW	W	SW	SW	SW	W	SW
C10	SW	SW	SW	W	W	W	GW	W	SW	SW	SW	SW	W	SW	W
C11	SW	W	SW	GW	SW	GW	W	W	SW	SW	SW	SW	W	SW	W
C12	W	W	SW	GW	W	GW	W	W	SW	W	W	SW	W	W	W

Tabelle 13: Gewichtungen der Erfolgsfaktoren durch die Kreislaufwirtschaftsexpert*innen

Die Durchführung der Berechnungsmethode nach Fuzzy PROMETHEE zur Reihenfolgenbildung der Kriterien sowie die Ergebnisse sind in Kapitel 4.3.1 ersichtlich.

4.2.4 Bewertung der Alternativen anhand der Kriterien

Die Bewertung der Alternativen wurde analog zur Gewichtung Kriterien anhand problemzentrierter Interviews nach Witzel (2000) mit Entscheidungsträger*innen von KMUs im Maschinen-, Fahrzeug- und Anlagenbau in Industrieländern abgewickelt. Wie in Phase eins wurden die Interviewteilnehmer*innen vorab mittels Informationsbögen über die theoretischen Grundlagen und die Ausgangslage und Ziele der Arbeit informiert. Nach umfassender Aufklärung über die Charakteristika der zu bewertenden CBMs wurden im Zuge der Interviews durch die Entscheidungsträger*innen die jeweiligen CBMs gegenüber den SFs anhand der linguistischen Variablen in Tabelle 15 bewertet. In Tabelle 16 sind die Bewertungen der Entscheidungsträger*innen dargestellt. Im Anhang (Kapitel 7.2) sind die Zusammenfassungen der Interviews beigelegt. In nachfolgender Tabelle sind die Eckdaten der KMUs, die an den Interviews teilgenommen haben, veranschaulicht.

<i>DM_i</i>	<i>Position</i>	<i>Branche</i>	<i>Mitarbeiteranzahl</i>
<i>DM₁</i>	Geschäftsführung	Automobilindustrie	ca. 350
<i>DM₂</i>	Geschäftsführung	Anlagenbau	< 50
<i>DM₃</i>	Expertin für Umwelt/Qualität/ Arbeitssicherheit	Automobilindustrie	ca. 170
<i>DM₄</i>	Geschäftsführung	Maschinen- und Anlagenbau	< 200
<i>DM₅</i>	Geschäftsführung	Maschinenbau	< 50

Tabelle 14: Entscheidungsträger*innen der KMUs

<i>Linguistische Variable</i>	<i>Abkürzung</i>	<i>Fuzzy-Zahlen</i> (<i>a₁</i> , <i>a₂</i> , <i>a₃</i> , <i>a₄</i>)
<i>Keine Wichtigkeit</i>	KW	(0.0, 0.0, 1.0, 2.0)
<i>Weniger wichtig</i>	WW	(1.0, 2.0, 3.0, 4.0)
<i>Geringfügige Wichtigkeit</i>	GW	(3.0, 4.0, 6.0, 7.0)
<i>Wichtig</i>	W	(6.0, 7.0, 8.0, 9.0)
<i>Sehr wichtig</i>	SW	(8.0, 9.0, 10, 10)

Tabelle 15: Linguistische Variablen und deren trapezförmige Fuzzy-Zahlen für die Bewertung der Alternativen

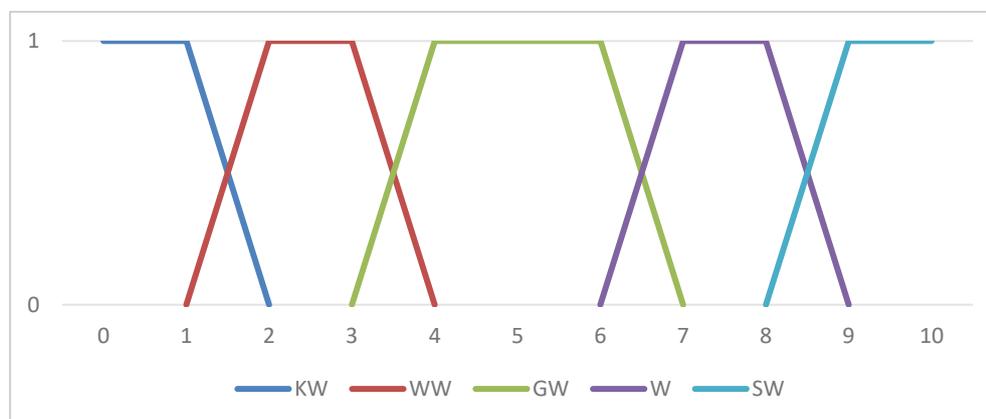


Abbildung 17: Trapezförmige Fuzzy-Zahlen für die Bewertung der Alternativen

DMi	Alternative	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂
DM ₁	CSM	SW	SW	SW	W	SW	SW	SW	SW	W	SW	SW	W
	RRM	SW	GW	SW	W	SW	SW	SW	W	W	GW	GW	GW
	PLE	SW	SW	GW	SW	W	SW	W	SW	SW	GW	GW	GW
	PSS	GW	SW	GW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	GW	GW	GW
	SP	GW	W	WW	SW	GW	SW	SW	SW	W	W	GW	GW
DM ₂	CSM	W	W	GW	SW	WW	SW	SW	SW	GW	W	SW	SW
	RRM	SW	WW	WW	SW	SW	W	SW	WW	WW	GW	SW	SW
	PLE	SW	SW	WW	SW	KW	GW	WW	W	SW	W	SW	SW
	PSS	GW	SW	WW	SW	KW	W	GW	WW	W	SW	SW	SW
	SP	GW	W	KW	SW	KW	W	WW	SW	W	SW	SW	SW
DM ₃	CSM	SW	GW	W	SW	W	SW	SW	SW	W	W	GW	SW
	RRM	SW	SW	SW	W	SW	GW	SW	W	W	WW	W	GW
	PLE	SW	SW	W	W	WW	GW	W	W	W	W	W	GW
	PSS	W	SW	GW	SW	WW	GW	SW	SW	SW	SW	W	WW
	SP	GW	W	GW	SW	GW	GW	GW	GW	W	SW	W	W
DM ₄	CSM	W	SW	GW	SW	SW							
	RRM	W	W	W	SW	SW	W	SW	SW	SW	W	SW	SW
	PLE	SW	SW	SW	SW	GW	SW	W	SW	SW	W	W	W
	PSS	W	SW	W	W	GW	W	GW	W	W	W	W	W
	SP	GW	SW	GW	SW	WW	WW	WW	W	W	SW	W	W
DM ₅	CSM	SW	WW	GW	GW	SW	SW	SW	W	W	W	W	GW
	RRM	SW	KW	SW	W	SW	WW	SW	WW	WW	GW	SW	W
	PLE	SW	SW	W	W	KW	KW	GW	GW	SW	GW	WW	W
	PSS	KW	W	KW	SW	WW	KW	KW	W	SW	WW	SW	WW
	SP	GW	W	KW	SW	KW	KW	KW	SW	W	W	GW	WW

Tabelle 16: Bewertungen der Alternativen durch die Entscheidungsträger*innen der KMUs

Die Berechnungsmethode zur Reihenfolgenbildung der Alternativen gemäß Fuzzy PROMETHEE und dessen Ergebnisse werden in Kapitel 4.3.2 dargestellt.

4.3 Darstellung und Zusammenfassung der Ergebnisse

4.3.1 Ranking der Kriterien

Unter Verwendung der zugehörigen Fuzzy-Zahlen werden die Gewichtungen der Kreislaufwirtschaftsexpert*innen (Tabelle 13) mittels Formel 5 aggregiert und durch Heranziehung von Formel 4 defuzzifiziert. Die normalisierten Gewichtungen werden durch die Normalisierungstechnik der „linearen Summe“ ermittelt. Je SF ergibt sich die normalisierte Gewichtung durch das Verhältnis der jeweiligen defuzzifizierten Gewichtungen und der Summe aller defuzzifizierten Gewichtungen. Das Ranking der SFs richtet sich nach der Größe der normalisierten Gewichtungen.³⁵⁸ Die Ergebnisse sind in Tabelle 17 ersichtlich.

<i>C_i</i>	<i>Aggregierte Fuzzy-Gewichtung</i>	<i>Defuzzifizierte Gewichtung</i>	<i>Normalisierte Gewichtung</i>	<i>Rang</i>
C1	(0.10, 0.85, 0.95, 1.00)	0.727	0.0867	5
C2	(0.30, 0.75, 0.87, 1.00)	0.730	0.0871	4
C3	(0.30, 0.61, 0.75, 1.00)	0.663	0.0792	9
C4	(0.30, 0.71, 0.83, 1.00)	0.708	0.0846	6
C5	(0.10, 0.69, 0.81, 1.00)	0.648	0.0774	10
C6	(0.10, 0.62, 0.75, 1.00)	0.617	0.0736	12
C7	(0.10, 0.77, 0.87, 1.00)	0.685	0.0818	8
C8	(0.10, 0.69, 0.81, 1.00)	0.648	0.0774	11
C9	(0.30, 0.83, 0.93, 1.00)	0.765	0.0913	1
C10	(0.30, 0.79, 0.89, 1.00)	0.745	0.0889	2
C11	(0.30, 0.77, 0.88, 1.00)	0.737	0.0879	3
C12	(0.30, 0.70, 0.81, 1.00)	0.703	0.0840	7

Tabelle 17: Ranking der Erfolgsfaktoren

Den Ergebnissen zufolge wurden die Faktoren (C9) kreislaufwirtschaftsorientierte Aus- und Weiterbildung, Aufklärung und Motivation, (C10) Zusammenarbeit und Kollaboration mit allen internen und externen Stakeholdern und die (C11) separate Bereitstellung interner Finanzmittel am besten bewertet. Faktoren wie (C5) separate Abfallsammlungs- und Produktrückführungssysteme, die (C8) optimale Ressourcennutzung und Abfallreduktion sowie der (C6) Einsatz erneuerbarer Energien wurden am niedrigsten bewertet.

Nichtsdestotrotz nehmen nach Ansicht der Kreislaufwirtschaftsexpert*innen alle SFs eine bestimmte Wichtigkeit für CBMs ein und sollten nicht vernachlässigt werden. Dies spiegelt sich in den Ergebnissen von Tabelle 17 wider. Die prozentuelle Abweichung der normalisierten Gewichtungen der am besten und am schlechtesten bewerteten SFs beträgt ca. 20 Prozent. Demzufolge bestätigt die vorgeschlagene Bewertungsmethode die Äußerungen der Interviewpartner*innen, dass alle genannten SFs in gewissem Maße eine führende Rolle bei der Einführung bzw. Umsetzung von CBMs einnehmen.

³⁵⁸ Vgl. Vafaei et al., 2018, S. 4.

4.3.2 Ranking der Alternativen

Gemäß den linguistischen Variablen werden für die weiteren Berechnungsschritte deren zugehörige trapezförmige Fuzzy-Zahlen herangezogen. Analog zur Gewichtung der Kriterien werden die Bewertungen der CBMs mittels Formel 6 aggregiert und gemäß Formel 7 die in Tabelle 18 angeführte Fuzzy-Entscheidungsmatrix D gebildet.

D	C1	C2	C3	C4
CSM	(6.0, 8.2, 9.2, 10)	(1.0, 6.2, 7.4, 10)	(3.0, 6.6, 8.0, 10)	(3.0, 7.6, 8.8, 10)
RRM	(6.0, 8.6, 9.6, 10)	(0.0, 4.4, 5.6, 10)	(1.0, 7.2, 8.2, 10)	(6.0, 7.8, 8.8, 10)
PLE	(8.0, 9.0, 10, 10)	(8.0, 9.0, 10, 10)	(1.0, 5.8, 7.0, 10)	(6.0, 8.2, 9.2, 10)
PSS	(0.0, 4.4, 5.8, 9.0)	(6.0, 8.6, 9.6, 10)	(0.0, 3.4, 4.8, 9.0)	(6.0, 8.6, 9.6, 10)
SP	(3.0, 4.0, 6.0, 7.0)	(6.0, 7.4, 8.4, 10)	(0.0, 2.0, 3.4, 7.0)	(8.0, 9.0, 10, 10)

D	C5	C6	C7	C8
CSM	(1.0, 7.2, 8.2, 10)	(8.0, 9.0, 10, 10)	(8.0, 9.0, 10, 10)	(6.0, 8.6, 9.6, 10)
RRM	(8.0, 9.0, 10, 10)	(1.0, 5.8, 7.0, 10)	(8.0, 9.0, 10, 10)	(1.0, 5.4, 6.4, 10)
PLE	(0.0, 2.6, 3.8, 9.0)	(0.0, 5.2, 6.6, 10)	(1.0, 5.4, 6.6, 9.0)	(3.0, 7.2, 8.4, 10)
PSS	(0.0, 3.4, 4.6, 10)	(0.0, 5.4, 6.6, 10)	(0.0, 5.2, 6.6, 10)	(1.0, 6.8, 7.8, 10)
SP	(0.0, 2.0, 3.4, 7.0)	(0.0, 4.4, 5.6, 10)	(0.0, 3.4, 4.6, 10)	(3.0, 7.6, 8.8, 10)

D	C9	C10	C11	C12
CSM	(3.0, 6.8, 8.0, 10)	(3.0, 6.8, 8.0, 10)	(3.0, 7.6, 8.8, 10)	(3.0, 7.6, 8.8, 10)
RRM	(1.0, 5.4, 6.4, 10)	(1.0, 4.2, 5.8, 9.0)	(3.0, 7.6, 8.8, 10)	(3.0, 6.6, 8.0, 10)
PLE	(6.0, 8.6, 9.6, 10)	(3.0, 5.8, 7.2, 9.0)	(1.0, 5.8, 7.0, 10)	(3.0, 6.2, 7.6, 10)
PSS	(6.0, 8.2, 9.2, 10)	(1.0, 6.2, 7.4, 10)	(3.0, 7.2, 8.4, 10)	(1.0, 4.8, 6.0, 10)
SP	(6.0, 7.0, 8.0, 9.0)	(6.0, 8.2, 9.2, 10)	(3.0, 6.2, 7.6, 10)	(1.0, 5.8, 7.0, 10)

Tabelle 18: Fuzzy-Entscheidungsmatrix

Unter Anwendung von Formel 8 werden die Werte der Fuzzy-Entscheidungsmatrix normalisiert und die normalisierte Fuzzy-Entscheidungsmatrix \mathcal{R} (Tabelle 19) konstruiert.

\mathcal{R}	C1	C2	C3	C4
CSM	(0.60, 0.82, 0.92, 1.00)	(0.10, 0.62, 0.74, 1.00)	(0.30, 0.66, 0.80, 1.00)	(0.30, 0.76, 0.88, 1.00)
RRM	(0.60, 0.86, 0.96, 1.00)	(0.00, 0.44, 0.56, 1.00)	(0.10, 0.72, 0.82, 1.00)	(0.60, 0.78, 0.88, 1.00)
PLE	(0.80, 0.90, 1.00, 1.00)	(0.80, 0.90, 1.00, 1.00)	(0.10, 0.58, 0.70, 1.00)	(0.60, 0.82, 0.92, 1.00)
PSS	(0.00, 0.44, 0.58, 0.90)	(0.60, 0.86, 0.96, 1.00)	(0.00, 0.34, 0.48, 0.90)	(0.60, 0.86, 0.96, 1.00)
SP	(0.30, 0.40, 0.60, 0.70)	(0.60, 0.74, 0.84, 1.00)	(0.00, 0.20, 0.34, 0.70)	(0.80, 0.90, 1.00, 1.00)

\mathcal{R}	C5	C6	C7	C8
CSM	(0.10, 0.72, 0.82, 1.00)	(0.80, 0.90, 1.00, 1.00)	(0.80, 0.90, 1.00, 1.00)	(0.60, 0.86, 0.96, 1.00)
RRM	(0.80, 0.90, 1.00, 1.00)	(0.10, 0.58, 0.70, 1.00)	(0.80, 0.90, 1.00, 1.00)	(0.10, 0.54, 0.64, 1.00)
PLE	(0.00, 0.26, 0.38, 0.90)	(0.00, 0.52, 0.66, 1.00)	(0.10, 0.54, 0.66, 0.90)	(0.30, 0.72, 0.84, 1.00)
PSS	(0.00, 0.34, 0.46, 1.00)	(0.00, 0.54, 0.66, 1.00)	(0.00, 0.52, 0.66, 1.00)	(0.10, 0.68, 0.78, 1.00)
SP	(0.00, 0.20, 0.34, 0.70)	(0.00, 0.44, 0.56, 1.00)	(0.00, 0.34, 0.46, 1.00)	(0.30, 0.76, 0.88, 1.00)

\mathcal{R}	C9	C10	C11	C12
CSM	(0.30, 0.68, 0.80, 1.00)	(0.30, 0.68, 0.80, 1.00)	(0.30, 0.76, 0.88, 1.00)	(0.30, 0.76, 0.88, 1.00)
RRM	(0.10, 0.54, 0.64, 1.00)	(0.10, 0.42, 0.58, 0.90)	(0.30, 0.76, 0.88, 1.00)	(0.30, 0.66, 0.80, 1.00)
PLE	(0.60, 0.86, 0.96, 1.00)	(0.30, 0.58, 0.72, 0.90)	(0.10, 0.58, 0.70, 1.00)	(0.30, 0.62, 0.76, 1.00)
PSS	(0.60, 0.82, 0.92, 1.00)	(0.10, 0.62, 0.74, 1.00)	(0.30, 0.72, 0.84, 1.00)	(0.10, 0.48, 0.60, 1.00)
SP	(0.60, 0.70, 0.80, 0.90)	(0.60, 0.82, 0.92, 1.00)	(0.30, 0.62, 0.76, 1.00)	(0.10, 0.58, 0.70, 1.00)

Tabelle 19: Normalisierte Fuzzy-Entscheidungsmatrix

Gemäß Kapitel 4.1.3 wird auf Basis der normalisierten Fuzzy-Entscheidungsmatrix mittels Formel 9 die gewichtete, normalisierte Fuzzy-Entscheidungsmatrix V (Tabelle 20) gebildet.

V	C1	C2	C3	C4
CSM	(0.06, 0.70, 0.88, 1.00)	(0.03, 0.47, 0.64, 1.00)	(0.09, 0.40, 0.60, 1.00)	(0.09, 0.54, 0.73, 1.00)
RRM	(0.06, 0.73, 0.92, 1.00)	(0.00, 0.33, 0.49, 1.00)	(0.03, 0.44, 0.61, 1.00)	(0.18, 0.55, 0.73, 1.00)
PLE	(0.08, 0.77, 0.95, 1.00)	(0.24, 0.68, 0.87, 1.00)	(0.03, 0.35, 0.52, 1.00)	(0.18, 0.58, 0.76, 1.00)
PSS	(0.00, 0.38, 0.55, 0.90)	(0.18, 0.65, 0.83, 1.00)	(0.00, 0.21, 0.36, 0.90)	(0.18, 0.61, 0.79, 1.00)
SP	(0.03, 0.34, 0.57, 0.70)	(0.18, 0.56, 0.73, 1.00)	(0.00, 0.12, 0.25, 0.70)	(0.24, 0.64, 0.83, 1.00)

V	C5	C6	C7	C8
CSM	(0.01, 0.49, 0.66, 1.00)	(0.08, 0.56, 0.75, 1.00)	(0.08, 0.69, 0.87, 1.00)	(0.06, 0.59, 0.77, 1.00)
RRM	(0.08, 0.62, 0.81, 1.00)	(0.01, 0.36, 0.52, 1.00)	(0.08, 0.69, 0.87, 1.00)	(0.01, 0.37, 0.52, 1.00)
PLE	(0.00, 0.18, 0.31, 0.90)	(0.00, 0.32, 0.49, 1.00)	(0.01, 0.41, 0.58, 0.90)	(0.03, 0.49, 0.68, 1.00)
PSS	(0.00, 0.23, 0.37, 1.00)	(0.00, 0.33, 0.49, 1.00)	(0.00, 0.40, 0.58, 1.00)	(0.01, 0.47, 0.63, 1.00)
SP	(0.00, 0.14, 0.27, 0.70)	(0.00, 0.27, 0.42, 1.00)	(0.00, 0.26, 0.40, 1.00)	(0.03, 0.52, 0.71, 1.00)

V	C9	C10	C11	C12
CSM	(0.09, 0.56, 0.75, 1.00)	(0.09, 0.53, 0.71, 1.00)	(0.09, 0.58, 0.77, 1.00)	(0.09, 0.53, 0.72, 1.00)
RRM	(0.03, 0.45, 0.60, 1.00)	(0.03, 0.33, 0.52, 0.90)	(0.09, 0.58, 0.77, 1.00)	(0.09, 0.46, 0.65, 1.00)
PLE	(0.18, 0.71, 0.90, 1.00)	(0.09, 0.46, 0.64, 0.90)	(0.03, 0.44, 0.62, 1.00)	(0.09, 0.43, 0.62, 1.00)
PSS	(0.18, 0.68, 0.86, 1.00)	(0.03, 0.49, 0.66, 1.00)	(0.09, 0.55, 0.74, 1.00)	(0.03, 0.34, 0.49, 1.00)
SP	(0.18, 0.58, 0.75, 0.90)	(0.18, 0.65, 0.82, 1.00)	(0.09, 0.48, 0.67, 1.00)	(0.03, 0.41, 0.57, 1.00)

Tabelle 20: Gewichtete, normalisierte Fuzzy-Entscheidungsmatrix

Anschließend wird unter Verwendung von Formel 10 der paarweise Vergleich der Alternativen in Form von Hamming-Distanzen durchgeführt und die Fuzzy-Präferenz-Matrix FP (Tabelle 21) erstellt.

FP	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
Pj(CSM, RRM)	0.072	0.322	0.060	0.104	0.339	0.492	0.000	0.528	0.325	0.561	0.000	0.135
Pj(CSM, PLE)	0.165	0.646	0.183	0.165	0.781	0.569	0.743	0.223	0.388	0.250	0.356	0.196
Pj(CSM, PSS)	0.808	0.521	0.623	0.227	0.561	0.557	0.668	0.319	0.318	0.161	0.066	0.484
Pj(CSM, SP)	0.993	0.327	1.013	0.348	1.054	0.694	0.981	0.163	0.107	0.307	0.213	0.332
Pj(RRM, CSM)	0.000	0.000	0.051	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Pj(RRM, PLE)	0.092	0.968	0.175	0.061	1.120	0.077	0.743	0.305	0.713	0.311	0.356	0.061
Pj(RRM, PSS)	0.881	0.843	0.614	0.123	0.900	0.065	0.668	0.209	0.643	0.400	0.066	0.349
Pj(RRM, SP)	1.066	0.649	1.004	0.244	1.393	0.201	0.981	0.365	0.432	0.868	0.213	0.197
Pj(PLE, CSM)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Pj(PLE, RRM)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Pj(PLE, PSS)	0.973	0.125	0.440	0.061	0.219	0.012	0.100	0.096	0.070	0.149	0.291	0.288
Pj(PLE, SP)	1.158	0.319	0.829	0.183	0.273	0.124	0.338	0.060	0.382	0.557	0.143	0.137
Pj(PSS, CSM)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Pj(PSS, RRM)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Pj(PSS, PLE)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.025	0.000	0.000	0.060	0.000	0.000
Pj(PSS, SP)	0.234	0.194	0.389	0.121	0.493	0.137	0.313	0.156	0.311	0.468	0.147	0.151
Pj(SP, CSM)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.100	0.000	0.000	0.000
Pj(SP, RRM)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.100	0.000	0.000	0.000
Pj(SP, PLE)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Pj(SP, PSS)	0.049	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Tabelle 21: Fuzzy-Präferenz-Matrix

Auf Basis der ermittelten Fuzzy-Präferenzen werden durch Heranziehung von Formel 11 die in Tabelle 22 dargestellten Fuzzy-Präferenz-Indizes Π ermittelt.

TT	CSM	RRM	PLE	PSS	SP
CSM	-	(0.050, 0.209, 0.281, 1.130)	(0.075, 0.335, 0.449, 1.795)	(0.084, 0.381, 0.511, 2.044)	(0.099, 0.381, 0.511, 2.044)
RRM	(0.001, 0.003, 0.004, 0.020)	-	(0.086, 0.365, 0.487, 1.916)	(0.099, 0.424, 0.566, 2.216)	(0.124, 0.552, 0.740, 2.928)
PLE	(0.0, 0.0, 0.0, 0.0)	(0.0, 0.0, 0.0, 0.0)	-	(0.047, 0.210, 0.280, 1.087)	(0.080, 0.334, 0.445, 1.732)
PSS	(0.0, 0.0, 0.0, 0.0)	(0.0, 0.0, 0.0, 0.0)	(0.002, 0.007, 0.009, 0.033)	-	(0.056, 0.225, 0.302, 1.198)
SP	(0.003, 0.008, 0.011, 0.038)	(0.003, 0.008, 0.011, 0.038)	(0.001, 0.008, 0.010, 0.038)	(0.0, 0.004, 0.005, 0.019)	-

Tabelle 22: Fuzzy-Präferenz-Index

Nachfolgend werden die Ein- und Ausgangsströme je Alternative unter Verwendung von Formel 12 berechnet und durch Formel 4 defuzzifiziert. Die Ergebnisse sind in Tabelle 23 dargestellt.

Φ	Ein- und Ausgangsströme		Defuzzifizierte Ein- und Ausgangsströme	
	Φ^+	Φ^-	Φ^+	Φ^-
CSM	(0.308, 1.387, 1.864, 7.481)	(0.004, 0.011, 0.015, 0.058)	2.760	0.022
RRM	(0.309, 1.344, 1.797, 7.079)	(0.052, 0.217, 0.291, 1.169)	2.632	0.432
PLE	(0.127, 0.544, 0.725, 2.819)	(0.163, 0.714, 0.955, 3.782)	1.054	1.403
PSS	(0.057, 0.231, 0.310, 1.231)	(0.231, 1.019, 1.362, 5.365)	0.458	1.994
SP	(0.006, 0.028, 0.037, 0.134)	(0.358, 1.574, 2.110, 8.371)	0.051	3.103

Tabelle 23: Ein- und Ausgangsströme der Alternativen

Nach der Defuzzifizierung der Ein- und Ausgangsströme je Alternative ergeben sich gemäß den Bedingungen für die partielle Präordnung nach PROMETHEE I (Formel 13) die folgenden Präferenzen der Alternativen: $CSMP^IRRM$, $CSMP^IPLE$, $CSMP^IPSS$, $CSMP^ISP$, $RRMP^IPLE$, $RRMP^IPSS$, $RRMP^ISP$, $PLEP^IPSS$, $PLEP^ISP$, $PSSP^ISP$. Auf Basis dieser Präferenzen ergibt sich das partielle Ranking der Alternativen. In Tabelle 24 ist das partielle Ranking aufgelistet und in Abbildung 18 sind die Präferenzen der Alternativen schematisch dargestellt.

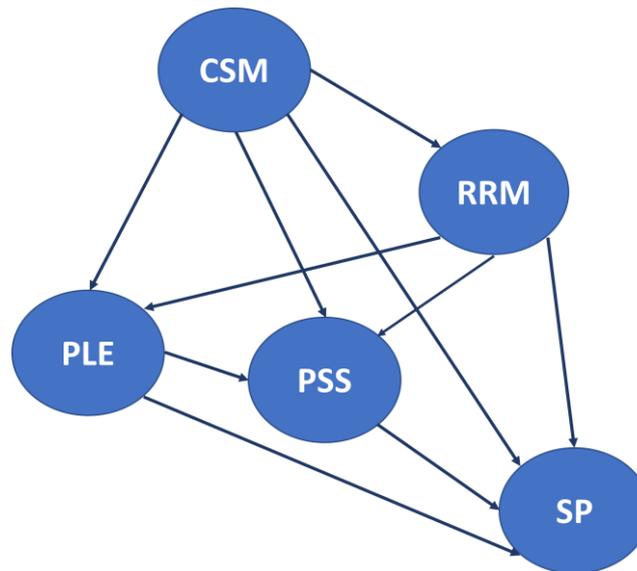


Abbildung 18: Präferenzen der Alternativen nach Fuzzy PROMETHEE I

	Präferenzen	Indifferenzen	Unvergleichbarkeiten	Rang
CSM	RRM, PLE, PSS, SP	-	-	1
RRM	PLE, PSS, SP	-	-	2
PLE	PSS, SP	-	-	3
PSS	SP	-	-	4
SP	-	-	-	5

Tabelle 24: Partielles Ranking der Alternativen nach Fuzzy PROMETHEE I

Im letzten Schritt werden gemäß PROMETHEE II unter Anwendung von Formel 14 die jeweiligen Nettoflüsse der Alternativen ermittelt. Die Höhe der Nettoflüsse bestimmen die vollständige Präordnung bzw. Totalordnung der Alternativen. Die sich ergebenden Nettoströme und die Rangreihenfolge sind in Tabelle 25 veranschaulicht. In Abbildung 19 sind die Nettoflüsse der Alternativen grafisch dargestellt.

	Φ	Φ^+	Φ^-	Φ^{NET}	Rang
CSM	2.760	0.022	2.738	1	
RRM	2.632	0.432	2.200	2	
PLE	1.054	1.403	-0.350	3	
PSS	0.458	1.994	-1.537	4	
SP	0.051	3.103	-3.052	5	

Tabelle 25: Nettoflüsse und Ranking der Alternativen nach Fuzzy PROMETHEE II

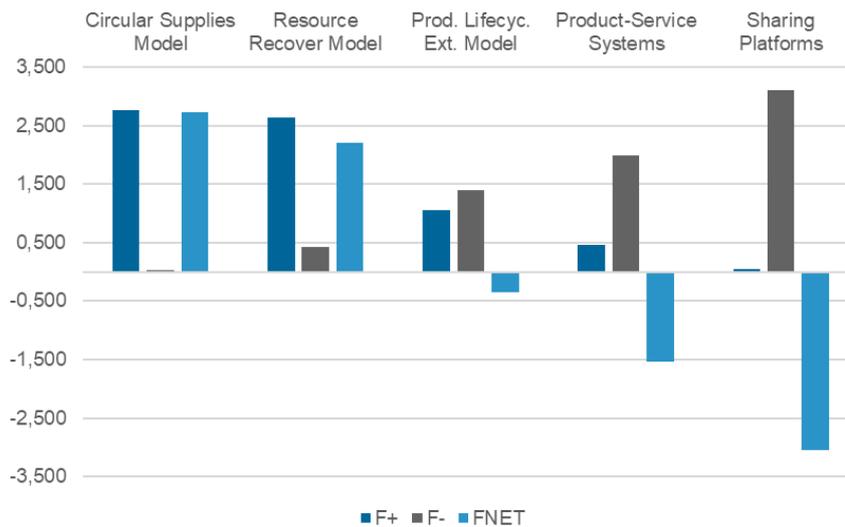


Abbildung 19: Nettoflüsse der Alternativen nach PROMETHEE II

Die Ergebnisse der Auswertung nach Fuzzy PROMETHEE I und Fuzzy PROMETHEE II demonstrieren, dass das CSM das am besten bewertete CBM darstellt, gefolgt von RRM, PLE, PSS und SP. Diese Schlussfolgerung basiert auf den Ein- und Ausgangsströmen bzw. Nettoströmen der Alternativen, wobei die Nettoströme durch die Differenzen zwischen den Aus- und Eingangsströmen der jeweiligen Alternativen ermittelt werden. Während der Ausgangsstrom ausdrückt, wie stark die Dominanz einer Alternative gegenüber den anderen Alternativen ausgeprägt ist, stellt der Eingangsstrom dar, inwieweit eine Alternative von den jeweilig anderen Alternativen dominiert wird.³⁵⁹

Das partielle Ranking nach Fuzzy PROMETHEE I zeigt, dass beim paarweisen Vergleich der Alternativen gemäß den Bedingungen von Formel 13 stets größere Ausgangsflüsse bei gleichzeitig kleineren Eingangsflüssen vorliegen. Es herrschen also ausschließlich Präferenzen und keine Indifferenzen bzw. Unvergleichbarkeiten zwischen den Alternativen vor. D.h. alle Kriterien und Bewertungen weisen klare Unterschiede zwischen den Alternativen auf, wodurch eine eindeutige Rangreihenfolge der Alternativen gebildet werden kann. Die Ergebnisse von Fuzzy PROMETHEE II bestätigen auf Basis der Nettoströme der Alternativen die Rangreihenfolge von Fuzzy PROMETHEE I. Das CSM ist das CBM mit dem größten Ausgangsstrom und dem kleinsten Eingangsstrom. D.h. das CSM dominiert hinsichtlich der meisten SFs die übrigen CBMs. Demgegenüber stehen SPs, die aufgrund des kleinsten Nettostromes von allen anderen CBMs überwogen werden.

³⁵⁹ Vgl. Geldermann & Lerche Nils, 2014, S. 62.

