



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN

## Diplomarbeit

# Entwicklung eines Bewertungsmodells zur Erhebung des Zirkularitäts- und Reifegrades produzierender Unternehmen

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

## Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

**Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sebastian Schlund**

(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Industrial Engineering)

**Univ.-Lekt. Dipl.-Ing. Fabian Holly B.Sc.**

(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Industrial Engineering)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

**Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften**

von

**Clemens Schild B.Sc.**

11713074

Wien, im Juni 2024

  
Clemens Schild

## 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.-Lektor Dipl.-Ing. Fabian Holly B.Sc. sowie seitens der EFS Unternehmensberatung GesmbH, Günther Kolar-Schandlbauer, Constantin Magos und Nicola Fließner für die laufende Unterstützung und den fachlichen Austausch.

Des Weiteren möchte ich mich herzlich bei allen Personen bedanken, die sich die Zeit genommen haben, mich bei der Validierung meines Bewertungsmodells unterstützt haben. Ihre Beiträge waren von unschätzbarem Wert für die Durchführung dieser Diplomarbeit.

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 meiner Schwester, Isabella, welche immer in kürzester Zeit die benötigten Abschnitte korrekturgelesen hat und mit der 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 produzierende Industrie ist entscheidend für die Umstellung auf eine Kreislaufwirtschaft, indem sie die Produktlebenszyklen beeinflusst und wirtschaftlichen Mehrwert vom Ressourcenverbrauch entkoppelt. Unternehmen stehen vor der Herausforderung, ihre Wertschöpfungslogik durch zirkuläre Geschäftsmodelle neu auszurichten, was durch wirtschaftliche Anreize und regulatorischen Druck unterstützt wird. Trotz dieser klaren Vorteile und Motivationen erweist sich die praktische Umsetzung zirkulärer Praktiken als schwierig, vor allem aufgrund des mangelnden Verständnisses und der großen Risikoaversion der Unternehmen. Zur effektiven Transformation in eine Kreislaufwirtschaft ist eine gründliche Analyse des Unternehmenszustands notwendig. Der Einsatz von Bewertungsmethoden, wie Indizes und Metriken, ist kritisch, um zirkuläre Praktiken zu verstehen und in Geschäftsprozesse zu integrieren. Trotz umfassender Entwicklungsversuche solcher Methoden bestehen weiterhin erhebliche Defizite in den Bereichen Methodik, Datenhandhabung, Validierung, Praxisanwendung und Stakeholder-Integration.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, ein ganzheitliches Bewertungsmodell für die Kreislaufwirtschaft zu entwickeln, das auf die Bedürfnisse der produzierenden Industrie zugeschnitten ist. Das Modell soll durch standardisierte und quantifizierbare Indikatoren den aktuellen Unternehmenszustand und den Reifegrad der Kreislaufwirtschaft messen. Es berücksichtigt branchenspezifische Anforderungen und ist darauf ausgelegt, eine effektive Kommunikation mit internen und externen Stakeholdern zu ermöglichen.

Die Forschungsmethodik dieser Arbeit basiert auf dem Design Science-Ansatz, der problemorientierte Lösungen durch die systematische Erstellung und Evaluation von Artefakten ermöglicht. Ein spezifisches Bewertungsmodell für die produzierende Industrie adressiert die Herausforderungen der Kreislaufwirtschaft, folgt strengen Richtlinien für verständliche Lösungen und wird systematisch validiert. Die Methodik fördert iterative Verbesserungen durch regelmäßiges Stakeholder-Feedback und passt das Modell an industrielle Anforderungen an.

Das Ergebnis dieser Arbeit ist ein umfassendes Bewertungsmodell für die Kreislaufwirtschaft, zugeschnitten auf die produzierende Industrie. Es beinhaltet 101 Fragen in 17 Subkategorien und neun Aktivitätsbereichen der Wertschöpfungskette, die qualitative und quantitative Daten erfassen. Die Fragen sind in ein benutzerfreundliches Tool eingebettet, das auf einer sechsstufigen Likert-Skala basiert, in welcher der Reifegrad sowie Fortschritte der Unternehmen bewertet werden. Das Tool ermöglicht die detaillierte Visualisierung von Ergebnissen und unterstützt das Management bei strategischen Entscheidungen zur effektiven Steuerung der Transformation.

## Abstract

The manufacturing industry is crucial to the transition to a circular economy by influencing product life cycles and decoupling economic value from resource consumption. Companies face the challenge of realigning their value creation logic through circular business models, supported by economic incentives and regulatory pressure. Despite these clear benefits and motivations, the practical implementation of circular practices is proving difficult, mainly due to a lack of understanding and risk aversion among companies. To effectively transform into a circular economy, a thorough analysis of the state of the company is necessary. The use of assessment methods such as indices and metrics is critical to understanding and integrating circular practices into business processes. Despite extensive attempts to develop such methods, there are still significant gaps in the areas of methodology, data handling, validation, practical application, and stakeholder integration.

The aim of this work is to develop a holistic assessment model for the circular economy that is tailored to the needs of the manufacturing industry. The model is intended to measure the current state of the company and the maturity level of the circular economy using standardized and quantifiable indicators. It considers industry-specific requirements and is designed to enable effective communication with internal and external stakeholders.

The research methodology of this thesis is based on the design science approach, which enables problem-oriented solutions through the systematic creation and evaluation of artifacts. A specific assessment model for the manufacturing industry addresses the challenges of the circular economy, follows strict guidelines for comprehensible solutions and is systematically validated. The methodology promotes iterative improvements through regular stakeholder feedback and adapts the model to industrial requirements.

The result of this work is a comprehensive assessment model for the circular economy, tailored to the manufacturing industry. It contains 101 questions in 17 subcategories and eight activity areas of the value chain that capture qualitative and quantitative data. The questions are embedded in a user-friendly tool based on a six-point Likert scale in which the maturity level and progress of the companies are assessed. The tool enables the detailed visualization of results and supports management in making strategic decisions to effectively manage the transformation.

## Inhalt

1.	Einleitung .....	1
1.1.	Ausgangssituation, Problemstellung und Problemdefinition .....	1
1.2.	Forschungsfrage und Ziele der Arbeit .....	3
1.3.	Forschungsmethodik und Aufbau der Arbeit .....	4
1.3.1.	Aufbau der Arbeit .....	7
2.	Theoretische Grundlagen .....	10
2.1.	Kreislaufwirtschaft – Hintergrund und Definitionen .....	10
2.2.	Enabler der Kreislaufwirtschaft .....	13
2.2.1.	Zirkuläre Geschäftsmodelle .....	13
2.2.2.	Politik und Legislative .....	16
2.2.3.	Technologie, Innovation und Wissenschaft .....	25
2.3.	Bewertungsmodelle .....	28
2.3.1.	Charakteristika von Reifegradmodellen .....	28
2.3.2.	Bewertungsmodelle in der Kreislaufwirtschaft .....	30
3.	State of the Art .....	31
3.1.	Systematische Literaturrecherche .....	31
3.1.1.	Methodik der systematischen Literaturrecherche .....	31
3.1.2.	Suchstrategie und Vorgehensweise bei der SLR .....	33
3.2.	Methodik der Literaturanalyse und -synthese .....	36
3.3.	Deduktive Analysephase .....	37
3.4.	Forschungslücke zu Bewertungsmodellen für die Kreislaufwirtschaft .....	39
4.	Anforderung an das Bewertungsmodells .....	41
4.1.	Anforderungskatalog an das Bewertungsmodell für die Kreislaufwirtschaft .....	41
4.2.	Theoretisches Rahmenwerk und Umsetzungsstrategien .....	42
4.3.	Analyse der Entwicklungsschritt .....	45
4.4.	Identifikation kritischer Unternehmensbereiche .....	49
4.5.	Erfassung von KPIs, CSF und Fragestellungen .....	51
4.5.1.	Deduktive Analyse von KPIs, CSF und Fragestellungen .....	51
4.5.2.	Induktive Analyse und Synthese der KPIs und Kategorien .....	54
5.	Design und Entwicklung .....	60
5.1.	Entwicklung des Fragebogens .....	60

---

5.2.	Entwicklung der Auswertung .....	61
5.3.	Entwicklung der Beschreibungen .....	63
5.4.	Entwicklung des Zielsystems.....	64
6.	Validierung des Bewertungsmodells.....	66
6.1.	Teilnehmer der Validierung .....	66
6.2.	Expertenvalidierung.....	67
6.3.	Unternehmensvalidierung.....	70
6.4.	Zusammenfassung der Validierung .....	73
7.	Ergebnis .....	74
7.1.	Unternehmensbereiche und Fragebogen .....	74
7.2.	Exemplarische Auswertung und Visualisierung .....	81
8.	Diskussion und Ausblick .....	87
8.1.	Diskussion der Ergebnisse .....	87
8.2.	Limitationen und Potentiale für die Zukunft .....	92
9.	Conclusio .....	93
10.	Literaturverzeichnis.....	94
11.	Abbildungsverzeichnis .....	105
12.	Tabellenverzeichnis .....	106
13.	Abkürzungsverzeichnis.....	107
14.	Anhang .....	108
14.1.	Anhang 1: Analyse der Literatur zu Bewertungsmodellen für die Kreislaufwirtschaft .....	108



# 1. Einleitung

Im nachfolgenden Abschnitt wird zunächst die Ausgangssituation sowie die Problemstellung und -definition erläutert, um den Kontext und den Ursprung des Forschungsvorhabens zu verdeutlichen. Anschließend werden die Forschungsfrage und das Ziel des Projekts definiert. Abschließend werden die Methodik sowie der Aufbau des Forschungsvorhabens dargestellt.

## 1.1. Ausgangssituation, Problemstellung und Problemdefinition

Die industrielle Produktion ist ein Schlüsselbereich für den Übergang zu einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft, da sie wesentlich den Produktlebenszyklus beeinflusst und Möglichkeiten zur Entkopplung von wirtschaftlichem Mehrwert und Ressourcenverbrauch bietet (Lieder & Rashid, 2016). In der praktischen Umsetzung erfordert dies von Unternehmen eine Neuausrichtung ihrer Wertschöpfungslogik durch die Einführung zirkulärer Geschäftsmodelle (Blomsma et al., 2019). Diese strukturelle Veränderung wird einerseits durch wirtschaftliche Vorteile motiviert, wie etwa die effizientere Nutzung von Ressourcen, die potenzielle Margenerhöhung und eine geringere Abhängigkeit von externen Ressourcenlieferanten (Blomsma & Brennan, 2017; Homrich et al., 2018; Korhonen et al., 2018). Andererseits trägt wachsender institutioneller Druck, beispielsweise die österreichische Kreislaufwirtschaftsstrategie (BMK, 2022) oder der European Green Deal inklusive Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft (European Commission, 2020a) zur Beschleunigung dieses Wandels bei (Castro-Lopez et al., 2023). Trotz dieser Argumente für die Implementierung von zirkulären Praktiken hat sich die Umsetzung dieser für Unternehmen bisher als schwierig erwiesen. Das ist ein Umstand, der in der wissenschaftlichen Literatur ausführlich untersucht wird (Kumar et al., 2019). Ein Hauptfaktor für diese Herausforderungen ist das oft unzureichende Verständnis des Kreislaufwirtschaftskonzepts von Unternehmen, was zu einer risikoaversen Unternehmenshaltung und einem Mangel an Verständnis über die potenziellen Vorteile führt (Tan et al., 2022). Als grundlegende Voraussetzung für den Übergang zur Kreislaufwirtschaft ist daher eine eingehende Analyse des aktuellen Unternehmenszustands erforderlich (Parida et al., 2019). Diese Einschätzung ist konsistent mit dem allgemeinen Management-Grundsatz, dass die Messbarkeit eines Systems für dessen Steuerung und Verbesserung essenziell ist (Drucker, 2005). Der Einsatz von Bewertungsmethodiken in der Kreislaufwirtschaft, darunter Indizes, Metriken und Modelle, stellt einen Schlüsselaspekt für die Vertiefung des Verständnisses sowie die Eingliederung in betriebliche Praktiken dar (Saidani et al., 2019). Es besteht hierbei also ein großer Bedarf, den Fortschritt der Kreislaufwirtschaft in Unternehmen zu quantifizieren und messbar zu machen. Bisherige Versuche



geeignete Indizes, Indikatoren, Metriken oder Bewertungsmodelle zu entwickeln, weisen bis dato große Lücken auf, was dazu führt, dass diese in Unternehmen bisher wenig bis gar nicht eingesetzt werden (Roos Lindgreen et al., 2020). Trotz vieler Bestrebungen, Lösungen für die Messung und Erfassung der Kreislaufwirtschaft zu entwickeln, weist der aktuelle Forschungs- und Entwicklungsstand in den folgenden Bereichen Mängel auf:

### ***Methodologische und Konzeptuelle Aspekte***

- **Methodologische Unzulänglichkeiten und mangelnde Operationalisierbarkeit:** Es besteht ein Mangel an ganzheitlichen Ansätzen und ein fehlendes Verständnis für zu untersuchende messende Dimensionen und Bereiche der Kreislaufwirtschaft. Zusätzlich fehlt es an Definitionen, was ein „zirkuläres Unternehmen“ charakterisiert. Zudem sind die Mechanismen und notwendigen Maßnahmen für eine Transformation hin zu mehr Zirkularität unzureichend operationalisiert (de Oliveira & Oliveira, 2023; De Pascale et al., 2021; Negri et al., 2021; Roos Lindgreen et al., 2020; Saidani et al., 2019).
- **Flexibilität und Benutzerzentrierung:** Es besteht eine Notwendigkeit einer besseren Anpassungsfähigkeit an verschiedene Unternehmens- und Branchenbedingungen sowie der Berücksichtigung individueller Bedürfnisse von Endnutzern (Negri et al., 2021; Roos Lindgreen et al., 2020; Valls-Val et al., 2023).

### ***Daten, Quantifizierung und Validierung***

- **Datenmängel und Quantifizierungsprobleme:** Aktuelle Modelle zur Bewertung des Fortschrittes der Circular Economy (Kreislaufwirtschaft; CE) weisen sowohl Mängel in der Datenquantität als auch der Datenqualität und vor allem einer Kombination aus beiden auf. Zusätzlich sind bestehende Modelle kaum bis gar nicht validiert und erzielen nicht vergleichbare Ergebnisse (de Almeida Santos et al., 2020; De Pascale et al., 2021; Saidani et al., 2019; Valls-Val et al., 2022).
- **Indikatoren und Metriken:** Die verwendeten Indikatoren oder Metriken offenbaren Mängel in ihrer Konsistenz und Vollständigkeit, so liegt das Hauptaugenmerk vielmals ausschließlich auf Ressourceneffizienz und dem End of Life (EoL) von Produkten, wodurch die Fokussierung auf relevante Aspekte der Kreislaufwirtschaft beeinträchtigt wird (Corona et al., 2019; de Almeida Santos et al., 2020; de Oliveira & Oliveira, 2023; De Pascale et al., 2021; Negri et al., 2021; Parchomenko et al., 2019).

## **Implementierung und Anwendbarkeit**

- **Mangelnde Praxisrelevanz und Standardisierung:** Es besteht ein Bedarf an leicht implementierbaren und standardisierten Tools, die gezielt praxisnah und auf Basis bestehender wissenschaftlicher und legislativen Standards die Komplexität des Themas Kreislaufwirtschaft aufarbeiten (de Almeida Santos et al., 2020; De Pascale et al., 2021; Negri et al., 2021; Parchomenko et al., 2019; Saidani et al., 2019; Valls-Val et al., 2022).
- **Transparenz und Kommunikation:** Es besteht ein Mangel an klaren Anweisungen, Hilfestellungen, Erklärungen und Möglichkeiten, Ergebnisse nach außen zu kommunizieren (Chripim et al., 2023; Roos Lindgreen et al., 2020; Valls-Val et al., 2022).

## **Stakeholder-Integration**

- **Mangelnde Stakeholder Integration:** Es besteht die Notwendigkeit der Einbindung relevanter Stakeholder in den Entwicklungsprozess, um nutzbare Ergebnisse zu erzielen, die für Unternehmen einen Mehrwert darstellen (Chripim et al., 2023; Roos Lindgreen et al., 2020).

Um die festgestellten Defizite in der Erfassung und Bewertung des Fortschritts der Kreislaufwirtschaft in produzierenden Unternehmen zu adressieren, werden im nachfolgenden Kapitel Forschungsfragen formuliert. Diese Fragen bilden die Grundlage für den Entwicklungsprozess eines spezifischen Bewertungsmodells für die Kreislaufwirtschaft in produzierenden Unternehmen.

## **1.2. Forschungsfrage und Ziele der Arbeit**

Vor dem Hintergrund der identifizierten Forschungslücken befasst sich die vorliegende Diplomarbeit mit folgender Hauptforschungsfrage (Main Research Question – MQ):

Wie kann ein ganzheitliches Bewertungsmodell für die Kreislaufwirtschaft entwickelt werden, welches die Mechanismen und notwendigen Unternehmensbereiche für die Transformation hin zur Kreislaufwirtschaft systematisch, quantifizierbar und standardisiert für Unternehmen der produzierenden Industrie erhebt und dabei operationalisierbare, praxisrelevante und kommunizierbare Ergebnisse liefert?

Aus dieser Hauptforschungsfrage ergeben sich die folgenden Subforschungsfragen (Subresearch Questions – SQ) für die vorliegende Arbeit:

- SQ1: Was ist der State-of-the-Art (SOTA) der Forschung bezüglich Bewertungsmodelle für die Kreislaufwirtschaft?
- SQ2: Welche Anforderungen werden an ein Bewertungsmodell gestellt, um effektiv den Ist-Zustand von Unternehmen zu erheben und diese damit bei der Transformation zu unterstützen?

- SQ3: Was macht ein zirkuläres Unternehmen aus und welche Reife- und Kompetenzgrade ordnen Unternehmen während der Transformation hin zu einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft ein?
- SQ4: Welche Schlüsselindikatoren (Key Performance Indicators – KPIs) und Unternehmensbereiche müssen gezielt erhoben und analysiert werden, um den Reifegrad und die Zirkularität in produzierenden Unternehmen abbilden zu können?