5 Validierung der Ergebnisse

Wie in Kapitel 1.3 erläutert, wird die Phase der Evaluierung durch einen Validierungsprozess substituiert. Die Validierung setzt sich aus einer Sensitivitäts- und einer Vergleichsanalyse anhand alternativer MCDAs zusammen, um die Robustheit und Zuverlässigkeit der Ergebnisse sowie Anwendbarkeit der vorgeschlagenen Methodik zu prüfen.³⁶⁰

5.1 Sensitivitätsanalyse

Ziel der Sensitivitätsanalyse ist es die Einflüsse der Kriterien-Gewichtungen auf die Bewertung der CBMs zu untersuchen. Dazu werden acht Szenarien mit jeweils unterschiedlichen Werten der aggregierten Fuzzy-Gewichtungen der Kriterien erstellt. Das erste Szenario (S1) entspricht einer Reduktion der Fuzzy-Zahlen der sechs Kriterien mit den höchsten Gewichtungen (C9, C10, C11, C2, C1, C4) um 10 Prozent. Beim zweiten Szenario (S2) werden die sechs schwächsten Kriterien (C12, C7, C3, C5, C8, C6) um 10 Prozent erhöht und das dritte Szenario (S3) berücksichtigt die veränderten Fuzzy-Gewichtungen sowohl von S1 als auch von S2. Die Szenarien S4, S5 und S6 werden analog zur den Szenarien S1, S2 und S3 mit einer Reduktion bzw. Erhöhung der Werte um 20 Prozent festgelegt. Während das siebte Szenario (S7) bei der Analyse lediglich die sechs Kriterien mit den höchsten Gewichtungen im Ausgangszustand (S0) berücksichtigt, liegt der Fokus vom achten Szenario (S8) auf die ursprünglichen Werte der sechs schwächsten Kriterien. Die betrachteten Szenarien sind in den Tabellen 26 und 27 ersichtlich.

Ci	S0	S1	S2	S3	S4
C1	(0.10, 0.85, 0.95, 1.00)	(0.09, 0.77, 0.86, 0.90)	(0.10, 0.85, 0.95, 1.00)	(0.09, 0.77, 0.86, 0.90)	(0.08, 0.68, 0.76, 0.80)
C2	(0.30, 0.75, 0.87, 1.00)	(0.27, 0.68, 0.78, 0.90)	(0.30, 0.75, 0.87, 1.00)	(0.27, 0.68, 0.78, 0.90)	(0.24, 0.60, 0.69, 0.80)
C3	(0.30, 0.61, 0.75, 1.00)	(0.30, 0.61, 0.75, 1.00)	(0.33, 0.67, 0.82, 1.10)	(0.33, 0.67, 0.82, 1.10)	(0.30, 0.61, 0.75, 1.00)
C4	(0.30, 0.71, 0.83, 1.00)	(0.27, 0.64, 0.74, 0.90)	(0.30, 0.71, 0.83, 1.00)	(0.27, 0.64, 0.74, 0.90)	(0.24, 0.57, 0.66, 0.80)
C5	(0.10, 0.69, 0.81, 1.00)	(0.10, 0.69, 0.81, 1.00)	(0.11, 0.76, 0.89, 1.10)	(0.11, 0.76, 0.89, 1.10)	(0.10, 0.69, 0.81, 1.00)
C6	(0.10, 0.62, 0.75, 1.00)	(0.10, 0.62, 0.75, 1.00)	(0.11, 0.68, 0.82, 1.10)	(0.11, 0.68, 0.82, 1.10)	(0.10, 0.62, 0.75, 1.00)
C7	(0.10, 0.77, 0.87, 1.00)	(0.10, 0.77, 0.87, 1.00)	(0.11, 0.84, 0.96, 1.10)	(0.11, 0.84, 0.96, 1.10)	(0.10, 0.77, 0.87, 1.00)
C8	(0.10, 0.69, 0.81, 1.00)	(0.10, 0.69, 0.81, 1.00)	(0.11, 0.76, 0.89, 1.10)	(0.11, 0.76, 0.89, 1.10)	(0.10, 0.69, 0.81, 1.00)
C9	(0.30, 0.83, 0.93, 1.00)	(0.27, 0.72, 0.84, 0.90)	(0.30, 0.83, 0.93, 1.00)	(0.27, 0.72, 0.84, 0.90)	(0.24, 0.66, 0.75, 0.80)
C10	(0.30, 0.79, 0.89, 1.00)	(0.27, 0.71, 0.80, 0.90)	(0.30, 0.79, 0.89, 1.00)	(0.27, 0.71, 0.80, 0.90)	(0.24, 0.63, 0.71, 0.80)
C11	(0.30, 0.77, 0.88, 1.00)	(0.27, 0.69, 0.79, 0.90)	(0.30, 0.77, 0.88, 1.00)	(0.27, 0.69, 0.79, 0.90)	(0.24, 0.61, 0.70, 0.80)
C12	(0.30, 0.70, 0.81, 1.00)	(0.30, 0.70, 0.81, 1.00)	(0.33, 0.77, 0.89, 1.10)	(0.33, 0.77, 0.89, 1.10)	(0.30, 0.70, 0.81, 1.00)

Tabelle 26: Betrachtete Szenarien der Szenarioanalyse (S0-S4)

³⁶⁰ Vgl. Toker & Görener, 2022, S. 1730–1732.

Ci	S5	S6	S7	S8
C1	(0.10, 0.85, 0.95, 1.00)	(0.08, 0.68, 0.76, 0.80)	(0.10, 0.85, 0.95, 1.00)	-
C2	(0.30, 0.75, 0.87, 1.00)	(0.24, 0.60, 0.69, 0.80)	(0.30, 0.75, 0.87, 1.00)	-
C3	(0.36, 0.73, 0.90, 1.20)	(0.36, 0.73, 0.90, 1.20)	-	(0.30, 0.61, 0.75, 1.00)
C4	(0.30, 0.71, 0.83, 1.00)	(0.24, 0.57, 0.66, 0.80)	(0.30, 0.71, 0.83, 1.00)	-
C5	(0.12, 0.82, 0.97, 1.20)	(0.12, 0.82, 0.97, 1.20)	-	(0.10, 0.69, 0.81, 1.00)
C6	(0.12, 0.74, 0.90, 1.20)	(0.12, 0.74, 0.90, 1.20)	-	(0.10, 0.62, 0.75, 1.00)
C7	(0.12, 0.92, 1.05, 1.20)	(0.12, 0.92, 1.05, 1.20)	-	(0.10, 0.77, 0.87, 1.00)
C8	(0.12, 0.82, 0.97, 1.20)	(0.12, 0.82, 0.97, 1.20)	-	(0.10, 0.69, 0.81, 1.00)
C9	(0.30, 0.83, 0.93, 1.00)	(0.24, 0.66, 0.75, 0.80)	(0.30, 0.83, 0.93, 1.00)	-
C10	(0.30, 0.79, 0.89, 1.00)	(0.24, 0.63, 0.71, 0.80)	(0.30, 0.79, 0.89, 1.00)	-
C11	(0.30, 0.77, 0.88, 1.00)	(0.24, 0.61, 0.70, 0.80)	(0.30, 0.77, 0.88, 1.00)	-
C12	(0.36, 0.84, 0.98, 1.20)	(0.36, 0.84, 0.98, 1.20)	-	(0.30, 0.70, 0.81, 1.00)

Tabelle 27: Betrachtete Szenarien der Szenarioanalyse (S5-S8)

Gemäß dem Ablauf von Fuzzy PROMETHEE nach Kapitel 4.1.3 ergeben sich für die verschiedenen Szenarien die in Tabelle 28 aufgelisteten Nettoströme und Rankings der Alternativen.

	SO		S1		S2		S3		S4	
	Φ_{NET}	Rang								
CBM										
CSM	2.74	1	2.68	1	2.96	1	2.92	1	2.65	1
RRM	2.20	2	2.12	2	2.34	2	2.26	2	2.05	2
PLE	-0.35	3	-0.37	3	-0.40	3	-0.42	3	-0.39	3
PSS	-1.54	4	-1.48	4	-1.63	4	-1.58	4	-1.43	4
SP	-3.05	5	-2.95	5	-3.26	5	-3.18	5	-2.88	5

	S5		S6		S7		S8	
	Φ_{NET}	Rang	Φ_{NET}	Rang	Φ_{NET}	Rang	Φ_{NET}	Rang
CBM								
CSM	3.19	1	3.16	1	1.92	1	3.97	1
RRM	2.48	2	2.38	2	1.88	2	2.72	2
PLE	-0.46	3	-0.51	3	-0.03	3	-0.81	3
PSS	-1.73	4	-1.66	4	-1.32	4	-1.89	4
SP	-3.48	5	-3.37	5	-2.45	5	-3.99	5

Tabelle 28: Nettoströme und Rankings der Szenarioanalyse

In den Abbildungen 20 bzw. 21 sind die Rankings der Alternativen bzw. deren jeweiligen Nettoflüsse je Szenario ersichtlich.

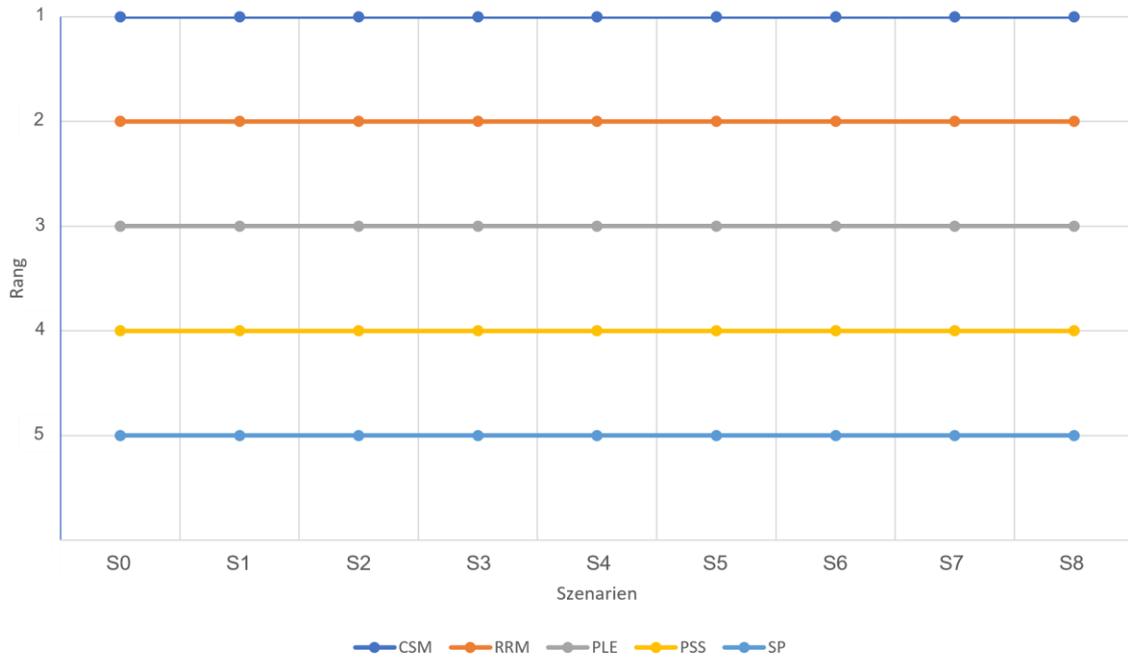


Abbildung 20: Rankings der Szenarioanalyse

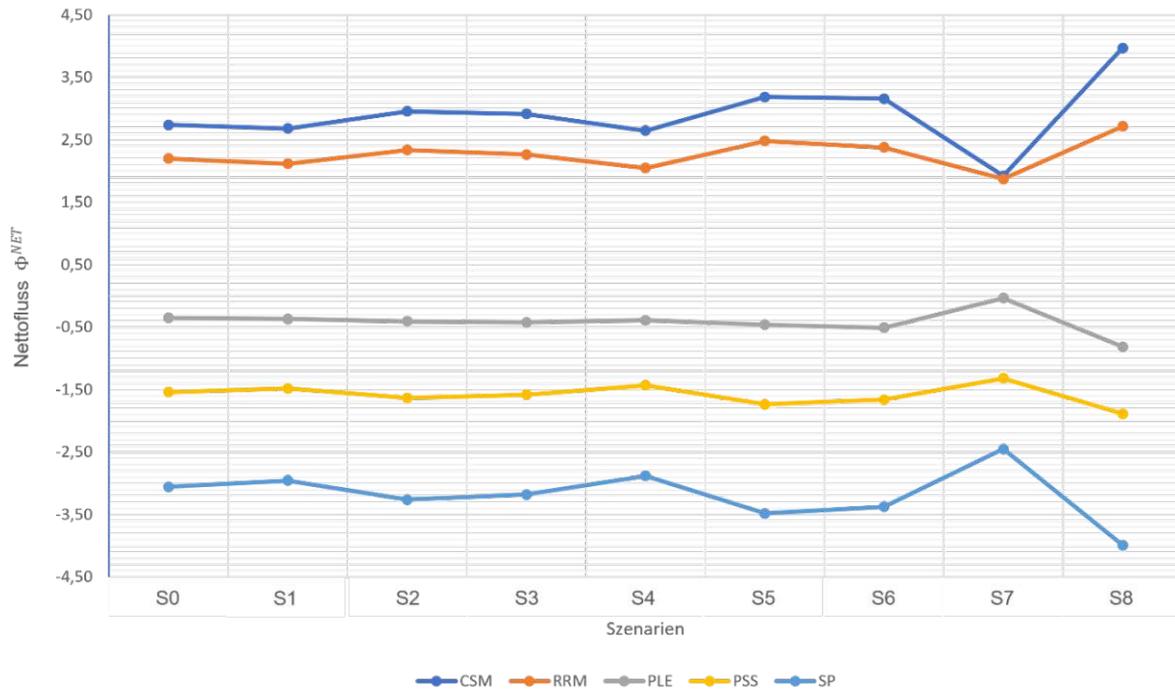


Abbildung 21: Trendlinien der Nettoflüsse der Szenarioanalyse

Wie Abbildung 20 zeigt, bleibt die Rangreihenfolge der CBMs in allen acht Szenarien gleich. In Abbildung 21 ist ersichtlich, dass die Nettoströme aller CBMs in sechs der acht Szenarios auf einem konstanten Niveau bleiben. Während bei S7, bei dem die schwächsten Kriterien vernachlässigt werden, die Nettoströme der Alternativen PLE, PSS und SP steigen, kommt es bei den CSM und RRM zu einer Reduktion auf einen annähernd gleichen Wert. Dabei sind ein signifikanter Anstieg des Nettostromes von SP sowie eine deutliche Verringerung des Nettostromes von CSM zu beobachten.

Daraus ist abzuleiten, dass die Kriterien C12, C7, C3, C5, C8 und C6 einen positiven Einfluss auf die Bewertung der Alternativen CSM und RRM sowie negative Auswirkungen auf PLE, PSS und SP haben. Bei S8 ist ein entgegengesetztes Verhalten der Nettoströme sichtbar.

Während die Vernachlässigung der stärksten Kriterien einerseits bei CSM und RRM zu einem starken Anstieg der Nettoströme und andererseits zu einem starken Abfall des Nettostromes bei SP führt, bleiben die Werte von PLE und PSS auf einem ähnlichen Niveau wie in den ersten sechs Szenarien. Dies indiziert, dass die Kriterien C9, C10, C11, C2, C1 und C4 die Bewertungen von CSM und PSS negativ und von PLE, PSS und SP positiv beeinflussen.

Um die Abhängigkeiten der CBMs von den Kriterien vertiefend zu betrachten, werden zusätzlich zur Analyse der verschiedenen Szenarien die Einflüsse der einzelnen Kriterien je CBM untersucht. Zu diesem Zweck werden je CBM interne Rankings der Kriterien erstellt. Ausgehend von den Werten der normalisierten Fuzzy-Entscheidungsmatrix (Tabelle 19) werden die jeweiligen normalisierten Bewertungen mittels Formel 4 defuzzifiziert (Tabelle 29) und mit Hilfe der Normalisierungstechnik der „linearen Summe“ analog zu Abschnitt 4.3.1 erneut normalisiert, um die relative Bedeutung der Kriterien je CBM zu erhalten. Die Ergebnisse der relativen Bedeutungen der Kriterien sind in Tabelle 30 aufgelistet und in Abbildung 22 visualisiert.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
CSM	0.84	0.62	0.69	0.74	0.66	0.93	0.93	0.86	0.70	0.70	0.74	0.74
RRM	0.86	0.50	0.66	0.82	0.93	0.60	0.93	0.57	0.57	0.50	0.74	0.69
PLE	0.93	0.93	0.60	0.84	0.39	0.55	0.55	0.72	0.86	0.63	0.60	0.67
PSS	0.48	0.86	0.43	0.86	0.45	0.55	0.55	0.64	0.84	0.62	0.72	0.55
SP	0.50	0.80	0.31	0.93	0.31	0.50	0.45	0.74	0.75	0.84	0.67	0.60

Tabelle 29: Defuzzifizierung der normalisierten Fuzzy-Entscheidungsmatrix

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
CSM	0.09	0.07	0.08	0.08	0.07	0.10	0.10	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08
RRM	0.10	0.06	0.08	0.10	0.11	0.07	0.11	0.07	0.07	0.06	0.09	0.08
PLE	0.11	0.11	0.07	0.10	0.05	0.07	0.07	0.09	0.10	0.08	0.07	0.08
PSS	0.06	0.11	0.06	0.11	0.06	0.07	0.07	0.09	0.11	0.08	0.10	0.07
SP	0.07	0.11	0.04	0.13	0.04	0.07	0.06	0.10	0.10	0.11	0.09	0.08

Tabelle 30: Relative Bedeutung der Kriterien

Aus der Größe der relativen Bedeutung können interne Rangreihenfolgen der Kriterien je CBM abgeleitet werden. In Tabelle 31 sind diese Rankings ersichtlich.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
CSM	4	12	10	5	11	1	1	3	8	8	5	5
RRM	3	11	7	4	1	8	1	9	9	11	5	6
PLE	1	1	8	4	12	11	10	5	3	7	8	6
PSS	10	1	12	1	11	7	8	5	3	6	4	8
SP	9	3	11	1	11	8	10	5	4	2	6	7

Tabelle 31: Interne Rankings der Kriterien je Alternative

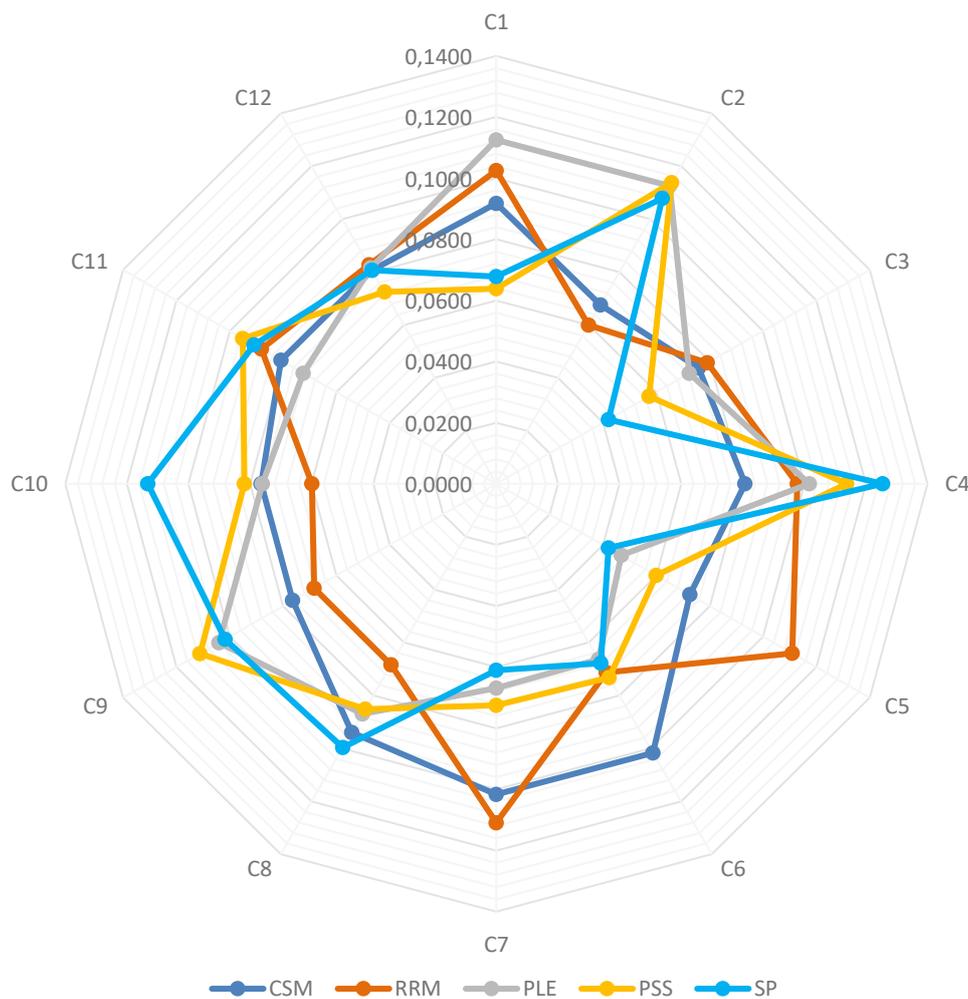


Abbildung 22: Relative Bedeutungen der Kriterien je Alternative

Den Ergebnissen zufolge haben der (C6) Einsatz erneuerbarer Energien und (C7) regenerativer, wiederverwertbarer Materialien sowie die (C8) optimale Ressourcennutzung und Abfallreduktion die größte Bedeutung für CSM. Den geringsten Einfluss zeigen (C3) Technologien zur Mechanisierung kreislaufwirtschaftlicher Strategien, (C5) separate Abfallsammlungs- und Produktrückführungssysteme und die (C12) finanzielle Unterstützung durch Interessensgruppen und Politik.

Für das RRM spielen wiederum C5, C7 und ein (C1) kreislaforientiertes Produktdesign eine größere Rolle, während C8, (C9) die kreislaufwirtschaftsorientierte Aus- und Weiterbildung, Aufklärung und Motivation, (C10) Zusammenarbeit und Kollaboration mit allen internen und externen Interessensgruppen und die (C2) Verbesserte Funktionalität und Produktlebensdauer durch Services von geringerer Bedeutung sind.

Die Kriterien C1, C2 und C9 sind gemäß den Bewertungen der Entscheidungsträger*innen von entscheidender Bedeutung für das PLE. Demgegenüber haben C7,

C6 und C5 einen geringeren Einfluss. Während (C4) digitale Technologien, C2 und C9 entscheidende Kriterien für die erfolgreiche Entwicklung bzw. Umsetzung von PSS darstellen, nehmen C1, C5 und C3 eine nachgelagerte Wichtigkeit ein. Für SPs stellen die Kriterien C4, C10 und C2 treibende SFs dar, während C7, C5 und C3 einen geringeren Einfluss auf SPs haben.

5.2 Vergleichsanalyse

Das Ziel der Vergleichsanalyse ist es die Zuverlässigkeit der Ergebnisse sowie die Eignung der vorgeschlagenen MCDA-Methode für das vorliegende Auswahlproblem zu prüfen. Zu diesem Zweck werden neben den bereits angewendeten Verfahren Fuzzy PROMETHEE I und II zusätzlich zwei alternative MCDA-Methoden, Fuzzy ELECTRE I und Fuzzy TOPSIS, für die Bewertung der CBMs herangezogen.

5.2.1 Ergebnisse von Fuzzy ELECTRE I

Wie auch PROMETHEE zählt ELECTRE zu der Gruppe der ORM unter den MCDA (siehe Kapitel 2.6.3) und wurde Ende der 1960er Jahre entwickelt. Die ELECTRE-Methode, welche die Präferenzen der Entscheidungsträger*innen bzgl. vorliegender Alternativen widerspiegelt, gehört zu den am häufigsten angewendeten ORMs.³⁶¹ ELECTRE-Methoden verfolgen das primäre Ziel die Dominanz der Beziehungen zwischen den Alternativen durch Outranking-Relationen zu beschreiben.³⁶² Dadurch wird es ermöglicht, die Alternativen auf Basis von identifizierten Konkordanz (Übereinstimmungen) und Diskordanz (Nichtübereinstimmungen) paarweise zu vergleichen.³⁶³ Die ELECTRE I Methode dient, wie PROMETHEE I zur Ermittlung einer partiellen Priorisierung der Alternativen. Zur Durchführung von Fuzzy ELECTRE I wird die vorgeschlagene Methode von Hatami-Marbini & Tavana (2011) herangezogen.³⁶⁴ Im Sinne der Übersichtlichkeit sind aufgrund des Umfangs von Fuzzy ELECTRE I die einzelnen Verfahrensschritte und die Zwischenergebnisse der Methode im Anhang unter Kapitel 7.3.1 ersichtlich.

Basierend auf der globalen Matrix Z (Tabelle 39) und den Bedingungen von Schritt 14 der Fuzzy ELECTRE Methode (Kapitel 7.3.1.1) ergeben sich die in Tabelle 32 aufgelisteten Präferenzen, Indifferenzen und Unvergleichbarkeiten sowie das partielle Ranking der Alternativen. In Abbildung 23 sind die Outranking-Relationen visualisiert.

³⁶¹ Vgl. Roy, 1968.

³⁶² Vgl. Rogers & Bruen, 1998.

³⁶³ Vgl. Pang & Zhang, Genbao, Chen, Guohua, 2011, S. 896.

³⁶⁴ Vgl. Hatami-Marbini & Tavana, 2011, S. 374 ff.

	Präferenzen	Indifferenzen	Unvergleichbarkeiten	Rang
CSM	PLE, PSS, SP	-	RRM	1
RRM	PSS, SP	-	-	3
PLE	RRM, PSS	-	SP	2
PSS	-	-	SP	4
SP	-	-	PLE, PSS	4

Tabelle 32: Partielles Ranking der Alternativen nach Fuzzy ELECTRE I

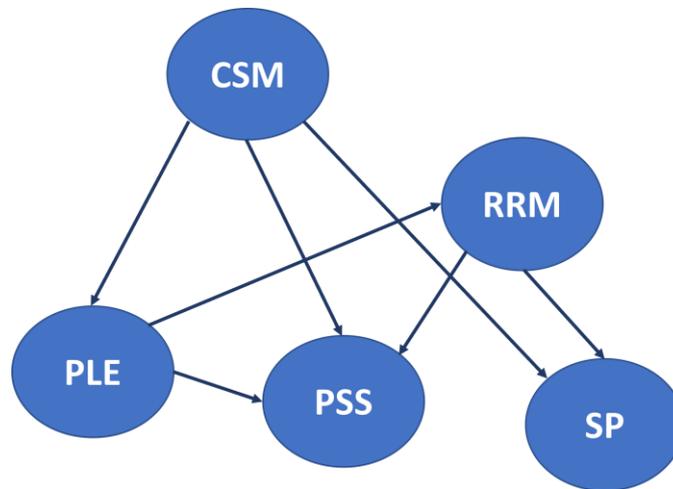


Abbildung 23: Präferenzen der Alternativen nach Fuzzy ELECTRE I

Zufolge der Ergebnisse der Auswertung nach Fuzzy ELECTRE I, ergibt sich ein partielles Ranking der CBMs, angeführt von CSM, gefolgt von PLE, RRM, PSS und SP. CSM dominiert die Alternativen PLE, PSS und SP und weist Unvergleichbarkeiten mit RRM auf, wodurch die Festlegung einer Rangordnung des RRM durch die alleinige Betrachtung dieser Bedingungen nicht möglich ist. Dadurch, dass das PLE sowohl das RRM als auch das PSS überwiegt und eine Dominanz von RRM gegenüber PSS nachgewiesen wird, rückt RRM auf Platz drei. Ausgehend von der Platzierung von RRM, werden PSS und SP ex aequo auf Platz vier gereiht, da beide von RRM überwogen werden und untereinander Unvergleichbarkeiten aufweisen.

5.2.2 Ergebnisse von Fuzzy TOPSIS

Die TOPSIS-Methode ist eine praktische und nützliche Methode für die Reihung und Auswahl von Alternativen. TOPSIS wird in der vorgenommenen Einteilung der MCDM-Methoden zu den CM zugeordnet (siehe Kapitel 2.6.3). Bei Fuzzy TOPSIS findet im Vergleich zu Fuzzy PROMETHEE und Fuzzy ELECTRE keine Gegenüberstellung der Alternativen oder Kriterien durch einen paarweisen Vergleich statt, sondern durch die Ermittlung der Distanzen zwischen negativen und positiven Ideallösungen für alle Kriterien, welche durch Minimum- bzw. Maximum-Werte bestimmt werden.³⁶⁵ Für die Ausführung von Fuzzy-TOPSIS bei vorliegendem Auswahlproblem wird die

³⁶⁵ Vgl. Chen et al., 2006, S. 291.

empfohlene Methode nach Chen et al. (2006) verwendet, dessen Verfahrensschritte und Zwischenergebnisse im Anhang (Kapitel 7.3.2) dargestellt werden.

Basierend auf den Distanzen zwischen den Alternativen und den Fuzzy-Ideallösungen (Tabelle 41 und Tabelle 42) ergeben sich die in Tabelle 33 aufgelisteten Näherungskoeffizienten („closeness coefficients“) CC_i und die Rangreihenfolgen der jeweiligen Alternativen.

	CC_i	Rang
CSM	0.5554	1
RRM	0.5289	2
PLE	0.5286	3
PSS	0.5111	4
SP	0.4914	5

Tabelle 33: Ranking der Alternativen nach Fuzzy TOPSIS

Wie Formel 25 zeigt, ergibt sich der CC_i aus dem Verhältnis der Fuzzy-Positiv-Ideallösung und der Summe aus der Fuzzy-Positiv-Ideallösung und der Fuzzy-Negativ-Ideallösung. Demnach kann der CC_i nur Werte zwischen null und eins annehmen. Liegt eine Alternative näher bei eins, so ist das gleichbedeutend mit einer Annäherung zur positiven Ideallösung. Durch die absteigende Reihenfolge der CC_i wird die Rangreihenfolge der Alternativen bestimmt.³⁶⁶

5.3 Zusammenfassung und kritische Reflexion der Validierung

Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse demonstrieren, dass die Rangreihenfolge der CBMs in allen acht Szenarien gleichbleibt. Dies beweist, dass die vorgeschlagene Bewertungsmethode ein robustes Ergebnis liefert. Die Analyse zeigt, dass die Ergebnisse durch die Veränderungen in der Gewichtung der Kriterien in sechs von acht Szenarien marginal beeinflusst werden. Das siebte und achte Szenario untersuchen die Auswirkungen von Situationen, in denen nicht genügend bzw. nicht die wichtigsten SFs berücksichtigt werden. Während CSM, RRM und SP durch die Veränderungen dieser beiden Szenarien stark beeinflusst werden, erweisen sich PLE und PSS demgegenüber als widerstandsfähiger. Schlussfolgernd ist die erfolgreiche Umsetzung von PLE bzw. PSS im Vergleich zu den übrigen CBMs weniger von der vollständigen Berücksichtigung aller SFs abhängig. Nichtsdestotrotz bekräftigen die Auswirkungen dieser beiden Szenarien die Aussagen der Kreislaufwirtschafts-expert*innen sowie die Ergebnisse der Kriterien-Gewichtungen, dass alle SFs von Relevanz sind und bei der Entwicklung bzw. Umsetzung von CBMs nicht außer Acht gelassen werden dürfen. Die Vergleichsanalyse zeigt, wie in Tabelle 34 ersichtlich, dass aus allen vier verwendeten MCDA-Methoden ähnliche Ergebnisse resultieren.

³⁶⁶ Vgl. Chen et al., 2006, S. 295.

	Fuzzy PROMETHEE I	Fuzzy PROMETHEE II	Fuzzy ELECTRE I	Fuzzy TOPSIS
CSM	1	1	1	1
RRM	2	2	3	2
PLE	3	3	2	3
PSS	4	4	4	4
SP	5	5	4	5

Tabelle 34: Vergleich der Rankings der verwendeten MCDA-Methoden

Dies deutet darauf hin, dass einerseits die Ergebnisse der vorgeschlagenen Bewertungsmethode zuverlässig und andererseits alle vier Verfahren für das Problem der Auswahl von CBMs geeignet sind. Lediglich bei Fuzzy ELECTRE I ergibt sich ein teilweise unterschiedliches Ergebnis. Dies könnte damit zusammenhängen, dass bei der Ermittlung der Booleschen Konkordanz- und Diskordanz-Matrizen, welche die Basis für den paarweisen Vergleich der Alternativen bei ELECTRE bilden, die exakten Werte der Konkordanzen und Diskordanzen in Boolesche Zahlen umgewandelt werden. Dadurch wird beim Grad der Übereinstimmung bzw. Nichtübereinstimmung nur noch zwischen null und eins bzw. „schwach“ und „stark“ unterschieden. Bei Fuzzy PROMETHEE II und Fuzzy TOPSIS hingegen werden kontinuierlich exakte Werte verwendet, wodurch sich in weiterer Folge eindeutigere Unterschiede zwischen den Alternativen ergeben könnten.

Bei genauerer Betrachtung der Ergebnisse von Fuzzy TOPSIS ergibt sich zwischen den Näherungskoeffizienten der Alternativen RRM und PLE lediglich ein prozentueller Unterschied ca. 0,06 Prozent. Demgegenüber ergeben sich bei der Bewertung nach Fuzzy PROMETHEE I und II größere Unterschiede zwischen den CBMs. Daraus ist abzuleiten, dass die Verwendung von Fuzzy PROMETHEE differenziertere Ergebnisse und vor allem deutlichere Rangreihenfolgen liefert als Fuzzy ELECTRE I und Fuzzy TOPSIS.

Allgemein betrachtet haben alle vier Verfahren einige Unterschiede, aber auch Gemeinsamkeiten. Eine Gemeinsamkeit beim Ablauf der Methoden ist, dass bei allen vier Verfahren die Abstände zwischen den Alternativen herangezogen werden, um die betrachteten Alternativen hinsichtlich der Kriterien zu vergleichen. Während Fuzzy PROMETHEE und Fuzzy ELECTRE im Vergleich zu Fuzzy TOPSIS einerseits Unvergleichbarkeiten berücksichtigen und andererseits paarweise Vergleiche der Alternativen durchführen, zeichnet sich Fuzzy TOPSIS durch einen wesentlich geringeren Komplexitätsgrad aus. Weiters bieten Fuzzy PROMETHEE I und Fuzzy ELECTRE I durch die Bildung partieller Rangreihenfolgen die Möglichkeit Präferenzen, Indifferenzen und Unvergleichbarkeiten durch grafische Darstellungen einfach zu identifizieren. Fuzzy TOPSIS und Fuzzy PROMETHEE II hingegen bilden nur vollständige Rankings der Alternativen ab, woraus diese Informationen nicht gewonnen werden können.