Auf Basis dieser Forschungsfragen und ferner den identifizierten Mängeln und Forschungslücken lässt sich folgendes Ziel für die vorliegende Diplomarbeit definieren:

Ziel der wissenschaftlichen Arbeit ist, Unternehmen der produzierenden Industrie zu ermöglichen, ihren Fortschritt in Richtung Kreislaufwirtschaft systematisch und verständlich auf Basis von standardisierten und quantifizierbaren Indikatoren und Metriken zu erheben. Zu diesem Zweck wird ein ganzheitliches Bewertungsmodell für die Kreislaufwirtschaft entwickelt und validiert. Dieses Modell soll zudem unter Berücksichtigung von branchenspezifischen Anforderungen und individuellen Unternehmensbedürfnissen konzipiert und für eine breite Stakeholder-Integration sowie sowohl für interne als auch für externe Kommunikation geeignet sein.

Erreicht werden soll dies, indem folgende Meilensteine (M) erreicht werden:

- M1: Darstellung des Forschungsbedarfs und der Notwendigkeit des Bewertungsmodells
- M2: Darstellung des Forschungsstandes und Operationalisierung von Bewertungsmodellen und Reife- und Kompetenzgraden für die Kreislaufwirtschaft in der produzierenden Industrie
- M3: Identifizierung von Schlüsselindikatoren, kritischen Erfolgsfaktoren und Fragestellungen zur präzisen Bewertung und Messung des Fortschritts der Kreislaufwirtschaft in wesentlichen Unternehmensbereichen
- M4: Entwicklung eines Proof of Concept (PoC) mittels eines Prototypens
- M5: Pilotimplementierung und Anpassung des entwickelten Modells
- M6: Validierung der Anwendbarkeit des Modells
- M7: Abschluss und Dokumentation der Forschungsergebnisse

### 1.3. Forschungsmethodik und Aufbau der Arbeit

Um die gestellten Forschungsfragen und Subforschungsfragen zu beantworten und die definierten Ziele und Meilensteine zu erreichen, wird das Konzept der Design Science (DS) als Problemlösungsansatz angewandt. Diese Methodik ermöglicht die systematische Lösung von Problemstellungen, durch die Schaffung von Artefakten (Hevner et al., 2004). Um die Anwendbarkeit, Qualität und praktische sowie

wissenschaftliche Relevanz des geschaffenen Artefakts sicherzustellen, ist eine sorgfältige Einhaltung bestimmter Richtlinien unabdingbar:

<b>Richtlinie 1: Design als Artefakt</b>	
Resultat der Forschung muss ein verwertbares Artefakt in Form eines Konstruktes, eines Modells oder einer Methode hervorbringen.	Das Resultat des vorliegenden Forschungsvorhabens ist ein Bewertungsmodell für die Kreislaufwirtschaft.
<b>Richtlinie 2: Problemrelevanz</b>	
Das Ziel der Design-Wissenschaft ist die Entwicklung von Lösungen für wichtige und relevante Geschäftsprobleme.	Die Problemrelevanz ist in der Fachliteratur und der Industrie gegeben und in Kapitel 1.1 beschrieben.
<b>Richtlinie 3: Evaluierung</b>	
Die Nützlichkeit, Qualität und Effizienz eines Design-Artefakts müssen rigoros durch gut ausgeführte Evaluierungsmethoden nachgewiesen werden.	Das entwickelte Bewertungsmodell wird in drei Phasen sowohl empirisch als auch deskriptiv auf Vollständigkeit, Konsistenz, Genauigkeit, Leistung, Zuverlässigkeit, Benutzerfreundlichkeit und Eignung für die Nutzer bewertet. Es Die Evaluierung erfüllt damit die Ansprüche an die DS nach Hevner et al. (2004) und basiert auf der Methodik von Cloquell-Ballester et al. (2006), welche in Kapitel 6 ausführlich beschrieben wird.
<b>Richtlinie 4: Beitrag zur Wissenschaft</b>	
Effektive DS muss klare und überprüfbare Beiträge für die Forschung liefern.	Das Forschungsvorhaben schließt die in Kapitel 1.2 beschriebenen Forschungslücken.
<b>Richtlinie 5: Forschungsrigorosität</b>	
Die DS basiert auf der Anwendung rigoroser Methoden sowohl im Aufbau als auch in der Entwicklung des Artefakts.	Diese Richtlinie wird durch eine systematische Verwendung von wissenschaftlicher Literatur, einer systematischen Validierung des Modells und zuletzt durch die systematische Entwicklungsherangehensweise durch den DSRM-Ansatz selbst erfüllt.
<b>Richtlinie 6: Iterativer Suchprozess</b>	
Die DS ist ein iterativer Suchprozess nach Lösungen für Probleme und zur Erreichung der angestrebten Ziele unter Beachtung der Ansprüche der Problemumgebung.	Ein iterativer Entwicklungsprozess wird durch die Evaluierungen mit Unternehmen und Expert:innen garantiert. Diese stellen sicher, dass das entwickelte Bewertungsmodell einerseits die angestrebten Ziele für Industrie und Wissenschaft erfüllt, und andererseits den Ansprüchen der Unternehmen gerecht wird.
<b>Richtlinie 7: Kommunikation der Forschungsergebnisse</b>	
Die Resultate müssen sowohl für ein wissenschaftsorientiertes als auch für ein	Eine wissenschaftsorientierte Präsentation wird durch die vorliegende

managementorientiertes effektiv präsentiert werden	Publikum	wissenschaftliche Arbeit garantiert, in welcher nach wissenschaftlichen Standards die Erstellung des Bewertungsmodell dokumentiert wird. Das Bewertungsmodell selbst hat das Ziel Unternehmen bei der Transformation hin zur Kreislaufwirtschaft zu unterstützen und hat damit als inhärentes Ziel einer managementorientierten Präsentation.
---	----------	---

**Tabelle 1 Richtlinien der Design Science Research nach Hevner et al. (2004) - Anforderungen und Umsetzungen**

In der vorliegenden Diplomarbeit wird als Artefakt ein Bewertungsmodell konzipiert, das speziell für die Anforderungen der produzierenden Industrie maßgeschneidert ist. Dieses Modell hat zum Ziel, die Herausforderungen, die bei der Transformation hin zu einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft auftreten, zu adressieren und zu minimieren. Es nimmt zudem die Notwendigkeit tiefgreifender Veränderungen in der Wertschöpfungs- und Wirtschaftslogik produzierender Unternehmen in den Blick. Um systematisches Vorgehen und die Adhärenz an die Design-Science-Richtlinien zu gewährleisten, dient das Prozessmodell von Peffers et al. (2007) als methodologische Grundlage. Im Design Science Research Methodology (DSRM) Prozessmodell von Peffers et al. wird ein Nominalprozess bestehend aus sechs Aktivitäten (A) und fünf Übergangstätigkeiten (Ü) mit vier Startpunkten beschrieben. Das vorliegende Forschungsvorhaben lässt sich in diesem Fall als zielorientierte Lösung beschreiben, welches durch einen Bedarf in Industrie und Forschung ausgelöst wurde. Dieser kann durch die Entwicklung des Bewertungsmodells als Artefakt erfüllt werden (Peffers et al., 2007). Beginnend mit dem Einstiegspunkt wird empfohlen, sich schrittweise nach außen zu arbeiten, wobei nicht erwartet oder vorausgesetzt wird, dass eine bestimmte Reihenfolge der Aktivitäten eingehalten wird. Die einzelnen Aktivitäten sind zusammengefasst in Abbildung 1. Sie bilden einerseits die Basis für den Entwicklungsprozess des Bewertungsmodells und andererseits die Basis für den weiteren Aufbau der vorliegenden Arbeit.

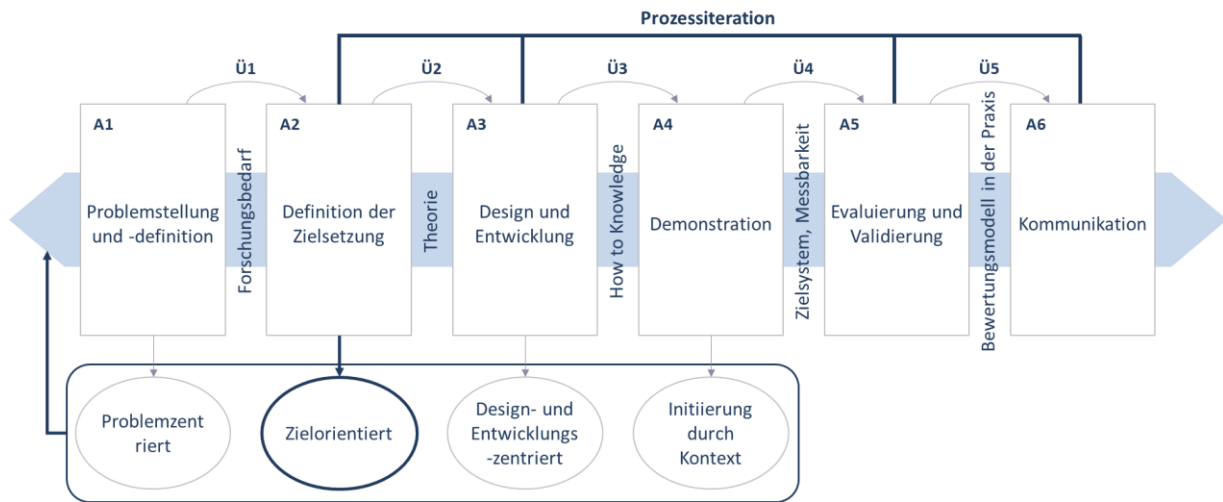


Abbildung 1 DSRM-Prozessmodell nach Peffers et al. (2007)

### 1.3.1. Aufbau der Arbeit

Das DSRM-Prozessmodell nach Peffers et al. (2007) wird für die vorliegende Arbeit auch als Grundgerüst für den Aufbau dieser verwendet. Die wissenschaftliche und praktische Relevanz der Problemstellung sowie die Ziele dieses Forschungsvorhabens wurden bereits in den Abschnitten 1.1 und 1.2 detailliert erläutert (M1). Um von der initialen Problemstellung zur Design- und Entwicklungsphase überzuleiten, ist eine umfassende theoretische Fundierung erforderlich. Diese beinhaltet eine klare Abgrenzung des Forschungsbereichs (Kapitel 2, Ü2a) sowie eine Analyse des aktuellen Forschungsstands (State of the Art, SOTA) und der Anforderungen in Bezug auf Bewertungsmodelle für die Kreislaufwirtschaft und etablierte Vorgehensweisen und Lösungsansätze (Kapitel 3 & 4, Ü2b, M2). Zur Gewährleistung eines systematischen Ansatzes für die theoretischen Ausarbeitungen wird eine systematische Literaturrecherche (SLR) durchgeführt, die sich an den Methodologien von Kitchenham BA & S. Charters (2007) sowie Watson & Webster (2020) orientiert. Die SLR ist in zwei Hauptphasen unterteilt und wird durch eine dritte Phase, basierend auf Wohlin (2014), ergänzt:

1. **Planungsphase:** Notwendigkeit einer Literaturrecherche identifizieren, Forschungsfragen definieren und ein Rechercheprotokoll entwickeln.
2. **Recherchephase:** Durchführung der Literatursuche, Auswahl und Bewertung der Literatur sowie deren thematische Zuordnung.
3. **Snowballing-Phase:** Auswahl eines Start-Sets von Literatur und Analyse der darin zitierten Publikationen.

Das übergeordnete Ziel von Kapitel 2 und 3 besteht darin, eine solide Grundlage für den anschließenden Design- und Entwicklungsprozess zu schaffen und den definierten Meilenstein M2 zu erreichen. Um in weiterer Folge die Literatur dabei auch systematisch verarbeiten zu können, wird diese sowohl deduktiv als auch induktiv analysiert, um einerseits einen soliden theoretischen Rahmen zu schaffen und

andererseits neue Muster und emergente Strukturen zu identifizieren (Proudfoot, 2023).

Die Aktivität 3 „Design und Entwicklung“ ist in zwei Arbeitsschritte unterteilt:

- **Grundlagen und Konzepte (Kapitel 4):** In diesem Schritt werden durch die Identifikation emergenter Muster und Strukturen sowie durch die Synthese der bestehenden Forschungsergebnisse erste Entwicklungsansätze formuliert. Nach dieser Phase soll ein definitives Set an messbaren Schlüsselleistungsindikatoren (KPIs), kritischen Erfolgsfaktoren (CSFs) und relevanten Fragestellungen für die fortlaufende Entwicklung des Bewertungsmodells festgelegt sein (M3).
- **Design und Entwicklung:** In Kapitel 5 wird aufbauend auf dem in Kapitel 4 formulierten Anforderungskatalog und der vollständigen theoretischen Ausarbeitung in Kapitel 4 das benötigte Artefakt konstruiert. Diese Phase resultiert in einem Prototyp, der als Proof of Concept (PoC) fungiert und Meilenstein M4 kennzeichnet. Ein Zielsystem zur Messbarkeit der Problemlösung wird in dieser Phase ebenfalls entwickelt (Ü4). Abschließend erfolgt eine empirische Untersuchung der Implementierungspraktiken des Bewertungsmodells in der Unternehmenslandschaft (Ü3, Ü5).

In der Aktivität 4 "Demonstration" (Kapitel 6) wird das in Aktivität 3 erarbeitete Bewertungsmodell herangezogen, um exemplarisch aufzuzeigen, wie bestehende Barrieren und Herausforderungen in der Transformation zu einer Kreislaufwirtschaft in Unternehmen adressiert und überwunden werden können. Diese Demonstration dient auch als empirische Untermauerung der bestehenden Forschungslücke, die die Relevanz des entwickelten Artefakts zusätzlich bestätigt (M5, Ü5).

In Aktivität 5 "Validierung und Evaluierung" (Kapitel 6) erfolgt eine dreistufige Evaluierung (M6), gemäß den Methoden von Cloquell-Ballester et al. (2006) und Pigosso & McAloone (2021):

1. **Selbstvalidierung:** In dieser Phase konzentriert sich die Evaluierung auf die Qualitätsprüfung der Indikatoren, die speziell für die Messung ökonomischer, ökologischer und sozialer Aspekte im Kontext der Kreislaufwirtschaft ausgewählt wurden. Ziel ist es, die Zuverlässigkeit und Validität dieser Indikatoren sicherzustellen, um die methodische Grundlage für die nachfolgenden Evaluierungsstufen zu schaffen.
2. **Expertenvalidierung:** Hier steht die Objektivitätssicherung und eine initiale Feedbackschleife im Vordergrund, einschließlich der Validierung sowohl der Reifegradskala als auch der Zirkularitätsdimensionen und -indikatoren.
3. **Unternehmensvalidierung:** In dieser abschließenden Phase wird das Bewertungsmodell in Kooperation mit mehreren Unternehmen vollumfänglich

evaluiert, um eine umfassende Validierung und Verfeinerung mit maximalem Grad an Transparenz und Qualität sicherzustellen.

In Aktivität 6 "Kommunikation" (Kapitel 7, Kapitel 8) erfolgt die zusammenfassende Diskussion der Forschungsergebnisse, wobei auch die Limitationen der Arbeit sowie Implikationen für zukünftige Forschungsanstrengungen thematisiert werden (M7).

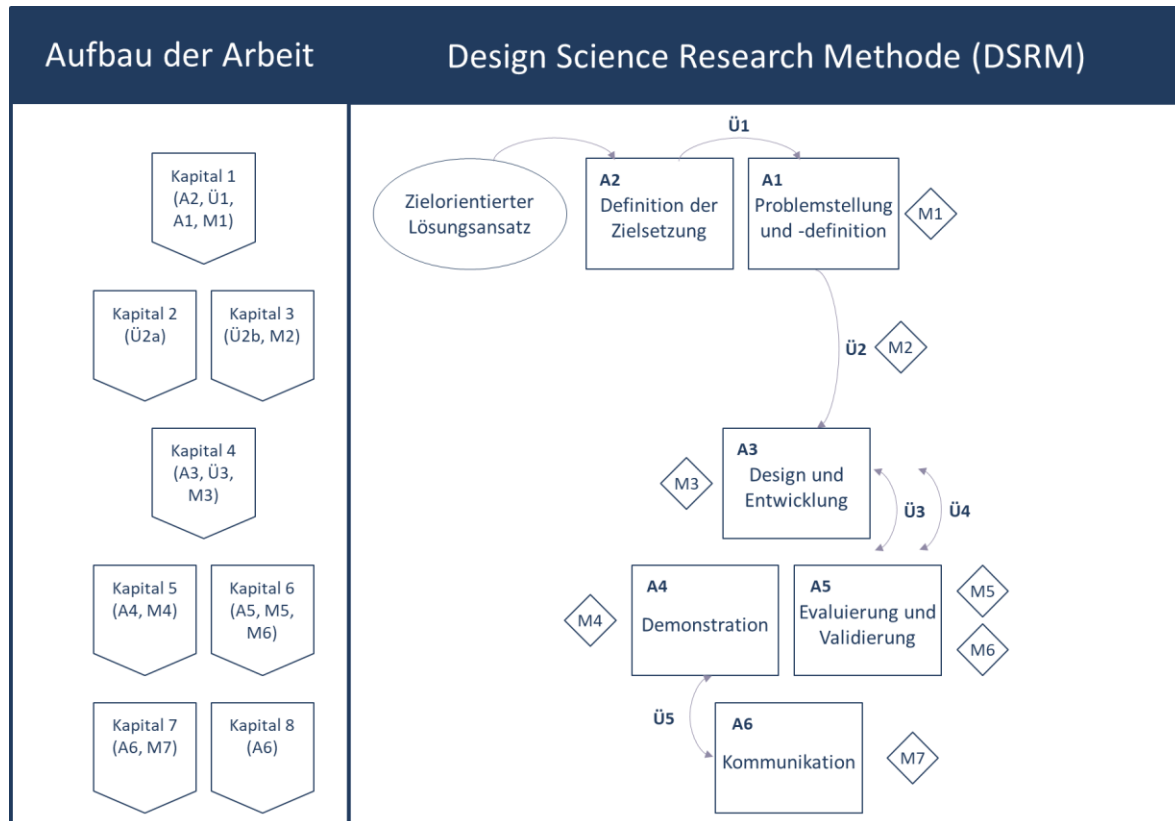


Abbildung 2 Aufbau der Arbeit auf Basis der DSRM



## 2. Theoretische Grundlagen

Im nachfolgenden Kapitel wird eine Einführung in das Themenfeld der Kreislaufwirtschaft einschließlich Definitionen und Hintergrund gegeben. Es untersucht Faktoren, die die Kreislaufwirtschaft ermöglichen, wie zirkuläre Geschäftsmodelle, politische Rahmenbedingungen und den Beitrag von Technologie und Wissenschaft. Weiterhin werden Modelle zur Bewertung des Reifegrads und der Effektivität kreislaufwirtschaftlicher Ansätze thematisiert. Das Kapitel legt die Basis für ein grundlegendes Verständnis der Kreislaufwirtschaft und ihrer wesentlichen Aspekte.

### 2.1. Kreislaufwirtschaft – Hintergrund und Definitionen

Die Ursprünge der Kreislaufwirtschaft (Circular Economy, CE) lassen sich bis zu den umfassenden sozioökonomischen Veränderungen zurückverfolgen, die durch die erste industrielle Revolution im 18. Jahrhundert eingeleitet wurden. Diese Ära markierte den Beginn eines Wirtschaftssystems, das eng mit sozialen und ökologischen Systemen verflochten war und den Boden für künftige Diskussionen über Nachhaltigkeit und Ressourcenmanagement bereitete (Steffen et al., 2015). Die Erkenntnis der nachteiligen gesellschaftlichen und ökologischen Auswirkungen des Wirtschaftswachstums in Verbindung mit dem Ressourcenverbrauch legte den Grundstein für ein Überdenken der Wirtschaftsmodelle. Diese kritische Reflexion über den Verbrauch ökologischer und gesellschaftlicher Ressourcen durch die globale Marktwirtschaft läutete die frühen konzeptionellen Grundlagen der CE ein und legte die Notwendigkeit nahe, wirtschaftliche Aktivitäten in die Grenzen sozio-ökologischer Systeme einzubetten (Korhonen et al., 2018).

Die formale Formulierung der CE-Prinzipien begann mit Walter R. Stahel in den 1980er Jahren, der den Begriff einführte und dabei den "Cradle-to-Cradle"-Ansatz und die Bedeutung der Maximierung der Nutzungsdauer von Gütern betonte. Stahels Arbeit bekräftigte nicht nur die ökologischen Vorteile, sondern auch das wirtschaftliche Potenzial, das in der Verlängerung der Lebensdauer von Produkten liegt (Stahel & Reday-Mulvey, 1981; Stahel, 2010). In dieser Zeit entstand Kreislaufwirtschaft als ein Konzept, das auf die Wiederverwendung von Gütern abzielt, was im Gegensatz zum traditionellen "End-of-Life"-Modell steht, das in linearen Volkswirtschaften vorherrscht (W. R. Stahel, 2016).

Als sich das Konzept der CE weiterentwickelte, wurde es durch kritische Umwelt- und Nachhaltigkeitsdiskurse, die im späten 20. und frühen 21. einflussreiche Werke wie "Die Grenzen des Wachstums" (Meadows et al., 1972) und die wachsende Anerkennung der Rolle des Naturkapitals bei der Unterstützung einer nachhaltigen Entwicklung (Costanza & Daly, 1992) trugen zu einem tieferen Verständnis der Notwendigkeit eines nachhaltigen Wirtschaftsmodells bei. Die Debatten über die Beziehung zwischen Naturkapital und anderen Formen von Kapital sowie die

Anerkennung der erheblichen Auswirkungen der Menschheit auf die natürlichen Prozesse der Erde unterstrichen die Dringlichkeit eines Übergangs zur Kreislaufwirtschaft (Rockstrom et al., 2009; Neumayer, 2003).

Kreislaufwirtschaft hat sich seitdem zu einem interdisziplinären Bereich entwickelt, der Geschäftspraktiken und öffentliche Politikgestaltung miteinander verbindet. Es hat unter anderem Agenden gefördert, die sich auf nachhaltige Produkt- und Prozessgestaltung, Recycling, Optimierung der Abfallwirtschaft und verantwortungsvolle Innovation konzentrieren. CE-Praktiken, wie z. B. die Vermeidung von Abfällen und die Beibehaltung von Ressourcen mit dem höchstmöglichen Wert, sind integraler Bestandteil der Entwicklung eines gemeinsamen Verständnisses und einer organisatorischen Logik innerhalb des Bereichs der Kreislaufwirtschaft geworden (Fischer & Pascucci, 2017; Konietzko et al., 2020). Die wissenschaftliche und unternehmerische Diskussion, die sich anhand der Anzahl an peer-reviewed Publikationen, Berichten von Großunternehmen und Beratungsfirmen sowie in steigenden supranationalen und nationalen Strategiepapieren und Richtlinien zeigt, wird laufend größer (Geissdoerfer et al., 2017; Kirchherr et al., 2023). Die zunehmende Popularität von Kreislaufwirtschaft kann dazu führen, dass ihre Konzeptualisierung, Interpretation und Umsetzung durch eine Vielzahl von Akteuren verwischt und fragmentiert wird. Eine einheitliche Definition des Wirtschaftssystems ist deshalb und aufgrund der schnellen Änderungen, stetig hinzukommender thematischer Verflechtungen und der hohen Komplexität immer noch schwierig (Kirchherr et al., 2023). Deshalb werden für die Definition der Kreislaufwirtschaft als Definition für die vorliegende Arbeit vor allem ihre Kernaspekte herangezogen:

Die Kreislaufwirtschaft markiert einen entscheidenden Wandel hin zu einer nachhaltigen Entwicklung und setzt sich für einen regenerativen Ansatz ein, der traditionelle lineare Wirtschaftsmodelle in Frage stellt. Dieses Konzept beruht auf Grundsätzen, die darauf abzielen, die Ressourcennutzung zu optimieren, die Produktlebenszyklen zu verlängern und eine regenerative Interaktion mit der natürlichen Umwelt zu fördern. Die wesentlichen Attribute der CE sind in **Kernprinzipien, Ziele und Enabler** gegliedert, die alle zu dem übergreifenden Ziel beitragen, Umweltqualität, wirtschaftlichen Wohlstand und soziale Gerechtigkeit für die aktuelle und nächsten Generationen zu erreichen (Kirchherr et al., 2023).

### ***Kernprinzipien:***

- **R-Strategien:** Der Schwerpunkt liegt auf der Minimierung der Ressourcennutzung, der Verlängerung der Produktlebensdauer und der Wiederverwendung- und Verwertung von Materialien, um Abfälle zu reduzieren (Kirchherr et al., 2017; Potting et al., 2017).
- **Erneuerbare Energiequellen:** Der Einsatz erneuerbarer Energiequellen ist in der Kreislaufwirtschaft von zentraler Bedeutung, um die Abhängigkeit von

endlichen Ressourcen zu verringern, die Kohlenstoffemissionen zu minimieren und, um sicherzustellen, dass die Prozesse der Kreislaufwirtschaft ein nachhaltiges und widerstandsfähiges System unterstützen (Kümmerer et al., 2020; Rosa et al., 2019).

- **Systemische Sichtweise:** Da die Kreislaufwirtschaft ein komplexes System ist, unterstreicht dieser Grundsatz die Bedeutung einer ganzheitlichen Sichtweise auf der Mikro-, Meso- und Makroebene. Eine solche Perspektive ist wesentlich für die Förderung systemischer Veränderungen, die Kreislaufwirtschaft und Nachhaltigkeit in der gesamten Wirtschaftslandschaft zu fördern (Ghisellini et al., 2016; Kirchherr et al., 2017).
- **Technologische und biologische Kreisläufe:** Unterscheidung zwischen technologischen und biologischen Zyklen und deren effiziente Materialwiederverwendung bzw. -rückführung in die Erde (Geissdoerfer et al., 2017).
- **Circular Supply Chains:** Optimierte und kollaborative Lieferketten sind für die Umsetzung der Kreislaufwirtschaft unerlässlich, da sie die effiziente Bewegung und Wiederverwendung von Ressourcen innerhalb des Wirtschaftssystems ermöglichen. Durch das Re-Engineering dieser Ketten können Unternehmen Prozesse optimieren, um den Übergang zu nachhaltigeren, kreislauforientierten Modellen zu erleichtern (Tseng et al., 2021).

### Ziele:

- **Nachhaltigkeit:** CE ist inhärent auf eine nachhaltige Entwicklung ausgerichtet und zielt darauf ab, wirtschaftliche Aktivitäten mit ökologischer Nachhaltigkeit und sozialem Wohlergehen in Einklang zu bringen (Kirchherr et al., 2017).
- **Werterhaltung und Abfallvermeidung:** Der Schwerpunkt liegt auf der Verlängerung des Wertes von Produkten und Materialien bei gleichzeitiger Minimierung der Abfallerzeugung, was das Konzept der Ressourceneffizienz untermauert (Kümmerer et al., 2020).
- **Regenerativ:** Der regenerative Charakter der Kreislaufwirtschaft wird durch die kollektiven Bemühungen verschiedener Interessensgruppen, einschließlich Industriezweigen, Verbrauchern, politischen Entscheidungsträgern und der Wissenschaft, gestärkt. Durch technologische Innovation und die Entwicklung von Fähigkeiten soll diese Zusammenarbeit einen regenerativen Kreislauf schaffen, der die Umweltqualität fördert und ein gerechtes Wirtschaftswachstum zum Nutzen heutiger und künftiger Generationen gewährleistet (Geissdoerfer et al., 2017).

## **Enabler**

- **Geschäftsmodelle:** Die Einführung zirkulärer Geschäftsmodelle ist von entscheidender Bedeutung, wobei der Schwerpunkt auf der Gestaltung von Produkten und Dienstleistungen liegt, die die CE-Prinzipien unterstützen und somit Unternehmen ermöglichen, ihre wirtschaftlichen Ziele mit denen der Kreislaufwirtschaft zu vereinbaren (Lieder et al., 2017).
- **Politik und Legislative:** Der Übergang zu Kreislaufwirtschaft wird durch förderliche rechtliche Rahmenbedingungen und akademische Forschung unterstützt, die die notwendigen Grundlagen für Innovation und Umsetzung schaffen (Milios, 2018).
- **Technologie, Innovation und Wissenschaft:** Die Rolle digitaler und technologischer Innovationen wird als entscheidend für die Ermöglichung von Kreislaufwirtschaft in vielen Unternehmensbereichen anerkannt (Sehnm et al., 2019).

Obwohl das Thema Kreislaufwirtschaft mittlerweile Bekanntheit erlangt hat und die Vorteile der zirkulären Wirtschaft erkannt werden, bleibt die praktische Umsetzung des Konzepts der Kreislaufwirtschaft in einer rudimentären Phase (Tan et al., 2022). Um Unternehmen gezielt bei der Umsetzung durch das zu entwickelnde Reifegradmodell unterstützen zu können, werden die bereits erwähnten Enabler im folgenden Abschnitt nochmals näher beleuchtet.

## **2.2. Enabler der Kreislaufwirtschaft**

Im nachfolgenden Abschnitt werden sukzessive die zuvor erwähnten Enabler der Kreislaufwirtschaft im Detail beleuchtet, um so eine fundierte theoretische Ausgangsbasis für die Entwicklung des Bewertungsmodells zu erhalten.

### **2.2.1. Zirkuläre Geschäftsmodelle**

Zirkuläre Geschäftsmodelle sind auf Unternehmensebene eine der wichtigsten Enabler für die Kreislaufwirtschaft (Kirchherr et al., 2017). Trotz des eindeutigen Potenzials dieser Modelle, die Kreislaufwirtschaft voranzutreiben, stößt ihre Einführung auf Schwierigkeiten, da sie vor allem in den Bereichen Wertschöpfung und Lieferung gänzlich neue Herausforderungen schaffen (Lüdeke-Freund et al., 2019). Die akademische Landschaft bietet ein fragmentiertes Verständnis dieser Modelle mit einer Fülle von Rahmenwerken und uneinheitlicher Typologie, was ihre Übernahme und effektive Integration in bestehende Geschäftsprozesse erschwert (Pieroni, McAloone, & Pigosso, 2021; Salvador et al., 2020). Die Komplexität und der Mangel an kompakten Wissen behindern die Unternehmen zusätzlich bei der Umsetzung dieser Modelle und unterstreichen die Notwendigkeit von zugänglicheren und strukturierteren Ansätzen (Guldmann & Huulgaard, 2020). Aus diesem Grund werden im folgenden Abschnitt die wichtigsten und am häufigsten genutzten Rahmenwerke für

zirkuläre Geschäftsmodelle zusammengefasst. Dies soll eine solide Grundlage für die Bewertung der Implementierungsreife dieser Modelle bieten und die Wissensvermittlung bei der Nutzung eines Reifegradmodells verbessern.

### ***Fünf Wege der zirkulären Wertschöpfung von Lacy et al.***

Lacy et al. stellen fünf zirkuläre Geschäftsmodelle vor, die darauf abzielen, die Nachhaltigkeit in der Wirtschaft durch Optimierung der Nutzung und Wiederverwendung von Ressourcen entlang des Produktlebenszyklus zu verbessern (Lacy et al., 2020): Wobei Lacy et al. betonen, dass insbesondere die gemeinsame Nutzung aller zirkulären Geschäftsmodellen einen Multiplikatoreffekt zur Maximierung der Zirkularität erzielen.

- **Circular Inputs:** Im Produktionsprozess werden erneuerbare, recycelte oder in hohem Maße recycelbare Rohstoffe verwendet, wodurch Abfall und Umweltverschmutzung teilweise oder ganz vermieden werden können. Die Lösungen lassen sich grob in erneuerbare Ressourcen, erneuerbare biobasierte Materialien und erneuerbar hergestellte Materialien unterteilen.
- **Sharing Platforms:** Die Nutzungsraten von Produkten und Anlagen werden durch gemeinsames Eigentum, gemeinsamen Zugang und gemeinsame Nutzung optimiert, was in der Regel durch digitale Technologien ermöglicht wird.
- **Product Use Extension:** Die Nutzung eines Produkts in seiner vorgesehenen Anwendung wird durch Designüberlegungen, Reparaturen, Wiederaufbereitung von Komponenten, Upgrades und Wiederverkauf auf Sekundärmärkten gezielt verlängert.
- **Product as a Service:** Unternehmen behalten das Eigentum an einem Produkt und verkaufen dessen Vorteile auf Dienstleistungsbasis, wobei sie für die Wartung und Behandlung der Ware am Ende der Nutzungsdauer verantwortlich bleiben.
- **Resource Recovery:** 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.

### ***ReSOLVE framework von der Ellen MacArthur Foundation***

Die Ellen MacArthur Foundation hat sechs strategische Maßnahmen für Unternehmen beschrieben, die einen Übergang zur Kreislaufwirtschaft anstreben, die im ReSOLVE-Rahmen zusammengefasst sind (The Ellen MacArthur Foundation, 2015). Auch in diesem Modell wird betont, dass die Wirksamkeit jeder Maßnahme verstärkt wird, wenn sie mit den anderen kombiniert wird, wodurch ein Synergieeffekt entsteht, der

die Leistung der Kreislaufwirtschaft vorantreibt (The Ellen MacArthur Foundation, 2015).

- **Regenerate:** Umstellung auf erneuerbare Energien und Materialien und Rückgewinnung, Erhaltung und Wiederherstellung von Ressourcen des Ökosystems und der Biosphäre.
- **Share:** Höhere Auslastung der Anlagen durch gemeinsame Nutzung von Ressourcen wie Autos, Räumen und Geräten, um den Produktionsbedarf zu senken.
- **Optimise:** Verbesserung der Produkteffizienz und -leistung bei gleichzeitiger Beseitigung von Abfällen in der gesamten Produktions- und Lieferkette.
- **Loop:** Verlängerung der Produktlebenszyklen durch Wartung, Wiederaufbereitung, Recycling und Design für Langlebigkeit und Aufrüstbarkeit.
- **Virtualize:** Nutzung digitaler Lösungen zur Dematerialisierung von Produkten.
- **Exchange:** Einsatz fortschrittlicher Technologien und Materialien zur Innovation von Produkten und Dienstleistungen.

### ***Strategien für zirkuläre Geschäftsmodelle von Bocken et al. and Geissdoerfer et al.***

Aufbauend auf den grundlegenden Arbeiten von Walter Stahel (W. Stahel, 2010; W. R. Stahel, 2016), wurden vier Hauptstrategien formuliert, um Ansätze für zirkuläre Geschäftsmodelle zu klassifizieren. Diese Strategien unterstreichen die Notwendigkeit, vom linearen Konsum zu zirkulären Systemen überzugehen und untermauern die Wichtigkeit eines operativen Wandels hin zu einem nachhaltigen Ressourcenmanagement (Geissdoerfer et al., 2020):

- **Cycling:** Materialien und Energie werden innerhalb des Systems durch Wiederverwendung, Wiederaufbereitung und Recycling im Kreislauf gehalten.
- **Extending:** Die Nutzungsphase des Produkts wird durch langlebiges Design, Marketing, Wartung und Reparatur verlängert.
- **Intensifying:** Die Nutzungsphase des Produkts wird durch Sharing-Economy-Lösungen oder öffentliche Verkehrsmittel intensiviert.
- **Dematerialising:** Der Produktnutzen wird ohne Hardware durch die Substitution von Service- und Softwarelösungen bereitgestellt.

Obwohl "Narrowing", also die Optimierung von Produktionsprozessen, in ähnlichen Rahmenwerken erwähnt wird, ist es hier nicht enthalten, da es eher als Ergänzung denn als primäre Kreislaufauflösung dient (Geissdoerfer et al., 2020; Urbinati et al., 2021).