6 Diskussion und Ausblick

Im Zuge dieser Diplomarbeit gilt es einen Ansatz zur Entscheidungsunterstützung für KMUs im Maschinen-, Fahrzeug-, und Anlagenbau in Industrieländern zu entwickeln. Ziel ist es, eine Empfehlung abzugeben, welche CBMs für KMUs am besten geeignet sind und KMUs dabei zu unterstützen, ihr Unternehmen in Richtung CE zu transformieren. Dazu wird mit Hilfe einer Literaturrecherche der Stand der Forschung bzgl. CBMs offengelegt und allgemeine SFs zur erfolgreichen Einführung dieser CBMs identifiziert. Auf Grundlage dessen wurde die Fuzzy PROMETHEE Methode angewendet, die sich in zwei Phasen unterteilt. In Phase eins wurden qualitative Interviews mit Kreislaufwirtschaftsexpert*innen durchgeführt, um die identifizierten SFs zu validieren und zu gewichten. In Phase zwei wurden analog zu Phase eins Entscheidungsträger*innen von KMUs zur Bewertung der CBMs befragt. Die Ergebnisse dieser Methode sind Rangreihenfolgen der SFs und der CBMs.

6.1 Beantwortung der Forschungsfragen

Zur Zielerreichung dieser Diplomarbeit werden durch Anwendung einer MCDA und der damit verbundenen Literaturrecherche und problemzentrierten Interviews die definierten Subforschungsfragen und die Hauptforschungsfrage beantwortet.

- **SQ₁:** „Was ist der Stand der Forschung bezüglich CBMs?“

In der vorherrschenden Literaturlandschaft wird eine Vielzahl verschiedener CBMs diskutiert, welche in teilweise unterschiedlichen aber auch teilweise aufeinander aufbauenden Phasen der Wertschöpfungskette ansetzen, sei es in der Entwicklung, Beschaffung, Herstellung, Nutzungsphase oder in der EoL-Phase. Weitere Unterscheidungsmerkmale sind ihre zugrundeliegenden Prinzipien, die sie dabei verfolgen. Diese umfassen den Einsatz kreislaufwirtschaftsfähiger Ressourcen, die Wiederverwertung von EoL-Produkten bzw. -Materialien oder die Verlängerung bzw. Intensivierung der Produktnutzung. Im Zuge der Literaturrecherche wurden fünf der am häufigsten genannten CBMs identifiziert und für die weitere Vorgehensweise verwendet. Diese sind das CSM, RRM, PLE, PSS und SP. Diese fünf CBMs beschreiben den aktuellen Stand der Forschung.

- **SQ₂:** *Welche Erfolgsfaktoren müssen KMUs im Maschinen-, Fahrzeug- und Anlagenbau in Industrieländern für die Einführung der identifizierten CBMs berücksichtigen?“*

In der aktuellen Literatur werden vorwiegend Treiber und Barrieren betreffend der CE und CBMs behandelt und es existieren nur wenige Publikationen, die

detailliert deren SFs untersuchen. Zur Beantwortung dieser Subforschungsfrage wurden daher auf Basis der Treiber und Barrieren von CBMs deren SFs abgeleitet und durch bisherige Studien über SFs ergänzt. Die dadurch ermittelten SFs sind das (C1) kreislauforientierte Produktdesign, die (C2) verbesserte Funktionalität und Produktlebensdauer durch Services, (C3) Technologien zur Mechanisierung kreislaufwirtschaftlicher Strategien, (C4) digitale Technologien, (C5) Separate Abfallsammlungs- und Produktrückführungssysteme, der (C6) Einsatz erneuerbarer Energien, der (C7) Einsatz regenerativer und wiederverwertbarer Materialien, die (C8) optimale Ressourcennutzung und Abfallreduktion, die (C9) kreislaufwirtschaftsorientierte Aus- und Weiterbildung, Aufklärung und Motivation, die (C10) Zusammenarbeit und Kollaboration, die (C11) separate Bereitstellung interner Finanzmittel und die (C12) finanzielle Unterstützung durch Interessensgruppen und Politik. Diese SFs werden in Kapitel 3.2 detailliert beschrieben. Im Zuge der Bewertungsmethode (Kapitel 4.2) wurden die identifizierten SFs durch Kreislaufwirtschafts-expert*innen validiert und für die weitere Vorgehensweise hinsichtlich ihrer Wichtigkeit bewertet.

- **SQ₃:** *„Welche CBMs sind für KMUs im Maschinen-, Fahrzeug- und Anlagenbau in Industrieländern am besten geeignet?“*

Im Zuge der MCDA wurden die CBMs anhand der SFs durch Entscheidungsträger*innen von KMUs im Maschinen-, Fahrzeug- und Anlagenbau bewertet. Dabei wurden die Entscheidungsträger*innen befragt, welche SFs zur Entwicklung bzw. Umsetzung der jeweiligen CBMs aus ihrer Sicht bedeutende Einflüsse vorweisen. Das Ziel bestand darin, die Expertise und Erfahrungen der Entscheidungsträger*innen hinsichtlich strategischer Entscheidungen in die Bewertung mit einfließen zu lassen. Durch den Einfluss der Gewichtungen der SFs und der Bewertungen der CBMs ergab sich als Resultat eine Rangreihenfolge der CBMs. Demnach ist das CSM das am besten geeignete CBM für KMUs im Maschinen-, Fahrzeug- und Anlagenbau, gefolgt vom RRM, PLE, PSS und SP.

- **MQ:** *„Wie können klein- und mittelständische Unternehmen im Maschinen-, Fahrzeug- und Anlagenbau in Industrieländern bei der Auswahl von zirkulären Geschäftsmodellen unterstützt werden?“*

Die Basis zur Auswahl von CBMs bildet die Offenlegung des Forschungs- und Wissensstandes über die grundlegenden Charakteristika, Chancen und Herausforderungen der gängigen CBMs, um den KMUs das dazu benötigte Wissen zu vermitteln. Durch die Identifikation und Gewichtung von spezifischen

Faktoren, die zum Erfolg der CBMs beitragen, können Unternehmen dabei unterstützt werden, ihre Aktivitäten und Ressourcen bei der Einführung von CBMs zu priorisieren. SFs fördern ein gemeinsames Verständnis über die effektive Konzeptionierung und Umsetzung von CBMs. Des Weiteren tragen sie dazu bei, das Risiko von Fehlentscheidungen zu reduzieren und sicherzustellen, dass die bestmögliche Option gewählt wurde, um ein definiertes Ziel zu erreichen.

Für KMUs besteht angesichts ihrer begrenzten Ressourcen die Herausforderung darin, nicht mehrere CBMs gleichzeitig implementieren zu können. Daher wird empfohlen, dass sich KMUs vorerst auf die Umsetzung jener CBMs fokussieren, die sich am besten für ihre Rahmenbedingungen eignen. Die Basis für die Überprüfung der Eignung der CBMs bildet deren Bewertung mittels SFs, da Unternehmen und insbesondere KMUs potentielle Initiativen unter anderem anhand der dafür erforderlichen Aufwände und der Aussicht auf Erfolg beurteilen. Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass sich MCDAs dazu eignen, KMUs bei der Auswahl von CBMs zu unterstützen. Des Weiteren ermöglichen MCDAs eine Verknüpfung der SFs mit den jeweiligen CBMs, wodurch ein vertiefendes Verständnis für deren Einführung geschaffen werden kann.

6.2 Diskussion der Ergebnisse

Um das volle kreislaufwirtschaftliche Potential von CBMs zu nutzen, ist es zweckdienlich, CBMs langfristig nicht einzeln zu betrachten. Vielmehr sollte die Kombination dieser CBMs als Zielsystem forciert werden, um Synergieeffekte zu nutzen und eine größtmögliche Zirkularität der Ressourcen in einem Unternehmen zu ermöglichen. Jedoch unterliegen gerade KMUs aufgrund ihrer begrenzten Ressourcen und finanziellen Mittel der Problematik, nicht gleichzeitig in mehrere Innovationsprojekte investieren zu können. Dies gilt auch für die Umsetzung von CBMs.³⁶⁷ Um den Erfolg der Initiative zu gewährleisten, wird vom Verfasser der Arbeit empfohlen, dass KMUs vorerst ein CBM implementieren, welches sich am besten für ihre Geschäftscharakteristika eignet. Sobald dieses CBM tragfähig ist, kann darauf aufbauend ein weiteres CBM entwickelt und eingeführt werden.

Der größtmögliche Effekt bei der Einführung eines CBMs wird theoretisch durch die gleichzeitige Konzentration auf alle identifizierten SFs erzielt. Jedoch kann in der Praxis ein gleichzeitiges Engagement bei mehreren SFs bzw. die falsche Prioritäten-Reihenfolge insbesondere bei KMUs zu Schwierigkeiten und im schlimmsten Fall zu gegenläufigen Effekten führen, wodurch der Erfolg der Initiative gemindert oder sogar unterbunden werden könnte. Wird der Fokus bspw. auf zumeist investitionsintensive

³⁶⁷ Vgl. Schwarz et al., 2006, S. 20.

technologische bzw. infrastrukturelle Maßnahmen, wie die Einführung digitaler Technologien oder separater Abfallsammlungs- und Produktrückführungssysteme gesetzt, bevor kostengünstigere Alternativen geprüft oder die dafür erforderlichen Budgets umfassend geplant werden, kann das Projekt schnell zum Misserfolg werden. Das Ranking der SFs kann bei dieser Herausforderung unterstützen und gibt einen Hinweis darauf, in welcher Reihenfolge die SFs priorisiert werden sollen, um den größtmöglichen Erfolg bei der Einführung von CBMs zu gewährleisten.

Die Ergebnisse von Fuzzy PROMETHEE demonstrieren, dass für die erfolgreiche Einführung von CBMs vorrangig Gesichtspunkte wie die (C9) kreislaufwirtschaftsorientierte Aus- und Weiterbildung, Aufklärung und Motivation, die (C10) Kooperation und Zusammenarbeit mit allen internen und externen Stakeholdern und die (C11) separate Bereitstellung interner Finanzmittel für den Transformationsprozess eine wesentliche Rolle spielen. Demgegenüber stehen Aspekte wie (C5) separate Abfallsammlungs- und Produktrückführungssysteme, die (C8) optimale Ressourcennutzung und Abfallreduktion sowie der (C6) Einsatz von erneuerbaren Energien, welche am niedrigsten bewertet wurden. Dies indiziert, dass die SFs der Dimension Netzwerke und Partnerschaften für CBMs von essentieller Bedeutung sind. Die kreislaufwirtschaftsorientierte Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiter*innen, die Aufklärung und Motivation der Lieferanten und Partner sowie die intensive Zusammenarbeit mit allen internen und externen Interessensgruppen legen demnach den Grundstein, um die Initiative zum Erfolg zu führen. Nach Meinung der Kreislaufwirtschaftsexpert*innen nehmen jedoch alle behandelten SFs eine nicht zu vernachlässigende Relevanz für CBMs ein.

Des Weiteren lässt sich aus den Ergebnissen der zweiten Phase von Fuzzy PROMETHEE ableiten, dass sich das CSM unter Berücksichtigung der SFs am besten für KMUs im Maschinen-, Fahrzeug- und Anlagenbau in Industrieländern eignet. Dies bedeutet jedoch nicht, dass ein CBM die Einführung anderer CBMs ausschließt. Der Fokus von CSM liegt auf der Vermeidung von Abfällen und der Substitution kritischer Ressourcen durch zirkuläre Alternativen wie erneuerbare Ressourcen und recyclebare Materialien.³⁶⁸ Ausgehend von den Merkmalen der anderen CBMs könnte das CSM als Grundlage für die Einführung der anderen CBMs in der ermittelten Reihenfolge dienen. Demzufolge legt das CSM die Basis für kreislauffähige Produkte, wodurch die Wiederverwendung bzw. Wiederverwertung von deren Materialien erst ermöglicht wird. Sobald das CSM erfolgreich implementiert wurde, bietet sich für Produkte, die ihr Lebensende erreicht haben und deren Materialien sich nicht mehr für die Wiederverwendung eignen, die Möglichkeit, das RRM einzuführen. Dieses beinhaltet die Produktion von Sekundärrohstoffen bzw. Recyclingmaterialien aus Abfallströmen und Altprodukten. Nachdem die Ressourcenkreisläufe durch die Einführung des CSMs

³⁶⁸ Vgl. Lacy & Partridge, 2020, S. 21 f.

und des RRM geschlossen wurden, kann der Fokus auf CBMs gelegt werden, die in der Nutzungsphase der Produkte ansetzen und das Potential haben, die Ressourcenkreisläufe zu verlangsamen.

Den Ausgangspunkt dafür bildet das PLE. Dieses setzt auf Maßnahmen in der Design- und Nutzungsphase zur Verlängerung der Produktlebensdauer sowie zur Wartung, Reparatur und Aufrüstung der Produkte. Eine längere Produktlebensdauer führt zu einem geringeren Bedarf an neuen Produkten und somit zur Reduktion der Abhängigkeit des Wirtschaftswachstums vom Ressourceneinsatz. Dies kann insbesondere für absatzorientierte KMUs, die von kurzen Produktzyklen abhängig sind, zur Herausforderung werden, da langlebigere Produkte oftmals ein geringeres Absatzvolumen zur Folge haben. Durch die Einführung von zusätzlichen Dienstleistungsvereinbarungen für die Wartung, Reparatur oder Aufrüstung der Produkte könnten dadurch verursachte kurz- bis mittelfristige Umsatzeinbußen ausgeglichen und eine Brücke in Richtung Dienstleistungsorientierung gebildet werden.

Das PSS bildet ein Konzept, bei dem Produkte entweder als Dienstleistungen oder in Verbindung mit Dienstleistungen zur Verfügung gestellt werden. Die Verlagerung des Produktbesitzes zum Hersteller bedeutet einen grundlegenden Paradigmenwechsel weg von der Absatz- hin zur Dienstleistungsorientierung und erfordert neben der strategischen Neuausrichtung des Unternehmens auch die Veränderung der Konsummuster der Verbraucher*innen. Der Studie von Thompson et al. (2010) zufolge könnte das PLE die Basis für die Einführung von PSS legen. Werden Produkte, die für eine möglichst lange Lebensdauer entwickelt wurden, durch ein PSS ergänzt, ergibt sich die Möglichkeit für den Hersteller, einen Wettbewerbsvorteil durch den Verkauf der Funktion zu erlangen.³⁶⁹ D.h. es liegt im Interesse des Herstellers, welcher seine Produkte als Dienstleistung zur Verfügung stellt, die Produkte langlebig und qualitativ hochwertig zu gestalten, sodass er langfristig den größtmöglichen Wert daraus schöpfen kann.

Abschließend ergibt sich für KMUs nach der Schließung der Ressourcenkreisläufe durch CSM und RRM sowie nach dem vollzogenen Wandel zur Dienstleistungsorientierung durch PLE und RRM die Möglichkeit, die Nutzung der vorhandenen Ressourcen durch intersektionales Teilen in Form von SP zu intensivieren. Neben der Erhöhung der Auslastung noch nicht ausgeschöpfter Kapazitäten, bieten SPs die Option, Produkte und Servicedienstleistungen von PSS und PLE einer größeren Nutzergruppe auf eine einfache Art und Weise zugänglich zu machen.

³⁶⁹ Vgl. Thompson et al., 2010, S. 6 f.

Bei der Durchführung der Vergleichsanalyse mit Fuzzy ELECTRE I und Fuzzy TOPSIS werden ähnliche Ergebnisse erzielt. Lediglich das Ranking von Fuzzy ELECTRE I zeigt marginale Unterschiede auf. Die Sensitivitätsanalyse zeigt, dass die Rangfolge der CBMs in allen getesteten Szenarien gleichbleibt. Die Validierung belegt die Robustheit und Zuverlässigkeit des in dieser Arbeit vorgestellten Ansatzes und dessen Ergebnisse. Weitere Erkenntnisse dieser Arbeit sind, dass durch die Verknüpfung der SFs mit den jeweiligen CBM-Archetypen eine Aussage darüber getroffen werden kann, welche SFs einen besonderen Einfluss auf welche CBMs haben und auf welche SFs sich Unternehmen konzentrieren müssen, um ein bestimmtes CBM erfolgreich umzusetzen.

6.3 Einschränkung der Ansätze und Ergebnisse

Die Ergebnisse dieser Arbeit führten zu einer Rangreihenfolge der SFs und CBMs, wonach eine Empfehlung zu deren Priorisierung abgegeben werden konnte. Es ist anzumerken, dass diese Rangfolgen von den Präferenzen und Strategien bzw. subjektiven Einschätzungen der Interviewteilnehmer*innen abhängen. D.h. das Ergebnis der Rankings hängt im weiteren Sinne von der Situation und von spezifischen und gezielten Überlegungen der Teilnehmer*innen ab, die zur Einführung von CBMs motivieren. Bei dieser Arbeit wurden die Bewertungen im Kontext der Frage, welche SFs bei der erfolgreichen Entwicklung bzw. Umsetzung welcher CBMs eine besondere Wirkung erzielen, ausgeführt. Werden die Bewertungen bspw. primär aus den Perspektiven der sozialen Verantwortung von Unternehmen oder von Umweltprioritäten bzw. Nachhaltigkeitsaspekten durchgeführt, könnte sich eine andere Rangreihenfolge ergeben. Dennoch ist die vorgeschlagene Methode robust, da sie in der Lage ist, die erforderlichen Mittel für gezielte Bewertungen in einer Vielzahl solcher spezifischen Situationen bereitzustellen.

Eine weitere Limitation stellt der Betrachtungsraum auf KMUs im Maschinen-, Fahrzeug- und Anlagenbau in Industrieländern dar. Während sich für diese Branche CBMs, die sich vorwiegend auf die Ressourcenströme fokussieren, besser eignen, könnte sich durchaus für andere Sektoren, wie bspw. den Handel oder die Textilindustrie ein unterschiedliches Ranking ergeben. Des Weiteren sind KMUs im Vergleich zu Großunternehmen oft mit spezifischen Herausforderungen, wie bspw. begrenzte Ressourcen, konfrontiert. Lösungen, die unter diesen Rahmenbedingungen ermittelt werden, könnten für größere Unternehmen eine leichtere Umsetzbarkeit bedeuten aber auch in manchen Fällen nicht anwendbar sein. Daher wird empfohlen, solche Studien für andere Branchen und Unternehmensgrößen durchzuführen, um ein vertiefendes Verständnis für die Abhängigkeit der CBMs von diesen Aspekten zu generieren.

6.4 Ausblick

Obwohl CBMs bereits in der einschlägigen Fachliteratur umfangreich diskutiert wurden, befinden sie sich im industriellen Kontext nach wie vor erst am Beginn eines großflächigen Einsatzes. Die dazu notwendigen Technologien und Bestrebungen sind in dieser Hinsicht vorhanden, jedoch fehlt es noch an Business Cases, um die tatsächlichen ökonomischen und ökologischen Auswirkungen von CBMs messbar zu machen.

Im Zuge dieser Arbeit haben Kreislaufwirtschaftsexpert*innen im Rahmen der Interviews zusätzliche mögliche SFs genannt, die in der Bewertungsmethode nicht berücksichtigt wurden. Daher wird empfohlen, diese Faktoren in weiteren Studien mit einem ähnlichen Forschungsdesign miteinzubeziehen, um ein Verständnis über deren Auswirkungen auf CBMs zu entwickeln. Zukünftige Studien könnten an dieser Arbeit anknüpfen, indem sie die identifizierten Zusammenhänge der SFs und der CBMs in einer breiteren Stichprobengröße untersuchen, um die Generalisierbarkeit der Ergebnisse zu prüfen. Des Weiteren wäre es interessant, die Auswirkungen der SFs auf die CBMs sowie die gegenseitige Beeinflussung der CBMs untereinander in der Praxis zu erforschen, um ein umfassenderes Verständnis der zugrundeliegenden Prinzipien und Mechanismen zu erlangen. Zur Vertiefung in die Forschung bzgl. der Auswahl von CBMs für KMUs wäre außerdem für weitere Studien die Identifikation von spezifischen Kriterien, die KMUs bei der Auswahl von CBMs beeinflussen, relevant. Dadurch kann die Entscheidungsumgebung von KMUs intensiver beleuchtet und ein einheitliches Verständnis über externe Einflussfaktoren generiert werden.

7 Anhang

In diesem Abschnitt werden die Zusammenfassungen der Interviews aus Phase eins, bei der Kreislaufwirtschaftsexpert*innen zur Validierung und Gewichtung der SFs befragt wurden sowie der Interviews aus Phase zwei, bei denen die CBMs anhand der SFs durch Entscheidungsträger*innen von KMUs im Maschinen-, Fahrzeug-, und Anlagenbau bewertet wurden, offengelegt. Im Sinne der Übersichtlichkeit wird die Zusammenfassung der zweiten Interviewphase je CBM strukturiert.

7.1 Zusammenfassungen Interviewphase 1

7.1.1 Experteninterview – Person 1

Position: Forschung im Bereich für Montageplanung und Assistenzsysteme Geschäftsbereich Arbeitsgestaltung und Digitalisierung

Ein kreislauforientiertes Produkt- und Verpackungsdesign ist maßgeblich für die Eignung von Produkten für kreislaufwirtschaftliche Strategien wie z.B. das Remanufacturing. Zwar gibt es einige wenige Produkte, die nicht kreislauffähig gestaltet werden können, jedoch haben die meisten Produkte ein hohes Potential, um bereits in der Entwicklungsphase die notwendigen Akzente dafür zu setzen. In den nächsten Jahren wird es wahrscheinlich zum Umdenken der Hersteller kommen, bei dem die Orientierung vom reinen Produktabsatz in Richtung Dienstleistungsorientierung kommen wird. Einige Maschinenbau-Unternehmen verbinden ihre Anlagen bereits mit Serviceverträgen, wodurch deren Lebensdauer verlängert wird. Daher ist die Verbindung von Produkten mit Dienstleistungs- und Servicevereinbarungen von besonderer Bedeutung, um ein Unternehmen erfolgreich in Richtung CE umzuwandeln.

Die meisten für CE-Praktiken erforderlichen Technologien sind bereits vorhanden, werden jedoch noch nicht großflächig genutzt. Daher sind Technologien zur Mechanisierung kreislaufwirtschaftlicher Strategien mit geringfügigerer Wichtigkeit einzuschätzen, da der Fokus mehr in Richtung Dienstleistungsorientierung gehen sollte. Digitale Technologien bspw. zum Tracking von Produkten und Materialien, wie Produkt- und Materialpässe, um bspw. nachvollziehen zu können im wievielten Kreislauf sich diese befinden, wird zunehmend wichtiger und sind daher für die erfolgreiche Umsetzung von CBMs als wichtig einzustufen. Separate Abfallsammlungs- und Produktrückführungssysteme sind ein sehr wichtiger Faktor für CBMs da in den letzten Jahren in diese Thematik zu wenig investiert worden ist, obwohl die Rückwärtslogistik und das Abfallmanagement hohe Optimierungs- und erhebliche Kosteneinsparungspotentiale aufweisen.

Der Einsatz erneuerbarer Energien ist für CBMs von geringfügiger Wichtigkeit, da viele Unternehmen in erster Linie beim Thema CE an diesen Faktor denken, jedoch nicht dabei berücksichtigen ihre internen Prozesse CE-orientiert zu gestalten. Die Energiewende ist aus der Perspektive der Nachhaltigkeit sehr wichtig, jedoch sollte dieser Faktor für die Entwicklung bzw. Umstellung auf CBMs nicht als oberste Priorität angesehen werden. Der Einsatz regenerativer und wiederverwertbarer Materialien ist wichtig, um kreislauffähige Produkte zu erstellen, da dadurch auch das Produktdesign beeinflusst wird. Die meisten Unternehmen sind bereits auf eine optimale Ressourcennutzung und Abfallreduktion ausgerichtet. Dieser Faktor sollte jedenfalls für die Umsetzung von CBMs weiterhin fokussiert werden.

Die kreislaufwirtschaftsorientierte Ausbildung der Mitarbeiter*innen ist ein wesentlicher SF zur erfolgreichen Entwicklung bzw. Umsetzung von CBMs, da die Unwissenheit über neue Prozesse und wie diese ordnungsgemäß umzusetzen sind häufige Hindernisse darstellen. Eine kreislaforientierte Aufklärung von Verbraucher*innen und Partner*innen ist ebenfalls ein sehr wichtiger Faktor, da durch die Sensibilisierung und Motivation dieser Sektoren die Akzeptanz gegenüber der CE erhöht werden kann. Die Kreislauffähigkeit beruht auf der Rückführung von Produkten. Je besser das kollaborierende Netzwerk, desto besser können die Produkte zurückgeführt werden. Daher ist die Zusammenarbeit und Kollaboration mit allen internen und externen Interessensgruppen von essentieller Wichtigkeit.

Einer separaten Bereitstellung von internen Finanzmitteln sollte große Aufmerksamkeit geschenkt werden, um (Vorab-) Investitionen für den Übergang zu einem CBM in der Folgeperiode finanziell abzusichern. Damit verbunden ist auch die finanzielle Unterstützung durch die Interessensgruppen und die Politik.

7.1.2 Experteninterview – Person 2

Position: Forschung im Bereich für Soziale Ökologie an einer österreichischen Universität.

Ein kreislaforientiertes Produkt- und Verpackungsdesign sowie die Verbesserung der Funktionalität dieser Produkte durch Dienstleistungen haben für die Umsetzung kreislaufwirtschaftlicher Prinzipien einen sehr hohen Stellenwert. Es sollte dabei untersucht werden, welche Dienstleistungen nutzerseitig erforderlich sind, welche Dienstleistungsempfänger damit bedient werden sollen und welche Alternativen es dazu gibt und wie diese Servicealternativen im Vergleich abschneiden. Dazu ist eine gemeinsame Erarbeitung des Dienstleistungskonzeptes mit dem Kundensegment erforderlich.

Kreislaufwirtschaftliche Strategien verfolgen das Prinzip die Bedürfnisse mit möglichst wenig Materialeinsatz zu befriedigen. Diesbezüglich muss abgewogen werden, ob

dazu neue Technologien erforderlich sind oder ob dieses Ziel auch durch andere Maßnahmen erreicht werden kann. Daher ist dieser SF vorerst zweitrangig. Digitale Technologien können dazu genutzt werden, um Ressourcenströme besser zu überwachen und zu optimieren. Jedoch muss dabei berücksichtigt werden, dass diese Technologien oftmals große Server-Systeme benötigen und auch dementsprechend energieintensiv sind. Digitale Technologien, die zur Reduktion und nicht zu einer Erhöhung des Ressourcenverbrauches führen sind ein wichtiger SF für CBMs. Ein geeignetes Produktdesign, welches präventiv den Einsatz von kritischen Rohstoffen reduziert würde die Notwendigkeit von separaten Abfallsammlungs- und Produktrückführungssystemen vermindern. Es sollte auf Präventivmaßnahmen wie Produktgestaltung und Services gesetzt werden. Das Management von Abfall- und Rückführungslogistik nimmt deshalb eine sekundäre Priorität ein.

Der Einsatz erneuerbarer Energien nimmt eine hohe Wichtigkeit ein, jedoch muss dabei immer im Einzelfall bewertet werden, auf welche Energiequellen dabei zurückgegriffen wird. Für manche erneuerbare Energiequellen sind seltene Erden erforderlich, bspw. bei Solarpanelen. Ein zentrales Thema dabei sollte auch sein wie mit Grenzen in Bezug auf der Knappheit dieser seltenen Erden und deren Versorgungssicherheit umgegangen wird. Die Rahmenbedingungen für die Versorgung mit erneuerbaren Energien ändern sich laufend. Bei der Auswahl von CBMs ist diese Veränderlichkeit mit einer entsprechenden Risikobewertung zu berücksichtigen. Der Einsatz regenerativer und wiederverwertbarer Materialien hängt ebenso wie bei erneuerbaren Energien von der Art und Menge der eingesetzten Materialien und den dafür erforderlichen Energiebedarf ab. Werden biobasierte Materialien in einer zu hohen Menge eingesetzt, besteht die Gefahr, dass dadurch dieselben ökologischen Auswirkungen ausgelöst werden wie bei nicht-erneuerbaren Materialien. Es kommt darauf an, mit welchem Energieaufwand und Ressourceneinsatz die Wiederverwertbarkeit möglich ist. Die optimale Ressourcennutzung und Abfallreduktion sind sekundär, da der Fokus zuerst auf die Strategie gelegt werden sollte. Evidenzmaßnahmen sollten erst gesetzt werden, nachdem sich ein Unternehmen im Klaren ist, wie es zu einer kreislauffähigeren Gesellschaft beitragen kann.

Die kreislaufwirtschaftsorientierte Ausbildung, Aufklärung und Motivation ist ein wesentlicher SF, da die Motivation und Qualifikation der Interessensgruppen wichtig sind, um ein möglichst optimiertes System zu entwickeln. Die Zusammenarbeit und Kollaboration mit Partner*innen, Politik und Kund*innen ist von sehr großer Bedeutung, um gemeinsam ein kreislaufwirtschaftliches Ökosystem zu gestalten. Geeignete Dienstleistungen zur Erhöhung der Funktionalität und Erweiterung der Produktlebensdauer können nur entwickelt werden, wenn man mit Kund*innen in einem intensiven Austausch steht.

Bei den SFs der Dimension Wirtschaftlichkeit und finanzielle Nachhaltigkeit geht es stark um die Umgestaltung der grundsätzlichen Rahmenbedingungen. Die separate Bereitstellung interner Finanzmittel sowie die finanzielle Unterstützung durch Interessensgruppen und Politik sind als wichtige SFs für CBMs einzustufen.

Ergänzend zu den genannten SFs ist ein weiterer möglicher SF für CBMs, dass die gesamte Lieferkette aus kreislaufwirtschaftlichen Gesichtspunkten optimiert wird. Der Fokus sollte von der Optimierung eigener Strukturen hin zum Systemdenken wandern. Unternehmen sollten auf notwendige Änderungen im regulatorischen System aufmerksam machen, damit kreislauffähige Lösungen leichter möglich werden.

7.1.3 Experteninterview – Person 3

Position: Circular Economy Expert, Executive Director und Academic Programm Director für Sustainable Finance bei einem Forum für Kreislaufwirtschaft.

Jedes Unternehmen sollte in erster Linie sein Produktsortiment überprüfen, ob dieses die Anforderungen für kreislauffähige Produkte (Haltbarkeit und Widerstandsfähigkeit, Reparier- und Wartungsfähigkeit, Aufrüstbarkeit, Kompatibilität etc.) erfüllt. Wenn dies nicht der Fall ist, sollte evaluiert werden wo angesetzt werden muss, sei es bei den Prozessen, bei der Materialbeschaffung oder bei der Gestaltung der Produkte, um dies zu ermöglichen. Der Weg hin zur CE geht über das Produkt. Daher ist dieser SF für CBMs von zentraler Bedeutung.

Eine Verbindung der Produkte mit Dienstleistungs- und Servicevereinbarungen hat für KMUs einen höheren Komplexitätsgrad. Einzelne Unternehmen stoßen dabei relativ schnell an ihre Grenzen, da sich die Fragen ergeben, ob diese Dienstleistungen selbst durchgeführt werden sollen, wie die Produkte wieder zurück zum Unternehmen kommen und welche Ressourcen und Kompetenzen dafür erforderlich sind. Eine Erweiterung des bestehenden BMs durch Dienstleistungen, wie bspw. Wartungs- und Reparaturservices ist gerade für KMUs mit einer erhöhten Kapitalbindung verbunden, da diese Services z.B. einen hohen Lagerbestand an Ersatzteilen erfordern. Daher sollten Unternehmen diesen SF erst in einem fortgeschrittenen Stadium der Geschäftsmodellentwicklung in Richtung CE fokussieren.

Die Technologien zur Mechanisierung und Digitalisierung kreislaufwirtschaftlicher Strategien sind Unterstützungstechnologien für CBMs. Sie sind ein Mittel, um Kreisläufe zu optimieren, aber nicht um ein Unternehmen in Richtung CE zu transformieren. Diese Technologien haben ein großes kreislaufwirtschaftliches Potential, aber nur dann, wenn sie nicht in linearen Modellen sondern auf Kreisläufe angewendet werden.

In erster Linie sollte es in einer gelebten CE keine Abfälle mehr geben, sondern nur Restwertstoffe, die unter Anwendung geeigneter Technologien in hoher Qualität und

ausreichender Quantität zurückgeführt und sinnvoll in Kreisläufe eingebracht werden. Hierbei geht es um logistische Prozesse aber auch um marktwirtschaftliche Aspekte, denn aktuell ist es billiger Primärmaterialien zu beschaffen als aufwändige, kostenintensive Sammel- und Separationsprozesse einzuführen. Daher ist dieser Faktor, wie schon die Technologien und die Verbesserung der Funktionalität der Produkte durch die Verbindung mit Dienstleistungen nachgereicht und es sollte die Strategie, wie das Produkt gestaltet werden muss, um kreislauffähig zu sein, priorisiert werden.

Der Einsatz erneuerbarer Energien ist von großer Wichtigkeit, jedoch sollte das derzeitige Ausmaß an Energieverbrauch nicht in „erneuerbar“ gedacht werden, sondern auch der Energieeinsatz, gerade in Bereichen wo es nicht erforderlich ist, reduziert werden. Regenerative, wiederverwendbare und wiederverwertbare Materialien hängen unmittelbar mit einem kreislauforientierten Produktdesign zusammen, wodurch dieser SF eine sehr große Wichtigkeit für CBMs einnimmt.