Vergleicht man diese drei Rahmenwerke, so zeigt sich, dass diese alle Ähnlichkeiten besitzen, sich jedoch nicht in allen Aspekten decken. Beispielsweise fasst die Ellen MacArthur Foundation Recycling und die Nutzung erneuerbarer Energien unter einer

einzigsten Strategie zusammen, während Lacy et al. diese als unterschiedliche Geschäftsmodelle behandelt. Bocken et al. und Geissdoerfer et al. betrachten reine Effizienzverbesserungen als nicht zirkulär und stehen damit im Gegensatz zu anderen Rahmenwerken, die die Optimierung von Produktionsprozessen und die Abfallverringerung einbeziehen. Um die Komplexität dieser Thematik sowohl für die Wissenschaft als auch für die Unternehmen zu verringern, wurde in einer vorhergehenden Studie untersucht, inwieweit sich diese Rahmenwerke zusammenfassen lassen. Hierbei wurde festgestellt, dass sich das Rahmenwerk von Lacy et al, (2020) am besten als Ausgangsbasis eignet. Um die Vielfalt der zirkulären Geschäftsmodelle abzudecken, wurde dieses Rahmenwerk jedoch leicht adaptiert und auf die folgenden Strategien zusammengefasst (Holly & Schild, 2024, in Druck):

- **Zirkuläre Inputs and Design:** Fokus auf Einsatz erneuerbarer, recycelter oder recycelbarer Rohstoffe in Produktionsprozessen und Produktdesign zur Minimierung von Abfall und Umweltverschmutzung, mit Designprinzipien, die das Ende des Produktlebenszyklus berücksichtigen, um Recycling und Wiederverwendung zu maximieren.
- **Produktlebensdauererlängerung:** Maximierung der Nutzungsdauer von Produkten durch Langlebigkeit, regelmäßige Wartung, Reparatur, Wiederaufbereitung, Upgrades und Wiederverkauf zur Verringerung des Gesamtmaterialverbrauchs und Minimierung der Abfallproduktion.
- **Recycling, Rückgewinnung und Rückwärtslogistik:** Effizientes System der Rückgewinnung am Ende der Produktlebensdauer durch Recycling oder energetische Verwertung, unterstützt durch Rückwärtslogistik, zur Optimierung des geschlossenen Kreislaufs der Ressourcen.
- **Ressourceneffizienz und -optimierung:** Verbessert die Effizienz der Ressourcennutzung in Produktion und Betrieb, um Abfälle zu reduzieren und die Produktivität zu verbessern, und trägt so zu nachhaltigeren Geschäftspraktiken bei.
- **Service- und Nutzungsorientierte Modelle:** Angebot von Produktnutzen als Dienstleistung unter Beibehaltung des Unternehmenseigentums, um Materialverbrauch zu reduzieren und Verantwortung für Wartung und sachgerechte Entsorgung oder Wiederverwendung zu tragen.
- **Sharing and Kollaboration:** Maximierung des Nutzens von Produkten und Ressourcen durch gemeinsame Nutzung und kollaborativen Konsum, unterstützt durch digitale Plattformen, zur Effizienzsteigerung und Reduktion der Notwendigkeit individuellen Eigentums.

### 2.2.2. Politik und Legislative

Der politische und gesetzliche Druck stellt aktuell einen wesentlichen Antrieb für die Umsetzung der Kreislaufwirtschaft in Unternehmen dar. Die Auswirkungen

bestehender politischer Richtlinien auf die Entwicklung und Anwendung von kreislauforientierten Geschäftsmodellen sind bedeutend und führen zu einem Umfeld voller Möglichkeiten, aber auch Herausforderungen (Hina et al., 2022). Unternehmen im Produktionssektor erkennen insbesondere den politischen und regulatorischen Druck als einen der Haupttreiber für die Kreislaufwirtschaft (Holly, Kolar, et al., 2023), sehen sich jedoch gleichzeitig mit der Herausforderung konfrontiert, dass die Komplexität und mangelnde Transparenz der bestehenden Regulierungen zu den größten Barrieren zählen (Garcés-Ayerbe et al., 2019). Diese Situation wird durch die fortlaufende Zunahme an Gesetzen und strategischen Dokumenten auf nationaler und internationaler Ebene weiter verdeutlicht (Milios, 2018). Hierfür wird im folgenden Abschnitt ein kompakter Überblick über zentrale rechtliche und strategische Rahmenbedingungen auf nationaler und EU-Ebene gegeben, die für die Kreislaufwirtschaft relevant sind, und deren wesentliche Bestandteile hervorgehoben. Die Aufbereitung dieser Inhalte zielt darauf ab, ihre Integration in die Toolentwicklung zu erleichtern, sodass sie operationalisierbar abgebildet werden können.

### ***Aktionsplan der EU für die Kreislaufwirtschaft***

Der Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft der Europäischen Kommission, vorgestellt im März 2020, markiert einen entscheidenden Schritt zur Förderung der Nachhaltigkeit in der EU. Mit mehr als 30 Aktionspunkten zielt der Plan darauf ab, nachhaltige Produktentwicklung und Kreislaufprinzipien in Produktionsprozessen zu gewährleisten, die Position der Verbraucher:innen zu stärken, sich auf Schlüsselsektoren zu konzentrieren und die Abfallreduzierung voranzutreiben (European Commission, 2020b). Diese Initiative unterstreicht das Engagement der EU, den Übergang zu einer effizienteren, gerechteren und widerstandsfähigeren Wirtschaft zu beschleunigen, die in Einklang mit den Klimaneutralitätszielen für 2050 steht (European Commission, 2020a). Im Zuge dessen wurden bis dato folgende Initiativen und Maßnahmen eingeführt:

**Ökodesign:** Die Ökodesign-Richtlinie der EU setzt seit 2009 Energieeffizienz- und Nachhaltigkeitsstandards für Produkte wie Computer und Kühlschränke und wurde durch eine vorläufige Einigung am 5. Dezember 2023 weiterentwickelt. Diese Aktualisierung erweitert die Anforderungen um ökologische Nachhaltigkeitskriterien für nahezu alle in der EU vertriebenen Produkte. Die Neuerungen beinhalten unter anderem (Calisto Friant et al., 2021; Europäische Kommission, 2022b):

- **Kreislauforientierte Produktdesignprinzipien:** Konzentrieren sich auf Langlebigkeit, Reparatur und Wiederverwendungsfähigkeit, Energie- und Ressourceneffizienz, Einsatz von Rezyklaten sowie die Minimierung von Umwelt- und CO<sub>2</sub>-Fußadruk und Abfallaufkommen.
- **Einführung eines digitalen Produktpasses:** Bietet transparente Informationen über die ökologische Nachhaltigkeit der Produkte.



- **Verbot der Vernichtung bestimmter unverkaufter Konsumgüter:** Fördert die Wiederverwendung und das Recycling, um Abfall zu vermeiden.

Spezifische Maßnahmen sind beispielsweise (Calisto Friant et al., 2021; Europäische Kommission, 2022b):

- **Garantierte Reparatur:** Produkte müssen für Reparaturen mit leicht zugänglichen Ersatzteilen über einen festgelegten Zeitraum hinweg konzipiert sein.
- **Ersatzteile und Reparierbarkeit:** Produkte sollten mit Standardwerkzeugen reparabel sein.
- **Schnelle Ersatzteillieferung:** Ersatzteile müssen innerhalb von 15 Arbeitstagen geliefert werden.
- **Verfügbarkeit von Reparatur- und Wartungsinformationen:** Diese Informationen sollten professionellen Reparateuren zu fairen Konditionen bereitstehen.
- **Kennzeichnung für Recyclingfähigkeit:** Spezifische Materialien müssen für das Recycling deutlich markiert sein.
- **Software-Updates:** Für mindestens 8 Jahre muss ein Zugang zu den neuesten Firmware- und Sicherheitsupdates gegeben sein.

**Recht auf Reparatur:** Neue Vorschriften, vorgeschlagen im März 2023 und mit vorläufiger Einigung am 2. Februar 2024, geben Verbraucher:innen das Recht, technisch reparierbare Produkte reparieren zu lassen, um den Produktlebenszyklus zu verlängern, Abfälle zu reduzieren und zirkuläre Geschäftsmodelle zu fördern. Konkrete Maßnahmen sind die folgenden (European Commission, 2023a):

- Verbraucher:innen haben das Recht, Reparaturen für technisch reparierbare Produkte zu fordern.
- Einführung eines kostenlosen europäischen Formulars für Reparaturinformationen.
- Schaffung einer Online-Reparaturplattform für den Kontakt zwischen Verbraucher:innen und Reparaturdiensten.
- Verlängerung der Haftungszeit des Verkäufers um 12 Monate nach Produktreparatur.

**Das Kreislaufprinzip im Produktionsprozess:** Im Rahmen der Bemühungen um die Verwirklichung des Null-Schadstoff-Ziels der EU wird ein aktualisierter Vorschlag zur Industrieemissionsrichtlinie vorgestellt. Die vorläufige Einigung hierzu wurde im November 2023 erreicht und zielt darauf ab, die Industrie umfassend zu unterstützen. Die Neuerungen beinhalten (European Commission, 2022):

- **Anwendungsbereich:** Ab 2030 soll dieser nicht nur Energieeffizienz und Dekarbonisierung umfassen, sondern auch Aspekte der Kreislaufwirtschaft und Bergbauaktivitäten integrieren.
- **Emissionsgrenzwerte:** Für alle Energiequellen werden Umweltschadungsgrenzwerte eingeführt.
- **Durchsetzung:** Es werden klare Sanktionen und Möglichkeiten für Schadensersatzansprüche bei Nichteinhaltung der Richtlinienvorgaben festgelegt.

**Stärkung der Verbraucherposition:** Am 20. Februar 2024 wurde eine Richtlinie zur Stärkung der Verbraucher für den ökologischen Wandel angenommen, insbesondere werden dabei die folgenden Maßnahmen getroffen (Europäische Kommission, 2022a):

- **Informationszugang:** Klare Infos für nachhaltige Entscheidungen und gegen vorzeitige Obsoleszenz.
- **Schutz:** Sicherheit vor falschen Umweltversprechen.
- **Reparierbarkeit:** Vor Kauf über Reparaturmöglichkeiten informiert sein.

**Batterien und Altbatterien:** Die neue Batterie-Verordnung durch neue Sicherheits-, Nachhaltigkeits- und Kennzeichnungsanforderungen, angenommen im Juli 2023, zielt darauf ab, eine Kreislaufwirtschaft für den Batteriesektor zu schaffen (Europäische Kommission, 2023b).

**Verpackungen:** Die revidierte Richtlinie über Verpackungen und Verpackungsabfälle setzt mit der im Dezember 2023 festgelegten Verhandlungsposition ambitionierte Recyclingziele für verschiedene Verpackungsmaterialien bis 2025 und 2030 (Calisto Friant et al., 2021; Europäische Kommission, 2023c):

- Die Ziele für 2025 umfassen: 65 % Recycling für alle Verpackungen, mit spezifischen Zielen für Kunststoff (50 %), Holz (25 %), Eisenmetalle (70 %), Aluminium (50 %), Glas (70 %) und Papier/Karton (75 %).
- Die Ziele für 2030 erhöhen sich auf: 70 % Recycling für alle Verpackungen, mit höheren spezifischen Zielen für Kunststoff (55 %), Holz (30 %), Eisenmetalle (80 %), Aluminium (60 %), Glas (75 %) und Papier/Pappe (85 %).

**Kritische Rohstoffe:** Die EU strebt an, einen effizienten Markt für Sekundärrohstoffe zu etablieren und die Wertschöpfungskette für kritische Rohstoffe durch verbessertes Recycling und Kreislauffähigkeit zu stärken. Im November 2023 erzielten Rat und Parlament eine Einigung über ein entsprechendes Gesetz, das vorsieht, dass bis 2030 mindestens 15 % des jährlichen Bedarfs an kritischen und strategischen Rohstoffen in der EU durch Sekundärrohstoffe gedeckt werden sollen. Zusätzlich sollen 10% des strategischen Rohstoffbedarfs in der EU abgebaut werden und 40% in der EU weiterverarbeitet werden (European Commission. Joint Research Centre., 2023).

**Abfälle:** Aktualisierung der Vorschriften zur Regulierung des Handels mit Abfällen und der Abfallrahmenrichtlinie, mit vorläufiger Einigung im November 2023. Darunter die folgenden Maßnahmen (Calisto Friant et al., 2021; European Commission, 2018, 2023b):

- **Wiederverwendung und Recycling:** Steigerung der Ziele für Siedlungsabfälle auf 55% bis 2025, 60% bis 2030 und 65% bis 2035.
- **Deponierung:** Nicht verwertbare Abfälle dürfen nicht deponiert werden; bis 2035 nur 10% Deponierungsquote.
- **Maßnahmen:** Umfassen ressourceneffiziente Produktdesigns, Erhalt kritischer Rohstoffe, Förderung von Wiederverwendung/Reparatur, Reduzierung von Industrie- und Lebensmittelabfällen, Minimierung gefährlicher Inhaltsstoffe in Produkten und Bekämpfung von Umweltverschmutzung.
- **Instrumente:** Deponiegebühren, Pay-as-you-throw, Pfandrückgabe, ökologische Beschaffung und Steueranreize für Recycling.
- **EPR-Systeme (Extended Producer Responsibility – Erweiterte Herstellerverantwortung):** Vollständige Kostendeckung durch den Hersteller für Sammlung, Transport, Behandlung und Verwertung von Abfällen vorgeschrieben; Fokus auf Transparenz und Ökodesign;
- **Exportbeschränkungen:** Exporteure müssen ordnungsgemäße Behandlung von Abfällen für das Recycling nachweisen.

### **Österreichische Kreislaufwirtschaftsstrategie**

Um die Realisierung einer Kreislaufwirtschaft auch auf nationaler Ebene zu beschleunigen, wurde als Antwort auf den Aktionsplan Kreislaufwirtschaft im Dezember 2022 vom Bundesministerium Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie eine nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie für Österreich beschlossen. Für die Gestaltung der Transformation hin zu einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft orientiert sich die österreichische Kreislaufwirtschaftsstrategie an dem von Potting et al. (2017) entwickelten 9R-Framework. In diesem Rahmenwerk werden gereiht Imperative der Kreislaufwirtschaft in drei Bereiche unterteilt. R0 bis R2 fassen die intelligentere Nutzung und Herstellung von Produkten zusammen, hierbei ist das Ziel, den Produktnutzen von Beginn an umfassend zirkulär anzubieten. R3 bis R7 zielen auf die maximale Lebensdauer auf einem möglichst hohen Wertniveau von Produkten durch die Verlängerung der Produktlebensdauer durch gezielte Wiederverwendung, Reparatur und Wiederaufbereitung von Produkten oder Komponenten. Durch R8 und R9 sollen Materialien so weit als möglich als Sekundärrohstoffe in den Stoffkreislauf zurückgeführt werden.



Abbildung 3 9R Framework adaptiert von Potting et al.

Im Strategiepapier wurden 8 Hauptziele formuliert, davon vier strategische Ziele und vier operative (BMK, 2022):

### Strategische Ziele:

- **Ressourcenschonung:** Verminderung des Ressourcenverbrauchs und der Ressourcennutzung
- **Klimaschutz:** Verringerung der Treibhausgasemissionen
- **Zero Pollution:** Vermeidung von Umweltverschmutzungen durch Schadstoffe
- **Zero Waste:** Vermeidung von Abfällen

### Operative Ziele:

- **Ressourcenverbrauchsreduktion:**
  - Senkung des Materialfußabdrucks auf 7 Tonnen pro Person bis 2050.
  - Verringerung des inländischen Materialkonsums auf 14 Tonnen pro Person bis 2030.
  - Realisierung dieser Ziele durch die Minimierung des Verbrauchs primärer Rohstoffe.
- **Steigerung der Ressourcenproduktivität:**
  - Erhöhung der inländischen Ressourcenproduktivität um 50 % bis 2030, durch Entkopplung des Wirtschaftswachstums vom Ressourcenverbrauch, ohne die Verlagerung ressourcenintensiver Produktionen ins Ausland.
- **Erhöhung der Zirkularitätsrate:**
  - Anhebung der Zirkularitätsrate auf 18 % bis 2030 durch die Reduktion des Materialeinsatzes und die Förderung des Recyclings.
- **Reduktion des materiellen Konsums:**

- Senkung des materiellen Verbrauchs in privaten Haushalten um 10 % bis 2030, durch die Förderung von Konsummustern, die weniger Ressourcen beanspruchen.

Diese Ziele sollen erreicht werden, indem durch sechs zentrale Ansätze zirkuläre Geschäftspraktiken gefördert werden. Durch geeignete rechtliche Rahmenbedingungen, Marktanreize, Finanzierung von zirkulären Tätigkeiten, Forschung und Innovation, Digitalisierung und eine geeignete Informationsstruktur und Kollaboration sollen die folgenden Schlüsselemente der Kreislaufwirtschaft erreicht werden (BMK, 2022):

- **Zirkuläres Design:** Etablierung und Verbreitung von "circular by design" als neuem Gestaltungs- und Entwicklungskonzept.
- **Zirkuläre Innovationen:** Unterstützung sowohl technischer, sozialer als auch systemischer Innovationen im Bereich der Kreislaufwirtschaft.
- **Zirkuläre Geschäfts- und Organisationsmodelle:** Stärkung und Einführung zirkulärer Geschäftsmodelle und Organisationsstrukturen.
- **Erhöhung der Nutzungsdauer und -intensität:** Verlängerung der Lebensdauer von Produkten und Infrastrukturen und Förderung ihrer Wieder- und Weiterverwendung.
- **Marktveränderungen:** Anpassung des Marktes, um zirkuläre Produkte und Dienstleistungen wettbewerbsfähig und für Konsumenten preislich attraktiv zu machen.
- **Förderung umweltfreundlicher Produktionsprozesse:** Unterstützung material- und energieeffizienter sowie schadstofffreier Herstellungsprozesse.
- **Schließung von Materialkreisläufen:** Förderung des Einsatzes von Sekundärrohstoffen und der Schließung von Stoffkreisläufen.
- **Erneuerbare Rohstoffe:** Förderung der Verwendung nachwachsender Rohstoffe für die klimaneutrale Produktion und die Dekarbonisierung der Industrie.

### ***EU-Taxonomie Verordnung***

Die EU-Taxonomie Verordnung ist im Juni 2020 vom europäischen Parlament verabschiedet worden und zielt darauf ab, zu definieren, welche Wirtschaftstätigkeiten und Investitionen nachhaltig sind, und welche nicht (BMK, 2024). Als Bewertungsmaßstab gelten hierfür sechs Umweltziele:

- Klimaschutz
- Klimawandelanpassung
- Nachhaltige Nutzung und Schutz von Wasser- und Meeresressourcen
- **Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft**
- Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung

- Schutz und Wiederherstellung der Biodiversität und der Ökosysteme

Um als eine taxonomiekonforme Wirtschaftstätigkeit zu gelten, müssen die folgenden Kriterien erfüllt sein (Europäische Kommission, 2020):

- Einen wesentlichen Beitrag zur Verwirklichung eines oder mehrerer der Umweltziele leisten.
- Nicht zu einer bestimmten erheblichen Beeinträchtigung eines oder mehrerer der Umweltziele führen.
- Mindestschutz für Arbeitssicherheit und Menschenrechte einhalten
- Den technischen Bewertungskriterien entsprechen.

In der vorliegenden Arbeit wird vor allem auf das Umweltziel „**Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft**“ fokussiert. Für dieses Umweltziel gibt es in der Taxonomie-Verordnung die folgenden Subziele (Europäische Kommission, 2020):

- Reduzierter Einsatz von Primärrohstoffen
- Erhöhte Verwendung von Nebenprodukten und Sekundärrohstoffen
- Erhöhter Einsatz von Ressourcen- und Energieeffizienzmaßnahmen
- Erhöhung der Haltbarkeit, Reparaturfähigkeit, Nachrüstbarkeit oder Wiederverwendbarkeit
- Verbesserte Recyclingfähigkeit und Minimierung des Einsatzes von nicht wiederverwendbaren Produkten und Materialien
- Vermeidung von Gefahrenstoffen
- Verlängerte Nutzung durch Wiederverwendung, Design für Langlebigkeit, Umfunktionierung, Demontage, Wiederaufarbeitung, Modernisierung, Reparatur und gemeinsame Nutzung
- Hochwertiges Recycling von Produkten
- Minimierung der Abfallerzeugung
- Verstärkte Wiederverwendung und Recycling von Abfällen
- Ausbau der Infrastruktur für eine Abfallwirtschaft
- Vermeidung der Abfallverbrennung gemäß der Abfallhierarchie

Zur Erreichung dieser Ziele wurden von der Europäischen Kommission die technischen Bewertungskriterien am 27.06.2023 veröffentlicht (Europäische Kommission, 2023a). Hierbei werden in 5 Abschnitten Kriterien für nachhaltige Wirtschaftstätigkeiten, die einen Beitrag bei der Transformation hin zu einer Kreislaufwirtschaft leisten, festgelegt. In den ersten vier Abschnitten werden hierfür für spezifische Produkte und Branchen, beispielsweise die Wasserversorgung oder das Bau- und Immobiliengewerbe, Kriterien festgelegt. Der fünfte Abschnitt beschäftigt sich hingegen mit zirkulären Dienstleistungen, die für den Großteil der physischen Produkte anwendbar sind, weshalb auf diese näher eingegangen wird und sie in der

nachstehenden Liste kurz zusammengefasst werden (Europäische Kommission, 2023a):

- **Reparatur, Wiederaufarbeitung und Wiederverwendung:** Verlängerung der Lebensdauer von Produkten durch Reparatur, Wiederaufarbeitung oder Wiederverwendung von Produkten, die bereits von Kund:innen verwendet wurden.
- **Verkauf von Ersatzteilen:** Die Wirtschaftstätigkeit besteht im Verkauf von Ersatzteilen, die über rechtliche Verpflichtungen hinausgehen.
- **Vorbereitung zur Wiederverwendung von Altprodukten und Produktkomponenten:** Produkten, die zu Abfall geworden sind, werden zur Wiederverwendung vorbereitet, sodass sie ohne weitere Vorbehandlung wiederverwendet werden können.
- **Verkauf von Gebrauchsgütern:** Die Wirtschaftstätigkeit besteht im Verkauf eines gebrauchten Produkts, das von der Kundschaft bestimmungsgemäß verwendet wurde, möglicherweise nach dessen vorheriger Reinigung, Reparatur, Wiederaufarbeitung oder Wiederaufbereitung.
- **Produkt als Dienstleistung und andere kreislauf- und ergebnisorientierte Dienstleistungsmodelle:** Mit der Tätigkeit wird der Kundschaft der Zugang zu und die Nutzung von Produkten ermöglicht, wobei sichergestellt wird, dass das Eigentum in dem Unternehmen verbleibt.
- **Markt für den Handel mit zur Wiederverwendung bestimmter Gebrauchsgütern:** Die Wirtschaftstätigkeit besteht in der Entwicklung und dem Betrieb von Marktplätzen oder Anzeigenplattformen zur Förderung des Verkaufs oder der Wiederverwendung gebrauchter Produkte, Komponenten oder Materialien. Die Tätigkeit ermöglicht den Handel (Verkauf oder Tausch) zur Wiederverwendung gebrauchter Güter gemäß der Beschreibung der Tätigkeit.

Zur Offenlegung des Anteils an nachhaltigen Wirtschaftstätigkeiten gibt es drei grundlegende KPIs (Europäische Kommission, 2021a):

**KPI bezogen auf den Umsatz (Umsatz KPI):** Wird berechnet als der Teil des Nettoumsatzes mit Waren oder Dienstleistungen, einschließlich immaterieller Güter, die mit taxonomiekonformen Wirtschaftstätigkeiten (Zähler) verbunden sind, geteilt durch den Nettoumsatz (Nenner).

$$\frac{\text{Nettoumsatz aus taxonomiekonformen Wirtschaftstätigkeiten}}{\text{Nettoumsatz insgesamt}}$$

**KPI bezogen auf Investitionsausgaben (CapEx):** Investitionen in Sachanlagen und immaterielle Vermögenswerte sowie Zugänge aus Unternehmenszusammenschlüssen müssen taxonomiekonforme

Wirtschaftsaktivitäten unterstützen oder erweitern. Dazu zählen Investitionen, die innerhalb von fünf Jahren zu nachhaltigen Tätigkeiten führen, sowie der Erwerb von Produkten aus solchen Aktivitäten.

*Investitionsausgaben die mit taxonomiekonformen Wirtschaftstätigkeiten in Verbindung stehen*  
*Investitionsausgaben insgesamt des betrachteten Geschäftsjahres*

**KPI bezogen auf die Betriebsausgaben (OpEx):** Betriebsausgaben umfassen direkte, nicht kapitalisierte Kosten, F&E-Ausgaben und Ausgaben zur Wahrung der Funktionalität von Vermögenswerten; sie müssen mit nachhaltigen Aktivitäten verbunden sein, inklusive Schulungen, F&E und Plänen zur Erweiterung solcher Aktivitäten innerhalb von fünf Jahren. Kosten, die im CapEx erfasst sind, zählen nicht zu den Betriebsausgaben.

*Betriebsausgaben die mit taxonomiekonformen Wirtschaftstätigkeiten in Verbindung stehen*  
*Betriebsausgaben insgesamt des betrachteten Geschäftsjahres*

### 2.2.3. Technologie, Innovation und Wissenschaft

Digitale Technologien (DT) sind als entscheidende Enabler für die Kreislaufwirtschaft sowohl in Wissenschaft, Praxis als auch Politik anerkannt, da sie die Verfolgung und Verwaltung von Produkt-, Komponenten- und Materialflüssen für ein besseres Ressourcenmanagement erleichtern (Antikainen et al., 2018). Sie ermöglichen eine Reihe zirkulärer Strategien durch die Erfassung von Daten in Echtzeit, Analysen für die vorausschauende Instandhaltung und die Optimierung des Energieverbrauchs und tragen damit erheblich zur Transformation bei (Lacy et al., 2020; Pagoropoulos et al., 2017). Es gibt jedoch eine Lücke bei der systematischen Nutzung von DTs zur Umsetzung von Kreislaufstrategien in der Fertigung (Kristoffersen et al., 2020). Insbesondere die Sammlung und Verarbeitung von Daten ist ausschlaggebend für die Umsetzung, Förderung und Optimierung von zirkulären Strategien und Geschäftsmodellen (Chauhan et al., 2022). Weshalb im folgenden Abschnitt eine Grundlage zu Schlüsseltechnologien für diesen Bereich geschaffen wird, um eben diese systematisch in das zu entwickelnde Bewertungsmodell integrieren zu können. Hierfür wird die Datenverarbeitung in die folgenden Grundbereiche eingeteilt, in denen die folgenden Schlüsseltechnologien verfügbar sind (Berndorfer et al., 2022):

**Datenerfassung:** Sammeln von Rohdaten mittels Sensoren.

- IoT: Nutzt Sensoren in der Industrie zur Produktüberwachung, optimiert Ressourcennutzung und unterstützt Fernwartung und Reparatur.
- Edge Computing: Platziert Speicher und Rechenleistung direkt bei IoT-Geräten für schnelle Datenverarbeitung und verbesserte Sicherheit, besonders bei geringer Konnektivität.



**Datenintegration:** Verarbeitung von Rohdaten zu nützlichen Informationen, unterstützt durch Technologien wie Cloud-Computing.

- NFC: Ermöglicht Zwei-Wege-Kommunikation über kurze Distanzen, genutzt für kontaktlose Zahlungen und Zugangskontrollen.
- RFID: Kontaktlose Kommunikation mit großer Reichweite, ideal für Tracking und Ortung in der Logistik.
- Digitaler Produkt-Pass: Bietet detaillierte Produktinformationen von Rohstoffen bis zu Reparaturanleitungen und steht für Transparenz.
- Big Data: Bezeichnet große, komplexe Datensätze, die herkömmliche Verarbeitungsmethoden überfordern.
- Cloud Computing: Nutzt Internet-Applikationen statt lokaler Installationen, mit Modellen wie IaaS, PaaS, SaaS.
- Distributed Ledger Technology: Sichert und teilt Daten transparent und sicher über ein dezentrales Netzwerk.
- Industrial Blockchains: Spezialisierte DLT für geschlossene Unternehmensgruppen erhöht die Datenintegrität.
- Cyber Security: Schutzmaßnahmen gegen digitale Angriffe und Datenverletzungen.
- Augmented Reality (AR): Überlagert die reale Welt mit digitalen Informationen, unterstützt bei Wartung und Reparatur.
- Virtual Reality (VR): Schafft immersive virtuelle Welten, hilfreich in der digitalen Produktentwicklung.

**Datenanalyse:** Erkennung von Mustern und Trends zur Unterstützung der Entscheidungsfindung, erleichtert durch Künstliche Intelligenz.

- Datenanalyse: Untersucht Datensätze, um Muster für bessere Entscheidungsfindung zu erkennen.
- Künstliche Intelligenz: Computergestützte Systeme, die menschenähnliche Funktionen wie Lernen und Denken ausführen.
- Machine Learning: Ermöglicht Computern, aus Erfahrungen zu lernen und sich anzupassen, ohne explizit programmiert zu sein.
- Predictive Systems: Nutzen Daten und Algorithmen, um zukünftige Ergebnisse vorherzusagen und Ressourceneffizienz zu steigern.
- Digital Twins: Virtuelle Abbilder realer Systeme simulieren und analysieren Verhalten und Prozessabweichungen.

**Automatisierung:** Einsatz von Automatisierungstechnologien, um Prozesse ohne menschliches Eingreifen zu steuern.

- Robotik: Einsatz von Robotern zur Ausführung menschlicher Aufgaben, anpassungsfähig an Veränderungen.
- Autonome Systeme: Selbstständig agierende Systeme, die ohne menschliches Eingreifen Aufgaben übernehmen.
- Online-Plattformen: Plattformen für den Austausch von Informationen, Waren und Dienstleistungen, inklusive Matchmaking-Methoden.

Die Art und Qualität der Daten können zusätzlich in fünf Kategorien unterteilt werden (Berndorfer et al., 2022):

- **Deskriptiv:** Beschreibung vergangener Ereignisse
- **Diagnostisch:** Untersuchung der Ursachen hinter Ereignissen
- **Entdeckend:** Tiefergehende Analyse von Ereignisgründen
- **Prädiktiv:** Vorhersage zukünftiger Ereignisse
- **Präskriptiv:** Bewertung der Auswirkungen verschiedener Handlungsweisen auf zukünftige Ergebnisse

Um ein Produkt und das zugehörige Geschäftsmodell möglichst kreislaforientiert zu gestalten und den Wert zu maximieren, ist eine hohe Datenmenge und -qualität unerlässlich. Diese Daten ermöglichen es, kontinuierliche Verbesserungen am Produkt, dem Service, der Kund:innenzufriedenheit und dem Geschäftsmodell vorzunehmen, was eine direkte Korrelation zum Werterhalt aufweist (Hansen et al., 2020). Die Möglichkeit der Integration von digitalen Technologien entlang der Produktlebensdauer eines Produktes lässt sich in Abbildung 4 sehen. Auch hier zeigt sich, dass eine frühe Integration von digitalen Technologien einerseits den Wert des Produktes möglichst lang erhält und andererseits die Möglichkeit bietet, eine höchstmögliche Datenqualität zu erhalten, um so das Produkt laufend zu optimieren.

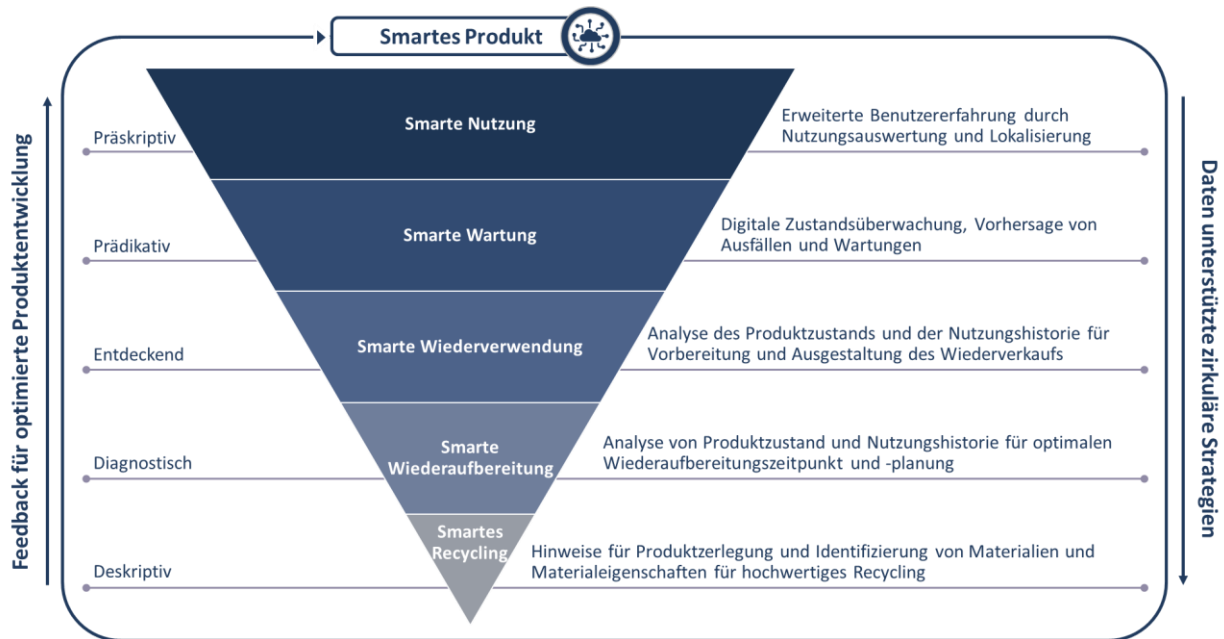


Abbildung 4 Smarte Produkte und Möglichkeiten der Digitalisierung (selbst erstellte Grafik, adaptiert nach Hansen et al. (2020) und Berndorfer et al. (2022))

## 2.3. Bewertungsmodelle

Bewertungsmodelle haben sich als wesentliches Instrument zur Bewertung und Weiterentwicklung von Organisationsprozessen etabliert. Sowohl in der Wissenschaft, als auch in der Praxis gibt es kein einheitliches Begriffsverständnis, häufig werden solche Modelle jedoch als Reifegradmodell oder als Kompetenzmodell bezeichnet (Ahlemann et al., 2005, S. 10–13). Ursprünglich aus dem Qualitätsmanagement kommend, fanden sie weitreichende Anwendung in verschiedenen Bereichen wie der Softwareentwicklung, dem Projektmanagement und dem IT-Management (Fraser et al., 2002; Paulk et al., 1993). Diese Modelle bieten einen strukturierten Rahmen, um die Fähigkeiten eines Systems oder einer Organisation in Stufen einzuteilen, wobei jede Stufe spezifische Anforderungen definiert, die erreicht werden müssen, um einen bestimmten Reifegrad zu erlangen (Ahlemann et al., 2005, S. 10–13).

### 2.3.1. Charakteristika von Reifegradmodellen

Typischerweise sind Reifegradmodelle durch 3 bis 6 klar definierte Reifestufen gekennzeichnet, wobei jede Stufe eine höhere Ebene der Kompetenz und Kontrolle innerhalb des betrachteten Fachgebietes symbolisiert (Fraser et al., 2002; Ahlemann et al., 2005). Diese Stufenstruktur ermöglicht eine graduelle Entwicklung und Verbesserung innerhalb verschiedener Prozessbereiche, die durch detaillierte Beschreibungen und Aktivitäten innerhalb jeder Stufe spezifiziert werden (Fraser et al., 2002). Diese Modelle sind häufig multidimensional und beinhalten verschiedene Dimensionen und Indikatoren, um eine differenzierte Bewertung der organisatorischen Fähigkeiten zu ermöglichen (Mettler et al., 2010). Die strukturierte und mehrdimensionale Gestaltung der Modelle ermöglicht eine methodische Bewertung

und Verbesserung der organisatorischen Leistung, indem klare Richtlinien für die Steigerung der Effizienz und Effektivität vorgegeben werden (Becker et al., 2009). Des Weiteren wird zwischen beschreibenden, vorschreibenden und vergleichenden Modellen unterschieden, die jeweils unterschiedliche Zwecke erfüllen, von der einfachen Status-quo-Analyse bis hin zur Unterstützung bei der strategischen Planung und Benchmarking (de Bruin et al., 2005).