Eine kreislaufwirtschaftsorientierte Ausbildung, Aufklärung und Motivation ist von sehr hoher Wichtigkeit, um die Gesellschaft und die Produktions- und Konsummuster auf die CE vorzubereiten. Der Fokus sollte nicht nur auf die Ausbildung der Mitarbeiter*innen sondern auch auf die kontinuierliche Weiterbildung der Personen, die aktuell in entscheidenden Positionen sind, liegen, um so schnell wie möglich den Wandel zu initiieren. Um die CE zu ermöglichen und zu intensivieren, braucht eine Kreislaufgesellschaft und vor allem eine Politik, die Rahmenbedingungen durch Anreize und Regulatorien setzt. Dazu braucht es eine engere Zusammenarbeit mit Partnern, Politik und der Gesellschaft.

Gerade KMUs operieren aus finanzieller Sicht sehr oft an ihren Grenzen. Daher ist die separate Bereitstellung interner Finanzmittel für den Veränderungsprozess für CBMs von sehr großer Wichtigkeit. Darlehen sind ein sehr wichtiges politisches Mittel. Gerade um CE-Fähigkeit in größeren Industrie-Bereichen zu ermöglichen, werden „*Public-Private-Partnership*“-Projekte benötigt, um das Risiko für private Investoren zu reduzieren. Anstatt auf finanzielle Anreize für kreislauforientierte Produkte sollte auf Konzepte wie eine höhere CO₂ – Steuer gesetzt werden. Dadurch wird die Verwendung von Sekundärmaterialien sowie die Entwicklung von Rückwärtslogistikketten im Vergleich finanziell attraktiver und bspw. auch die Reparatur von Produkten billiger als das Recycling von deren Materialien.

7.1.4 Experteninterview – Person 4

Position: Circular Economy Expert und CE-Berater.

Das kreislauforientierte Produktdesign ist ein sehr wichtiger SF für CBMs, da die darauf aufbauenden und damit verbundenen Dienstleistungen danach orientiert werden können. Gerade bei der Entwicklung der Produkte liegen die günstigsten Hebel vor, um die darauffolgenden Prozesse in Richtung CE umzuwandeln. Die Verbindung der Produkte mit Dienstleistungs- und Servicevereinbarungen ist ein sehr wichtiger SF und führt zu einem besseren Verständnis über die technischen Eigenschaften, die Haltbarkeit und anwendungstechnischen Details der Produkte, wodurch neue Geschäftsmöglichkeiten entwickelt werden können. Durch diese Form des Informationskreislaufes bekommen Unternehmen nützliches Feedback aus der Nutzung, ohne dass eine Marktforschung erforderlich ist.

Die technologische Modernisierung und Entwicklung effizienter Technologien, um kreislaufwirtschaftliche Strategien umzusetzen, sind von nachgelagerter Wichtigkeit, da der technologische Fortschritt bereits viele dieser Strategien ermöglicht. Unternehmen, die diese Kompetenzen nicht aufweisen können, sollten sich vorerst auf ein Netzwerk konzentrieren, um diese notwendigen Prozesse auf externe Dienstleister auszulagern. Abfallsysteme zur Trennung kritischer Rohstoffe sind mit einem gewissen Aufwand für Unternehmen verbunden. In Zukunft wird es wahrscheinlich ausgereifere Sammelsysteme geben, jedoch ist dieser Aspekt nicht der SF, der bei der Umsetzung von CBMs direkt unterstützen wird.

Der Einsatz erneuerbarer Energien ist ein wichtiger SF für CBMs und es sollte auch der Fokus auf diese Energiequellen gelegt werden. Denn dadurch ist es für Unternehmen auch möglich energieintensivere Kreislaufprozesse (z.B.: Recycling) in Erwägung zu ziehen, ohne im Vergleich zu fossilen Brennstoffen, hohe Emissionen zu verursachen. Regenerative und wiederverwendbare bzw. wiederverwertbare Materialien hängen unmittelbar mit dem kreislauforientierten Produktdesign zusammen. Bspw. ist es wenig sinnvoll ein Produkt modular oder mit längerer Haltbarkeit zu gestalten, wenn am Ende deren Materialien entsorgt werden. Daher sollte dieser Faktor ebenfalls mit sehr hoher Wichtigkeit betrachtet werden. Die Optimierung der Energie- und Ressourcennutzung ist wichtig, aber im Kontext der CE ist dieser Faktor nicht als ein wichtiger Treiber einzustufen. Unternehmen sind schon seit Jahren dabei, ihre Material- und Energieeffizienz zu optimieren. Eine weitere Orientierung in diese Richtung ist auf alle Fälle für die CE zweckdienlich.

Für die Ausrichtung des Unternehmens auf die CE sind die kreislauforientierte Aus- und Weiterbildung sowie die Aufklärung und Motivation aller Interessensgruppen von besonderer Bedeutung. Dadurch kann eine gemeinsame Entwicklung von zirkulären Lösungen begünstigt werden. Ein geschlossener Kreislauf kann durch ein einziges

Unternehmen nicht entwickelt werden. Vielmehr müssen Unternehmen Wertschöpfungsnetzwerke in Zusammenarbeit mit Partnern und Politik gestalten und regulatorische Fragestellungen klären.

Wenn CE-Lösungen in kleinen Schritten intelligent und agil geplant bzw. umgesetzt werden, braucht es keine Bereitstellung von hohen Budgets, denn der finanzielle Aufwand wird in diesem Fall schnell durch den Erfolg des CBMs ausgeglichen. Natürlich braucht es Business Cases, um festzustellen, warum sich eine Investition lohnt.

Ein möglicher zusätzlicher SF für CBMs wäre, dass Unternehmen sich auf die Analyse ihrer Umwelt sowie deren eigenen Kapazitäten und Fähigkeiten fokussieren sollten, um abwägen zu können, welche CE-Strategien für ihr Unternehmen möglich sind, anstatt auf den nächsten Trend aufzuspringen.

7.1.5 Experteninterview – Person 5

Position: Leiter des Forschungsbereiches für Abfallwirtschaft und Ressourcenmanagement an einer österreichischen Universität.

Das kreislaforientierte Produktdesign, bspw. Design für Recycling, ist ein sehr wichtiger SF für CBMs, da dadurch die meisten darauffolgenden Prozesse erst ermöglicht werden. Die Verbindung von Produkten mit Dienstleistungs- und Servicevereinbarungen ist nicht so hoch einzuschätzen wie das kreislaforientierte Produktdesign, da dadurch nicht immer positive Effekte gegeben sind. In manchen Fällen ist es vorteilhafter, ein Produkt durch eine neue, effizientere Alternative zu ersetzen. Bspw. ist es bei alten Kühlschränken besser, diese nicht so lange wie möglich funktionstauglich zu halten, während ein neuer Kühlschrank wesentlich energieeffizienter ist.

Die Primärproduktion ist höchst komplex. Dem gegenüber steht die Abfallwirtschaft, die derzeit noch von eher primitiven Technologien (Shreddern, Magnetabscheider etc.) geprägt ist. Um CE-Strategien umzusetzen, bei denen große Mengen an Ressourcen in den Kreislauf zurückfließen, muss die Abfallwirtschaft definitiv aufgerüstet und Technologien mit einem ähnlichen Komplexitätsgrad entwickelt werden. Digitale Technologien haben einen starken Konnex mit dem Informationserhalt bzw. der Informationsgewinnung. Gerade digitale Materialpässe sind erforderlich, um Kenntnisse über die Zusammensetzungen entsorgter Produkte und Materialien zu erhalten. Eine der wichtigsten Ressourcen ist Information. In der nachgereihten Materialwirtschaft geht die materielle bzw. stoffliche Information leider oftmals verloren. Digitale Technologien gelten als Instrumente, die in Zukunft bei der Beschaffung dieser Informationen unterstützen werden. Separate Abfallsammlungs- und Produktrückführungssysteme sind dem entgegen eher limitiert zu betrachten. Die

Erhöhung der Zirkularität muss über Technologien stattfinden und weniger über verschiedene Abfallsammlungsschienen. Es existiert eine Vielzahl an Produkten unterschiedlicher Art und dieses Problem kann nicht allein durch Sammelsysteme bewältigt werden.

Der Einsatz erneuerbarer Energien ist als umweltschützende Maßnahme wichtig, aber für ein CBM eher von geringfügiger Bedeutung, da im Prinzip auch lineare Systeme mit erneuerbaren Energieträgern betrieben werden können. Regenerative Materialien sind hingegen von sehr hoher Bedeutung für CBMs. Die Erhöhung der Material- und Energieeffizienz ist wichtig, jedoch sind die meisten Produktionsbetriebe heutzutage schon so weit optimiert, dass vielleicht noch maximal 5-10 Prozent Effizienzsteigerung möglich ist – daher ist dieser Faktor im Vergleich zu anderen mit nachgereihter Priorität zu betrachten.

Die kreislauforientierte Aus- und Weiterbildung sowie Aufklärung und Motivation der Interessensgruppen genauso wie die kollaborative Zusammenarbeit sind durchaus wichtig. Die Problematik liegt nicht beim Wissensstand über die CE und zirkuläre Prozesse oder bei der Zusammenarbeit, sondern bei der Fähigkeit zur Umsetzung der Unternehmen. Das Wirtschaftssystem muss diese Umstellung verlangen, denn schlussendlich müssen Unternehmen wirtschaftlich handeln und eine Umstellung vom derzeitigen linearen zu einem zirkulären Wirtschaftssystem ist schwierig.

Die Hauptaktivitäten müssen von den Unternehmen selbst kommen. Unternehmen müssen die Initiative ergreifen und Budgets bzw. Rückstellungen einplanen, um den Übergang zu einem zirkulären Produktions-/Geschäftsmodell finanziell abzusichern. Natürlich ist diese Umstellung aus finanzieller Sicht nicht immer von den Unternehmen allein bewältigbar, wodurch diese auch bspw. auf Förderungen angewiesen sind. Jedoch sollte die Initiative nicht erst aufgrund von in Aussicht gestellten Förderungen ergriffen werden.

Ein zusätzlicher SF könnte die Reduktion der Komplexität der Produktzusammensetzungen sein. Ein wesentliches Problem ist, dass die Produkte, die heutzutage produziert werden, einen immer höheren Komplexitätsgrad haben. Je komplexer die Zusammensetzung, desto schwieriger wird am Ende des Produktlebens die Wiederverwertung (Recycling).

7.1.6 Experteninterview – Person 6

Position: Vertreter des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie Österreich

Das Produktdesign ist ausschlaggebend dafür, ob ein Produkt reparierbar, langlebig oder wiederverwertbar ist. Die Produktkonzeption bildet die Grundlage für alle nachgelagerten kreislaufwirtschaftlichen Prozesse und Methoden. Daher ist das

kreislauforientierte Produktdesign für CBMs von sehr großer Bedeutung. Wenn ein Unternehmen bspw. Eigentümer der Produkte verbleibt, dann ist es auch im eigenen Interesse die Qualität optimal zu halten. Daher ist die Verbindung von Dienstleistungs- und Servicevereinbarungen ein sehr wichtiger SF für CBMs.

Digitale Technologien zur Erhöhung der Zirkularität entlang der Wertschöpfungskette sind ein wesentlicher SF für CBMs. Angesichts derzeitiger Analysen und Studien ist die Digitalisierung nach wie vor ein Megatrend, der auch mit der CE und CBMs unmittelbar verknüpft ist. Separate Abfallsammlungs- und Produktrückführungssysteme sowie Technologien zur Mechanisierung kreislaufwirtschaftlicher Strategien sind dem gegenüber von sekundärer Wichtigkeit. Denn wenn die Produkte und die CBMs intelligent konzipiert sind, dann kommen derartige technische Aspekte quasi als „Add-Ons“ dazu.

Die Ressourcen- und Energieeffizienz, der Wirkungsgrad und die Regenerierbarkeit der eingesetzten Materialien sind die dominierenden Fragestellungen gegenüber der Energiebasis. Daher ist der Einsatz von erneuerbaren Energien mit einer geringfügigen Wichtigkeit zu betrachten. Die Ressourceneffizienz stellt das „Rückgrat“ der CE dar. In der CE geht es um die Erfüllung von Bedürfnissen. Die optimale Lösung ist die mit der besten Material- und Energieeffizienz, die uns am direktesten zur Erfüllung dieser Bedürfnisse führt.

Bei der Umstellung auf CBMs ist das Change-Management, also die Neuausrichtung des gesamten Unternehmens ein zentraler Faktor. Das zeigen auch die wissenschaftlichen Untersuchungen bei diesen Umstellungsprozessen. Wenn dabei keine klare Orientierung, Motivation der Mitarbeiter*innen oder ein sinnstiftender Hintergrund gegeben ist, dann ist die geplante Umstellung aussichtslos. Die Identifikation aller Beteiligten in einem Unternehmen mit dem neuen BM ist von größerer Bedeutung und für den Erfolg ausschlaggebender als die Abstimmung mit den Interessensgruppen. In Fällen, wo CBMs nicht zum Tragen gekommen sind, ist es immer an der internen Ausrichtung gescheitert und nie an der Überzeugung der Interessensgruppen und des Kundensegmentes. Natürlich ist die Zusammenarbeit wichtig, jedoch im Vergleich zur Unternehmenskultur ist dieser Faktor von nachgelagerter Wichtigkeit.

Wenn Unternehmen aus Überzeugung zu dem neuen BM stehen, dann ist dem beteiligten Management auch klar, dass die Investitionsflüsse in diese Richtung gesteuert werden müssen. Die finanzielle Unterstützung durch Interessensgruppen und Politik kann ausschlaggebend sein, jedoch initiiert der finanzielle Anreiz nicht den Umwandlungsprozess. Aus eigener Erfahrung war bspw. die Übernahme von Beratungskosten nie der maßgebende Faktor für die Änderung des BMs, sondern die Überzeugungskraft des BMs aufgrund dessen Vorteile. Daher sind diese beiden Faktoren mit geringfügiger Wichtigkeit einzustufen.

Ein zusätzlicher wichtiger SF könnten Aspekte des Change-Managements darstellen. Wenn ein Unternehmen auf CBMs umstellt, dann ändern sich fast alle Bereiche wie der Vertrieb, das Marketing, die Buchhaltung, die Produktion, etc. D.h. alle Ebenen des Unternehmens müssen sich auch damit identifizieren können. Es ist von großer Wichtigkeit, dass erste Erfolge sichtbar gemacht werden, dass die Ziele und der Weg dorthin klar kommuniziert werden und auch die SFs im gesamten Unternehmen bekannt sind. CBMs zeichnen sich dadurch aus, dass es keine „Verlierer“ mehr gibt, wenn Ressourcen effizient eingesetzt werden. Im linearen Modell verdient immer zumindest eine Partei am maximalen Produktabsatz. Bei CBMs profitiert jeder davon, dass Materialien und Produkte effizient eingesetzt werden. Dieser Aspekt ist für das Verständnis von CBMs von enormer Wichtigkeit.

7.1.7 Experteninterview – Person 7

Position: Director Circular Economy eines internationalen Unternehmens in den Bereichen Wirtschaftsprüfung, Steuerberatung, Rechtsberatung und Unternehmens- bzw. Managementberatung mit Sitz in Österreich

CE beginnt im Produktdesign. Ein kreislauforientiertes Produktdesign ist der essentielle Punkt, wo sich der zirkuläre Gedanke eindeutig von der traditionellen Abfallwirtschaft abhebt und wo der Fokus darauf liegt das Design des Produktes ökologischer zu gestalten und die Wiederverwendung, Reparatur etc. zu ermöglichen. Dabei sollte die Liste der Rohstoffe, Bauteile und Werkzeuge, die zur Herstellung eines bestimmten Produkts erforderlich sind, um den bspw. den Faktor des CO₂-Fußabdruckes erweitert werden. D.h. beim Design des Produktes sollten nicht nur Kosteneinsparungen durch geringeren Materialeinsatz (z.B. dünnere Wandstärken), sondern auch die Fußabdrucke der eingesetzten Materialien und Produkte in dem jeweiligen Land, wo das Lebensende erreicht wird, die Recyclingfähigkeit der Primärmaterialien sowie die Fußabdrucke durch Transport der Materialien von den jeweiligen Lieferanten einkalkuliert werden.

Die Verbindung des Produktes mit Service- und Dienstleistungsvereinbarungen wie bspw. Reparatur ist als wichtig einzustufen, da die Produktlebensdauer dadurch verlängert wird und sich dem Unternehmen neue Geschäftsmöglichkeiten durch die Erweiterung des Dienstleistungsportfolios eröffnen. Es ergibt sich die Möglichkeit für das produzierende Unternehmen den Kontakt zu den Kund*innen kontinuierlich aufrechtzuerhalten und dadurch die Kundenbeziehung zu intensivieren sowie sich als Partner zu etablieren. Am Beispiel des Product-as-a-Service Konzeptes ergibt sich durch bspw. einen monatlichen Abrechnungszyklus eine andere Kundenbeziehung. Über diese Form des Vertragsverhältnisses können Unternehmen dann auch die Produktrückführung sicherstellen.

Die Entwicklung von Technologien zur Mechanisierung kreislaufwirtschaftlicher Strategien ist von geringfügiger Wichtigkeit, da bis auf wenige Ausnahmen in Bezug auf Recycling-Technologien die Technologie dazu bereits vorhanden ist. Die wichtigste Botschaft ist, nicht auf die Technologie zu warten. Vielmehr ist das BM-Konzept ausschlaggebend und die Frage, wie man die Produkte wieder zurückführen kann. Daher sind Produktrückführungssysteme ein entscheidender SF für CBMs.

Der Einsatz erneuerbarer Energien ist sicherlich ein Hebel, um Emissionen und den CO₂-Fußabdruck zu reduzieren, jedoch hat dieser Faktor auf CBMs einen weniger wichtigen Einfluss. Für den Fußabdruck des Produktes oder der Materialzusammensetzung spielt der energetische Aufwand der Herstellung natürlich eine große Rolle, jedoch kann es in manchen Fällen auch Sinn machen bestimmte Produkte mit höheren Emissionen zu produzieren, solange die Lebensdauer des Produktes bzw. Materials maximal verlängert wird und damit die gesamte CO₂-Bilanz des Produktes positiv bleibt.

Der Einsatz regenerativer Materialien, im speziellen biobasierter anstatt fossil-basierter Materialien bewirkt einerseits, dass der CO₂-Fußabdruck reduziert und andererseits Möglichkeiten geschaffen werden, um die Materialien wiederzuverwenden oder wiederzuverwerten und dadurch eine höhere Effizienz zu erreichen. Dieser Faktor ist jedoch sehr sektorspezifisch. Im Bereich der Verpackungs- oder Textilindustrie haben diese Materialien hohes Potential, aber bspw. im Anwendungsfall von Aluminium ist die Substitution schwer bzw. gar nicht möglich.

In der Abgrenzung von einem linearen zu einem zirkulären System ist die optimale Ressourcennutzung und Abfallreduktion kein wesentlicher SF. Denn auch im linearen Wirtschaftsmodell sind Qualitätsverbesserungen, Produkt- und Prozessoptimierungen, etc. bereits klassische Produktionskennzahlen auf denen aktuell schon der Fokus liegt. Im Vergleich zu den Faktoren des Produktdesigns, der Materialauswahl und der Produktrückführung ist dieser SF für CBMs als geringfügig wichtig zu betrachten.

Solange keine etablierten Metriken oder Industrie-Standards existieren, die zur Transparenz der Kreislauffähigkeit eines Produktes für Verbraucher*innen führen, fehlt momentan für die bewusste Kundenentscheidung bzgl. kreislauffähiger Produkte jegliche Grundlage. Auf Kunden-Lieferanten-Ebene wird der Druck größer, da große Konzerne definitiv gewisse Quoten einfordern werden oder selbst transparent machen müssen. Im Fokus auf kreislaufwirtschaftliche SFs ist natürlich Aufklärungsarbeit erforderlich, jedoch ist die Aus- und Weiterbildung, Aufklärung und Motivation aller Beteiligten mit geringfügiger Wichtigkeit zu betrachten.

Die Zusammenarbeit und Kollaboration mit Partnern und Lieferanten der vor- und nachgelagerten Wertschöpfungskette ist wichtig, um die notwendigen kreislauffähigen

Prozesse zu entwickeln. Auch die Politik ist gefragt regulatorische Befähiger zu gestalten, um die Attraktivität der CE zu erhöhen. Auf der Kunden-Lieferanten-Ebene muss dazu definitiv etwas gemacht werden. Reduziert man diesen Faktor auf Netzwerke und Technologie-Partnerschaften ist dieser Faktor mit geringfügiger Wichtigkeit zu bewerten, denn an vielen Stellen sind zirkuläre Praktiken bereits möglich. Worauf es ankommt, ist die Motivation diese auch in die BMs zu integrieren.

Die Entwicklung bzw. Umsetzung von CBMs ist ein transformativer Prozess, der Strukturumwandlungen und damit verbundene Investitionen erfordert. Jedoch braucht es auch einen Business Case zur Begründung des erforderlichen Budgets. Dieser wird entweder extern durch neue Marktanteile, Kundenschichten oder CO₂-Umlagen oder bspw. durch unternehmensinterne Festlegung eines fiktiven Preises für CO₂-Reduktionen getrieben. Darauf aufbauend kann ein zirkulärer Business Case aufgebaut werden, um bspw. aufzuzeigen welche Menge an CO₂ pro Jahr eingespart werden kann.

Die finanzielle Unterstützung durch Interessensgruppen und Politik ist zweckdienlich als regulatorischer Impuls in Richtung CE. Die Vergangenheit hat gezeigt, dass in den Bereichen der Verpackungslizenzierung und des Recyclings an regulatorischen und externen Finanzierungsanschüben erforderlich sind. Jedoch sollte der Entschluss zum Wandel durch unternehmerische Entscheidungen erfolgen und nicht durch Entscheidungen, die durch externe Impulse getroffen werden.

Ein möglicher zusätzlicher SF für CBMs ist die wirtschaftliche und ökologische Erfolgsmessung eines CBMs anhand eines Business Cases, bspw. durch einen unternehmensinternen, fiktiven CO₂-Preis. Dieser beinhaltet bspw. die Messung der Reduktion des CO₂-Fußabdruckes des Produktes, Life-Cycle-Analysen, etc.

7.1.8 Experteninterview – Person 8

Position: Universitätslektor am Institut für Fertigungstechnik und Photonische Technologien einer österreichischen Universität.

Das kreislauforientierte Produktdesign und die Verbindung der Produkte mit Dienstleistungen bzw. Services sowie deren verschiedensten Kombinationen sind Teil der Unternehmensstrategie und somit entscheidende Faktoren zur mittel- und langfristigen Positionierung eines Unternehmens. Eine Neuausrichtung der Strategie ist ein langwieriger Prozess. Die kreislauforientierte Produktentwicklung bietet die Möglichkeit, kurzfristig geeignete Maßnahmen zu setzen, um langfristig Dienstleistungen, wie Wartung und Reparatur einführen zu können.

Technologien zur Mechanisierung kreislaufwirtschaftlicher Strategien sowie digitale Technologien sind ein förderlicher SF für CBMs, entspreche jedoch nicht demselben Wichtigkeitsgrad wie die strategische Ausrichtung durch das Produktdesign und

zusätzliche Dienstleistungen. Analog dazu sind separate Abfallsammlungs- und Produktrückführungssysteme wichtige SFs für CBMs.

Der Einsatz erneuerbarer Energien ist kurzfristig als wichtig und mittelfristig als sehr wichtig einzustufen, weil es in den nächsten Jahrzehnten keine fossilen Energien mehr geben wird. Für Unternehmen führt daher kein Weg daran vorbei auf erneuerbare Energiequellen zu setzen. Für die Erreichung von Nachhaltigkeitszielen sind erneuerbare Energien erforderlich, jedoch ist nicht notwendig die zur Herstellung der Produkte eingesetzten Materialien großflächig durch regenerative bzw. wiederverwertbare Materialien zu substituieren. Vielmehr sollte auf eine höhere Wiederverwertbarkeit und -verwendbarkeit der Materialien gesetzt werden. In manchen Fällen wie bspw. bei Schmiermitteln macht es Sinn biobasierte Materialien einzusetzen, um Umweltbelastungen einzusparen. Im Vergleich zu erneuerbaren Energien ist dieser Faktor jedoch nicht so entscheidend und ist als geringfügig wichtig einzustufen. Die optimale Ressourcennutzung und die Abfallreduktion sind von sehr großer Bedeutung. Mittel- und langfristig gesehen sollten Unternehmen darauf abzielen, ihre Produkte und Prozesse so zu gestalten, dass wenig bis gar kein produktionsbedingter Abfall mehr entsteht.

Aus eigenen Erfahrungen sind viele Ideen, die realisiert wurden, nicht vom Management oder aus der Forschung gekommen, sondern von Mitarbeiter*innen. Die Einbindung der Mitarbeiter*innen in Veränderungsprozesse ist daher von essentieller Bedeutung und vermittelt der Belegschaft das Gefühl der Wertschätzung. Die überbetriebliche Zusammenarbeit wird bspw. im Zusammenhang mit künftigen Energiesystemen sowie der gemeinsamen Gestaltung von Materialkreisläufen in Zukunft immer wichtiger. Durch eine engere Zusammenarbeit und den kontinuierlichen Wissensaustausch kann das Verständnis für Produktionsprozesse wesentlich verbessert werden.

Die bevorstehende Transformation der Unternehmen in Richtung CE wird große Investitions-Erfordernisse mit sich bringen. Für Betriebe macht es auf alle Fälle Sinn Vorkehrungen dafür zu treffen. Jedoch sollte dies nicht als notwendiges Übel, sondern als Investition in die Zukunft des Unternehmens gesehen werden. Denn die CE bietet nicht nur ökologische, sondern vor allem auch ökonomische Vorteile. Genauso wichtig ist die finanzielle Unterstützung durch Interessensgruppen und Politik. Jedoch sollten Betriebe nicht erst dann die Initiative ergreifen, wenn es dazu die richtige Subvention gibt, denn dadurch könnten der richtige Zeitpunkt versäumt und Wettbewerbsvorteile verspielt werden.

Ein zusätzlicher SF für CBMs könnte die strategische Positionierung des Unternehmens bzgl. der Produktausrichtung und Kundenbeziehung sein. Unternehmen müssen sich die Frage stellen, wo sie in 5-10 Jahren stehen und welches Kundensegment sie bedienen wollen.

7.1.9 Experteninterview – Person 9

Position: Global Lead Circular Economy and Packaging eines deutschen Unternehmens in der Konsumgüter- und Klebstoffindustrie.

Das kreislauforientierte Produktdesign ist das wichtigste Kriterium, damit die Zirkularität von Produkten und Materialien überhaupt erreicht werden kann. Wenn in der Phase der Produktentwicklung nicht schon darüber nachgedacht wird, was mit den Produkten und deren Materialien am Ende ihres Lebenszyklus passiert bzw. wie sie danach weiter genutzt werden können, dann kann nicht in Kreisläufen gedacht werden. Daher ist dieser Faktor von sehr großer Wichtigkeit. Die Verbesserung der Funktionalität und die Erweiterung der Produktlebensdauer durch die Verbindung von Produkten mit Dienstleistungen wie Reparatur, Wartung sowie Aufbereitung ist ein weiterer sehr wichtiger SF und ist mit dem kreislauforientierten Produktdesign unmittelbar verknüpft. Wenn ein kreislauforientiertes Produkt entwickelt wird, müssen sich Unternehmen auch überlegen, ob die Produkte für darauffolgende Services zerlegbar sind und ob Ersatzteile für Reparaturen bereitgestellt werden können.

Technologien zur Mechanisierung kreislaufwirtschaftlicher Strategien sind erforderlich, um Sekundärrohstoffe und neue Möglichkeiten zur Wiederverwendung und -verwertung zu organisieren. Jedoch ergibt sich dabei die Frage inwiefern KMUs zu diesem Aspekt Zugang haben. Denn dabei werden Ressourcen, finanzielle Mittel und auch Fähigkeiten im Unternehmen benötigt, die speziell für KMUs in der Regel begrenzt sind. Daher werden KMUs in dieser Hinsicht vermutlich keine Vorreiterrolle einnehmen können. Dennoch ist dieser Faktor mit sehr hoher Wichtigkeit einzustufen. In Bezug auf digitale Technologien muss es zu mehr Harmonisierung kommen. D.h. Unternehmen müssen sich vielmehr auf Zusammenarbeit sowie Datenpools und das Teilen von Informationen ausrichten, um das Optimum herauszuholen. Hier gibt es noch sehr hohes ungenütztes Potential, weil viele Unternehmen hinsichtlich des eigenen „*Intellectual Property*“ gehemmt sind Daten bereitzustellen. Eine weitere Problematik ist, dass es keine harmonisierten Standards gibt. Bspw. gibt es unzählige unterschiedliche Methoden von Lebenszyklus-Analysen, die miteinander nicht vergleichbar sind. Um erfolgreich in Richtung CE zu transformieren, muss es einen gemeinsamen, konsistenten Datenpool geben, damit einerseits der Erfolg messbar gemacht werden kann und wir andererseits besser voneinander lernen können. Insofern sind digitale Technologien ein sehr wichtiger SF, aber auch ein Aspekt, bei dem es noch sehr viel Nachholbedarf gibt.

Separate Abfallsammlungs- und Produktrückführungssysteme sind von großer Wichtigkeit, um Sekundärrohstoffe wieder in die Herstellungsprozesse zurückzuführen. Verwendete Rohstoffe, die nicht separat gesammelt werden, können nicht aus dem Abfall getrennt werden, wodurch diese auf der Mülldeponie landen und

somit nicht weiter- oder wiederverwendet werden können. Wenn die CE-Strategie auf Sekundärrohstoffe basiert, dann ist dieser SF von essentieller Bedeutung.

Klar ist, dass auf lange Sicht fossile Energiequellen durch erneuerbare Energien ersetzt werden müssen. Jedoch sollten sich Unternehmen vorwiegend auf die Neukonzeptionierung von Produkten und Produktionsprozessen fokussieren. Dennoch ist dieser Faktor für CBMs wichtig. Regenerative und wiederverwendbare bzw. wiederverwertbare Materialien sind direkt mit dem kreislauforientierten Produktdesign verknüpft. Wenn nicht in der Produktentwicklung geeignete Materialien gewählt werden, kann keine Wiederverwendung oder Wiederverwertung stattfinden. Insofern ist dieser Faktor sehr wichtig. Weiters müssen sich Unternehmen überlegen, wie sie ihr Geschäft aufsetzen und weiterentwickeln, um ihr Wirtschaftswachstum zu fördern und dabei weniger Ressourcen zu nutzen. Die Herausforderung dabei ist die Entkopplung des Wirtschaftswachstums von der Ressourcennutzung. Deshalb sind die optimale Ressourcennutzung und Abfallreduktion von sehr großer Bedeutung.

Um eine Änderung herbeizuführen, braucht es einerseits Fertigkeiten und Fähigkeiten der Mitarbeiter*innen und andererseits auch eine grundsätzliche Neuausrichtung des derzeitigen Wirtschaftsmodells sowie der Konsummuster. Die Kaufentscheidung wird von der Überzeugungskraft des Produktes, dem Preis-Leistungsverhältnis und vor allem von der Bequemlichkeit beeinflusst. Zur Bewältigung dieses Problems muss der Fokus auf Aus- und Weiterbildungen sowie auf eine verstärkte Aufklärung und Motivation gelegt werden, um die Gesellschaft dabei zu unterstützen vom linearen Konsummuster wegzukommen und sie zu motivieren, zirkuläre Alternativen zu konsumieren. Ein weiterer sehr wichtiger SF ist die Zusammenarbeit mit Lieferanten und Partnern in der vor- und nachgelagerten Lieferkette sowie mit der Politik.

Die Transformation hin zur CE bedeutet grundlegende Strukturänderungen. Dafür brauchen Unternehmen einen finanziellen Handlungsspielraum. Abgesehen von der Einplanung interner Finanzmittel müssen speziell für KMUs zusätzliche Fördermittel eingeführt werden, um diese dabei zu unterstützen die notwendigen Ressourcen zur Umsetzung der CE aufzubauen. Daher sind diese beiden Faktoren von sehr hoher Wichtigkeit.

Ein möglicher zusätzlicher SF ist, dass Unternehmen berücksichtigen müssen, ob durch ihre CE-Initiative ihre langjährigen Partnerschaftsbeziehungen beeinflusst werden. Dabei muss hinterfragt werden, ob die Partner fähig sind mit dem Unternehmen in Richtung CE gehen zu können.

7.1.10 Experteninterview – Person 10

Position: Abteilungsleiter im Bereich Kreislaufwirtschaft einer deutschen gemeinnützigen Forschungseinrichtung mit Schwerpunkt auf Klima-, Umwelt- und Energiethemen.

Der Faktor kreislauforientiertes Produktdesign ist von gewissen Unsicherheiten umgeben, da für viele Unternehmen nicht geklärt ist, welche Vorteile ihr Geschäft durch dieses Konzept erhält. Bspw. bedeutet Langlebigkeit auch oft weniger Umsatz und Reparierbarkeit kann zu höheren Umsätzen bei anderen Akteuren wie Reparaturdienstleistern führen, anstatt beim produzierenden Betrieb selbst. Wenn Unternehmen sich auf ein kreislauforientiertes Produktdesign konzentrieren, ohne ein entsprechendes BM mit bspw. Reparatur-Services entwickeln, übersteigen die Aufwände die Erträge, was zu Misserfolgen führt. Allgemein für die CE ist natürlich ein kreislauforientiertes Produktdesign ein sehr wichtiger Fokuspunkt, jedoch ist dieser Faktor im Zusammenhang mit CBMs als weniger wichtig einzustufen.

Eine verbesserte Funktionalität und längere Produktlebensdauer durch die Verbindung der Produkte mit Dienstleistungs- und Servicevereinbarungen sehe ich gerade für KMUs als Chance. Oftmals herrscht die Situation vor, dass Produkte relativ zu Grenzkosten veräußert werden. Durch die Einführung von Services können die Gewinnmargen erhöht werden. Daher ist dieser Faktor wichtig.