Reifegradmodelle bieten Organisationen eine strukturierte Methodik zur Bewertung und Steigerung ihrer Leistungsfähigkeit. Trotz ihrer breiten Anwendung und Anerkennung gehen mit ihnen jedoch auch bestimmte Nachteile einher. Die Vor- und Nachteile lassen sich wie folgt zusammenfassen:

#### **Vorteile:**

- **Strukturierte Verbesserung:** Sie bieten eine klare Struktur zur Identifizierung und Umsetzung von Verbesserungen in systematischen Schritten (Becker et al., 2009; Fraser et al., 2002).
- **Benchmarking:** Durch einheitliche Bewertungskriterien ermöglichen Reifegradmodelle den Vergleich mit Mitbewerbern und das Erkennen von Wettbewerbsvorteilen (Ahlemann et al., 2005; de Bruin et al., 2005).
- **Generische und flexible Anwendung:** Als Referenzmodelle sind sie in verschiedenen Organisationsformen anwendbar und durch Assessments individuell anpassbar (Ahlemann et al., 2005).
- **Effiziente Assessments:** Reifegrad-Assessments können schnell durchgeführt werden und bieten unmittelbares Feedback, welches grafisch aufbereitet werden kann (de Bruin et al., 2005).
- **Förderung des Lernens:** Sie unterstützen individuelles und organisationales Lernen durch die Bereitstellung von Strukturen, Praxis und Erfolgsfaktoren der jeweiligen Domäne (de Bruin et al., 2005; Fraser et al., 2002).
- **Erfüllung von Normen:** Sie können Unternehmen bei der Erfüllung interner und externer Normen sowie gesetzlicher Auflagen unterstützen (Ahlemann et al., 2005).

#### **Risiken:**

- **Fehlende Handlungsanweisungen:** Reifegradmodelle spezifizieren oft nicht explizit, welche konkreten Maßnahmen für die Organisationsentwicklung erforderlich sind (Ahlemann et al., 2005; Fraser et al., 2002).
- **Übersimplifizierung:** Es besteht das Risiko, dass Modelle wichtige Informationen auslassen und zu unzulässigen Schlussfolgerungen führen, besonders wenn sie zu stark vereinfachen oder bei falscher Anwendung (de Bruin et al., 2005).

Die effiziente Anwendung von Reifegradmodellen verlangt eine ausgewogene Harmonisierung ihrer strukturierten Richtlinien mit den einzigartigen Kontextbedingungen einer jeden Organisation. Reifegradmodelle stellen einen bedeutenden Mechanismus dar, der Organisationen ermöglicht, ihren Entwicklungsstatus systematisch zu evaluieren und gezielt Optimierungsmaßnahmen einzuleiten. Obwohl sie gewisse Begrenzungen aufweisen können, sind sie dennoch ein wesentliches Werkzeug im Managementbereich. Bei korrekter Implementierung tragen sie maßgeblich zur Verwirklichung von strategischen Unternehmenszielen bei. Für eine wirksame Anwendung ist es entscheidend, die Modelle sorgfältig auf den spezifischen Unternehmenskontext zuzuschneiden und offen für eine kritische Auseinandersetzung sowie Anpassungen der empfohlenen Maßnahmen zu sein.

### **2.3.2. Bewertungsmodelle in der Kreislaufwirtschaft**

Der Übergang zu kreislauforientierten Unternehmensstrukturen ist komplex und erfordert umfassendes Know-how, das neue Technologien, Geschäftsmodelle und strukturelle Veränderungen in allen Geschäftsbereichen umfasst. Reifegradmodelle sind von entscheidender Bedeutung, da sie einen strukturierten Rahmen mit definierten Reifegraden bieten, der Unternehmen durch einen Entwicklungspfad von den Anfangsstadien bis zur vollen Reife führt und so die Leistung und Qualität im Einklang mit den Grundsätzen der Kreislaufwirtschaft verbessert (Chrispim et al., 2023).

Der Bedarf an Reifegradmodellen wird durch den Mangel an spezifischen Instrumenten und Indikatoren auf organisatorischer Ebene zur Bewertung der Umsetzung der Kreislaufwirtschaft noch verstärkt (Valls-Val et al., 2022). Die EU erkennt zwar die Bedeutung von Leistungsindikatoren für die Kreislaufwirtschaft an, aber die bestehenden Maßnahmen beziehen sich hauptsächlich auf die territoriale Ebene (Eurostat, 2022). Daher spielen Reifegradmodelle eine entscheidende Rolle bei der Schließung dieser Lücke, indem sie Organisationen eine klare Methodik zur Bewertung ihrer Fortschritte, zur Ermittlung von Verbesserungsmöglichkeiten und letztlich zur Erleichterung eines reibungsloseren Übergangs zu Kreislaufwirtschaftspraktiken bieten (Valls-Val et al., 2022).

Das nächste Kapitel befasst sich mit dem aktuellen Stand der Reifegradmodelle in der Kreislaufwirtschaft und untersucht die bestehenden Rahmenwerke und ihre Wirksamkeit in verschiedenen Sektoren. Es werden sowohl die erzielten Fortschritte als auch die verbleibenden Herausforderungen aufgezeigt und ein klarer Überblick darüber gegeben, wie diese Modelle angewandt werden und wo Verbesserungen erforderlich sind, um Organisationen bei ihrem Übergang zu nachhaltigen Praktiken besser zu unterstützen.

## 3. State of the Art

Basierend auf den theoretischen Grundlagen zur Kreislaufwirtschaft in Kapitel 2 und den darin vorgestellten Theorien und Rahmenwerken, wird in dem folgenden Kapitel der State of the Art (SOTA) zu Bewertungsmodellen für die Kreislaufwirtschaft, auf Basis einer systematischen Literaturrecherche (SLR), präsentiert. Dabei gliedert sich die Darstellung in folgende Teilbereiche:

1. Systematische Literaturrecherche
  - Erläuterung der methodischen Ansätze, die für die Selektion und Bewertung der Literatur angewandt wurden.
  - Darstellung der Suchstrategien, Einschlusskriterien und Bewertungsmethoden der erfassten Publikation.
2. Literaturanalyse und Datensynthese
  - Beschreibung der angewendeten Verfahren und Methodiken zur thematischen Auswertung der Literaturdaten sowohl deduktiv als auch induktiv.
  - Präsentation und Synthese der Daten innerhalb des analytischen Rahmens.
3. Ergebnisse der Literaturrecherche und -analyse
  - SOTA zu Bewertungsmodellen für die Kreislaufwirtschaft
  - SOTA zu kritischen Unternehmensbereichen, Erfolgsfaktoren (Critical Success Factors – CSF) und Key Performance Indicators (KPIs)
  - SOTA zu Reifegraden und Transformationsmechanismen am Weg zur Kreislaufwirtschaft

Durch diese Darstellung wird eine umfassende und klare Präsentation der aktuellen Forschungslage präsentiert, und somit eine solide Grundlage für die Entwicklung eines Bewertungsmodells für die Kreislaufwirtschaft geschaffen. Zusätzlich werden im Zuge der systematischen Literaturrecherche und -analyse die Subforschungsfragen SQ1-SQ3 beantwortet und der Meilenstein M2 erreicht.

### 3.1. Systematische Literaturrecherche

#### 3.1.1. Methodik der systematischen Literaturrecherche

Um Stringenz, Objektivität und Transparenz im Forschungsprozess zu gewährleisten und replizierbare und valide Ergebnisse zu erhalten, wurde ein systematischer Ansatz für die Literaturrecherche gewählt und die methodologischen Richtlinien von Tranfield et al. (2003), Kitchenham BA & S. Charters (2007) und Watson & Webster (2020) eingehalten. Die Recherche ist grundsätzlich in zwei Phasen unterteilt, wobei eine dritte Phase nach Wohlin (2014) ergänzt wurde:

1. Planungsphase:

- 1.1. Identifizierung der Notwendigkeit einer Literaturrecherche: Eine systematische Literaturrecherche ist einerseits aufgrund der großen vorhandenen Datenmengen notwendig und andererseits, um eine gründliche und unvoreingenommene Arbeitsweise zu garantieren (Tranfield et al., 2003).
  - 1.2. Definition der Forschungsfrage: Die Formulierung präziser Forschungsfragen markiert einen wesentlichen Schritt wissenschaftlicher Projekte, indem sie den Untersuchungsbereich abgrenzt und den Forschungsprozess zielgerichtet ausrichtet (Tranfield et al., 2003). Im Kontext dieses Projekts, welches auf die Erarbeitung eines Artefakts zur Lösung einer bestimmten industriellen Herausforderung ausgerichtet ist, folgte die Definition der Forschungsfragen einer systematischen Identifikation von Forschungslücken. Diese methodische Vorgehensweise verstärkt nicht nur die Relevanz des Forschungsvorhabens, sondern gewährleistet auch die Ausrichtung auf die adressierten praktischen Anforderungen und Ziele.
  - 1.3. Entwicklung eines Rechercheprotokolls: Das Rechercheprotokoll bildet die Grundlage der Literaturrecherche und ist von entscheidender Bedeutung für die Wahrung der Integrität des Forschungsprozesses. Es legt nicht nur die Suchstrategie fest, sondern dokumentiert diese auch und trägt zur Minimierung der subjektiven Verzerrungen des Forschenden bei (Kitchenham BA & S. Charters, 2007). Für die vorliegende Arbeit wurde das Rechercheprotokoll gründlich in einem Excel-Protokoll festgehalten, welches die einzelnen Schritte der Literatursuche und -auswahl detailliert aufzeichnet und somit Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Forschungsmethodik sicherstellt.
2. Recherchephase
    - 2.1. Literatursuche: In dieser Phase wird die zuvor festgelegte Strategie zur Literatursuche umgesetzt, mit dem Hauptziel, Primärliteratur zu identifizieren und zu verwenden. Dieser Prozess folgt den in der Forschungsmethodik festgelegten Prinzipien und zielt darauf ab, ein robustes Fundament für die nachfolgende Analyse zu schaffen (Kitchenham BA & S. Charters, 2007).
    - 2.2. Literaturauswahl und Bewertung: Der Gesamtumfang an gefundener Literatur wird nun anhand dessen gefiltert, ob diese einen Beitrag zur Beantwortung der Forschungsfragen leisten können. Die Auswahl wird dabei schrittweise durchgeführt, zuerst durch das Lesen des Titels, anschließend durch einer Analyse des Abstracts und abschließend wird die Literatur zur Gänze oder kapitelspezifisch gelesen (Kitchenham BA & S. Charters, 2007). Zusätzlich wird eine Konzeptmatrix entwickelt, in welcher den einzelnen Literaturangaben, aufgrund ihres Inhaltes Unterkategorien zugeordnet werden, um so einen zusätzlichen Selektionsschritt und einen besseren Überblick über die Literatur zu erhalten (Watson & Webster, 2020).
  3. Snowballing: Um eine umfassende und gründliche Literaturrecherche zu gewährleisten, wurde das Snowballing-Verfahren nach Wohlin (2014) angewendet.

Nach der Auswertung der Volltexte wurden die vielversprechendsten Quellenverweise innerhalb der jeweiligen Unterkategorien als Ausgangspunkt genommen und die darin zitierten Werke auf ihre Relevanz für diese Studie hin überprüft. Dieser Prozess wurde fortgesetzt, bis keine weiteren relevanten Publikationen mehr identifiziert werden konnten.

### 3.1.2. Suchstrategie und Vorgehensweise bei der SLR

Wie bereits in Abschnitt 2 ausgeführt, hat das wachsende Interesse an nachhaltiger Entwicklung die Anzahl der Publikationen zur Kreislaufwirtschaft erhöht. Dies betrifft sowohl die wissenschaftliche Gemeinschaft als auch Praktiker und politische Entscheidungsträger (Camón Luis & Celma, 2020). Eine Beschränkung auf rein akademische Quellen hätte daher nur einen Ausschnitt der verfügbaren Inhalte zu Bewertungsmodellen in der Kreislaufwirtschaft dargestellt. Um die Praxisrelevanz des zu entwickelnden Artefakts zu gewährleisten, war es notwendig, ein breiteres Spektrum an Literatur einzubeziehen. Daher wurde eine Kombination aus verschiedenen Suchmaschinen eingesetzt, um ein vollständiges Spektrum akademischer und praxisorientierter Literatur zu erfassen. Akademische Publikationen wurden über die Datenbanken Scopus, ScienceDirect und Google Scholar recherchiert. Für praxisbezogene Quellen erfolgten gezielte Suchen mittels Google. Connected Papers wurde als ergänzendes Instrument genutzt, um Arbeiten zu berücksichtigen, die thematische Bezüge aufweisen, jedoch nicht direkt zitiert sind. Die Anwendung einer sensiblen Suchstrategie in dieser Studie ermöglichte eine breite und tiefgehende Literaturdurchsicht, reduzierte das Risiko, relevante Dokumente zu übersehen, und sicherte eine umfangreiche Abdeckung des Themenfelds (Nightingale, 2009). Dieser Faktor wurde auch bei der heterogenen Terminologie hinsichtlich Bewertungselemente für die Kreislaufwirtschaft (z.B. Indikatoren / Metriken, Bewertungsmodelle / Reifegradmodelle, Reifegrad / Bereitschaft / Fähigkeit, Modell / Bewertung / Erhebung etc.) berücksichtigt. So wurde hierbei versucht, möglichst viele Begrifflichkeiten für die einzelnen Elemente und Unterkategorien zu berücksichtigen. Um eine ganzheitliche Erfassung relevanter Begrifflichkeiten zu gewährleisten und die Relevanz für sämtliche Untersegmente sicherzustellen, wurde der Rechercheprozess dynamisch gestaltet und iterativ an die sich entwickelnden Termini innerhalb der akademischen und praxisorientierten Literatur angepasst. Ausgangspunkt für die Suchbegriffe bildeten die zentralen Elemente des Forschungsfeldes, wodurch eine konsistente und möglichst allumfassende Literaturbasis erzielt wurde. Die Suchstrategie basierte auf den zentralen Konzepten des Forschungsfeldes, was eine umfassende und konsistente Datengrundlage zur Folge hatte. Die formulierten Suchbegriffe integrierten die Hauptelemente des Themas, verbunden durch Boolesche Operatoren:

- Kreislaufwirtschaft: „circular economy“ wurde in jeder Suchanfrage verwendet
- Bewertungsmodell: model, tool und assessment



- Unternehmensbereiche und KPIs: „key performance indicator“, KPI\*, „critical success factor“ OR CSF\*, „performance metric“, „benchmark metric“, „benchmark indicator“, „circularity metric“, „circularity indicator“
- Fortschritt hinsichtlich der Kreislaufwirtschaft: Maturity, readiness, capability und progression

Beschränkt wurde die Forschung und damit auch die Recherche auf das Konzept der Kreislaufwirtschaft, indem sich teilweise überschneidende oder verwandte Paradigmen weggelassen wurden. Nachhaltigkeitsbezogene Themen, wie Ökologie oder Umweltschutz wurden aufgrund der nicht standardisierten Terminologie und der damit verbundenen Ungenauigkeit der Konzepte, die der Anwendung der Kreislaufwirtschaft entgegensteht, ausgenommen. Darüber hinaus könnte die Anwendung solcher Konzepte zu widersprüchlichen Informationen zwischen Kreislaufwirtschaftsansätzen und nachhaltigkeitsbezogenen Ansätzen in Bezug auf Bewertungsmodelle führen, wodurch der Zweck der Forschung verfehlt werden würde (Kravchenko et al., 2019). Verschiedene Kombinationen der Suchbegriffe wurden auch für Google-Suchanfragen verwendet, hierbei wurde der Fokus auf Quellenangaben wie öffentliche Einrichtungen und andere relevante Interessensvertreter:innen und Stakeholder gelegt:

- Nationale und internationale Regierungsstellen wie z.B. die EU oder Ministerien
- Öffentliche Organisationen wie z.B. die Vereinten Nationen, die Ellen MacArthur Foundation oder das Umweltbundesamt
- Große Unternehmen oder große Beratungsfirmen wie z.B. McKinsey & Company, die Boston Consulting Group oder die Siemens AG

Um hierbei auch den regionalen Kontext miteinzubeziehen, wurden hierbei die Suchanfragen auf Deutsch und auf Englisch gestellt.