Technologien zur Mechanisierung kreislaufwirtschaftlicher Strategien sind ein wichtiges Thema für CBMs. KMUs haben bereits erkannt, dass durch die interne Kreislaufführung von Produktionsmitteln Kosteneinsparungen erwirkt werden können. Weil dieser Bereich früh erkannt wurde, sind m.E. nach im Bereich der Technologien nicht mehr so viele Potentiale, wodurch dieser Faktor für CBMs als geringfügig wichtig einzustufen ist.

Digitale Technologien sind gerade für KMUs ein wichtiger SF und bieten ein sehr hohes Potential, jedoch ist dieser Bereich noch relativ unausgereift. Es wurden eigene Erfahrungen aus Projekten gesammelt, wo die Entwicklung von Technologien wie bspw. der digitale Produktpass von Seiten der Europäischen Kommission unterstützt wird. Jedoch sind die umsetzenden Unternehmen meist große Unternehmen der Branche. Daher herrscht in diesem Bereich eine große Gefahr, dass KMUs vom Markt gedrängt werden, wenn diese hier nicht die Initiative ergreifen bzw. ihre Interessen berücksichtigt werden. Immer mehr Unternehmen erkennen den Sinn darin kritische Rohstoffe ihrer erstellten Produkte zurückzuführen und befassen sich mit der Entwicklung eigener Rücknahme- bzw. Pfandsysteme. Abfallsammlungs- und Produktrückführungssysteme sind nicht so wichtig wie die Digitalisierung, jedoch ist dieser Faktor zumindest mit geringfügiger Wichtigkeit zu betrachten.

Als SF für CBMs ist der Einsatz erneuerbarer Energien als weniger wichtig einzustufen. Viele KMUs versuchen klimaneutral zu werden und konzentrieren sich dabei verstärkt auf einen CO₂-neutralen Energie-Input. Für CBMs hat der Einsatz erneuerbarer Energien meiner Meinung nach keinen großen Einfluss, da eine alternative Energiequelle nicht grundlegend die klassischen Produkt- und Vertriebswege in Richtung CE verändert. Der Einsatz regenerativer und wiederverwertbarer Materialien ist ebenso als weniger wichtig einzustufen. Es gibt Fälle, in denen es Sinn macht auf biobasierte Materialien zu setzen, jedoch sollte man sich stets über die dadurch resultierenden Umweltauswirkungen bewusst sein. Das eigentliche Ziel sollte der Wandel zur Kaskadennutzung sein. Es sollte nicht allgemein angenommen werden, dass, nur weil ein Produkt biobasiert ist, dieses auch tatsächlich nachhaltig ist.

Der Faktor der optimalen Ressourcennutzung und Abfallreduktion ist einer der Kernpunkte der CE und ist als wichtig einzustufen. In den letzten Jahrzehnten lag der Fokus im Speziellen auf Prozessoptimierungen, wodurch in diesem Bereich nicht mehr so viele Potentiale für Effizienzsteigerungen vorliegen. Bei Produkt- und Qualitätsoptimierungen hingegen liegen die klaren Potentiale für den Erfolg von CBMs.

Die Umsetzung von CBMs erfordert Wissen, welches man im klassischen Ausbildungsbetrieb zurzeit nicht erlernen kann. Dies betrifft Querschnittstechnologien, Softskills und interdisziplinäres Verständnis von Zusammenhängen. Daher ist die kreislaufwirtschaftsorientierte Aus- und Weiterbildung sowie Aufklärung und Motivation als wichtig zu betrachten.

CE ist Datenökonomie. Der kontinuierliche Wissensaustausch darüber, welche Produkte und Materialien wo verwendet werden und wo diese ihr End-of-Life erreichen, ist von essentieller Bedeutung und bildet den Kern aller CBMs. Der wesentliche Treiber der CE ist momentan die Politik, daher ist diese gefordert Planungssicherheit und Orientierungsmöglichkeiten zu liefern. Daher ist die Zusammenarbeit und Kollaboration mit Partnern und Politik der zentrale SF für CBMs und mit sehr hoher Wichtigkeit zu betrachten.

Die separate Bereitstellung von internen Finanzmitteln ist ebenfalls als sehr wichtig einzustufen. Speziell für KMUs und Start-Ups stellen fehlende finanzielle Mittel eine Barriere für Investitionen in zirkuläre Strukturen bzw. Praktiken dar. Im Vergleich zu Investitionen für den Klimaschutz fehlt es noch an einer öffentlichen Kreditvergabe, die sich an CE-Kriterien orientiert. Wenn nachgewiesen werden kann, dass die getätigten Investitionen zum Klimaschutz beitragen, bekommen Unternehmen einen besseren Zinssatz. So etwas wird für die CE auch benötigt. Im Steuersystem herrscht eine klare Bevorzugung von etablierten linearen BMs vor, deswegen ist die finanzielle Unterstützung durch Interessensgruppen und Politik für CBMs als wichtig einzuschätzen.

Regionale Wirtschaftsförderungen sind ein weiterer möglicher SF, der für CBMs berücksichtigt werden sollte. Oftmals wären einzelne Regionen aus finanzieller Sicht in der Lage, CBM-Projekte zu unterstützen. Jedoch fehlt es ihnen noch an adäquaten Instrumentarien.

7.1.11 Experteninterview – Person 11

Position: Mitgründerin, Geschäftsführerin und Key Researcher eines auf Marktforschung und Beratung spezialisierten österreichischen Unternehmens.

Das kreislauforientierte Produktdesign ist ein essentieller SF für CBMs und daher als sehr wichtig zu betrachten. 80 Prozent der Umwelteinflüsse werden in der Designphase bestimmt. Gerade wenn es um neue BMs geht, muss das Produkt so designt werden, dass der Wert des Produktes erhalten bleibt.

Die verbesserte Funktionalität und verlängerte Produktlebensdauer durch Kombination der Produkte mit Dienstleistungen ist immer im Kontext mit der Sinnhaftigkeit zu betrachten. Nicht bei allen Produkten ist es zweckdienlich deren Lebensdauer zu verlängern, wenn bspw. ein geringerer CO₂-Fußabdruck durch die Wiederverwertung der Materialien erwirkt werden könnte. Es sollte daher immer abgewogen werden, wie sinnvoll Servicedienstleistungen zur Verlängerung der Produktlebensdauer im Vergleich zu anderen CE-Praktiken sind. Daher ist dieser Faktor als wichtig einzustufen.

Technologien zur Mechanisierung kreislaufwirtschaftlicher Strategien sind stark abhängig von der Branche und vom Produkt. Wenn bspw. ein Produkt als Dienstleistung zur Verfügung gestellt werden soll, wird sich am Produktionsprozess vermutlich wenig ändern. Geht es jedoch darum Produkte so herzustellen, dass diese recycelt oder wiederverwendet werden können, braucht es ggfs. eine Veränderung im Herstellungsprozess. Nichtsdestotrotz müssen für die Einführung von CBMs die Produktkonzepte und die Prozesse betrachtet und ggfs. Innovationen vorangetrieben werden. Daher ist dieser Faktor allgemein für CBMs als wichtig einzustufen. Das Ausmaß dieser Anpassungen ist jedoch vom Produkt selbst und vom geplanten CBM abhängig.

Digitale Technologien haben für CBMs eine sehr hohe Wichtigkeit, denn die höchste Ausbaustufe der CE ist nur mit digitalen Kreisläufen möglich. Gerade Industrieländer und im speziellen Österreich sind sehr exportorientierte Wirtschaftsstandorte, wodurch sich die Problemstellung ergibt, wie und in welchem Ausmaß Altprodukte als Quelle von Sekundärmaterialien zurückgeführt werden können. Daher sind separate Abfallsammlungs- und Produktrückführungssysteme für CBMs als wichtig zu betrachten.

Die CE lässt sich dadurch beschreiben, dass einerseits Produkte und deren Materialien so lange wie möglich im Kreislauf gehalten werden und andererseits der Einfluss auf das Ökosystem so niedrig wie möglich gestaltet wird. Daraus resultierend sind der Einsatz erneuerbarer Energien sowie regenerativer bzw. wiederverwertbarer Materialien und die optimale Ressourcennutzung und Abfallreduktion für CBMs von essentieller Wichtigkeit.

Die kreislaufwirtschaftsorientierte Aus- und Weiterbildung, die Aufklärung und Motivation der Mitarbeiter*innen, Lieferanten und Partner ist von sehr hoher Wichtigkeit, da es hierbei um das Mindset der Unternehmen geht. Für CBMs muss die Denkweise der Unternehmen grundlegend neu ausgerichtet werden und Abteilungen müssen miteinander interagieren, die möglicherweise bisher nicht miteinander zusammengearbeitet haben. Für den Erfolg eines CBMs und um alte Strukturen aufzubrechen, ist es essentiell, dass die Mitarbeiter*innen den Wandel zur CE mittragen, ein Verständnis für die neuen Prozesse entwickeln und die notwendige Sinnhaftigkeit dafür erkennen. Die Basis dafür bildet der Kompetenzaufbau und die Motivation der Mitarbeiter*innen.

Die Zusammenarbeit und Kollaboration entlang der Wertschöpfungskette ist ebenfalls von sehr hoher Wichtigkeit, da die Lieferanten und Partner die erforderlichen Umstellungen für CBMs oftmals mittragen müssen. Ein Beispiel dafür wäre, dass Bauteil-Zulieferer auf zirkuläre Materialien umstellen müssen, wenn deren Kund*innen sich dazu entschließen, das Gesamtprodukt aus kreislauffähigen Materialien herzustellen. Die Zusammenarbeit und Kollaboration sind jedoch nicht nur mit dem kontinuierlichen Wissensaustausch und dem Aufbau von Partnerschaftsnetzwerken verbunden, sondern auch mit Vertrauen. Wenn Unternehmen Informationen über die verwendeten Materialien und Materialzusammensetzungen mit ihren Partnern und Lieferanten teilen, geben sie damit auch teilweise ihre Alleinstellungsmerkmale bzw. Wettbewerbsvorteile preis. Neben dem Vertrauensaspekt ist bei der Zusammenarbeit auch die Lieferkettentransparenz von hoher Wichtigkeit, um die Herkunft der Materialien nachvollziehen zu können.

Die Erarbeitung einer kreislaufwirtschaftlichen Strategie gemeinsam mit einer entsprechenden IT-Strategie sowie die Bereitstellung dafür erforderlicher Finanzmittel sind von sehr hoher Wichtigkeit. Des Weiteren ist die finanzielle Unterstützung durch die Interessensgruppen und Politik gefragt, da es oftmals schwer abschätzbar ist, was die Umstellung auf kreislaufwirtschaftliche Prozesse und Strukturen für die Unternehmen bedeutet. Dies ist mit einem gewissen Maß an Unsicherheiten und Risiken verbunden. Daher braucht es Anreizsysteme und rechtliche Rahmenbedingungen, die den Unternehmen für die Einführung von CE-Strategien und Strukturen Halt geben.

Die gemeinsame F&E ist möglicherweise ein zusätzlicher SF. Das bedeutet eine gemeinsame Finanzierung der F&E, die Bildung von Netzwerken und Vertrauen untereinander sowie die Verfolgung eines gemeinsamen Zieles. Jedoch ist hierbei die Definition eines gemeinsamen Zieles nicht immer einfach. Weiters ist es von großer Wichtigkeit Materialinnovationen voranzutreiben und die Frage zu thematisieren, wie der Wissenstransfer über die Organisationsgrenzen hinaus gestaltet werden soll bzw. kann.

7.1.12 Experteninterview – Person 12

Position: Stiftungsprofessor für Business Model Design an einer österreichischen Fachhochschule und Advisor für Sustainable Business Models.

Das kreislauforientierte Produktdesign ist von essentieller Bedeutung. Das Produkt muss von Anfang an so gestaltet werden, um den Kriterien der CE gerecht zu werden. Durch das Design werden bspw. die Reparierbarkeit und die Verlängerung des Produktlebenszyklus, die Austauschbarkeit einzelner Komponenten und deren Rückführung in den Produktionsprozess ermöglicht.

Die Einführung von Services, um die Funktionalität zu verbessern und die Produktlebensdauer zu verlängern, hängt von der Strategie und der Grundausrichtung des Unternehmens ab. Unternehmen müssen sich Gedanken darüber machen, ob Dienstleistungen wie Wartung und Reparatur in ihre Wertschöpfung eingebunden werden können oder ob diese Services an Dritte ausgelagert werden sollen. Eine andere Herangehensweise wäre das Kundensegment durch Informationsbereitstellung zu befähigen, einfache Reparaturen oder Ähnliches selbst durchzuführen und damit das Wertversprechen zu erweitern. Dieser Faktor hängt vom jeweiligen CBM ab. Es sollten auf alle Fälle diese Möglichkeiten abgewogen werden.

Unternehmen müssen evaluieren, wie kreislauffähig ihre aktuellen Prozesse und Technologien sind. Wenn dies nicht der Fall ist, muss je nach Komplexität und Anforderungen des CBMs in die technologische Modernisierung und die Entwicklung von effizienten Technologien für die geplanten R-Strategien (Remanufacturing, Recycling etc.) investiert werden. Daher ist der SF Technologien zur Mechanisierung kreislaufwirtschaftlicher Strategien als wichtig einzustufen.

Allgemein sind digitale Technologien für die Ermöglichung der CE von großer Bedeutung. Jedoch stehen die Digitalisierung und ihre Technologien auch mit einem hohen Energiebedarf in Verbindung. Innerhalb der digitalen Technologien und der IT muss es zu einem Kreislaufzustand kommen, ansonsten besteht die Gefahr, dass kurzfristig die Umweltauswirkungen verstärkt werden. Langfristig gesehen sind digitale Technologien auf alle Fälle sehr wichtig. Kurz- und mittelfristig sollte diesem Faktor jedoch im Vergleich zum Produktdesign eher geringfügige Wichtigkeit zugemessen

werden. Zuerst sollten die Produkte kreislauffähig gestaltet werden und anschließend muss abgewogen werden, ob mit den derzeitigen Technologien die Herstellung dieser Produkte möglich ist. Erst dann sollten moderne digitale Technologien in Erwägung gezogen werden.

Um den Kreislauf der Materialien zu ermöglichen, kommt es am Ende des Produktlebenszyklus darauf an, die Produkte zurückzuführen und die in der Designphase gesetzten Maßnahmen (z.B.: Design zur einfachen Zerlegbarkeit der Produkte) zu nutzen. Es ist von sehr großer Bedeutung für CBMs Abfallsammlungs- und Produktrückführungssysteme zu entwickeln, um deren Materialien so rohstoffrein wie möglich in die Prozesse zurückzuführen und damit neue Produkte aus Sekundärmaterialien herzustellen.

Wenn ein CBM konsequent durchgedacht wird, ist es mittelfristig von hoher Wichtigkeit auf erneuerbare Energieträger zurückzugreifen. Grundsätzlich muss der gesamte CO₂-Fußabdruck betrachtet werden. Um diesen zu verringern, muss der Einsatz erneuerbarer Energien mit einer gewissen Wichtigkeit betrachtet werden.

Der Einsatz regenerativer und wiederverwertbarer Materialien geht mit einem kreislauffähigen Produktdesign einher. Es ist von großer Bedeutung, dass Unternehmen sich Gedanken darüber machen, welche Materialien eingesetzt werden und wie diese am Ende des Produktlebenszyklus getrennt, wiederverwertet bzw. wiederverwendet werden können.

Die optimale Ressourcennutzung und der Fokus auf Abfallreduktion sind Konzepte, die bereits in traditionellen linearen BMs Anwendung finden. Sie stellen somit keine besonderen SFs bzw. Alleinstellungsmerkmale für CBMs dar. Die Industrie hat in den letzten Jahrzehnten die Optimierungspotentiale in dieser Richtung weitgehend ausgeschöpft. Daher ist dieser Faktor für die erfolgreiche Implementierung von CBMs eher als weniger wichtig einzustufen.

Die kreislaufwirtschaftsorientierte Aus- und Weiterbildung, Aufklärung und Motivation der Mitarbeiter*innen, Kund*innen, Lieferanten und Partner sind von sehr großer Bedeutung. Es herrscht bereits Bewusstsein über die Möglichkeiten der CE, jedoch fehlt es noch an benötigtem Wissen darüber, wie diese Möglichkeiten tatsächlich umgesetzt und bspw. in BMs integriert werden können. Daher ist dieser SF für CBMs als sehr wichtig einzustufen.

Wenn ein Unternehmen bspw. seinen CO₂-Fußabdruck analysiert, reicht es nicht nur die betriebsinternen Prozesse zu betrachten. Aus der kreislaufwirtschaftlichen Perspektive muss die gesamte Wertekette durchleuchtet werden. Eine weitere Problematik ist, das eigene BM in Richtung CE zu transformieren, während das Ökosystem noch linear ausgerichtet ist. Um diese Barrieren zu überwinden, braucht es an Zusammenarbeit mit Partnerunternehmen und anderen Interessensgruppen.

Daher sind die Zusammenarbeit und Kollaboration mit allen Interessengruppen von essentieller Bedeutung, um CBMs erfolgreich umsetzen zu können.

Die Entwicklung bzw. Umsetzung von CBMs ist ein Change-Management Prozess, für den klarerweise Investitionen getätigt werden müssen, um die Prozesse finanzieren zu können. Daher sind die Einplanung und Bereitstellung separater Finanzmittel von sehr großer Wichtigkeit. Genauso ist die finanzielle Unterstützung durch die Interessensgruppen und Politik in Form von Steuerbegünstigungen und finanzieller Anreize für kreislauffähige Produkte und Prozesse sehr wichtig, um die Unternehmen dazu zu motivieren in CE-Initiativen zu investieren.

7.1.13 Experteninterview – Person 13

Position: Wissenschaftliche Mitarbeiterin an einer österreichischen Universität mit Forschungsschwerpunkten auf Kreislaufwirtschaft und Soziale Netzwerk Analyse.

Es gibt Studien, die zeigen, dass 80 Prozent der Zirkularität eines Produktes bereits in der Designphase festgelegt wird. Darunter fallen die Fragestellungen, welche Materialien wie verwendet werden und wie mit den Restmaterialien umgegangen wird. Wenn überlegt wird CBMs einzuführen kann man in verschiedene Arten der Innovation unterscheiden. Aus der Geschäftsperspektive ist die Produktinnovation eine der am leichtesten umsetzbaren Strategien, denn in den meisten Fällen bleibt die Produktkette gleich und das derzeitige BM kann bestehen bleiben. Das Investment bleibt gering, außer hohe Kosten für F&E sind erforderlich. Das kreislaforientierte Produktdesign allein ist für CBMs nicht ausreichend, denn es müssen auch andere Faktoren berücksichtigt werden. Dennoch ist dieser Faktor am leichtesten und am schnellsten umsetzbar und daher ein geeigneter Beginn für die Einführung von CBMs.

Bei der Verbindung der Produkte mit Dienstleistungs- und Servicevereinbarungen stellt sich die Frage der Verantwortung über das Produkt und dessen Zustand. Wird die Serviceleistung vom Produzenten angeboten, so liegt bei diesem auch die Verantwortung für die Instandhaltung und nicht mehr bei den Konsument*innen. Dies führt wiederum dazu, dass die Produzenten bessere, qualitativere Materialien einsetzen, weil es sich für diese dann rentiert, die verwendeten Ressourcen so lange wie möglich zu verwenden und bspw. Reparaturen durchzuführen. Daher stellen Dienstleistungen und Services zur Verbesserung der Funktionalität und zur Erweiterung der Produktlebensdauer einen wichtigen SF für CBMs dar.

Generell sind technologische Lösungen zur Ermöglichung kreislaufwirtschaftlicher Strategien wichtig. Auf EU-Ebene ist jedoch erkennbar, dass momentan in sehr viele Technologie-Projekte, die hauptsächlich energieintensive Recycling-Prozesse betreffen investiert wird und in deren Erstellung auch große Mengen an Ressourcen fließen. Es wird jedoch zu wenig mit sozialer Innovation gearbeitet, um ein Umdenken

in der Gesellschaft zu bewirken. Dies würde die Aufmerksamkeit weg von Recycling in Richtung engere Kreisläufe wie bspw. Reparatur lenken. Es sollte mehr darauf geachtet werden, dass das System geändert wird, anstatt auf kurzfristige Lösungen wie neue Technologien zu setzen. Daher sind Technologien zur Mechanisierung kreislaufwirtschaftlicher Strategien eher als geringfügig wichtig einzustufen.

Um Systemlösungen zu entwickeln, sollte mit so vielen verschiedenen Interessensgruppen und Bereichen wie möglich zusammengearbeitet werden. Dazu sind digitale Technologien wie Plattformlösungen, um *Co-Creation* und die Einbindung der Interessensgruppen zu ermöglichen, zweckdienlich. Gerade für Sekundärmaterialien und der Sicherung ihrer Qualität werden Technologien wie Blockchain immer wichtiger, um bspw. feststellen zu können, woher die Materialien eigentlich kommen und diese Informationen sicher zu speichern. Die Frage der Herkunft und der Verlässlichkeit der Sekundärmaterialien stellen eine große Herausforderung dar. Digitale Technologien, die in dieser Hinsicht Vertrauen bei produzierenden Unternehmen stiften können und zu höherer Effizienz der Produktion führen, würden die CE stark vorantreiben. Daher ist für CBMs dieser SF wichtig. Separate Abfallsammlungs- und Produktrückführungssysteme sind von essentieller Bedeutung für CBMs, denn die Kreisläufe können nicht geschlossen werden, wenn die Materialien nicht richtig gesammelt werden.

Prinzipiell sind erneuerbare Energien wichtig, jedoch sollte deren Einsatz in Abhängigkeit von der Art der Energiequelle hinterfragt werden. Bei Solarenergie stellt sich neben der Problematik, dass kritische Rohstoffe verwendet werden, auch die Frage, wie mit Solarpanelen umgegangen wird, wenn diese ihr Lebensende erreichen und ob diese entsorgt oder weiterverwertet werden können. Erneuerbare Energien sind sehr wichtig und es muss zu einer Veränderung in der Energieversorgung kommen, nur fehlt es derzeit noch an geeigneten Lösungen. Für Unternehmen sind erneuerbare Energiequellen ein Instrument, um möglichst einfach und schnell Nachhaltigkeit in ihrer Organisation umzusetzen und werden leider auch oftmals für „Green-Washing“ missbraucht. Der Einsatz erneuerbarer Energien fördert primär die Nachhaltigkeit und nicht die Zirkularität, daher ist dieser Faktor für CBMs als geringfügig wichtig einzustufen. Der Einsatz regenerativer und wiederverwertbarer Materialien ist stark mit dem kreislauforientierten Produktdesign verbunden. Daher ist dieser SF als sehr wichtig einzustufen.

Die optimale Ressourcennutzung und der Fokus auf Abfallreduktion ist im eigentlichen Sinne kein CE-Konzept, sondern grundlegende Geschäftslogik und wird schon seit Jahren umgesetzt. Für CBMs ist dieses Konzept wichtig, aber kein treibender SF.

Die kreislaufwirtschaftsorientierte Aus- und Weiterbildung, Aufklärung und Motivation der Mitarbeiter*innen, Kund*innen, Lieferanten und Partner ist genau die Art von sozialer Innovation, die erforderlich ist, um auf Systemebene die CE voranzutreiben.

Bildung ist immer der Grundpfeiler von Änderung auf einer gesellschaftlichen Basis. Daher ist dieser Aspekt ein essentieller SF für CBMs. Für Änderungen muss mit so vielen verschiedenen Interessensgruppen und Bereichen zusammengearbeitet werden. Jedoch ist es nicht immer erforderlich, dass sich Unternehmen für jedes Produkt mit der Politik bzgl. des Prozesses abstimmen müssen. Aus der Perspektive der industriellen Symbiose ist Kollaboration hingegen essentiell. Die Zusammenarbeit und Kollaboration mit allen Interessengruppen ist für CBMs als wichtig einzustufen, da dieser Faktor nicht in allen Fällen erforderlich ist.

Die Einplanung und Bereitstellung separater Finanzmittel hängt stark von der Art des CBM ab. Je nach CBM herrschen unterschiedliche Finanzierungsbedarfe und Risiken vor. Wenn ein Unternehmen sich auf Produktdiversifizierung fokussiert, sind oft keine hohen Investitionen erforderlich, welche sich in weiterer Folge schnell rentieren. Anders ist es bei BMs die auf Dienstleistungen basieren. Diese erfordern oftmals zusätzliche Infrastruktur und damit verbundenes Kapital. Der Finanzierungsbedarf ist je CBM sehr unterschiedlich zu bemessen, daher ist dieser Faktor als wichtig zu bewerten.

Die finanzielle Unterstützung durch die Interessensgruppen und Politik zur Implementierung von CBMs ist durchaus wichtig. Jedoch sollte das BM nicht auf Förderungen und Anreizsysteme angewiesen sein und es muss der Fokus daraufgelegt werden, dass sich das BM ab einem gewissen Zeitpunkt von selbst rentiert. Diese Instrumente sollen lediglich als Hilfsmittel in der Initialphase dienen. Daher ist dieser SF wichtig.

7.1.14 Experteninterview – Person 14

Position: Wissenschaftliche Mitarbeiterin an einer österreichischen Universität mit Forschungsschwerpunkten in den Bereichen Betriebstechnik, Systemplanung und Facility Management sowie Mensch-Maschine-Interaktion.

Das kreislauforientierte Produktdesign ist für CBMs sehr wichtig. Bei der CE geht es darum das Wirtschaftswachstum vom Ressourcenverbrauch zu entkoppeln. Das Produktdesign spielt dabei eine große Rolle, weil durch eine effiziente Gestaltung der Produkte einerseits der Ressourcenverbrauch reduziert und andererseits die einfache Zerlegbarkeit der Produkte ermöglicht werden kann, wodurch wiederum die Zirkularität der Materialien bzw. Produkte erhöht wird.

Bevor Dienstleistungen und Services zur Verbesserung der Funktionalität und zur Erweiterung der Produktlebensdauer eingeführt werden, sollte evaluiert werden, bei welchen Produkten diese Maßnahmen sinnvoll sind und bei welchen nicht. Es gibt Produkte, deren Herstellung und Nutzung starke Umweltauswirkungen haben. In diesen Fällen sollte differenziert werden, ob es an einer Lebensdauererlängerung

durch Services bedarf, oder ob das Produkt nicht grundlegend neu konzipiert werden sollte. Daher ist dieser Faktor als geringfügig wichtig einzustufen.

Digitalisierung wird in der Literatur als ein Schlüsselfaktor der CE beschrieben. Jedoch stellt sich aufgrund des dafür erforderlichen hohen Energie- und Materialaufwands die Frage, ab welchem Punkt der Einsatz digitaler Technologien mehr Vorteile als Nachteile hinsichtlich der Umweltauswirkungen mit sich bringen. Digitale Technologien und Technologien zur Mechanisierung kreislaufwirtschaftlicher Strategien sind für CBMs durchaus wichtig, jedoch gilt es deren Sinnhaftigkeit und Rentabilität abzuwägen.

Ohne separate Abfallsammlungs- und Produktrückführungssysteme wird es nicht möglich sein, Produkte und deren Materialien in die Herstellungsprozesse zurückzuführen. Es ist erforderlich Anreize für Verbraucher*innen zu schaffen, um Altprodukte an das Unternehmen zurückzugeben, sodass nachgelagerte CE-Strategien, wie bspw. Refurbishment oder Remanufacturing ermöglicht werden können.

Prinzipiell sind erneuerbare Energien wichtig, um die CE voranzutreiben, jedoch ist nicht jede erneuerbare Energiequelle so nachhaltig, wie sie im ersten Moment erscheint. Bspw. sind für die Herstellung von Photovoltaikanlagen große Mengen an kritischen Rohstoffen erforderlich. Es bedarf daher noch an F&E, um effizientere und ökologisch günstigere Alternativen zu fossilen Energieträgern zu entwickeln.

Bei der CE geht es vorwiegend auch darum, kritische Rohstoffe durch zirkuläre Alternativen zu ersetzen, die Materialzusammensetzung der Produkte von Grund auf neu zu überdenken und den Ressourcenbedarf sowie die Abfallmengen zu reduzieren. Daher sind der Einsatz regenerativer und wiederverwertbarer Materialien sowie die optimale Ressourcennutzung und die Abfallreduktion für CBMs von sehr großer Wichtigkeit.

Wenn die Abnehmer*innen nicht bereit sind die angebotenen Produkte zu kaufen oder bspw. ein Sharing-Modell zur gemeinsamen Nutzung von Ressourcen einzugehen, dann ist das Konzept nicht tragfähig. Daher ist die kreislaufwirtschaftsorientierte Aus- und Weiterbildung, Aufklärung und Motivation der Mitarbeiter*innen, Kund*innen, Lieferanten und Partner wichtig, um die Akzeptanz zu erhöhen und den Erfolg des CBMs zu gewährleisten.

Für die Umsetzung der CE braucht es einen kontinuierlichen Wissensaustausch auf Mikro-, Meso- und Makroebene. Zudem kann die Politik durch Ausschreibungen, Förderungen und Regulatorien den Wandel stark beeinflussen. Die Umstellung zu zirkulären Strukturen und Praktiken erfordert eine proaktive Interaktion mit den vor- und nachgelagerten Gliedern der Wertschöpfungskette. Daher ist die Zusammenarbeit und Kollaboration mit allen Interessengruppen von sehr großer Bedeutung für CBMs.

Die Einplanung und Bereitstellung interner Finanzmittel sind essentiell, um bspw. neue Materialien, Produkte, Prozesse und Technologien zu entwickeln, die den Anforderungen der CE entsprechen. Daher ist dieser Faktor von sehr großer Wichtigkeit für die erfolgreiche Entwicklung bzw. Umsetzung von CBMs. Die finanzielle Unterstützung durch Interessensgruppen und Politik, bspw. durch finanzielle Anreize, Darlehen und Förderprogramme sind ein wirksames Instrument, um den Umstellungsprozess in Richtung CE zu initiieren. Der Auslöser für die Umsetzung von CBMs sollte für Unternehmen jedoch vorwiegend die Überzeugungskraft des BM selbst und nicht ein externer finanzieller Anreiz sein. Daher ist dieser SF als wichtig einzustufen.

7.1.15 Experteninterview – Person 15

Position: Produktexpertin für Kreislaufwirtschaft bei einer österreichischen Zertifizierungsorganisation in Fragen des integrierten Managementsystems mit Fokus auf Qualitäts-, Umwelt-, Sicherheits- und Arbeitsschutzmanagement.

Das kreislaforientierte Produktdesign ist von sehr großer Bedeutung, denn 80 Prozent der Umweltauswirkungen eines Produktes werden in der Designphase definiert. Was in diesem Stadium nicht berücksichtigt wird, kann nachfolgend nur noch schwer integriert bzw. beseitigt werden. Wenn von Anfang an im Kreislauf gedacht wird, ist am Ende viel gewonnen. Daher ist dieser Faktor von sehr großer Wichtigkeit für CBMs.

Für die CE ist es von großer Bedeutung den Wandel vom physischen Produkt hin zur Ergebnisorientierung zu beschreiten. Neben der Verbesserung der Funktionalität und der Erweiterung der Produktlebensdauer kann durch Services und Dienstleistungen auch die Nutzungsintensität gesteigert werden. Daher ist die Verbindung der Produkte mit Dienstleistungs- und Servicevereinbarungen von sehr hoher Wichtigkeit für CBMs.

Technologien zur Mechanisierung kreislaufwirtschaftlicher Strategien sind für CBMs durchaus wichtig, jedoch existiert schon eine Vielzahl an geeigneten Technologien, die nur noch nicht umfassend genutzt werden. Der Schwerpunkt sollte daher vielmehr auf dem Umdenken liegen, um das bestehende Wissen und die Technologien für alternative Anwendungen zu nutzen, anstatt stetig in die Entwicklung neuer Technologien zu investieren. Dies gilt auch für digitale Technologien. Es gilt alle bestehenden Technologien zu nutzen, um die CE voranzutreiben. Die Möglichkeiten der digitalen Technologien sind ein essentieller SF für CBMs. Separate Abfallsammlungs- und Produktrückführungssysteme sind für CBMs als geringfügig wichtig einzustufen, da es dazu schon einige taugliche Konzepte gibt und der Fokus mehr auf die Planung der Produkte gelegt werden sollte, um deren Zerlegbarkeit zu ermöglichen, anstatt vermehrt auf die Entwicklung eines solchen Systems zu setzen.

Bei der CE geht es nicht nur um den Klimawandel, sondern auch um die Herausforderungen des Biodiversitätsverlustes, der Rohstoffverfügbarkeit und der globalen sozialen Ungleichheit. Angesichts dessen und der momentanen ansteigenden Preise für fossile Energiequellen tragen erneuerbare Energien mit Sicherheit zur Wirtschaftlichkeit bei und sind als sehr wichtiger SF für CBMs anzusehen. Der Einsatz regenerativer und wiederverwertbarer Materialien ist von sehr großer Bedeutung. Wenn die genutzten Materialien nicht wiederverwendbar bzw. recyclebar sind, so müssen diese entsorgt werden. Dies führt zum Zielkonflikt mit der Abfallreduktion.

Die Kernfrage ist, wie mit möglichst wenig Material- und Energieeinsatz dieselbe Produktleistung bzw. derselbe Produktnutzen erzielt werden kann, ohne die Langlebigkeit und Robustheit der Produkte zu beeinträchtigen und um Rebound-Effekte zu vermeiden. Die optimale Ressourcennutzung und die Abfallreduktion ist für CBMs ein sehr wichtiger SF, jedoch sollten diese Maßnahmen mit Bedacht durchgeführt und Risiken abgewogen werden.