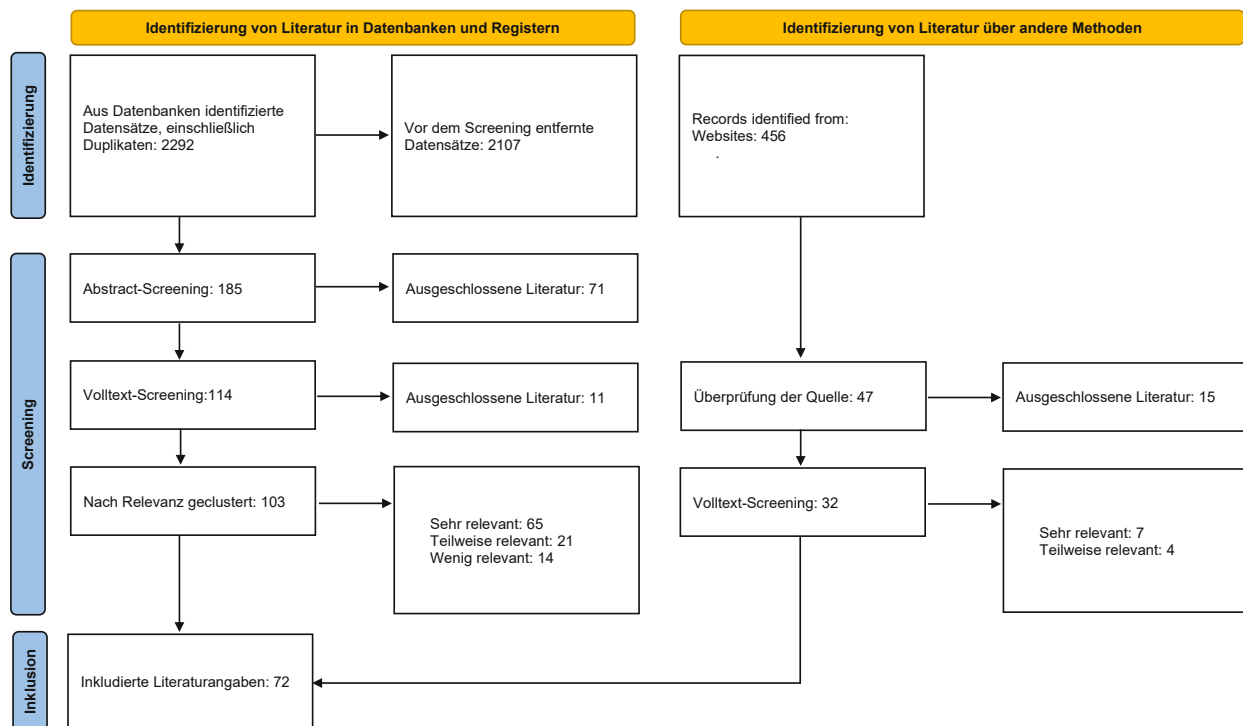


Abbildung 5 Zusammenfassung der SLR nach dem PRISMA-Rahmenwerk (Page et al., 2021)

Die Literatursauswahl wurde auf der Grundlage definierter Inklusions- und Ausschlusskriterien getroffen:

Inklusionskriterien:

- Bewertungsmodelle in der Kreislaufwirtschaft
- Unternehmenskritische Bereiche, Erfolgsfaktoren, KPIs in der Kreislaufwirtschaft
- Entwicklungsschritte, Reifegrade und Transformationsmechanismen zur Kreislaufwirtschaft
- Deutsche oder englische Sprache
- Online verfügbar

Ausschlusskriterien waren:

- Fehlender Bezug zur Kreislaufwirtschaft
- Meso- oder makroökonomische Perspektiven
- Branchenfremder Bezug außerhalb der produzierenden Industrie
- Nicht öffentlich verfügbar

Die Veröffentlichungen wurden gemäß den festgelegten Kriterien klassifiziert: als "sehr relevant" bei Erfüllung aller Einschlusskriterien, als "teilweise relevant" bei Erfüllung einzelner Kriterien und als "nicht relevant" bei Vorliegen mindestens eines klaren Ausschlusskriteriums. Insgesamt beläuft sich die finale Literatur auf 72 Veröffentlichungen, wobei 7 davon aus praktischer Literatur stammen. Diese finale

Stichprobe wird anhand der im folgenden Abschnitt beschriebenen Methodik analysiert.

### 3.2. Methodik der Literaturanalyse und -synthese

Zur Sicherung der Effizienz und Nachvollziehbarkeit in der Analyse der Literatur wird ein hybrider Ansatz gewählt, der deduktive und induktive Methoden kombiniert. Der deduktive Teil des Verfahrens stützt sich auf vorgegebene theoretische Konzepte, während der induktive Teil neue, aus der Literatur hervorgehende thematische Muster und Strukturen identifiziert (Proudfoot, 2023). Für die thematische Analyse der Literatur werden die Methodiken von Fereday & Muir-Cochrane (2006), Witkowsky & Bingham (2021) und Nowell et al. (2017) herangezogen. Diese stellen einen schrittweisen und strukturierten Analyseprozess vor, der die Glaubwürdigkeit, Transparenz und Überprüfbarkeit der Forschungsergebnisse unterstreicht. In der deduktiven Phase der Untersuchung wird zuerst der aktuelle Stand der Forschung (State of the Art, SOTA) analysiert, um eine Basis für die anschließende Entwicklung von Analyseinstrumenten zu schaffen. Dabei wird die relevante Literatur bezüglich der Entwicklungspfade und Transformationsprozesse hin zur Kreislaufwirtschaft sowie hinsichtlich kritischer Aspekte in Unternehmenskontexten systematisch aufgearbeitet. Auf dieser Grundlage wird ein Rahmen für die induktive Literaturanalyse etabliert. Der Prozess ist in die folgenden Schritte unterteilt und auf die vorliegende Arbeit angepasst:

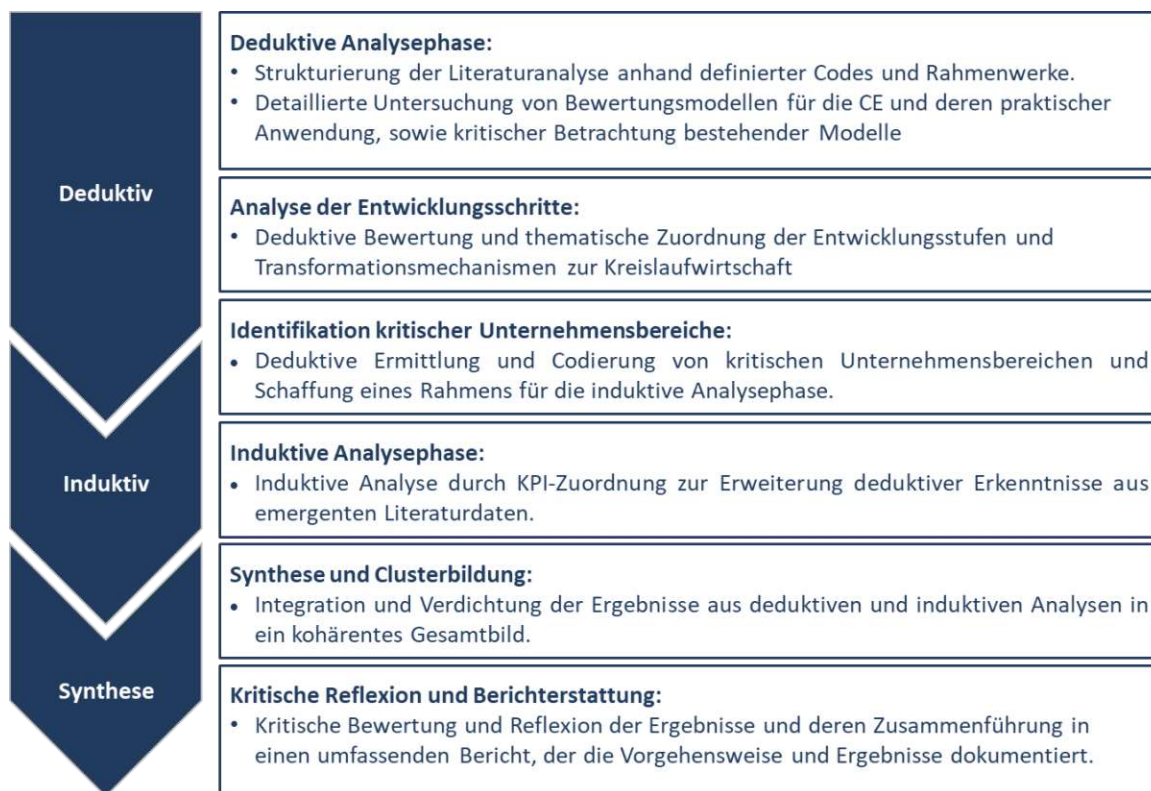


Abbildung 6 Vorgehensweise der Literaturanalyse und -synthese adaptiert nach Fereday & Muir-Cochrane (2006), Nowell et al. (2017) und Witkowsky & Bingham (2021)

Die beschriebene Vorgehensweise wird in den folgenden Kapiteln der vorliegenden Arbeit sukzessive erläutert und die Ergebnisse jedes Schrittes präsentiert.

### 3.3. Deduktive Analysephase

Das Ziel dieser Phase ist die thematische Gruppierung des finalen Literatursets unter Verwendung der drei Hauptcodes (HC):

- HC1: Bewertungsmodelle in der Kreislaufwirtschaft
- HC2: Unternehmenskritische Bereiche, Erfolgsfaktoren, KPIs in der Kreislaufwirtschaft
- HC3: Entwicklungsschritte, Reifegrade und Transformationsmechanismen zur Kreislaufwirtschaft

Auf dieser Grundlage soll ein erster theoretischer Rahmen für die eingehende Analyse der Literatur etabliert werden. Dabei liegt der Fokus auf bestehenden Bewertungsmodellen und deren Analyse. Dies ist besonders im ersten Schritt der Analyse entscheidend, um eine theoretische Basis für die zu evaluierenden Unternehmensbereiche, Erfolgsfaktoren, KPIs sowie die Entwicklungsschritte und Reifegrade zu schaffen. In der nachfolgenden Konzeptmatrix nach Watson & Webster, (2020) wurden die in der SLR als sehr relevant identifizierten Publikationen den entsprechenden Codes zugeordnet.

Unterteilung der Literatur in Hauptcodes			
Publikation	HC1	HC2	HC3
(Olatayo et al., 2023)		•	
(Vegter et al., 2023)			
(Shevchenko et al., 2022)		•	•
(Kayikci et al., 2022)	•	•	
(Aguiar & Jugend, 2022a)		•	•
(Uhrenholt, Kristensen, Rincón, Adamsen, et al., 2022)		•	•
(Bertassini et al., 2022)	•		
(Julkovski et al., 2022)			•
(Bressanelli et al., 2019)	•		
(Acerbi et al., 2021)			•
(Sehnem et al., 2019)		•	•
(Chripim et al., 2023)	•		
(de Souza et al., 2022)		•	
(Vinante et al., 2021)		•	
(Vásquez et al., 2021)			•
(Korne et al., 2022)	•		
(Parida et al., 2019)		•	
(Demko-Rihter et al., 2023)	•	•	
(Sacco et al., 2021)	•		
(Pigosso & McAloone, 2021)	•		
(Thorley et al., 2021)	•		
(Ünal & Shao, 2019)			•
(Baratsas et al., 2022)	•	•	
(Papamichael et al., 2023)	•		
(Montag et al., 2021)	•		

(Jansen, 2023)		•	
(Valls-Val et al., 2022)	•		
(Negri et al., 2021)	•		
(Franco et al., 2021)	•		
(Valls-Val et al., 2023)	•		
(De Pascale et al., 2021)		•	
(Roos Lindgreen et al., 2020)	•		
(Saidani et al., 2019)	•		
(Kristensen & Mosgaard, 2020)		•	
(Parchomenko et al., 2019)		•	
(Cagno et al., 2023)	•		
(de Oliveira & Oliveira, 2023)	•		
(Sassanelli et al., 2019)	•		
(de Oliveira et al., 2021)		•	
(Garcia-Saravia Ortiz-de-Montellano & van der Meer, 2022)		•	
(Corona et al., 2019)			
(Camacho-Otero & Ordoñez, 2017)	•		
(Cayzer et al., 2017)	•		
(Garza-Reyes et al., 2019)	•		
(Prieto-Sandoval et al., 2018)		•	
(The Ellen MacArthur Foundation, 2020)	•		
(Rincón-Moreno et al., 2021)		•	
(Elia et al., 2017)	•		
(Urain et al., 2022)	•		
(Seles et al., 2022)		•	
(Fernandez de Arroyabe et al., 2021)		•	
(Pieroni, McAloone, & Pigosso, 2021)		•	
(Pieroni, McAloone, Borgianni, et al., 2021)		•	
(Aloini et al., 2020)		•	
(Linder et al., 2017)		•	
(Rigamonti & Mancini, 2021)	•		
(Ruiz-Pastor et al., 2022)		•	
(Opferkuch et al., 2023)		•	
(Trollman et al., 2021)	•		
(Khan et al., 2020)		•	
(Benz, 2022)		•	
(Goyal et al., 2022)		•	
(Brendzel-Skowera, 2021)			•
(Diaz et al., 2022)			•
(de Almeida Santos et al., 2020)			
(HSSMI, 2023)	•	•	
(Kreutzer, Müller-Abdelrazeq, et al., 2023)	•	•	
(Kreutzer, Borowski, et al., 2023)		•	
(PricewaterhouseCoopers, 2023)		•	•
(Taival, 2022)			•
(BMK, 2022)			
(KPMG, 2023)	•	•	
(VDMA, 2023)	•		

**Tabelle 2 Codierung der Literatur adaptiert nach Watson & Webster (2020)**

Auf der Grundlage der initialen Codierung in Tabelle 2 wird der folgende Abschnitt den Forschungsstand zu Bewertungsmodellen im Kontext der Kreislaufwirtschaft erörtern, um den des Meilenstein M2 zu realisieren und SQ1 zu beantworten. Es wurden 31 Publikationen ermittelt, die als sehr relevant für Bewertungsmodelle eingestuft wurden.

Die Analyse beginnt mit einer detaillierten Betrachtung des State of the Arts. Die Untersuchung der Publikationen der HC1 bezog sich auf die Überprüfung aller drei Hauptcodes. In diesem Rahmen wurden die einzelnen Publikationen kurz beschrieben, daraus resultierende Anforderungen an neue Modelle oder identifizierte Forschungslücken aggregiert, die fokussierten Unternehmensbereiche aufgezeigt, relevante KPIs oder Teilbereiche erfasst sowie die verschiedenen Reifestufen und Mechanismen der Transformation dargestellt. Eine detaillierte tabellarische Darstellung dieser Untersuchung findet sich in Anhang 1. Der aktuelle Forschungsstand wird implizit durch die identifizierten Forschungslücken im folgenden Abschnitt zusammengefasst.

### 3.4. Forschungslücke zu Bewertungsmodellen für die Kreislaufwirtschaft

In einem ersten Schritt der deduktiven Analysephase werden die Forschungslücken, die bereits in Abschnitt 1.2 zusammengefasst wurden, detailliert beschrieben und geclustert. Auch wenn es bereits eine Vielzahl an entwickelten Bewertungsmodellen für die Kreislaufwirtschaft gibt (Chrispim et al., 2023), weisen diese in verschiedenen Bereichen immer noch Mängel auf, welche die Entwicklung eines zusätzlichen Bewertungsmodells für die gezielte Erhebung des Ist-Standes von produzierenden Unternehmen notwendig macht. Diese Mängel lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Methodik und Validierung
  - Fehlende Kombination und Synthese bestehender Modelle zur Erzielung von Synergieeffekten (Camacho-Otero & Ordoñez, 2017; Corona et al., 2019; Pigosso & McAloone, 2021; Saidani et al., 2019; Valls-Val et al., 2022, 2023).
  - Unzureichende empirische Validierung und Durchführung von Case Studies (Garza-Reyes et al., 2019; Kayikci et al., 2022; Montag et al., 2021; Roos Lindgreen et al., 2020; Sacco et al., 2021; Thorley et al., 2021; Trollman et al., 2021; Urain et al., 2022; Valls-Val et al., 2022, 2023).
  - Unzureichende Definition, Synthese und Abdeckung von Zirkularität, Reifegrad und Bereitschaft (Baratsas et al., 2022; Camacho-Otero & Ordoñez, 2017; Garza-Reyes et al., 2019; Kayikci et al., 2022; Kreutzer, Borowski, et al., 2023; Pigosso & McAloone, 2021).
- Datenverfügbarkeit und -qualität
  - Fehlende Berücksichtigung von robusten und objektiven Metriken (Camacho-Otero & Ordoñez, 2017; Demko-Richter et al., 2023; Saidani et al., 2019).

- Defizite in der Datenverfügbarkeit und -verlässlichkeit (Baratsas et al., 2022; Bertassini et al., 2022; Chrispim et al., 2023; Sacco et al., 2021; Trollman et al., 2021).
- Sektorspezifische und kulturelle Unterschiede
  - Unzureichende Berücksichtigung von sektorspezifischen Anforderungen (Baratsas et al., 2022; Bertassini et al., 2022; Cagno et al., 2023; Camacho-Otero & Ordoñez, 2017; Chrispim et al., 2023; De Pascale et al., 2021; Kreutzer, Borowski, et al., 2023; Roos Lindgreen et al., 2020; Saidani et al., 2019; Trollman et al., 2021; Valls-Val et al., 2022, 2023).
  - Mangelndes Verständnis und fehlende Berücksichtigung von kulturellen Einflüssen und Faktoren auf die Implementierung der Kreislaufwirtschaft (Bertassini et al., 2022; Cayzer et al., 2017; Thorley et al., 2021).
- Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft
  - Mangelnde Berücksichtigung von Wechselwirkungen und Interdependenzen von Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft (Baratsas et al., 2022; Franco et al., 2021; Roos Lindgreen et al., 2020; Sacco et al., 2021; Saidani et al., 2019).
- Regulatorische und institutionelle Rahmenbedingungen
  - Mangelnde Anpassungsfähigkeit bestehender Modelle an regulatorische und gesetzliche Rahmenbedingungen (De Pascale et al., 2021; Kreutzer, Müller-Abdelrazeq, et al., 2023; Sacco et al., 2021; Saidani et al., 2019; The Ellen MacArthur Foundation, 2020; Urain et al., 2022).
  - Unzureichende Berücksichtigung institutioneller Vorgaben bei bestehenden kreislaufwirtschaftlichen Ansätzen (Chrispim et al., 2023; Demko-Rihter et al., 2023; Pigosso & McAlloone, 2021; Sacco et al., 2021; Saidani et al., 2019).

Die Identifikation und Analyse der Forschungslücken in Bewertungsmodellen für die Kreislaufwirtschaft haben bedeutende theoretische und praktische Defizite aufgedeckt. Diese Erkenntnisse schaffen eine fundierte Basis für die Erstellung eines gezielten Anforderungskatalogs, der die spezifischen Bedürfnisse und Herausforderungen in der Bewertung der Kreislaufwirtschaft adressiert. Mit der Erstellung des Anforderungskatalogs wird in weiterer Folge der Entwicklungsprozess selbst gestartet und damit die Basis für die iterative Entwicklung des Tools gelegt.