Die kreislaufwirtschaftsorientierte Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiter*innen ist einer der wichtigsten Faktoren, um CBMs umzusetzen. Denn um zu wissen, dass mit dem Produktdesign begonnen werden muss, welche Materialien verwendet werden müssen und welche Möglichkeiten und Strategien der CE verfolgt werden können, ist Know-How erforderlich. Die Aufklärung und Motivation der Gesellschaft sowie der Partner und Lieferanten sollte keinesfalls unterschätzt oder vernachlässigt werden.

Für CBMs braucht es auf alle Fälle eine verstärkte Zusammenarbeit und Kollaboration mit der Politik, jedoch gibt es schon sehr viele Bestrebungen und Bemühungen in diese Richtung, wie den Green Deal und den Aktionsplan der CE. Allem voran müssen zuerst alle anderen Voraussetzungen erfüllt werden, wie eine proaktive Zusammenarbeit und Kollaboration mit Partnern und Lieferanten, um den gesamten Kreislauf abzudecken und den Transformationsprozess gemeinsam zu gestalten. Daher ist dieser Faktor als wichtig einzustufen.

Für den Umstellungsprozess zur Einführung zirkulärer Praktiken ist oft nicht so viel Budget erforderlich, wie es anfangs erscheint. Das wirtschaftliche und finanzielle Überleben der Organisation muss auf alle Fälle gewährleistet sein. Natürlich müssen bspw. für neue Maschinen oder Anlagen Investitionen getätigt werden. Daher sind die Einplanung und Bereitstellung interner Finanzmittel durchaus wichtig. Dies hängt aber auch vom geplanten Vorhaben und vom Unternehmen selbst ab. Dasselbe gilt für die finanzielle Unterstützung durch die Interessensgruppen und Politik. Dies ist ein geeignetes Instrument, um die Unternehmen zu unterstützen und in die richtige Richtung zu leiten, jedoch sollte der Fokus mehr auf die Informationsbereitstellung und Schaffung von Rahmenbedingungen gelegt werden, sodass die Unternehmen fähig sind die Vorteile der CBMs zu erkennen und diese umzusetzen.

Einen zusätzlichen SF würde die gesellschaftliche Komponente betreffen. Die Fragestellung ist, welche Verbraucher*innen angesprochen werden sollen und wer bereit ist dafür zu zahlen. Zirkuläre Produkte müssen für alle zugänglich sein. Der Fokus muss daher künftig auf inklusive Lösungen gelegt werden, welche Sicherheitsfragen bzgl. zirkulärer Produkte beseitigen und vor allem preiswert sind, damit alle Gesellschaftsschichten die Lösung akzeptieren und auch mittragen können.

7.2 Zusammenfassungen Interviewphase 2

7.2.1 Bewertungen des CSM

Alle DMs sind sich einig, dass das kreislauforientierte Produktdesign für das CSM eine wesentliche Rolle spielt. Dieser Faktor hängt unmittelbar mit der für die CSM wichtige Materialauswahl zusammen. In der Entwicklungsphase muss evaluiert werden, ob das Produkt zur Erfüllung der gleichen Funktion mit erneuerbaren, biobasierten Materialien oder mit Sekundärmaterialien herstellbar ist. Dies ist Grundvoraussetzung dafür, dass am Ende des Produktlebens die eingesetzten Materialien als Sekundärrohstoffe zurückgewonnen und wiederverwendet werden können.

Bei CSM sehen die DMs die verbesserte Funktionalität und Erweiterung der Produktlebensdauer durch Services aus unterschiedlichen Perspektiven. Während zwei DMs meinen, dass die Lebensdauererweiterung durch Services für CSM von immanenter Wichtigkeit ist, weisen zwei DMs darauf hin, dass Wartungs- und Reparaturdienstleistungen langfristig die für CSM charakteristische Abfallreduktion unterstützen können. Jedoch hat dieser Faktor im Vergleich zu den Maßnahmen in der Produktentwicklung nicht oberste Priorität. DMs beurteilt diesen Faktor als weniger wichtig, da CSM vorwiegend beim Materialeinsatz ansetzt.

Die DMs sehen Technologien zur Mechanisierung kreislaufwirtschaftlicher Strategien aus ähnlichen Betrachtungswinkeln. Drei DMs argumentieren, dass der Einsatz moderner, effizienter Technologien wie bspw. Robotik und Automatisierungstechnik zur Sammlung und Trennung von Altprodukten und Abfällen einen wichtigen bis sehr wichtigen SF darstellen, um die Effizienz der Aufbereitung von Sekundärrohstoffen zu erhöhen. Ein DM sieht hierbei bzgl. des Einsatzes erneuerbarer Energien Potentiale. Bspw. könnten bei unternehmenseigenen Photovoltaikanlagen durch eine intelligente Produktionssteuerung Phasen mit vielen Sonnenstunden effizient für die Produktion genutzt werden. Die anderen beiden DMs sehen in der Technologi modernisierung durchaus Potentiale, jedoch sollte zuvor abgeklärt werden, ob mit den bestehenden Technologien das CSM auch umsetzbar ist.

Die DMs sind sich einig, dass für CSM digitale Technologien einen wichtigen SF darstellen. Dadurch kann die Echtzeitüberwachung der Herstellungsprozesse

ermöglicht sowie die Sammlung und Trennung von Abfällen und Altprodukten zur Herstellung bzw. Nutzung von Sekundärmaterialien effizienter gestaltet werden. Ein DM argumentiert, dass digitale Technologien dabei unterstützen können, den gerade für CSM charakteristischen Einsatz erneuerbarer Energien für die Herstellungsprozesse zu steuern und optimal zu nutzen.

Vier der befragten DMs sehen separate Abfallsammlungs- und Produktrückführungssysteme als eine grundlegende Voraussetzung, um sortenreine Materialien und somit hochqualitative Sekundärmaterialien zu erhalten. Ein DM argumentiert, dass Abfallsammlungs- und Produktrückführungssysteme für CSM mit geringerer Priorität zu betrachten sind. Das CSM zielt darauf ab Abfallströme zu reduzieren. Demnach wären aufwändige Abfallsammlungssysteme in großem Maße nicht zwingend erforderlich. Produktrückführungssysteme können andererseits dabei unterstützen, Altprodukte zurückzuführen und deren Materialien wiederzuverwenden.

Alle befragten DMs stimmen überein, dass der Einsatz erneuerbarer Energien sowie die Verwendung regenerativer, wiederverwertbarer Materialien für das CSM, welches auf die Substitution kritischer Ressourcen durch zirkuläre Alternativen setzt, immanente SFs darstellen.

Die DMs sind sich einig, dass die optimale Ressourcennutzung und Abfallreduktion einen Fokuspunkt von CSM darstellen. DM₃ sieht in geeigneten digitalen Lösungen eine Voraussetzung, um relevante Informationen bzw. die Entscheidungsgrundlage für Optimierungsmaßnahmen zu liefern.

Aus Sicht der DMs stellt die Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiter*innen sowie Aufklärung und Motivation aller Interessensgruppen für die Entwicklung bzw. Umsetzung von CSMs einen wesentlichen SF darstellen. Die Verwendung zirkulärer Ressourcen könnte ggfs. auch zu Veränderungen der Produktionsprozesse führen, was die Aneignung neuer Kompetenzen erfordert. DM₂ und DM₄ sehen die Motivation der Lieferanten nicht als maßgeblich an, da die kundenseitige Bereitschaft mehr für zirkuläre Ressourcen zu zahlen, als motivierenden Faktor für die Lieferanten und Partner ausreichend sollte.

Für das CSM stimmen die DMs überein, dass die Zusammenarbeit und Kollaboration mit allen Interessensgruppen erforderlich sind. Es ist von großer Wichtigkeit, dass Unternehmen sich für die Einführung von CSM mit allen Interessensgruppen synchronisieren. Wenn mit dem Partnerschaftsnetzwerk eng zusammengearbeitet wird, steht nicht nur der monetäre Erfolg im Mittelpunkt, sondern auch eine gemeinsame Vision. Ein weiterer Aspekt ist, dass es oftmals durch Kund*innen vertraglich geregelt ist, dass je nach Qualitätsanforderungen keine Sekundärmaterialien für die Herstellung der Produkte verwendet werden dürfen. Demnach ist es erforderlich für CSM auf Zusammenarbeit und Kollaboration zu setzen.

Die Politik ist gefordert, gemeinsam mit den Unternehmen Regulatorien und Rahmenbedingungen zu schaffen, um den Erfolg der CE-Initiative zu gewährleisten und verlässliche Zusagen bzgl. der Förderungen von erneuerbaren Energien zu erteilen.

Die separate Bereitstellung interner Finanzmittel stellt für alle DMs einen wichtigen SF für CSM dar. Der finanzielle Aufwand für den Umstellungsprozess ist produkt- und materialabhängig und schwer zu generalisieren. Wird auf alternative Ressourcen gesetzt, könnte der ganze Fertigungsprozess davon beeinflusst werden. Beim Einsatz von Sekundärmaterialien wird sich technologisch und infrastrukturell vermutlich nicht viel ändern. Für die Umstellungsmaßnahmen für erneuerbare Energiequellen wird die separate Bereitstellung von Finanzmitteln gerade in der Initialphase von großer Wichtigkeit sein.

Bzgl. der finanziellen Unterstützung durch Interessensgruppen und Politik vertreten die DMs teilweise unterschiedliche Standpunkte. Drei DMs argumentieren, dass gerade für den Einsatz erneuerbarer Energien die Zugänglichkeit zu Fördersystemen eine wichtige Rolle einnimmt. Zwei DMs sehen ebenfalls Vorteile, jedoch sollte die Aussicht auf finanzielle Anreize oder Förderungen nicht der ausschlaggebende Punkt für die Umsetzung eines CSM sein. Vielmehr kommt es für den Erfolg der Initiative auf die Überzeugungskraft des BMs und die Forderungen der Kund*innen an.

7.2.2 Bewertungen des RRM

Alle DM sind sich einig, dass Unternehmen, die ein RRM umsetzen wollen, sich auf alle Fälle damit auseinandersetzen müssen, welche Materialien recyclingfähig sind und wie mit Abfällen umgegangen wird. Für die Recyclingfähigkeit des Produktes ist das dafür erforderliche Design des Produktes von hoher Priorität.

Bzgl. der Verbesserung der Funktionalität und Erweiterung der Produktlebensdauer durch Services sind die DMs unterschiedlicher Meinung. Zwei DMs argumentieren, dass zusätzliche Dienstleistungen durchaus wichtige Kriterien für RRM darstellen, da bspw. bei der Reparatur und Wartung defekte, nicht weiterverwendbare Bauteile in den Recyclingprozess geführt werden können. Zwei DMs sind der Meinung, dass bei RRM der Schwerpunkt darauf liegt, Materialien wiederzuverwerten. Daher würden sie diesem Faktor eine geringfügigere Wichtigkeit zuordnen. Ein DM sieht in der Aufrechterhaltung der Funktionalität sowie Verlängerung der Produktlebensdauer durch Services einen Zielkonflikt mit diesem BM, da dieses abhängig von Produktionsabfällen und EoL-Produkten ist. D.h. es liegt im Interesse des Unternehmens, dass Produkte entsorgt werden, um deren Materialien wiederverwerten zu können.

Für vier DMs ist der Einsatz moderner Technologien, wie bspw. Robotik und Automatisierungstechnik zur effizienteren Sammlung und Trennung von Altprodukten und Abfällen von großer Wichtigkeit, um den darauffolgenden Recyclingprozess zu unterstützen. Ein DM argumentiert demgegenüber, dass die Materialreinheit der Produkte/Materialien einen wesentlich größeren Einfluss auf die Effizienz des Recyclingprozesses hat. Ist die Materialreinheit gewährleistet und besteht bereits ein interner Recyclingprozess, so sind modernere Technologien nicht zwingend erforderlich.

Hinsichtlich digitaler Technologien sind alle DMs der Meinung, dass diese für die Echtzeitüberwachung und Optimierung des Recyclingprozesses von großer Bedeutung sind.

Alle DMs sind sich einig, dass ohne Abfallsammlungs- und Produktrückführungssysteme zum einerseits EoL-Produkte nicht zurückgeführt und andererseits die für den Recyclingprozess wichtige Trennung der Materialien nicht durchgeführt werden können. Denn je sauberer getrennt wird, desto sortenreiner kann recycelt werden.

Für das RRM vertreten die DMs hinsichtlich des Einsatzes erneuerbarer Energien unterschiedliche Standpunkte. Drei DMs argumentieren, dass der CO₂-Fußabdruck des energieintensiven Recyclingprozesses durch die Nutzung erneuerbarer Energien verbessert werden könnte. DM₃ sieht den Einsatz erneuerbarer Energiequellen an zweiter Stelle. Vielmehr sollte der Fokus in der Nutzung und dem sauberen Recycling der eigenen Stoffströme liegen, anstatt die Abfälle zu Deponien in Entwicklungsländern zu schicken. DM₅ besagt, dass immer abgewogen werden sollte, ob und wie erneuerbare Energien genutzt werden. Jedoch kann das RRM prinzipiell auch mit fossilen Energien betrieben werden. Als Entscheidungsgrundlage steht der Kostenfaktor im Mittelpunkt.

Die DMs stimmen überein, dass für die Umsetzung eines RRM die verwendeten Materialien recyclebar sein müssen. Daher ist der Einsatz regenerativer und wiederverwertbarer Materialien mit oberster Priorität zu betrachten.

Laut den DMs stellen die optimale Ressourcennutzung und Abfallreduktion für RRMs durchaus einen SF dar. Jedoch muss dieser Faktor von zwei Perspektiven betrachtet werden. Ist das RRM vorwiegend von Produktionsabfällen abhängig, so steht dies mit der Abfallreduktion im Zielkonflikt. DM₂ sieht hier den Fokus eher bei der energieeffizienten Gestaltung der Recyclingprozesse.

Die Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiter*innen sowie Aufklärung und Motivation aller Interessensgruppen sehen die DMs für RRMs aus unterschiedlichen Perspektiven. Drei DMs bewerten diesen Aspekt als treibenden SF, um Produkte so herzustellen und Abfälle so zu trennen, dass diese auch wiederverwertet werden

können und um die Akzeptanz für recycelte Produkte in der Gesellschaft zu erhöhen. DM₂ und DM₅ sehen hierbei keinen erheblichen Aufklärungsbedarf.

Alle befragten DMs stimmen überein, dass das RRM mit technischen und vor allem unternehmensinternen Veränderungen verbunden ist. Für die Einführung von Recyclingverfahren sehen sie keinen hohen Bedarf an Zusammenarbeit und Kollaboration mit allen Interessensgruppen.

Alle DMs sind sich einig, dass der finanzielle Aufwand für den Umstellungsprozess für ein RRM vom Produkt und der bestehenden Infrastruktur abhängt. Ggfs. müssen die Produktionslinien neu konzipiert und bspw. Sammel- und Trennsysteme in die Prozesse integriert werden. Im Generellen ist eine umfassende Einplanung von internen Budgets für Vorabinvestitionen immer ein Entscheidungskriterium und von höchster Wichtigkeit für den Erfolg eines BMs.

Für RRM betrachten die DMs die finanzielle Unterstützung durch Interessensgruppen und Politik teilweise aus unterschiedlichen Perspektiven. Während drei DMs eine Notwendigkeit für externe finanzielle Anreize sehen, damit Unternehmen sich für ein RRM entscheiden, argumentieren zwei DMs, dass die unternehmensinterne Motivation eine primäre Rolle spielt und Förderungen von geringerer Relevanz sind.

7.2.3 Bewertungen des PLE

Die Charakteristika des PLE beinhaltet Maßnahmen in der Designphase zur Verlängerung der Produktlebensdauer. Alle DMs sind sich einig, dass ein kreislauforientiertes Produktdesign und im speziellen das Design für Produkthaltbarkeit und Widerstandsfähigkeit für das PLE eine besonders große Rolle spielt.

Für PLE stimmen alle DMs überein, dass die Einführung von Dienstleistungen zur Verbesserung der Funktionalität und Verlängerung der Produktlebensdauer von größter Wichtigkeit ist.

Die DMs sind bei den Technologien zur Mechanisierung kreislaufwirtschaftlicher Strategien für PLE unterschiedlicher Meinungen. Während drei DMs für die Entwicklung eines PLE durchaus auf die technologische Modernisierung setzen würden, argumentieren zwei DMs, dass dieser Faktor für PLE geringfügig bis weniger wichtig ist, da dieses CBM vorwiegend auf Designmaßnahmen und Wiederaufbereitungsdienstleistungen basiert. Wenn diese Phasen gut durchdacht sind, muss nicht zwingend durch die Modernisierung der Technologieinfrastruktur unterstützt werden.

Alle befragten DMs sind sich einig, dass digitale Technologien im Zusammenhang mit PLEs, welche Wartungs- und Reparaturdienstleistungen vorsehen von großer

Bedeutung sind, um den Zustand der Produkte tracken zu können und bspw. Predictive Maintenance zu ermöglichen.

Während ein DM meint, dass Abfallsammlungs- und Produktrückführungssysteme für das PLE durchaus relevant sein können, argumentieren die anderen DMs, dass das PLE in erster Linie darauf abzielt Maßnahmen zur Verlängerung der funktionalen Produktlebensdauer in der Design- und Nutzungsphase umzusetzen. Demnach sind für dieses CBM separate Abfallsammlungs- und Produktrückführungssysteme nicht zwingend erforderlich.

Bzgl. des Einsatzes erneuerbarer Energien sind die DMs unterschiedlicher Meinungen. Während zwei DMs in diesem Punkt einen potentiellen SF sehen, besagen zwei DMs, dass erneuerbare Energiequellen für PLEs nicht von vorrangiger Wichtigkeit sind. Vielmehr sollte situationsabhängig die wirtschaftliche Attraktivität geprüft werden. DM₅ argumentiert, dass PLEs im Prinzip auch mit fossilen Energien betrieben werden können und erneuerbare Energien hierbei keinen treibenden SF darstellen.

Vier DMs argumentieren, dass für das PLE der Einsatz regenerativer bzw. wiederverwertbarer Materialien nicht vorrangig wichtig ist, da der Fokus auf der Verlängerung der Produktlebensdauer liegt und nicht auf der Wiederverwertbarkeit bzw. Abbaubarkeit. Da PLE unter anderem in der Designphase ansetzt, sollte dennoch evaluiert werden, ob diese Materialien eingesetzt werden können. DM₂ sieht beim Einsatz regenerativer, wiederverwertbarer Materialien ggfs. einen Zielkonflikt mit der Verlängerung der Produktlebensdauer. Die robustesten und langlebigsten Materialien sind vermutlich schwer bzw. nur unter großem Aufwand wiederverwertbar.

Für vier der befragten DMs stellt die optimale Ressourcennutzung und Abfallreduktion beim PLE einen wichtigen SF dar. Im Zuge der Maßnahmen in der Designphase sollten Maßnahmen zur Reduktion des Ressourceneinsatzes und zur Abfallreduktion berücksichtigt werden. DM₅ sieht den Fokus von PLE eher bei der Verlängerung der Produktlebensdauer als bei der Intensivierung der Ressourcennutzung und Abfallreduktion.

Die DMs sind sich einig, dass die Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiter*innen sowie Aufklärung und Motivation aller Interessensgruppen für das PLE eine große Rolle spielt. Es wird Aufklärungsarbeit erforderlich sein, um den Mitarbeiter*innen, Partnern und Lieferanten zu vermitteln, dass Produkte mit längerer Produktlebensdauer hergestellt und zusätzliche Dienstleistungen angeboten werden. Zudem müssen die Mitarbeiter*innen die für das Produktdesign und die Serviceleistung erforderlichen Fähigkeiten erlernen.

Für das PLE stimmen die DMs überein, dass die Zusammenarbeit und Kollaboration mit allen Interessensgruppen erforderlich sind, um die notwendigen Maßnahmen

umsetzen zu können, da einerseits die Verlängerung der Produktlebensdauer mit Preisanpassungen verbunden ist und andererseits für die Einführung von Services regulatorische Rahmen erforderlich sind.

Bzgl. der Bereitstellung interner Finanzmittel vertreten die DMs teilweise unterschiedliche Standpunkte. Während zwei DMs für das PLE keinen erheblichen finanziellen Planungsbedarf sehen, da bspw. durch das Angebot von Dienstleistungen keine hohen Anlageninvestments notwendig sind, argumentieren drei DMs, dass Änderungen des Produktdesigns ggfs. Investitionen in F&E sowie in neue Maschinen und Anlagen erfordern.

Hinsichtlich der finanziellen Unterstützung durch Interessensgruppen und Politik vertreten die DMs ebenfalls teilweise unterschiedliche Sichtweisen. Drei DMs sehen finanzielle Anreize als zweckdienliches Instrument, damit Unternehmen sich für ein PLE entscheiden. Zwei DMs sind der Ansicht, dass für den Erfolg eines PLE die unternehmensinterne Motivation eine wichtigere Rolle spielt als Förderungen und finanzielle Anreize.

7.2.4 Bewertungen des PSS

Bzgl. des kreislaforientierten Produktdesigns teilen die DMs unterschiedliche Meinungen. Während drei DMs besagen, dass PSS grundsätzlich auch ohne einem kreislaforientierten Produktdesign umsetzbar sind und sie deshalb diesem Faktor geringfügige bis keine Wichtigkeit zuordnen würden, sind die restlichen DMs der Meinung, wenn Hersteller Services für ihre Produkte anbieten, dass es in ihrem Interesse liegt, Produkte möglichst haltbar, widerstandsfähig, einfach reparierbar und aufrüstbar zu gestalten. Dies führt zur einfacheren Durchführung der Wartungs- und Reparaturservices und vor allem zu langfristigen Einkommensströme durch diese Dienstleistungen.

Alle DMs argumentieren, dass die Einführung von Dienstleistungen zur Verbesserung der Funktionalität und Verlängerung der Produktlebensdauer für PSS einen wesentlichen SF darstellt, da es für dieses CBM von Vorteil ist, eine möglichst lange Nutzung zu ermöglichen.

Die DMs sind sich einig, dass PSS auf der Bereitstellung der Produkte als Dienstleistungen bzw. auf das Angebot von Wiederaufbereitungsservices beruhen und die Funktion des Produktes im Mittelpunkt steht. Dies ist unabhängig davon mit welcher Technologie das Produkt hergestellt wurde. Trotz ähnlicher Argumentationen werden seitens der DMs Technologien zur Mechanisierung kreislaufwirtschaftlicher Strategien für PSS unterschiedlich bewertet.

Alle DM vertreten die Meinung, dass digitale Technologien im Zusammenhang mit PSS von großer Bedeutung sind, um den Zustand der Produkte tracken zu können.

Zwei DMs argumentieren, dass die Abrechnung bzw. Rechnungslegung bei bspw. Pay-Per-Use-Konzepten unterschiedlich aufgebaut ist als bei absatzorientierten BMs. Dabei könnte bspw. das E-Procurement wesentlich unterstützen.

DM₁ ist der Ansicht, dass Abfallsammlungssysteme für PSS nicht von hoher Relevanz sind. Jedoch sollte geplant werden, wie Produkte zurückgeführt werden können, um Wartungs- oder Reparaturdienstleistungen durchführen zu können. Die anderen DMs sind sich einig, dass ein PSS primär darauf abzielt Produkte auf Basis von Dienstleistungen oder in Kombination mit Dienstleistungen zur Verfügung zu stellen. Demnach sind für dieses CBM separate Abfallsammlungs- und Produktrückführungssysteme nicht zwingend erforderlich.

Hinsichtlich erneuerbarer Energien bei PSS vertreten die DMs teilweise unterschiedliche Standpunkte. Drei DMs sehen in erneuerbaren Energiequellen einen potentiellen SF. PSS sind mit dem Einsatz energieintensiver, digitaler Technologien, bspw. für das Tracking der Produkte verknüpft. Der Einsatz erneuerbarer Energien könnte den CO₂-Fußabdruck des PSS aufbessern, wobei immer die Kosten für die alternativen Energieträger berücksichtigt werden müssen. Während DM₃ diesen Faktor als nachrangig wichtig sieht, argumentiert DM₅, dass PSS im Prinzip auch mit fossilen Energien betrieben werden können und somit erneuerbare Energiequellen in diesem Zusammenhang keinen treibenden SF darstellen.

Den Einsatz regenerativer und wiederverwertbarer Materialien betrachten die DMs aus unterschiedlichen Perspektiven. Zwei DMs sehen beim Angebot von Reparaturdienstleistungen die Möglichkeit nicht reparierbare Komponenten zumindest wiederwerten zu können. Dem gegenüber argumentieren die anderen DMs, dass der Einsatz regenerativer bzw. wiederverwertbarer Materialien nicht vorrangig wichtig ist bzw. keinen treibenden SF darstellt, da es bei PSS vorwiegend um Dienstleistungen und nicht um die anschließende Wiederverwertbarkeit der Materialien geht.

Während vier der befragten DMs in der Optimierung des Ressourceneinsatzes und der Abfallreduktion durchaus Vorteile für das Unternehmen sehen, argumentiert ein DM, dass bei PSS Dienstleistungen im Vordergrund stehen sollten und diese Maßnahmen nicht als treibender SF zu betrachten seien.

Die DMs sind sich einig, dass die Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiter*innen sowie die Aufklärung und Motivation aller Interessensgruppen für das PSS von großer Bedeutung sind. Der Paradigmenwechsel weg von einem absatzorientierten zu einem leistungs- bzw. dienstleistungsorientierten BM wird enorme Aufklärungsarbeit erfordern.

Bzgl. der Zusammenarbeit und Kollaboration sind die DMs unterschiedlicher Meinungen. Während zwei DMs diesem Aspekt weniger Aufmerksamkeit schenken würden, sehen drei DMs darin einen wesentlichen SF, da der Wandel zur

Dienstleistungsorientierung vor allem Zusammenarbeit und Kollaboration mit allen Interessengruppen erfordern wird. Durch die Einbindung der Partner könnte sich die Möglichkeit einer Kollaboration ergeben, in der diese die Dienstleistungserbringung bspw. für die Wartung bzw. für Reparaturen übernehmen.

Die DMs stimmen überein, dass bei PSS ggfs. Änderungen in der Vertriebsstruktur erforderlich sind. Die Einführung zusätzlicher Dienstleistungen und die damit verbundene Entwicklung der erforderlichen Kompetenzen sind mit erheblichen internen Investitionen verbunden. Im Falle eines PSS, bei dem der Produktbesitz im Unternehmen verbleibt und das Produkt als Dienstleistung veräußert wird, muss mit einer Bilanzverlängerung gerechnet werden. Dementsprechend bildet die separate Bereitstellung interner Finanzmittel einen wichtigen SF für das PLE.

Die DMs vertreten bei der finanziellen Unterstützung durch Interessensgruppen und Politik unterschiedliche Meinungen. Zwei DMs argumentieren, dass Investitionen in PSS mit Risiken verbunden sind und daher für deren Einführung finanzielle Unterstützung erforderlich ist. Drei DMs sehen die finanzielle Unterstützung durch Interessensgruppen und Politik für PSS nicht als treibenden SF.

7.2.5 Bewertungen der SP

Alle DMs vertreten den Standpunkt, dass das kreislaforientierte Produktdesign für SPs keinen treibenden SF darstellt und nicht von hoher Relevanz ist, jedoch können das Design für Produkthaltbarkeit und Widerstandsfähigkeit, Standardisierung und Kompatibilität, Anpassungsfähigkeit und Aufrüstbarkeit sowie für die einfache Wartung und Reparatur durchaus Vorteile mit sich bringen. Es sollte jedoch für Sharing-Konzepte darauf geachtet werden, dass die einfache Handhabung und Nutzung der Produkte gewährleistet sind.

Alle DMs sind sich einig, dass es im Interesse des Herstellers bzw. Anbieters liegt, durch Services die Funktionalität der Produkte aufrecht zu erhalten und die Produktlebensdauer zu verlängern, um somit eine möglichst lange Nutzungsphase zu gewährleisten.

Die DMs argumentieren, dass bei SPs die Nutzung und die Aufrechterhaltung der Funktion des Produktes im Mittelpunkt stehen. Dies ist unabhängig davon mit welcher Technologie das Produkt hergestellt wurde. Daher würden sie diesem Faktor geringfügige bis keine Aufmerksamkeit für die Einführung bzw. Entwicklung von SPs schenken.

Die Meinungen der DMs stimmen überein, dass digitale Technologien für SPs von immanenter Wichtigkeit sind. Abgesehen davon, dass SPs digitale Plattformen darstellen, ist es von großer Bedeutung durch digitale Technologien Echtzeitdaten über den Zustand der Produkte abrufen zu können.

Alle DMs sind sich einig, dass SPs primär auf die intensivere Nutzung von Ressourcen durch intersektionales Teilen abzielen. Demnach sind für dieses CBM separate Abfallsammlungs- und Produktrückführungssysteme von geringer Relevanz.

Für SPs sind unter den DMs erneuerbare Energien ebenfalls umstritten. Zwei DMs argumentieren, dass bei SPs aufgrund des erforderlichen Einsatzes von digitalen Technologien ein hoher Energiebedarf zu erwarten sei. Erneuerbare Energiequellen könnten diesbezüglich den CO₂-Fußabdruck aufbessern. Drei DMs sehen erneuerbare Energieträger als keinen treibenden SF, da SPs prinzipiell auch mit fossilen Energien betrieben werden können.

Während ein DM im Einsatz regenerativer bzw. wiederverwertbarer Materialien durchaus einen potentiellen SF für SP sieht, begründen die anderen DMs ihre Bewertungen dadurch, dass bei SPs im Allgemeinen der Schwerpunkt mehr bei der intensiveren Nutzung der vorhandenen Ressourcen liegt und nicht bei deren Wiederverwertbarkeit bzw. Abbaubarkeit.

Die DMs sind sich einig, dass die optimale Ressourcennutzung und Abfallreduktion klare Fokuspunkte von SPs darstellen.

Bei SPs sind sämtliche DMs der Meinung, dass alle Beteiligten und potentiellen Nutzer*innen aufgeklärt und motiviert werden müssen. Ansonsten würde das Sharing-Netzwerk nicht funktionieren. DM₁ sieht in B2C-SPs weniger Bedarf an Aufklärungsarbeit, da im privaten Sektor diese Modelle schon vermehrt Anwendung finden. Bei B2B-SP wird wesentlich mehr Sensibilisierung erforderlich sein, da Fragen und Unsicherheiten bzgl. der Datensicherheit und dem Umgang mit sensiblen Informationen dazu führen, dass Unternehmen zögern, an SPs aktiv teilzunehmen.

Alle DMs vertreten die Meinung, dass für den Erfolg von SPs die Zusammenarbeit und Kollaboration mit Partnern und Politik von immanenter Wichtigkeit ist. Die rechtlichen und vertraglichen Rahmenbedingungen für die Nutzung von SPs müssen abgeklärt werden und es muss klar definiert werden, wer für Schadensfälle und deren Auswirkungen die Verantwortung trägt.

Die separate Bereitstellung interner Finanzmittel sehen die DMs aus unterschiedlichen Perspektiven. Während zwei DMs keinen hohen Bedarf an internen Finanzmitteln für die Einführung von SPs sehen, da diese CBMs primär digitale Lösung darstellen und nicht unmittelbar mit hohen Investitionen für Prozessänderungen verbunden sind, argumentieren die anderen DMs, dass SPs auch eine Umstellung in der Vertriebsstruktur bedeuten könnten, wofür separate Budgets eingeplant werden sollten.

Die DMs vertreten bei der finanziellen Unterstützung durch Interessensgruppen und Politik für SPs unterschiedliche Meinungen. Drei DMs sehen hierbei einen wichtigen

SF, da Investments in SPs risikobehaftet seien. Bspw. wären Förderprogramme zur Unterstützung von Energiegemeinschaften zweckdienlich. Zwei DMs sehen die finanzielle Unterstützung durch Interessensgruppen und Politik für SPs nicht als treibenden SF.

7.3 Anhang Vergleichsanalyse

In diesem Abschnitt werden die Verfahrensschritte von Fuzzy ELECTRE I und Fuzzy TOPSIS sowie deren Anwendung auf das vorliegende Auswahlproblem offengelegt.

7.3.1 Fuzzy ELECTRE I

7.3.1.1 Verfahrensschritte von Fuzzy ELECTRE I

Gemäß der vorgeschlagenen Methode von Hatami-Marbini & Tavana (2011) zur Berechnung von Fuzzy ELECTRE I werden die Schritte eins bis acht analog zur Verfahrensweise von Fuzzy PROMETHEE (siehe Kapitel 4.1.3) durchgeführt. Die weiteren Verfahrensschritte sind wie folgt definiert.³⁷⁰

Schritt 9 – Bildung der Konkordanz-Matrix

Auf Basis des paarweisen Vergleiches mit Hilfe der Methode der Hamming-Distanzen und deren Bedingungen (Formel 10) wird die Konkordanz-Matrix \tilde{C} gebildet. Die Konkordanz-Menge kann definiert werden als $J_C = \{j | v_{gj} \geq v_{fj}\}$ wobei J_C den Index aller Kriterien darstellt, die der Konkordanz-Koalition mit der Outranking-Relation „ A_g ist mindestens so gut wie A_f “ zugehörig sind. Die Konkordanz-Matrix für jeden paarweisen Vergleich der Alternativen wird wie folgt definiert:

$$\tilde{C} = \begin{bmatrix} - & \dots & \tilde{c}_{1f} & \dots & \tilde{c}_{1(m-1)} & \tilde{c}_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \tilde{c}_{g1} & \dots & \tilde{c}_{gf} & \dots & \tilde{c}_{g(m-1)} & \tilde{c}_{gm} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \tilde{c}_{m1} & \dots & \tilde{c}_{mf} & \dots & \tilde{c}_{m(m-1)} & - \end{bmatrix},$$

$$\text{mit } \tilde{c}_{gf} = (c_{gf}^l, c_{gf}^p, c_{gf}^q, c_{gf}^u) = \sum_{j \in J_C} W_j = \left(\sum_{j \in J_C} w_j^l, \sum_{j \in J_C} w_j^p, \sum_{j \in J_C} w_j^q, \sum_{j \in J_C} w_j^u \right)$$

Formel 15: Konkordanz-Matrix

Die Konkordanz-Matrix drückt demzufolge die Gewichte der Konkordanz-Kriterien aus.

³⁷⁰ Vgl. Hatami-Marbini & Tavana, 2011, S. 377.

Schritt 10 – Bildung der Diskordanz-Matrix

Analog zur Konkordanz-Matrix wird die Diskordanz-Matrix \tilde{D} gebildet. Die Diskordanz-Menge kann definiert werden als $J_D = \{j | v_{gj} < v_{fj}\}$ wobei J_D den Index aller Kriterien darstellt, die zur Diskordanz-Koalition gehören und der Outranking-Relation der Konkordanz widersprechen. Die Diskordanz-Matrix für jeden paarweisen Vergleich der Alternativen wird definiert als:

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} - & \dots & \tilde{d}_{1f} & \dots & \tilde{d}_{1(m-1)} & \tilde{d}_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \tilde{d}_{g1} & \dots & \tilde{d}_{gf} & \dots & \tilde{d}_{g(m-1)} & \tilde{d}_{gm} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \tilde{d}_{m1} & \dots & \tilde{d}_{mf} & \dots & \tilde{d}_{m(m-1)} & - \end{bmatrix},$$

$$\text{mit } \tilde{d}_{gf} = \frac{\max_{j \in J_D} |v_{gj} - v_{fj}|}{\max_j |v_{gj} - v_{fj}|} = \frac{\max_{j \in J_D} |d(\max(v_{gj}, v_{fj}), v_{fj})|}{\max_j |(\max(v_{gj}, v_{fj}), v_{fj})|}$$

Formel 16: Diskordanz-Matrix

Die Diskordanz-Matrix spiegelt demnach die relativen Unterschiede nach den Diskordanz-Kriterien wider.

Schritt 11 – Bildung der Booleschen Matrix B basierend auf dem Minimum-Konkordanz-Level

Um die Boolesche Matrix B zu konstruieren, wird das Konkordanz-Level \bar{C} benötigt. Dieses wird durch den Durchschnitt der Elemente der Konkordanz-Matrix ermittelt. Das Konkordanz-Level wird wie folgt definiert:

$$\bar{C} = (c^l, c^p, c^q, c^u)$$

mit

$$c^l = \sum_{f=1}^m \sum_{g=1}^m \frac{c_{gf}^l}{m(m-1)}, \quad c^p = \sum_{f=1}^m \sum_{g=1}^m \frac{c_{gf}^p}{m(m-1)}, \quad c^q = \sum_{f=1}^m \sum_{g=1}^m \frac{c_{gf}^q}{m(m-1)},$$

$$c^u = \sum_{f=1}^m \sum_{g=1}^m \frac{c_{gf}^u}{m(m-1)},$$

Formel 17: Konkordanz-Level

Darauf basierend wird die Boolesche Matrix B erstellt:

$$B = \begin{bmatrix} - & \dots & b_{1f} & \dots & b_{1(m-1)} & b_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ b_{g1} & \dots & b_{gf} & \dots & b_{g(m-1)} & b_{gm} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ b_{m1} & \dots & b_{mf} & \dots & b_{m(m-1)} & - \end{bmatrix},$$

mit

$$\tilde{c}_{gf} \geq \bar{C} \Leftrightarrow b_{gf} = 1$$

$$\tilde{c}_{gf} < \bar{C} \Leftrightarrow b_{gf} = 0$$

Formel 18: Boolesche Matrix basierend auf dem Minimum-Konkordanz-Level

Dadurch, dass die Werte der Diskordanz-Matrix aus Fuzzy-Zahlen bestehen, wird zum Vergleich von \tilde{c}_{gf} und \bar{C} erneut die Methode der Hamming-Distanzen zu den Bedingungen aus Formel 18 angewendet.

Schritt 12 – Bildung der Booleschen Matrix H basierend auf dem Minimum-Diskordanz-Level

Analog zu Schritt 11 ist für die Boolesche Matrix H das Diskordanz-Level \bar{D} erforderlich. Dieses wird als Durchschnitt der Elemente der Diskordanz-Matrix wie folgt ermittelt:

$$\bar{D} = \sum_{f=1}^m \sum_{g=1}^m \frac{\tilde{d}_{gf}}{m(m-1)}$$

Formel 19: Diskordanz-Level

Infolgedessen wird die Boolesche Matrix H wie folgt konstruiert:

$$H = \begin{bmatrix} - & \dots & h_{1f} & \dots & h_{1(m-1)} & h_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ h_{g1} & \dots & h_{gf} & \dots & h_{g(m-1)} & h_{gm} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ h_{m1} & \dots & h_{mf} & \dots & h_{m(m-1)} & - \end{bmatrix},$$

mit

$$\tilde{d}_{gf} \geq \bar{D} \Leftrightarrow h_{gf} = 0$$

$$\tilde{d}_{gf} < \bar{D} \Leftrightarrow h_{gf} = 1$$

Formel 20: Boolesche Matrix basierend auf dem Minimum-Diskordanz-Level

Schritt 13 – Bildung der globalen Matrix Z

Die globale Matrix Z wird durch Multiplikation der Elemente der Booleschen Matrizen B und H gebildet.

$$Z = \begin{bmatrix} - & \dots & z_{1f} & \dots & z_{1(m-1)} & z_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ z_{g1} & \dots & z_{gf} & \dots & z_{g(m-1)} & z_{gm} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ z_{m1} & \dots & z_{mf} & \dots & z_{m(m-1)} & - \end{bmatrix},$$

mit

$$Z = B \otimes H$$

Wobei jedes Element z_{gf} von Z wie folgt ermittelt wird:

$$z_{gf} = b_{gf} h_{gf}$$

Formel 21: Globale Matrix

Schritt 14 – Auswertung nach ELECTRE I

Auf Basis der globalen Matrix Z werden die Rangfolgenbeziehungen zwischen den Alternativen durch deren grafische Darstellung hergeleitet. Im Zuge dessen werden je nach Wert von z_{gf} die Relationen mit Hilfe von Pfeilen dargestellt. Eine Präferenz herrscht zwischen einer Alternative A_g und der Alternative A_f , wenn ein Pfeil zwischen den Alternativen existiert und von A_g zu A_f führt ($z_{gf} = 1$). Die Alternativen A_g und A_f sind unvergleichbar, wenn kein Pfeil existiert ($z_{gf} = 0$). Schließlich sind die Alternativen indifferent, wenn ein Pfeil vorliegt, der sowohl in Richtung A_g als auch A_f zeigt ($z_{gf} = 1$ und $z_{fg} = 1$).

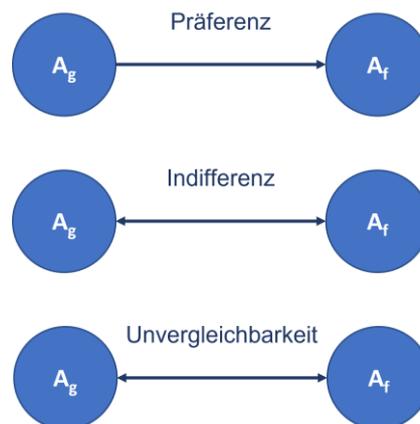


Abbildung 24: Outranking-Relationen nach Fuzzy ELECTRE I

7.3.1.2 Durchführung von Fuzzy ELECTRE I

Basierend auf der gewichteten, normalisierten Fuzzy-Entscheidungsmatrix V (Tabelle 20) werden mittels Formel 15 bzw. Formel 16 die Konkordanz-Matrix \tilde{C} und die Diskordanz-Matrix \tilde{D} gebildet.

\tilde{C}	CSM	RRM	PLE	PSS	SP
CSM	-	(2.1, 6.5, 7.6, 9.0)	(1.6, 5.6, 7.6, 9.0)	(1.7, 6.5, 7.5, 9.0)	(1.4, 5.7, 6.6, 8.0)
RRM	(0.5, 2.2, 2.6, 3.0)	-	(1.2, 4.1, 4.9, 6.0)	(1.3, 5.0, 5.8, 7.0)	(1.3, 5.0, 5.8, 7.0)
PLE	(1.0, 3.1, 3.6, 4.0)	(1.4, 4.6, 5.3, 6.0)	-	(1.4, 4.4, 5.1, 6.0)	(1.6, 5.8, 6.7, 8.0)
PSS	(0.9, 2.3, 2.6, 3.0)	(1.3, 3.8, 4.3, 5.0)	(1.2, 4.3, 5.0, 6.0)	-	(1.6, 5.9, 6.8, 8.0)
SP	(1.2, 3.1, 3.5, 4.0)	(1.3, 3.8, 4.3, 5.0)	(1.0, 2.9, 3.4, 4.0)	(1.0, 2.9, 3.3, 4.0)	-

Tabelle 35: Konkordanz-Matrix

\tilde{D}	CSM	RRM	PLE	PSS	SP
CSM	-	0.000	0.000	0.000	0.095
RRM	0.152	-	0.000	0.000	0.072
PLE	0.000	0.000	-	0.062	0.000
PSS	0.000	0.000	0.000	-	0.298
SP	0.000	0.000	1.000	0.105	-

Tabelle 36: Diskordanz-Matrix

Darauffolgend werden gemäß Schritt 11 und Schritt 12 die Booleschen Matrizen B und H konstruiert.

B	CSM	RRM	PLE	PSS	SP
CSM	-	0	0	0	0
RRM	1	-	1	0	0
PLE	1	0	-	0	0
PSS	1	1	1	-	0
SP	1	1	1	1	-

Tabelle 37: Boolesche Matrix basierend auf dem Minimum-Konkordanz-Level

H	CSM	RRM	PLE	PSS	SP
CSM	-	1	1	1	0
RRM	0	-	1	1	1
PLE	1	1	-	1	1
PSS	1	1	1	-	0
SP	1	1	0	0	-

Tabelle 38: Boolesche Matrix basierend auf dem Minimum-Diskordanz-Level

Abschließend wird die globale Matrix Z gemäß Formel 21 ermittelt und eine Grafik mit den Outranking-Relationen nach Schritt 14 gebildet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 23 und Tabelle 32 (Kapitel 5.2.1) ersichtlich.

Z	CSM	RRM	PLE	PSS	SP
CSM	-	0	0	0	0
RRM	0	-	1	0	0
PLE	1	0	-	0	0
PSS	1	1	1	-	0
SP	1	1	0	0	-

Tabelle 39: Globale Matrix

7.3.2 Fuzzy TOPSIS

7.3.2.1 Verfahrensschritte von Fuzzy TOPSIS

Zufolge der vorgeschlagenen Methode von Chen et al. (2006) zur Durchführung von Fuzzy TOPSIS werden die Schritte eins bis sieben entsprechend dem Vorgehen von Fuzzy PROMETHEE (siehe Kapitel 4.1.3) abgewickelt. Die darauf aufbauenden Verfahrensschritte werden im Folgenden beschrieben.³⁷¹

Schritt 8 – Ermittlung der Fuzzy-Ideallösungen

Die Fuzzy-Negativ-Ideallösungen A^- und die Fuzzy-Positiv-Ideallösungen A^* je Kriterium werden wie folgt ermittelt:

$$A^* = (v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*), \quad \text{mit } v_j^* = \max_i \{v_{ij4}\},$$

$$A^- = (v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-) \quad \text{mit } v_j^- = \max_i \{v_{ij1}\},$$

$$i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, m.$$

Formel 22: Fuzzy-Positiv-Ideallösung und Fuzzy-Negativ-Ideallösung

Schritt 9 – Ermittlung der Distanzen je Alternative zu den Fuzzy-Ideallösungen

Es seien $m = (m_1, m_2, m_3, m_4)$ und $n = (n_1, n_2, n_3, n_4)$ zwei trapezförmige Fuzzy-Zahlen. So lässt sich Distanz zwischen den beiden Zahlen mit der Scheitelpunkt-Methode berechnen.

$$d_v(m, n) = \sqrt{\frac{1}{4} [(m_1 - n_1)^2 + (m_2 - n_2)^2 + (m_3 - n_3)^2 + (m_4 - n_4)^2]}$$

Formel 23: Scheitelpunkt-Methode

Die Distanzen je Alternative zu A^- und A^* werden wie folgt definiert:

$$d_i^* = \sum_{j=1}^n d_v(v_{ij}, v_j^*), \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d_v(v_{ij}, v_j^-), \quad i = 1, 2, \dots, m$$

Formel 24: Distanzen zwischen den Alternativen und den Fuzzy-Ideallösungen

³⁷¹ Vgl. Chen et al., 2006, S. 293–296.

Schritt 10 – Ermittlung des Näherungskoeffizienten je Alternative

Der Näherungskoeffizient CC_i dient zur gleichzeitigen Darstellung der Abstände zur Fuzzy-Positiv-Ideallösung A^* und zur Fuzzy-Negativ-Ideallösung A^- . Dabei berücksichtigt dieser die relative Nähe zur Fuzzy-Positiv-Ideallösung. Die Größe des CC_i bestimmt die Rangreihenfolge der Alternativen. Der Näherungskoeffizient je Alternative wird wie folgt ermittelt:

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^* + d_i^-}, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

Formel 25: Näherungskoeffizient

7.3.2.2 Durchführung von Fuzzy TOPSIS

Auf Basis der gewichteten, normalisierten Fuzzy-Entscheidungsmatrix V (Tabelle 20) können mit Formel 22 die Fuzzy-Positiv-Ideallösungen A^* und die Fuzzy-Negativ-Ideallösungen A^- berechnet werden. Für das vorliegende Auswahlproblem ergeben sich folgende Ergebnisse:

C_i	A^*	A^-
C1	(1.00, 1.00, 1.00, 1.00)	(0.00, 0.00, 0.00, 0.00)
C2	(1.00, 1.00, 1.00, 1.00)	(0.00, 0.00, 0.00, 0.00)
C3	(1.00, 1.00, 1.00, 1.00)	(0.00, 0.00, 0.00, 0.00)
C4	(1.00, 1.00, 1.00, 1.00)	(0.09, 0.09, 0.09, 0.09)
C5	(1.00, 1.00, 1.00, 1.00)	(0.00, 0.00, 0.00, 0.00)
C6	(1.00, 1.00, 1.00, 1.00)	(0.00, 0.00, 0.00, 0.00)
C7	(1.00, 1.00, 1.00, 1.00)	(0.00, 0.00, 0.00, 0.00)
C8	(1.00, 1.00, 1.00, 1.00)	(0.01, 0.01, 0.01, 0.01)
C9	(1.00, 1.00, 1.00, 1.00)	(0.03, 0.03, 0.03, 0.03)
C10	(1.00, 1.00, 1.00, 1.00)	(0.03, 0.03, 0.03, 0.03)
C11	(1.00, 1.00, 1.00, 1.00)	(0.03, 0.03, 0.03, 0.03)
C12	(1.00, 1.00, 1.00, 1.00)	(0.03, 0.03, 0.03, 0.03)

Tabelle 40: Fuzzy Ideallösungen

Anschließend werden die Distanzen zwischen den Werten der gewichteten, normalisierten Fuzzy-Entscheidungsmatrix je Alternative und Kriterium und den positiven und negativen Ideallösungen mit Hilfe von Formel 23 berechnet.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
d(CSM, A^*)	0.50	0.58	0.58	0.53	0.58	0.53	0.49	0.52	0.52	0.53	0.51	0.53
d(RRM, A^*)	0.49	0.65	0.59	0.64	0.51	0.64	0.49	0.63	0.59	0.64	0.51	0.56
d(PLE, A^*)	0.47	0.42	0.63	0.66	0.74	0.66	0.62	0.57	0.44	0.56	0.59	0.57
d(PSS, A^*)	0.63	0.45	0.72	0.65	0.70	0.65	0.62	0.59	0.45	0.57	0.52	0.64
d(SP, A^*)	0.64	0.49	0.78	0.68	0.77	0.68	0.69	0.56	0.48	0.46	0.55	0.61

Tabelle 41: Distanzen zwischen den Alternativen und Kriterien und den Fuzzy-Positiv-Ideallösungen je Kriterium

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
d(CSM, A⁻)	0.75	0.64	0.62	0.60	0.65	0.68	0.75	0.69	0.66	0.65	0.67	0.65
d(RRM, A⁻)	0.77	0.58	0.63	0.60	0.71	0.59	0.75	0.58	0.60	0.52	0.67	0.62
d(PLE, A⁻)	0.79	0.75	0.59	0.62	0.48	0.58	0.57	0.64	0.74	0.57	0.60	0.60
d(PSS, A⁻)	0.56	0.73	0.50	0.63	0.55	0.58	0.61	0.63	0.72	0.62	0.66	0.56
d(SP, A⁻)	0.48	0.68	0.38	0.63	0.38	0.56	0.55	0.66	0.63	0.70	0.62	0.59

Tabelle 42: Distanzen je Alternative und Kriterium und den Fuzzy-Negativ-Ideallösungen je Kriterium

Auf Basis dessen werden die Distanzen je Alternative zu den Ideallösungen mittels Formel 24 aggregiert und die Näherungskoeffizienten CC_i mit Formel 25 berechnet. Daraus folgend wird die Rangreihenfolge der Alternativen gebildet.

	di*	di⁻	di*+di⁻	CCi	Rang
CSM	6.40	8.00	14.41	0.5554	1
RRM	6.79	7.63	14.42	0.5289	2
PLE	6.73	7.55	14.29	0.5286	3
PSS	7.02	7.34	14.36	0.5111	4
SP	7.13	6.89	14.02	0.4914	5

Tabelle 43: Berechnung des Näherungskoeffizienten und Rangreihenfolgenbildung

8 Literaturverzeichnis

- Adams, R. et al.: Sustainability-oriented Innovation. A Systematic Review, in: International Journal of Management Reviews, 18(2). 2015/2015, S. 180–205. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijmr.12068>.
- Adil, O./Ali, A.: Comparison between the Effects of Different Types of Membership Functions on Fuzzy Logic Controller Performance, in: International Journal of Emerging Engineering Research and Technology, 3(4). 2015/2015, S. 76–83.
- Ageron, B./Gunasekaran, A./Spalanzani, A.: Sustainable supply management: An empirical study, in: International Journal of Production Economics, 140(1). 2012/2012, S. 168–182. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.04.007>.
- Agyemang, M. et al.: Drivers and barriers to circular economy implementation. An explorative study in Pakistan's automobile industry, in: Management Decision, 57(4). 2019/2019, S. 971–994. DOI: <https://doi.org/10.1108/MD-11-2018-1178>.
- Aloini, D. et al.: Driving the Transition to a Circular Economic Model: A Systematic Review on Drivers and Critical Success Factors in Circular Economy, in: Sustainability, 12 (24). 2020/2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/su122410672>.
- Andrews, D.: The circular economy, design thinking and education for sustainability., in: Local Economy: The Journal of the Local Economy Policy Unit, 30(3). 2015/2015, S. 305–315. DOI: <https://doi.org/10.1177/0269094215578226>.
- Aparecida de Mattos, C./Albuquerque, T. L. M. de: Enabling Factors and Strategies for the Transition Toward a Circular Economy (CE), in: Sustainability, 10(12). 2018/2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10124628>.
- Apple Inc.: Apple Trade In, Online im WWW unter URL: <https://www.apple.com/at/trade-in/>, 2023. 2023 [Stand: 12.01.2023].
- Aranda-Usón, A. et al.: Financial Resources for the Circular Economy: A Perspective from Businesses, in: Sustainability, 11 (3). 2019/2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11030888>.
- Awan, U./Sroufe, R.: Sustainability in the Circular Economy: Insights and Dynamics of Designing Circular Business Models, in: Applied Sciences, 12 (3). 2022/2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12031521>.
- Aytac, E./Nilsen Karakasoglu, K.: An alternative approach based on Fuzzy PROMETHEE method for the supplier selection problem, in: Uncertain Supply Chain Management, 4(3). 2016/2016, S. 183–194. DOI: <https://doi.org/10.5267/j.uscm.2016.2.002>.
- Bakker, C. et al.: Products that last. Product design for circular business models, TU Delft Library, 2014.

- Becker, W. et al.: Geschäftsmodelle im Mittelstand, Bamberg, Univ., Lehrstuhl f. Betriebswirtschaftslehre, insbes. Unternehmensführung u. Controlling, uf&c, 2011.
- Becker, W./Krämer, J./Ulrich, P.: Typologie mittelständischer Unternehmen, 82. 2013/2013, S. 348–352 [Stand: 31.08.2022], Online im WWW unter URL: <https://www.proquest.com/docview/1460536294?pq-origsite=primo&parentSessionId=lilt6MfbSdIYLMrfqN5Vr%2FoKRFhsOTMpG71mTRekW7o%3D>.
- Becker, W./Ulrich, P.: Geschäftsmodelle im Mittelstand, Stuttgart [Germany], W. Kohlhammer GmbH, 2014.
- Bellman, R. E./Zadeh, L. A.: Decision-Making in a Fuzzy Environment, in: Management Science, 17(4). 1970/1970, S. 141–164. DOI: <https://doi.org/10.1287/mnsc.17.4.B141>.
- Benz, L. A.: Critical Success Factors for Circular Business Model Innovation from the Perspective of the Sustainable Development Goals, in: Sustainability, 14 (10). 2022/2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14105816>.
- Bigliardi, B./Filippelli, S.: Investigating Circular Business Model Innovation through Keywords Analysis, in: Sustainability, 13(9). 2021/2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13095036> [Stand: 09.12.2022], Online im WWW unter URL: <https://doi.org/10.3390/su13095036>.
- Blank, S.: Why the lean start-up changes everything., 2018.
- Bocken, N. et al.: A literature and practice review to develop sustainable business model archetypes, in: Journal of Cleaner Production, 65. 2014/2014, S. 42–56. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.039>.
- Bocken, N. et al.: Product design and business model strategies for a circular economy, in: Journal of Industrial and Production Engineering, 33. 2016/2016, S. 308–320. DOI: <https://doi.org/10.1080/21681015.2016.1172124>.
- Bocken, N. et al.: A Review and Evaluation of Circular Business Model Innovation Tools, in: Sustainability, 11(8). 2019/2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11082210>.
- Bocken, N. M./Harsch, A./Weissbrod, I.: Circular business models for the fastmoving consumer goods industry: Desirability, feasibility, and viability, in: Sustainable Production and Consumption, 30. 2022/2022, S. 799–814. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.01.012>.
- Boddy, C. R.: Sample size for qualitative research, in: Qualitative Market Research: An International Journal. 2016/2016, S. 426–432. DOI: <https://doi.org/10.1108/QMR-06-2016-0053>.
- Brans, J. P./Vincke, P./Mareschal, B.: How to select and how to rank projects: The Promethee method, in: European Journal of Operational Research, 24(2). 1986/1986, S. 228–238. DOI: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(86\)90044-5](https://doi.org/10.1016/0377-2217(86)90044-5).

- Brans, J.-P./Bertrand, M.: Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys. Promethee Methods, 2005.
- Bredmar, K.: Transforming Environmental uncertainty to Risk-Managing Risk and Management Control, in: Global Business and Management Research: An International Journal, 7(3). 2015/2015, S. 44–54, Online im WWW unter URL: <http://www.gbmrjournal.com/pdf/vol.%207%20no.%203/V7N3-4.pdf>.
- Bressanelli, G. et al.: Exploring How Usage-Focused Business Models Enable Circular Economy through Digital Technologies, in: Sustainability, 10(3). 2018/2018a. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10030639>.
- Bressanelli, G./Perona, M./Sacconi, N.: Challenges in supply chain redesign for the Circular Economy: a literature review and a multiple case study, in: International Journal of Production Research, 57(23). 2018/2018b. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1542176>.
- Bulut, E./Duru, O.: Theory, Application and Fuzzy Set Integration, in: Analytic Hierarchy Process (AHP) in Maritime Logistics. 2018/2018, S. 31–78. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-62338-2_3.
- Bungard, P. (Hrsg.): CSR und Geschäftsmodelle. Auf dem Weg zum zeitgemäßen Wirtschaften, Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg; Imprint; Springer Gabler, 2018.
- Chakraverty, S. et al.: Concepts of Soft Computing. Fuzzy Numbers, Singapore, Springer Singapore; Imprint: Springer, 2019.
- Chen, C.-T./Lin, C.-T./Huang, S.-F.: A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management, in: International Journal of Production Economics, 102(2). 2006/2006, S. 289–301. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2005.03.009>.
- Chen, C.-W.: Improving Circular Economy Business Models: Opportunities for Business and Innovation : A new framework for businesses to create a truly circular economy, in: Johnson Matthey Technology Review, 64(1). 2020/2020. DOI: <https://doi.org/10.1595/205651320X15710564137538>.
- Chen, S. M./Hsaio, W. H./Horng, Y. J.: A knowledge-based method for fuzzy query processing for document retrieval, in: Cybernetics and Systems, 28(1). 1997/1997, S. 99–119. DOI: <https://doi.org/10.1080/019697297126272>.
- Dais S.: Industrie 4.0 – Anstoß, Vision, Vorgehen. In: Vogel-Heuser, B., Bauernhansl, T., ten Hompel, M. (eds) Handbuch Industrie 4.0 Bd.4., Heidelberg, Springer Vieweg, 2017.
- Danesh, D./Ryan, M. J./Abbasi, A.: Multi-criteria decision-making methods for project portfolio management: a literature review, in: International Journal of Management and Decision Making, 17(1). 2018/2018, S. 75–94. DOI: <https://doi.org/10.1504/IJMDM.2018.088813>.

- Daou, A. et al.: The Ecocanvas as a business model canvas for a circular economy, in: Journal of Cleaner Production. 2020/2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120938>.
- Dean, M.: A Practical Guide to Multi-Criteria Analysis. 2022/2022. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15007.02722>.
- Dodgson, J. et al.: Multi-criteria analysis: a manual, Wetherby, Communities and Local Government, 2009.
- Dortmund, U.: Wirkung revolutionärer Entwicklungsansätze auf KMU. Möglichkeiten und Grenzen der Anwendung 'revolutionärer' Entwicklungsansätze auf Klein- und Mittelständische Unternehmen (KMU) in hoch entwickelten Wirtschaftsräumen am Beispiel Deutschlands, Hamburg, Diplom.de, 2010.
- D'Souza, A. et al.: A business model design framework for viability: a business ecosystem approach, in: Journal of Business Models, 3(2). 2015/2015. DOI: <https://doi.org/10.5278/ojs.jbm.v3i2.1216>.
- Elizabeth, S./Sujatha, L.: Project Scheduling Method Using Triangular Intuitionistic Fuzzy Numbers and Triangular Fuzzy Numbers, in: Applied Mathematical Sciences, 9(4). 2015/2015, S. 185–198. DOI: <https://doi.org/10.12988/ams.2015.410852>.
- Ellen McArthur Foundation: Europe's first circular economy factory for vehicles: Renault, Online im WWW unter URL: <https://ellenmacarthurfoundation.org/circular-examples/groupe-renault> [Stand: 13.01.2023].
- Ertz, M. et al.: Advancing quantitative rigor in the circular economy literature: New methodology for product lifetime extension business models, in: Resources, Conservation and Recycling, 150. 2019/2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104437>.
- Europäische Kommission: Empfehlung der Kommission vom 6. Mai 2003 betreffend die Definition der Kleinstunternehmen sowie der kleinen und mittleren Unternehmen, 2003.
- Europäische Kommission: Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, The European Economic and Social Committee and the Committee of the regions tackling the challenges in commodity markets and on raw materials Communication on the challenges on commodity markets, Online im WWW unter URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52011DC0025>, 2011. 2011 [Stand: 20.01.2023].
- Europäische Kommission: Der europäische Grüne Deal, Online im WWW unter URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:52019DC0640#document2>, 2019. 2019 [Stand: 02.04.2022].
- Europäische Kommission: Ein neuer Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft für ein saubereres und wettbewerbsfähigeres Europa, Online im WWW unter URL:

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?qid=1583933814386&uri=COM%3A2020%3A98%3AFIN>, 2020. 2020 [Stand: 02.04.2022].

Europäisches Parlament: Kreislaufwirtschaft: Definition und Vorteile, Online im WWW unter URL:

<https://www.europarl.europa.eu/news/de/headlines/economy/20151201STO05603/kreislaufwirtschaft-definition-und-vorteile>, 2015. 2015 [Stand: 14.12.2022].

Fontell, P./Heikkilä, P.: Model of circular business ecosystem for textiles, 2017.

Geissdoerfer, M. et al.: The Circular Economy - A new sustainability paradigm?, in: Journal of Cleaner Production, 143. 2017/2017, S. 757–768. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>.

Geissdoerfer, M. et al.: Business models and supply chains for the circular economy, in: Journal of Cleaner Production, 190. 2018/2018a, S. 712–721. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.159>.

Geissdoerfer, M. et al.: Circular business models: A review, in: Journal of Cleaner Production, 277. 2020/2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123741>.

Geissdoerfer, M./Vladimirova, D./Evans, S.: Sustainable business model innovation: A review, in: Journal of Cleaner Production, 198. 2018/2018b, S. 401–416. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.240> [Stand: 06.12.2022].

Geldermann, J./Lerche Nils: Leitfaden zur Anwendung von Methoden der multikriteriellen Entscheidungsunterstützung. Methode: PROMETHEE, Online im WWW unter URL: <https://www.uni-goettingen.de/de/document/download/285813337d59201d34806cfc48dae518-en.pdf/MCDA-Leitfaden-PROMETHEE.pdf>, 2014. 2014 [Stand: 17.03.2023].

Giunipero, L. C./Hooker, R. E./Denslow, D.: Purchasing and supply management sustainability: Drivers and barriers, in: Journal of Purchasing and Supply Management, 18(4). 2012/2012, S. 258–269. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pursup.2012.06.003>.

Gonbani, A. M./Genovese, A./Sgalambro, A.: Closed-loop supply chain design for the transition towards a circular economy: A systematic literature review of methods, applications and current gaps, in: Journal of Cleaner Production, 323. 2021/2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129101>.

Görener, A.: Comparing AHP and ANP: An Application of Strategic Decisions Making in a Manufacturing Company, in: International Journal of Business and Social Science, 3(11). 2012/2012, S. 194–208.

Goumas, M./Lygerou, V.: An extension of the PROMETHEE method for decision making in fuzzy environment: Ranking of alternative energy exploitation projects, in: European Journal of Operational Research, 123(3). 2000/2000, S. 606–613. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(99\)00093-4](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00093-4).

- Govindan, K./Shankar, K./Kannan, D.: Achieving sustainable development goals through identifying and analyzing barriers to industrial sharing economy: A framework development, in: *International Journal of Production Economics*, 227. 2020/2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.107575>.
- Goyal, S./Esposito, M./Kapoor, A.: Circular economy business models in developing economies: Lessons from India on reduce, recycle, and reuse paradigms, in: *Thunderbird International Business Review*, 60(5). 2018/2018. DOI: <https://doi.org/10.1002/tie.21883>.
- Goyal, S./Gargm Dixit/Luthra, S.: Analyzing critical success factors to adopt sustainable consumption and production linked with circular economy, in: *Environment, Development and Sustainability*, 24. 2022/2022, S. 5195–5224. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01655-y>.
- Grothe, M.: *Ordnung als betriebswirtschaftliches Phänomen. Die Bedeutung von Koordination und Komplexität*, Wiesbaden, Deutscher Universitätsverlag, 1997.
- Guldmann, E./Huulgaard, R. D.: Barriers to circular business model innovation: A multiple-case study, in: *Journal of Cleaner Production*, 243. 2020/2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118160>.
- Gusmerotti, N. M. et al.: Drivers and approaches to the circular economy in manufacturing firms, in: *Journal of Cleaner Production*, 230. 2019/2019, S. 314–327. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.044>.
- Haag, P./Roßmann, P.: *Management kleiner und mittlerer Unternehmen: Strategische Aspekte, operative Umsetzung und Best Practice*, De Gruyter, 2015.
- Hart, J. et al.: Barriers and drivers in a circular economy: the case of the built environment, in: *Procedia CIRP*, 80. 2019/2019, S. 619–624. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.12.015>.
- Hasanuzzaman/Bhar, C.: Development of a framework for sustainable improvement in performance of coal mining operations, in: *Clean Technologies and Environmental Policy*, 21. 2019/2019, S. 1091–1113. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10098-019-01694-0>.
- Hatami-Marbini, A./Tavana, M.: An extension of the Electre I method for group decision-making under a fuzzy environment, 39(4). 2011/2011, S. 373–386. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2010.09.001>.
- Haupt, M./Zschokke, M.: How can LCA support the circular economy?, in: *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 22. 2017/2017, S. 832–837. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11367-017-1267-1>.
- Herrmann, C./Vetter, O.: *Ökologische und ökonomische Bewertung des Ressourcenaufwands. Remanufacturing von Produkten*, 2021.

- Hevner, A./March, S. T./Park, J.: Design Science in Information Systems Research, in: MIS Quarterly, 28(1). 2004/2004, S. 75–105. DOI: <https://doi.org/10.2307/25148625>.
- Hofmann, F./Jaeger-Erben, M.: Organizational transition management of circular business model innovations, in: Business Strategy and the Environment, 29(6). 2020/2020, S. 2770–2788. DOI: <https://doi.org/10.1002/bse.2542>.
- Hollins, O.: The Further Benefits of Business Resource Efficiency. A research report completed for the Department for Environment, Food and Rural Affairs, Online im WWW unter URL: <http://www.enworksinbox.com/sites/default/files/Further%20Benefits%20of%20Business%20Resource%20Efficiency%20Mar%202011.pdf>, 2011. 2011.
- Hopkinson, P. et al.: Managing a Complex Global Circular Economy Business Model: Opportunities and Challenges, 60(3). 2018/2018, S. 71–94. DOI: <https://doi.org/10.1177/0008125618764692> [Stand: 12.12.2022].
- Horvath, B./Mallinguh, E./Fogarassy, C.: Designing Business Solutions for Plastic Waste Management to Enhance Circular Transitions in Kenya, in: Sustainability, 10(5). 2018/2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10051664>.
- Ihlau, S. et al.: Besonderheiten bei der Bewertung von KMU. Planungsplausibilisierung, Steuern, Kapitalisierung, Dordrecht, Springer, 2013.
- Institut für Mittelstandsforschung: KMU-Definition des IfM Bonn, Online im WWW unter URL: <https://www.ifm-bonn.org/definitionen-/kmu-definition-des-ifm-bonn> [Stand: 22.08.2022].
- Jabbour, C. et al.: Stakeholders, innovative business models for the circular economy and sustainable performance of firms in an emerging economy facing institutional voids, in: Journal of Environmental Management, 264. 2020/2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110416>.
- Jani, Y./Hogland, W.: Waste glass in the production of cement and concrete – A review., in: Journal of Environmental Chemical Engineering, 2(3). 2014/2014, S. 1767–1775. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2014.03.016>.
- Kallio, T. J./Nordberg, P.: The Evolution of Organizations and Natural Environment Discourse., in: Organization & Environment, 19(4). 2006/2006, S. 439–457. DOI: <https://doi.org/10.1177/1086026606294955>.
- Kangas, A./Kangas, J./Pykäläinen, J.: Outranking Methods As Tools in Strategic Natural Resources Planning, in: Silva Fennica, 35(2). 2001/2001, S. 215–227. DOI: <https://doi.org/10.14214/sf.597>.
- Kaufmann, A./Gupta, M. M.: Fuzzy mathematical models in engineering and management science, Amsterdam, North-Holland, 1991.

- Khan, M. A. et al.: Review on upgradability - A product lifetime extension strategy in the context of product service systems, in: *Journal of Cleaner Production*. 2018/2018, S. 1154–1168. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.329>.
- Kirchherr, J./Reike, D./Hekkert, M.: Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions, in: *Resources, Conservation and Recycling*. 2017/2017, S. 221–232. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>.
- Kjaer, L. L. et al.: Product/Service-Systems for a Circular Economy: The Route to Decoupling Economic Growth from Resource Consumption?, in: *Journal of Industrial Ecology*, 23(1). 2018/2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/jiec.12747>.
- Klir, G. J./Yuan, B.: *Fuzzy set and fuzzy logic: theory and applications*, New Jersey, Prentice Hall, 1995.
- KMU-Digitalisierung.agency: *KMU SharingMarket*, Online im WWW unter URL: <https://kmusharingmarket.ch/>, 2022. 2022 [Stand: 14.01.2023].
- Kok, L./Wurpel, G./Wolde E.: *Unleashing the Power of the Circular Economy*, Online im WWW unter URL: <https://www.yumpu.com/en/document/view/14610882/unleashing-the-power-of-the-circular-economy>, 2013. 2013.
- Kuo, M.-S./Tzeng, G.-H./Huang, W.-C.: Group decision-making based on concepts of ideal and anti-ideal points in a fuzzy environment, in: *Mathematical and Computer Modelling*, 45(3-4). 2007/2007, S. 324–339. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2006.05.006>.
- Kuo, T. C.: Simulation of purchase or rental decision-making based on product service system, in: *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 52. 2010/2010, S. 1239–1249. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-010-2768-2>.
- Lacy/Partridge: *Circular Economy Handbook*, [Place of publication not identified], Palgrave Macmillan UK, 2020.
- Lahane, S./Kant, R.: Evaluating the circular supply chain implementation barriers using Pythagorean fuzzy AHP-DEMATEL approach, in: *Cleaner Logistics and Supply Chain*. 2021/2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2021.100014>.
- Lahti, T./Wincent, J./Parida, V.: A Definition and Theoretical Review of the Circular Economy, Value Creation, and Sustainable Business Models: Where Are We Now and Where Should Research Move in the Future?, in: *Sustainability*, 10(8). 2018/2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10082799>.
- Le Téo, J. F./Mareschal, B.: An interval version of PROMETHEE for the comparison of building products' design with ill-defined data on environmental quality, in: *European Journal of Operational Research*, 109. 1998/1998, S. 522–529. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(98\)00074-5](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00074-5).

- Lewandowski, M.: Designing the Business Models for Circular Economy—Towards the Conceptual Framework, in: *Sustainability*, 8(1). 2016/2016. DOI: <https://doi.org/10.3390/su8010043>.
- Linder, M./Williander, M.: Circular Business Model Innovation: Inherent Uncertainties, in: *Business Strategy and the Environment*, 26(2). 2015/2015. DOI: <https://doi.org/10.1002/bse.1906>.
- Liu, G./Wang, X.: A Trapezoidal Fuzzy Number-Based VIKOR Method with Completely Unknown Weight Information, in: *Symmetry*, 15(2). 2023/2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/sym15020559>.
- Marconi, M. et al.: Applying data mining technique to disassembly sequence planning: a method to assess effective disassembly time of industrial products, in: *International Journal of Production Research*, 57(2). 2019/2019, S. 599–623. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1472404>.
- Martins, A. V. et al.: Towards the development of a model for circularity: The circular car as a case study, in: *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 45. 2021/2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101215>.
- McGrath, R. G.: Business Models: A Discovery Driven Approach, in: *Long Range Planning*, 43(2-3). 2010/2010, S. 247–261. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lrp.2009.07.005>.
- Melzner, M.: Analyse und Auswahl digitaler Geschäftsmodelle in der produzierenden Industrie, Bayreuth, NMP-Verlag, 2020.
- Mentink, B.: Circular Business Model Innovation: A process framework and a tool for business model innovation in a circular economy, Online im WWW unter URL: <http://resolver.tudelft.nl/uuid:c2554c91-8aaf-4fdd-91b7-4ca08e8ea621>, 2014.
- Mhatre, P. et al.: A systematic literature review on the circular economy initiatives in the European Union, in: *Sustainable Production and Consumption*, 26. 2021/2021, S. 187–202. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.09.008>.
- Moktadir, A. et al.: Critical success factors for a circular economy: Implications for business strategy and the environment, in: *Business Strategy and the Environment*, 29(8). 2020/2020, S. 3611–3635. DOI: <https://doi.org/10.1002/bse.2600>.
- Moreno, M. A./Ponte, O./Charnley, F.: Taxonomy of Design Strategies for a Circular Design Tool, in: *Proceedings of the 2nd Conference on Product Lifetimes and the Environment (PLATE)*. 2017/2017, S. 275–279.
- Morseletto, P.: Targets for a circular economy, in: *Resources, Conservation and Recycling*, 153. 2020/2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104553>.

- Moser, R. et al.: Außenhandel im Wandel. Festschrift zum 60. Geburtstag von Reinhard Moser, Heidelberg, New York, Physica-Verlag HD, 2011.
- Murat, S./Kazan, H./Coskun, S. S.: An Application for Measuring Performance Quality of Schools by Using the PROMETHEE Multi-Criteria Decision Making Method, in: *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 2015/2015, S. 729–738. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.344>.
- Murray, A./Skene, K./Haynes, K.: The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context, in: *Journal of Business Ethics*, 140. 2017/2017, S. 369–380. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10551-015-2693-2>.
- Olivetti, E. A./Cullen, J. M.: Toward a sustainable materials system. An unprecedented effort is needed to achieve sustainable materials production and use, in: *Science*, 360. 2018/2018, S. 1396–1398. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aat6821>.
- Osterwalder, A.: *The Business Model Ontology - A Proposition in a Design Science Approach*, Lausanne, 2004.
- Osterwalder, A./Pigneur, Y./Tucci, C.: Clarifying business models: origins, present, and future of the concept., in: *Communications of the Association for Information Systems*, 16(1). 2010/2010. DOI: <https://doi.org/10.17705/1CAIS.01601>.
- Pacheco, D. d. J. et al.: Overcoming barriers towards Sustainable Product-Service Systems in Small and Medium-sized enterprises: State of the art and a novel Decision Matrix, in: *Journal of Cleaner Production*, 222. 2019/2019, S. 903–921. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.152>.
- Palich, L. E./Cardinal, L. B./Miller C. Chet: Curvilinearity in the diversification–performance linkage: an examination of over three decades of research, in: *Strategic Management Journal*, 21(2). 2000/2000, S. 155–174. DOI: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0266\(200002\)21:2%3C155:AID-SMJ82%3E3.0.CO;2-2](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0266(200002)21:2%3C155:AID-SMJ82%3E3.0.CO;2-2).
- Pallaro, E. et al.: Review of sustainable service-based business models in the Chinese truck sector, in: *Sustainable Production and Consumption*, 11. 2017/2017, S. 31–45. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2016.07.003> [Stand: 13.04.2022].
- Pang, J./Zhang, Genbao, Chen, Guohua: ELECTRE I Decision Model of Reliability Design Scheme for Computer Numerical Control Machine, in: *Journal of Software*. 2011/2011, S. 894–900. DOI: <https://doi.org/10.4304/jsw.6.5.894-900>.
- Peppers, K. et al.: A design science research methodology for information systems research, in: *Journal of Management Information Systems*, 24(3). 2007/2007, S. 45–77, Online im WWW unter URL: <https://www.jstor.org/stable/40398896>.

- Perey, R. et al.: The place of waste: Changing business value for the circular economy, in: *Business Strategy and the Environment*, 27(5). 2018/2018, S. 631–642. DOI: <https://doi.org/10.1002/bse.2068>.
- Pfohl, H.-C.: Zur Problematik von Entscheidungsregeln, 1972. 1972 [Stand: 15.12.2022].
- Pieron Marina P.P./McAloone, T. C./Pigosso, D. C.: Business model innovation for circular economy and sustainability: A review of approaches, in: *Journal of Cleaner Production*, 215. 2019/2019a, S. 198–216. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.036>.
- Pieron Marina P.P./McAloone, T. C./Pigosso, D. C.: Configuring New Business Models for Circular Economy through Product–Service Systems, in: *Sustainability*, 11(13). 2019/2019b. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11133727>.
- Pincaré, H.: Fuzzy-Set-Theorie, in: *Fuzzy-PPS-Systeme*. 1999/1999, S. 63–118. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-322-99315-1_3.
- Piscicelli, L./Ludden, G.: The potential of Design for Behaviour Change to foster the transition to a circular economy, in: *Conference: 2016 Design Research Society*. 2016/2016. DOI: <https://doi.org/10.21606/drs.2016.489>.
- Potting, J. et al.: Circular economy: measuring innovation in the product chain., Online im WWW unter URL: https://www.researchgate.net/publication/319314335_Circular_Economy_Measuring_innovation_in_the_product_chain, 2017. 2017.
- Qinglan, L. et al.: A framework of digital technologies for the circular economy: Digital functions and mechanisms, in: *Business Strategy and the Environment*, 31. 2022/2022, S. 2171–2192. DOI: <https://doi.org/10.1002/bse.3015>.
- reGAIN app: reGAIN app. Doing good pays off, Online im WWW unter URL: <https://regain-app.com/>, 2023. 2023 [Stand: 12.01.2023].
- Reike, D./Vermeulen, W. J./Witjes, S.: The circular economy: New or Refurbished as CE 3.0? — Exploring Controversies in the Conceptualization of the Circular Economy through a Focus on History and Resource Value Retention Options., in: *Resources, Conservation and Recycling*, 135. 2018/2018, 246-264. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.027>.
- Reim, W./Sjödén, D./Parida, V.: Circular business model implementation: A capability development case study from the manufacturing, in: *Business Strategy and the Environment*, 30(6). 2021/2021, S. 2745–2757. DOI: <https://doi.org/10.1002/bse.2891>.
- Reinemann, H.: *Mittelstandsmanagement. Einführung in Theorie und Praxis*, Stuttgart [Germany], Schäffer-Poeschel Verlag, 2013.
- Reymen, I. M. et al.: Understanding dynamics of strategic decision making in venture creation: A process study of effectuation and causation, in: *Strategic Entrepreneurship Journal*, 9. 2015/2015. DOI: <https://doi.org/10.1002/sej.1201>.

- Richardson, J.: The business model: an integrative framework for strategy execution, in: *Strategic Change*, 17(5-6). 2008/2008. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsc.821>.
- Ritschl, V. et al.: *Wissenschaftliches Arbeiten und Schreiben. Verstehen, Anwenden, Nutzen für die Praxis*, Springer Berlin Heidelberg, 2016.
- Ritthoff, M./Liedtke, C./Kaiser, C.: *Technologien zur Ressourceneffizienzsteigerung: Hot Spots und Ansatzpunkte*, Online im WWW unter URL: https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/5875/file/5875_Ressourceneffizienzsteigerung.pdf, 2007. 2007.
- Rizos, V. et al.: Implementation of Circular Economy Business Models by Small and Medium-Sized Enterprises (SMEs): Barriers and Enablers, in: *Sustainability*, 8 (11). 2016/2016. DOI: <https://doi.org/10.3390/su8111212>.
- Rockström, J. et al.: Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity, in: *Ecology & Society*, 14(2). 2009/2009.
- Rogers, M./Bruen, M.: Choosing realistic values of indifference, preference and veto thresholds for use with environmental criteria within ELECTRE, in: *European Journal of Operational Research*, 107(3). 1998/1998, S. 542–551. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(97\)00175-6](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(97)00175-6).
- Rohn, H. et al.: Identifikation von Technologien, Produkten und Strategien mit hohem Ressourceneffizienzpotenzial – Ergebnisse eines kooperativen Auswahlprozesses, Online im WWW unter URL: https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/3275/file/MaRess_AP1_2.pdf, 2009. 2009.
- Rosa, P./Sassanelli, C./Terzi, S.: Towards Circular Business Models: A systematic literature review on classification frameworks and archetypes, in: *Journal of Cleaner Production*, 236. 2019/2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117696>.
- Rösch, M. M.: *Gießerei-Controlling. Erfolgsfaktoren von Gießereien und deren Steuerung*, Berlin, Fachverlag Schiele & Schön, 2013.
- Roy, B.: Classement et choix en présence de points de vue multiples, in: *Revue française d'informatique et de recherche opérationnelle*, 2. 1968/1968, S. 57–75, Online im WWW unter URL: http://www.numdam.org/item/RO_1968__2_1_57_0/.
- Roy, P. et al.: Environmental and economic prospects of biomaterials in the automotive industry, in: *Clean Technologies and Environmental Policy*, 21. 2019/2019, S. 1535–1548. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10098-019-01735-8>.
- Sarasvathy, S. D.: Causation and Effectuation: Toward a Theoretical Shift from Economic Inevitability to Entrepreneurial Contingency, in: *The Academy of Management Review*, 26(2). 2001/2001, S. 243–263. DOI: <https://doi.org/10.2307/259121>.

- Schallmo, D.: Geschäftsmodell-Innovation. Grundlagen, bestehende Ansätze, methodisches Vorgehen und B2B-Geschäftsmodelle, Wiesbaden, Springer Gabler, 2013.
- Schallmo, D.: Geschäftsmodelle erfolgreich entwickeln und implementieren. Mit Aufgaben, Kontrollfragen und Templates, Berlin, Springer Gabler, 2018.
- Schwanholz, J./Leipold, S.: Sharing for a circular economy? an analysis of digital sharing platforms' principles and business models, in: Journal of Cleaner Production, 269. 2020/2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122327>.
- Schwarz, E. et al.: Innovationskompass für klein- und mittelständische Unternehmen: Neue Ideen finden und entwickeln, Linde Verlag GmbH, 2006.
- Seddon, P./Lewis, G.: Strategy and Business Models: What's the Difference?, 2003.
- Selvefors, A. et al.: Use to use – A user perspective on product circularity, in: Journal of Cleaner Production, 223. 2019/2019, S. 1014–1028. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.117>.
- Sharma, R. K./Singh, P. K./Singh, H.: A hybrid multi-criteria decision approach to analyze key factors affecting sustainability in supply chain networks of manufacturing organizations, in: Clean Technologies and Environmental Policy, 22. 2020/2020, S. 1871–1889. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10098-020-01926-8>.
- Soldatos, J. et al.: A digital platform for cross-sector collaborative value networks in the circular economy, in: Procedia Manufacturing, 54. 2021/2021, S. 64–69. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2021.07.011>.
- Sudusinghe, J. I./Seuring, S.: Supply chain collaboration and sustainability performance in circular economy: A systematic literature review, in: International Journal of Production Economics, 245. 2022/2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108402>.
- Taran, Y./Boer, H./Lindgren, P.: A Business Model Innovation Typology, in: A Journal of the Decision Sciences Institute, 46(2). 2015/2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/dec.12128>.
- Tereschenko, O./Kieneke, T.: Erfolgsfaktoren. Stand der Forschung und Entwicklungsperspektiven, Saarbrücken, VDM Verlag Dr. Müller, 2007.
- Tesch, J. F./Brillinger, A.-S.: The Evaluation aspect of Digital Business Model Innovation: A Literature Review on Tools and Methodologies, in: European Conference on Information Systems, 25. 2017/2017, Online im WWW unter URL: https://aisel.aisnet.org/ecis2017_rp/143.
- Tesch, J. F./Brillinger, A.-S./Bilgeri, D.: Internet of Things Business Model Innovation and the Stage-Gate-Process: An Exploratory Analysis, in: International Journal of Innovation Management, 21. 2017/2017. DOI: <https://doi.org/10.1142/S1363919617400023>.

- Thompson, A. et al.: Benefits of a Product Service System Approach for Long-life Products: The Case of Light Tubes, in: 2nd CIRP International Conference on Industrial Product Service Systems (IPS2). 2010/2010.
- Tian, Y.: Optimal policy for attracting FDI: Investment cost subsidy versus tax rate reduction, in: International Review of Economics and Finance. 2018/2018, S. 151–159. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iref.2017.10.018>.
- Tiscini, R. et al.: The blockchain as a sustainable business model innovation, in: Management Decision, 58(8). 2020/2020. DOI: <https://doi.org/10.1108/MD-09-2019-1281>.
- Toker, K./Görener, A.: Evaluation of circular economy business models for SMEs using spherical fuzzy TOPSIS. An application from a developing countries' perspective, in: Environment, Development and Sustainability, 25. 2022/2022, S. 1700–1741. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02119-7>.
- Trianni, A./Cagno, E.: Dealing with barriers to energy efficiency and SMEs: Some empirical evidences, in: Energy, 37 (1). 2012/2012, S. 494–504. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.11.005>.
- Tripathi, S./Petro, G.: Evolving Green Procurement and Sustainable Supply Chain Practices in the Organizations: A Framework to Align Functional Strategy Implementation to Organization's Corporate Social Responsibility (CSR) Objectives, in: Management Convergence, 1(1). 2011/2011.
- Tura, N. et al.: Unlocking circular business: A framework of barriers and drivers, in: Journal of Cleaner Production, 212. 2019/2019, S. 90–98. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.202>.
- Urbinati, A./Franzo, S./Chiaroni, D.: Enablers and Barriers for Circular Business Models: an empirical analysis in the Italian automotive industry, in: Sustainable Production and Consumption, 27. 2021/2021, S. 551–566. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.01.022>.
- Vafaei, N./Ribeiro, R. A./Camarinha-Matos, L.: Selection of Normalization Technique for Weighted Average Multi-criteria Decision Making, in: Technological Innovation for Resilient Systems. 2018/2018. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-78574-5_4.
- Vermunt, D. A. et al.: Exploring barriers to implementing different circular business models, in: Journal of Cleaner Production, 222. 2018/2018, S. 891–902. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.052>.
- Vitsoe Ltd.: Vitsoe. 606 Universal Shelving System, Online im WWW unter URL: <https://www.vitsoe.com/gb/606> [Stand: 13.01.2022].
- Volkswagen Aktiengesellschaft: Verwertung, Online im WWW unter URL: <https://www.volkswagenag.com/de/sustainability/circular-economy/recycling.html#> [Stand: 12.01.2023].

- Wang, T.-C./Chen, L. Y./Chen, Y.-H.: Applying Fuzzy PROMETHEE Method for Evaluating IS Outsourcing Suppliers, in: Fifth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery. 2008/2008, S. 361–365. DOI: <https://doi.org/10.1109/FSKD.2008.506>.
- Webster, J./Watson, R. T.: Analyzing the Past to Prepare for the Future: Writing a Literature Review, in: MIS Quarterly, 26(2). 2002/2002, S. 13–23, Online im WWW unter URL: <https://www.jstor.org/stable/4132319>.
- Whalen, C. J./Whalen, K.: Circular Economy Business Models: A Critical Examination, in: Journal of Economic Issues, 54(3). 2020/2020, S. 628–643. DOI: <https://doi.org/10.1080/00213624.2020.1778404>.
- Williamson, O. E.: Technology and Transaction Cost Economics: A reply, in: Journal of Economic Behaviour & Organization, 10(3). 1988/1988, S. 355–363. DOI: [https://doi.org/10.1016/0167-2681\(88\)90055-8](https://doi.org/10.1016/0167-2681(88)90055-8).
- Wirtz, B. W./Becker, D. R.: Geschäftsmodell-Ansätze und Geschäftsmodellvarianten im Electronic Business, 2002.
- Witzel, A.: Das problemzentrierte Interview, in: Forum Qualitative Sozialforschung, 1(1). 2000/2000. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-8349-9441-7_29.
- Wolfslehner, B./Vacik, H./Lexer, M. J.: Application of the analytic network process in multi-criteria analysis of sustainable forest management, in: Forest Ecology and Management, 207(1-2). 2005/2005, S. 157–170. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.10.025>.
- Xingzhi, W./Yuchen, W./Ang, L.: Trust-Driven Vehicle Product-Service System: A Blockchain Approach, in: Procedia CIRP, 93. 2020/2020, S. 593–598. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.04.149>.
- Yang, M. et al.: Product-service systems business models for circular supply chains, in: Production Planning & Control, 29(6). 2018/2018, S. 498–508. DOI: <https://doi.org/10.1080/09537287.2018.1449247>.
- Yüksel, I.: Developing a Multi-Criteria Decision Making Model for PESTEL Analysis, in: International Journal of Business and Management, 7(24). 2012/2012, S. 52–66. DOI: <https://doi.org/10.5539/ijbm.v7n24p52>.
- Zadeh, L. A.: Fuzzy sets, in: Information and Control, 8 (3). 1965/1965, S. 338–353. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X).
- Zafar, H. et al.: Analyzing the business models for circular economy implementation: a fuzzy TOPSIS approach, in: Operations Management Research, 14. 2021/2021, S. 256–271. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12063-021-00197-w>.

9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Design Science Research Methode Prozessmodell	4
Abbildung 2: Modell der Linearen Wirtschaft	6
Abbildung 3: Modell der Kreislaufwirtschaft	7
Abbildung 4: Evolution der R-Frameworks	8
Abbildung 5: Der europäische Green Deal	15
Abbildung 6: Übersicht des Aktionsplans für die Kreislaufwirtschaft (eigene Darstellung)	15
Abbildung 7: Das Geschäftsmodell-Rahmenwerk (eigene Darstellung)	22
Abbildung 8: Traditionelle Geschäftsmodelle, nachhaltige Geschäftsmodelle und zirkuläre Geschäftsmodelle, (eigene Darstellung)	28
Abbildung 9: Die Kernelemente eines linearen BMs und eines CBMs (eigene Darstellung)	29
Abbildung 10: Die vier Arten der CBMI (eigene Darstellung)	32
Abbildung 11: Einteilung von MCDA-Methoden (eigene Darstellung)	40
Abbildung 12: CBMs im Wertschöpfungskreislauf (eigene Darstellung in Anlehnung an Lacy & Partridge, 2020).	47
Abbildung 13: Die Abfallhierarchie aus dem Blickwinkel der CE (eigene Darstellung).	52
Abbildung 14: Trapezförmige Fuzzy-Zahl	77
Abbildung 15: Ablauf der Bewertungsmethode	85
Abbildung 16: Trapezförmige Fuzzy-Zahlen für die Gewichtung der Kriterien	90
Abbildung 17: Trapezförmige Fuzzy-Zahlen für die Bewertung der Alternativen	91
Abbildung 18: Präferenzen der Alternativen nach Fuzzy PROMETHEE I	97
Abbildung 19: Nettoflüsse der Alternativen nach PROMETHEE II	98
Abbildung 20: Rankings der Szenarioanalyse	101
Abbildung 21: Trendlinien der Nettoflüsse der Szenarioanalyse	101
Abbildung 22: Relative Bedeutungen der Kriterien je Alternative	103
Abbildung 23: Präferenzen der Alternativen nach Fuzzy ELECTRE I	105
Abbildung 24: Outranking-Relationen nach Fuzzy ELECTRE I	155

10 Formelverzeichnis

Formel 1: Definition Fuzzy-Menge	76
Formel 2: Zugehörigkeitsfunktion trapezförmiger Fuzzy-Zahlen	76
Formel 3: Hauptoperationen von Fuzzy-Zahlen	77
Formel 4: Ermittlung des defuzzifizierten Wertes einer Fuzzy-Zahl	78
Formel 5: Aggregation der Fuzzy-Gewichtungen	79
Formel 6: Aggregation der Fuzzy-Bewertungen	79
Formel 7: Fuzzy-Entscheidungsmatrix	80
Formel 8: Normalisierung der Fuzzy-Entscheidungsmatrix	80
Formel 9: Gewichtete, normalisierte Fuzzy-Entscheidungsmatrix	81
Formel 10: Präferenz-Funktion	81
Formel 11: Fuzzy-Präferenz-Index	82
Formel 12: Ein- und Ausgangsströme der Alternativen	82
Formel 13: Bedingungen für die partielle Präordnung nach PROMETHEE I	83
Formel 14: Nettostrom der Alternativen	83
Formel 15: Konkordanz-Matrix	152
Formel 16: Diskordanz-Matrix	153
Formel 17: Konkordanz-Level	153
Formel 18: Boolesche Matrix basierend auf dem Minimum-Konkordanz-Level	154
Formel 19: Diskordanz-Level	154
Formel 20: Boolesche Matrix basierend auf dem Minimum-Diskordanz-Level	154
Formel 21: Globale Matrix	155
Formel 22: Fuzzy-Positiv-Ideallösung und Fuzzy-Negativ-Ideallösung	157
Formel 23: Scheitelpunkt-Methode	157
Formel 24: Distanzen zwischen den Alternativen und den Fuzzy-Ideallösungen	157
Formel 25: Näherungskoeffizient	158

11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Das 9R-Framework.....	9
Tabelle 2: Kriterien der Europäischen Kommission zur Definition von KMUs.....	17
Tabelle 3: Stärken und Schwächen von KMUs.....	19
Tabelle 4: Unterschiede zwischen Strategie und Geschäftsmodell.	26
Tabelle 5: Ansätze zur Analyse und Auswahl von Geschäftsmodellen	35
Tabelle 6: Search-Strings für Kategorie 1 und Kategorie 2	44
Tabelle 7: Suchkriterien der Literaturrecherche.....	44
Tabelle 8: Anzahl der Ergebnisse nach Analyse der Volltexte.....	45
Tabelle 9: Anzahl der verwendeten Publikationen.....	45
Tabelle 10: Allgemeine Erfolgsfaktoren von zirkulären Geschäftsmodellen (C1-C6).	87
Tabelle 11: Allgemeine Erfolgsfaktoren von zirkulären Geschäftsmodellen (C7-C12)	88
Tabelle 12: Linguistische Variablen und deren trapezförmige Fuzzy-Zahlen für die Gewichtung der Kriterien	90
Tabelle 13: Gewichtungen der Erfolgsfaktoren durch die Kreislaufwirtschaftsexpert*innen.....	90
Tabelle 14: Entscheidungsträger*innen der KMUs	91
Tabelle 15: Linguistische Variablen und deren trapezförmige Fuzzy-Zahlen für die Bewertung der Alternativen	91
Tabelle 16: Bewertungen der Alternativen durch die Entscheidungsträger*innen der KMUs.....	92
Tabelle 17: Ranking der Erfolgsfaktoren	93
Tabelle 18: Fuzzy-Entscheidungsmatrix.....	94
Tabelle 19: Normalisierte Fuzzy-Entscheidungsmatrix.....	94
Tabelle 20: Gewichtete, normalisierte Fuzzy-Entscheidungsmatrix.....	95
Tabelle 21: Fuzzy-Präferenz-Matrix.....	95
Tabelle 22: Fuzzy-Präferenz-Index.....	96
Tabelle 23: Ein- und Ausgangsströme der Alternativen.....	96
Tabelle 24: Partielles Ranking der Alternativen nach Fuzzy PROMETHEE I	97
Tabelle 25: Nettoflüsse und Ranking der Alternativen nach Fuzzy PROMETHEE II.	97
Tabelle 26: Betrachtete Szenarien der Szenarioanalyse (S0-S4).....	99
Tabelle 27: Betrachtete Szenarien der Szenarioanalyse (S5-S8).....	100
Tabelle 28: Nettoströme und Rankings der Szenarioanalyse	100
Tabelle 29: Defuzzifizierung der normalisierten Fuzzy-Entscheidungsmatrix.....	102
Tabelle 30: Relative Bedeutung der Kriterien	102
Tabelle 31: Interne Rankings der Kriterien je Alternative.....	102
Tabelle 32: Partielles Ranking der Alternativen nach Fuzzy ELECTRE I	105
Tabelle 33: Ranking der Alternativen nach Fuzzy TOPSIS	106
Tabelle 34: Vergleich der Rankings der verwendeten MCDA-Methoden.....	107

Tabelle 35: Konkordanz-Matrix.....	156
Tabelle 36: Diskordanz-Matrix.....	156
Tabelle 37: Boolesche Matrix basierend auf dem Minimum-Konkordanz-Level	156
Tabelle 38: Boolesche Matrix basierend auf dem Minimum-Diskordanz-Level.....	156
Tabelle 39: Globale Matrix.....	156
Tabelle 40: Fuzzy Ideallösungen	158
Tabelle 41: Distanzen zwischen den Alternativen und Kriterien und den Fuzzy-Positiv-Ideallösungen je Kriterium	158
Tabelle 42: Distanzen je Alternative und Kriterium und den Fuzzy-Negativ-Ideallösungen je Kriterium	159
Tabelle 43: Berechnung des Näherungskoeffizienten und Rangreihenfolgenbildung	159

12 Abkürzungsverzeichnis

<i>Abkürzung</i>	<i>Bedeutung</i>
<i>AHP</i>	Analytischer Hierarchieprozess
<i>ANP</i>	Analytischer Netzwerkprozess
<i>AI</i>	Artificial Intelligence
<i>BM</i>	Geschäftsmodell („Business Model“)
<i>BMI</i>	Geschäftsmodell-Innovation („Business Model Innovation“)
<i>BoL</i>	Beginning-of-Life
<i>Bspw.</i>	Beispielsweise
<i>Bzgl.</i>	Bezüglich
<i>bzw.</i>	Beziehungsweise
<i>B2B</i>	Business-to-Business
<i>B2C</i>	Business-to-Customer
<i>Ca.</i>	Circa
<i>CBM</i>	Kreislaufwirtschaftsfähiges bzw. zirkuläres Geschäftsmodell („Circular Business Model“)
<i>CBMI</i>	kreislaufwirtschaftsfähige bzw. zirkuläre Geschäftsmodell-Innovation („Circular Business Model Innovation“)
<i>CE</i>	Kreislaufwirtschaft („Circular Economy“)
<i>CM</i>	Kompromissmodelle („Compromise methods“)
<i>CSM</i>	Circular Supplies Model
<i>D.h.</i>	Das heißt
<i>DSR</i>	Design Science Research
<i>ELECTRE</i>	Elimination and Choice Expressing Reality
<i>EoL</i>	End-of-Life
<i>Etc.</i>	Et cetera
<i>F&E</i>	Forschung und Entwicklung
<i>Ggfs.</i>	Gegebenenfalls
<i>IoT</i>	Internet of Things
<i>KMU</i>	Klein- und mittelständische Unternehmen
<i>MADM</i>	Multiple-Attribute Decision-Making
<i>MCA</i>	Multi-Kriterien Analyse („Multi-Criteria Analysis“)
<i>MCDA</i>	Multikriterielle Entscheidungsanalyse („Multi-Criteria Decision Analysis“)
<i>MCDM</i>	Multikriterielle Entscheidungsanalyse („Multiple-Criteria Decision-Making“)
<i>MDDM</i>	Multi-dimensionale Entscheidungsanalyse („Multi-Dimensional Decision-Making“)
<i>MODA</i>	Multi-Objective Decision Analysis
<i>MoL</i>	Middle-of-Life
<i>ORM</i>	Ausschließende Methoden ("Outranking methods")

<i>PLE</i>	Product Lifecycle Extension Model
<i>pPSS</i>	Produktorientiertes („product-oriented“) Product-Service System
<i>PROMETHEE</i>	Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluation
<i>PSS</i>	Product-Service System
<i>P2P</i>	Peer-to-Peer
<i>rPSS</i>	Ergebnisorientiertes („result-oriented“) Product-Service System
<i>RRM</i>	Resource Recovery Model
<i>SBM</i>	Nachhaltiges Geschäftsmodell („Sustainable Business Model“)
<i>SE</i>	Sharing Economy
<i>SF</i>	Erfolgsfaktor (Success Factor)
<i>SME</i>	Small and medium-sized enterprises
<i>SP</i>	Sharing Platform
<i>TOPSIS</i>	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
<i>UBM</i>	Methoden mit Nützlichkeitsfunktion ("Utility-based methods")
<i>uPSS</i>	Nutzungsorientiertes („use-oriented“) Product-Service System
<i>z.B.</i>	zum Beispiel
<i>Zzgl.</i>	Zuzüglich