## 4. Anforderung an das Bewertungsmodells

In der Design- und Entwicklungsphase dieser Arbeit werden zunächst im Abschnitt 4.1 die Anforderungen an das zu konzipierende Bewertungsmodell dargelegt. Abschnitt 4.2. widmet sich der strategischen Umsetzung und dem theoretischen Rahmen dieser Anforderungen. Darauf aufbauend schafft Abschnitt 4.3 die Basis für die Ausarbeitung der Transformationsmechanismen und Reifestufen, die essenziell für die Erstellung der Untersuchungsfragen und die Präsentation der Ergebnisse sind. In Abschnitt 4.4 erfolgt die systematische Identifikation kritischer Unternehmensbereiche, gefolgt von der Erfassung und Synthese der KPIs und Forschungsfragen in Abschnitt 4.5.

### 4.1. Anforderungskatalog an das Bewertungsmodell für die Kreislaufwirtschaft

Auf Basis des aktuellen Forschungsstandes und der daraus resultierenden Forschungslücke wurden die folgenden Schlüsselanforderungen für die Entwicklung eines effektiven Bewertungsmodells identifiziert:

- **Bewertungskriterien und Messmethoden:**
  - Entwicklung und Einsatz geeigneter KPIs und Berücksichtigung von Erfolgsfaktoren für die Umsetzung der CE (Camacho-Otero & Ordoñez, 2017; de Oliveira et al., 2021; Demko-Rihter et al., 2023; Franco et al., 2021; Kayikci et al., 2022; Saidani et al., 2019).
  - Minimierung der Subjektivität im Bewertungsprozess (Chrispim et al., 2023; De Pascale et al., 2021; Demko-Rihter et al., 2023).
  - Integration qualitativer und quantitativer Daten (Baratsas et al., 2022; Bertassini et al., 2022; Bressanelli et al., 2021; Montag et al., 2021; Urain et al., 2022; Valls-Val et al., 2022).
- **Werkzeugentwicklung und Anwendbarkeit:**
  - Entwicklung eines flexiblen und anpassbaren Tools (Franco et al., 2021; Kreutzer, Müller-Abdelrazeq, et al., 2023; Sacco et al., 2021; Urain et al., 2022).
  - Entwicklung eines benutzerfreundlichen Tools (Cagno et al., 2023; Corona et al., 2019; De Pascale et al., 2021; Kristensen & Mosgaard, 2020; Parchomenko et al., 2019; Roos Lindgreen et al., 2020; Urain et al., 2022; Valls-Val et al., 2022, 2023).
  - Bereitstellung von Anleitungen und Schulungsmaterialien (Chrispim et al., 2023; Corona et al., 2019; Roos Lindgreen et al., 2020).
- **Wertschöpfungskette und Supply Chain Management:**
  - Berücksichtigung der gesamten Wertschöpfungskette und aller 9R-Strategien (Bressanelli et al., 2021; de Oliveira et al., 2021; De Pascale et al., 2021; Garza-Reyes et al., 2019; Kreutzer, Müller-Abdelrazeq, et al.,



- 2023; Kristensen & Mosgaard, 2020; Parchomenko et al., 2019; Roos Lindgreen et al., 2020; Trollman et al., 2021).
- Integration von Material- und Energieflüssen sowie Berücksichtigung des Einsatzes erneuerbarer Ressourcen (Corona et al., 2019; De Pascale et al., 2021; Pigosso & McAloone, 2021).
  - Strategie und Management:
    - Unterstützung für Entscheidungsfindungsprozesse und Management-Strategien (Baratsas et al., 2022; Kayikci et al., 2022; Trollman et al., 2021; Urain et al., 2022).
    - Operationalisierung durch praxisnahe Beispiele und Beschreibungen (Kayikci et al., 2022; Roos Lindgreen et al., 2020; Saidani et al., 2019; Thorley et al., 2021).
  - Nutzer- und Stakeholder-Perspektiven:
    - Einbeziehung verschiedener Stakeholder und der Nutzerperspektive (Cayzer et al., 2017; Chrispim et al., 2023; Demko-Rihter et al., 2023; Garza-Reyes et al., 2019; Thorley et al., 2021).
    - Partizipativer Entwicklungsprozess, um Praxisrelevanz zu versichern (Roos Lindgreen et al., 2020).
    - Einbeziehung und Berücksichtigung der Meso- und Makroperspektive (Baratsas et al., 2022; Camacho-Otero & Ordoñez, 2017; Chrispim et al., 2023; Corona et al., 2019; Demko-Rihter et al., 2023; Franco et al., 2021; Kristensen & Mosgaard, 2020; Negri et al., 2021).

## 4.2. Theoretisches Rahmenwerk und Umsetzungsstrategien

Um die Basis für die nächsten Analyse- und Syntheseschritte zu setzen, werden im folgenden Abschnitt das theoretische Rahmenwerk und Umsetzungsstrategien für die Erfüllung des Anforderungskatalogs dargelegt. Der theoretische und strategische Rahmen wird hierfür in sechs Gruppen aufgeteilt:

### ***Integrierte Methodik und Datenanalyse:***

Das Bewertungsmodell beruht auf einem Mixed-Methods-Ansatz, der quantitative und qualitative Daten vereint. Dieser Ansatz ermöglicht ein breiteres und differenzierteres Verständnis der eingegebenen Daten und führt dadurch zu einer höheren Datenverfügbarkeit und -verlässlichkeit (Creswell & Plano Clark, 2018). Der Fragebogen integriert und synthetisiert dabei bereits veröffentlichte Fragebögen und ermöglicht dadurch Synergieeffekte (Pigosso & McAloone, 2021). Die Auswahl und Sammlung von Daten erfolgt durch die Synthese existierender Bewertungsansätze und deren KPIs, CSFs und unternehmensspezifischen Bereichen, um zielgerichtete und relevante Fragestellungen zu entwickeln.

***Zirkuläre Wertschöpfung und Stakeholder Integration:***

Die Erfassung der Daten erfolgt in Übereinstimmung mit den Segmenten der zirkulären Wertschöpfungskette, basierend auf dem Modell von Porter (1985) und der Erweiterung durch Eisenreich et al. (2022). Dieses Vorgehen gewährleistet die Abbildung aller Unternehmensbereiche und Stakeholder. Zugeordnete Metriken zu diesen Segmenten ermöglichen induktive Anpassungen und spezifische Verbesserungen am theoretischen Rahmenwerk und dessen Segmenten. Die integrierte Betrachtung der Wertschöpfungskette fördert zudem das Verständnis für das Stakeholder-Netzwerk (Nika et al., 2021).

***Rechtskonformität und strategische Anpassung:***

Bei der Entwicklung des Bewertungsmodells wird besonderes Augenmerk auf aktuelle Gesetzgebungen und relevante nationale sowie supranationale Strategiedokumente gelegt. Ein Fokus liegt auf der Integration der 9R-Strategien nach Potting et al. (2017), welche die Grundlage für die österreichische Kreislaufwirtschaftsstrategie (BMK, 2022) bilden sowie auf den fortlaufend aktualisierten Richtlinien der Europäischen Union. Hierbei wird beispielsweise der Aktionsplan Kreislaufwirtschaft oder die EU-Taxonomie und der dazugehörige Bewertungskatalog berücksichtigt (Europäische Kommission, 2021b, 2023a; European Commission, 2020a). Durch eine flexible und anpassbare Gestaltung des Tools, soll es zusätzlich möglich sein, zukünftige Entwicklungen in der Gesetzgebung zu implementieren und abzubilden.

***Systematische Modellentwicklung und Operationalisierung:***

Das Rahmenwerk ist so konzipiert, dass es durch eine modulare Gliederung in thematische Abschnitte eine flexible Nutzung des Modells ermöglicht. Diese Flexibilität fördert die Anpassungsfähigkeit und Aktualität des Modells und erleichtert gleichzeitig die Integration übergeordneter Themen wie Nachhaltigkeit. Darüber hinaus orientiert sich die Struktur des Modells an der Theorie zum Entwurf von Umfragen von Groves, welche empfiehlt, von allgemeinen zu spezifischeren Fragen überzugehen (Groves, 2009). Dieser Ansatz fördert das Engagement der Nutzer:innen und verbessert dadurch den Komfort bei der Beantwortung, was wiederum die Validität der erhobenen Daten erhöht (Groves, 2009). Durch diese strukturierte Herangehensweise werden die Anforderungen an geeignete Metriken und Messungen sowie die Berücksichtigung sektorspezifischer Anforderungen effektiv adressiert. Die intuitive Gestaltung des Modells gewährleistet zudem eine niedrige Einstiegshürde und hohe Benutzerfreundlichkeit, was die praktische Anwendbarkeit der Erkenntnisse unterstützt.

### ***Visualisierung und Ergebnispräsentation:***

Im Fokus der Ergebnisdarstellung des Bewertungsmodells steht eine intuitive und benutzerfreundliche Oberfläche. Die Präsentation der Ergebnisse erfolgt auf mehreren Ebenen, um sowohl Management-Anforderungen gerecht zu werden als auch eine umfassende Übersicht zu bieten. Einerseits wird ein aggregierter Gesamtindikator für Reifegrad und Zirkularität dargestellt, der einen schnellen Überblick und die Identifizierung potenzieller Änderungen und deren Auswirkungen ermöglicht (Baratsas et al., 2022). Andererseits werden Detailansichten in den Bereichen des theoretischen Rahmenwerks geboten. Die Integration von Managementsystemen, wie der ISO 9001, und die Förderung eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses sind ebenfalls zentral, um betrieblich relevante Ergebnisse zu erzielen (Urain et al., 2022). Ergänzend werden die Ergebnisse deskriptiv anhand von synthetisierten Reifegraden und Transformationsmechanismen aus der Literatur aufbereitet, um eine wissenschaftlich fundierte und datenbasierte Standortbestimmung für Unternehmen zu gewährleisten (Kreutzer, Müller-Abdelrazeq, et al., 2023).

### ***Praxisorientierte Validierung und Benchmarking:***

Um sicherzustellen, dass die Ziele aus Abschnitt 1.2 und die Anforderungen aus Abschnitt 4.1 erfüllt werden, wird das entwickelte Bewertungsmodell dreistufig nach der Vorgehensweise von Cloquell-Ballester et al. (2006) validiert. Hierbei wird ein besonderer Wert auf praxisnahe Validierung durch Unternehmen der Zielgruppe und dem Stakeholder-Netzwerk gelegt. Ferner ermöglicht das Modell einen Benchmarking-Prozess, der dazu beiträgt, die bereits reduzierte Subjektivität weiter zu verringern.

### ***Anforderungsprofil und theoretischer Rahmen:***

Der theoretische Rahmen und die Kriterien für die Entwicklung des Tools basieren auf einer detaillierten Analyse des Systems der Kreislaufwirtschaft, wie in Abschnitt 2, „Theoretische Grundlagen“, beschrieben. Dies umfasst die Integration von Methoden zur Datenanalyse, die Beachtung rechtlicher Vorgaben und strategische Anpassungen, die durch eine systematische Modellentwicklung ergänzt werden. Die Kombination von qualitativen und quantitativen Forschungsmethoden ermöglicht ein umfassendes Verständnis der Thematik, berücksichtigt die Interessen der Stakeholder und erfüllt die rechtlichen Anforderungen. Die flexible Gestaltung des Tools sichert dessen Anwendbarkeit in verschiedenen Sektoren und erhöht die Benutzerfreundlichkeit durch intuitive Visualisierungen und praxisorientierte Validierungsprozesse.

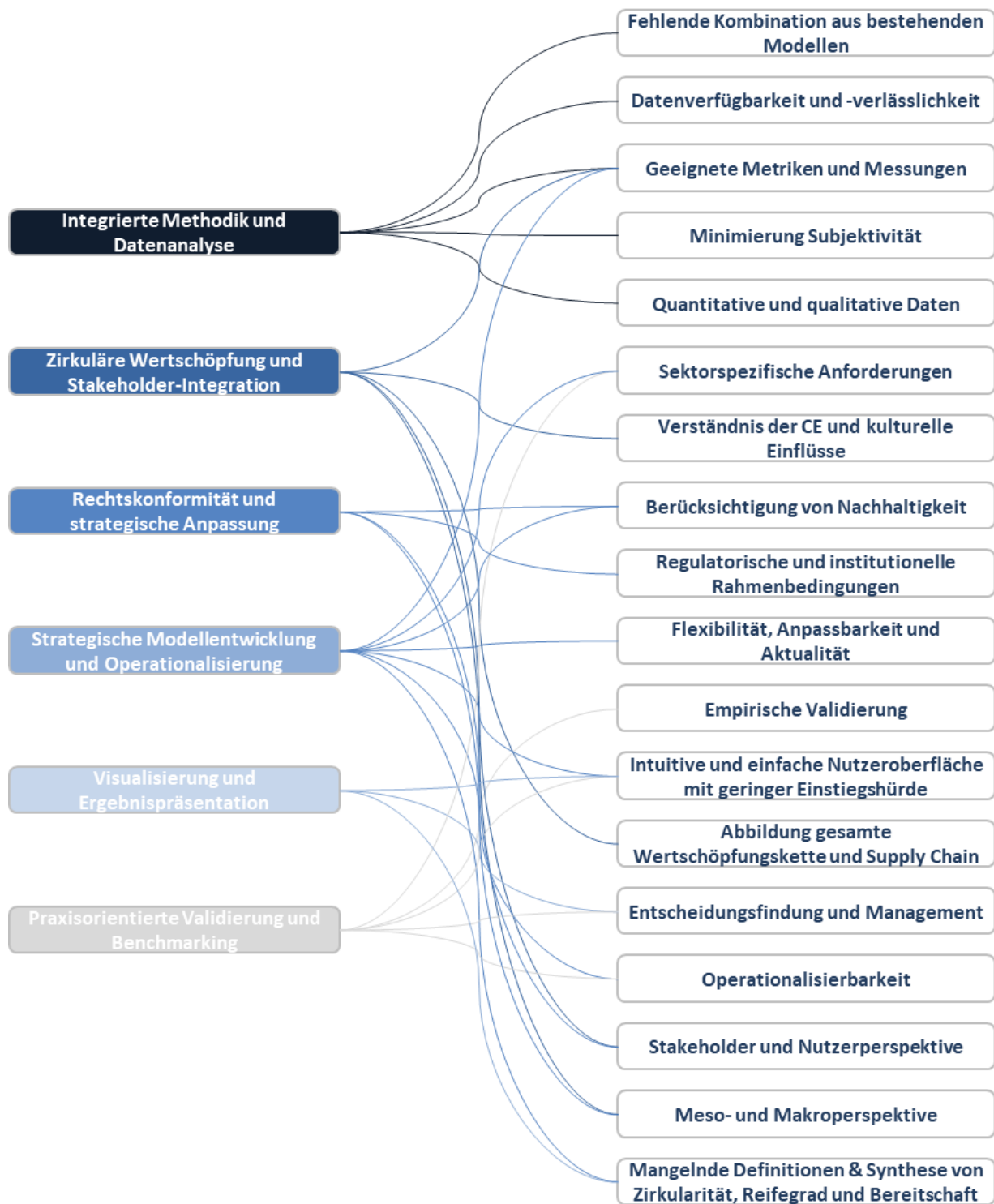


Abbildung 7 Zusammenfassung des Anforderungsprofils und Umsetzungsstrategien

### 4.3. Analyse der Entwicklungsschritt

Im folgenden Abschnitt werden auf Basis der systematischen Literaturrecherche die wichtigsten Entwicklungsschritte, die unterschiedlichen Reifegrade und die Transformationsmechanismen der Kreislaufwirtschaft analysiert. Hierbei wird in Anbetracht der folgenden Toolentwicklung vor allem die Basis für die qualitativen Fragestellungen und die Visualisierung und Ergebnispräsentation gelegt.

Die Auswertung der systematischen Literaturanalyse im Hinblick auf Reifegradmodelle offenbart, dass die Mehrzahl der existierenden Modelle Reifegrade mittels Skalen quantifiziert. Die Bandbreite der Reifegrade reicht dabei von drei Stufen, wie im Modell von Bressanelli et al. (2021), bis hin zu sechs Stufen, wie bei Bertassini et al. (2022) dargestellt. Als Referenzrahmen dienen in den analysierten Studien häufig etablierte Reifegradmessungen, wie die in der Softwareentwicklung von Paulk et al. (1993) oder im Projektmanagement von Grant & Pennypacker (2006), die jeweils ein fünfstufiges Schema vorstellen. Gestützt auf diese Erkenntnisse und durch die Integration der Forschungsergebnisse aus den spezifischen Kategorien HC1, die ergänzende Bewertungsrahmen vorlegen, und HC3, wird in der vorliegenden Arbeit ein qualitativer Rahmen für Reifegrade entwickelt, der den Übergang zur Kreislaufwirtschaft darstellt. Hierfür wurden 13 Publikationen untersucht und inhaltlich zusammengefasst, um daraus einen Rahmen für die weitere Toolentwicklung zu schaffen. Für die vorliegende Arbeit wurde hierbei zusätzlich Rücksicht auf die Testtheorie und Fragebogenkonstruktion genommen. Hierbei werden bei Likert-Skalen fünf bis sieben Stufen empfohlen (Joshi et al., 2015; Moosbrugger & Kelava, 2020, S. 106). Vermieden werden sollte jedoch eine neutrale Mittelkategorie, weshalb anders als in den etablierten Reifegradmessungen, sechs anstatt fünf Stufen gewählt wurden (Moosbrugger & Kelava, 2020, S. 109–110).

Als ersten Schritt wurden hierbei die Grundstufen für den Rahmen, durch die Konsolidierung verschiedener Begriffe aus der Literatur, definiert. In sechs Stufen wird eine systematische Darstellung der Entwicklungsstadien hin zu einer integrierten Kreislaufwirtschaft ermöglicht. Diese Stufen verdeutlichen die Evolution von initialen Überlegungen bis zur vollständigen Implementierung kreislaufwirtschaftlicher Prinzipien:

- **Stufe 0 Linear** (Uhrenholt, Kristensen, Rincón, Adamsen, et al., 2022): In dieser Stufe fehlt jegliches Wissen und es gibt keine Aktivitäten im Bereich der Kreislaufwirtschaft. Es gibt noch keine Bestrebungen, das aktuell vorhandene lineare System in einen Kreislauf zu bringen (Acerbi et al., 2021; Montag et al., 2021).
- **Stufe 1 Initiierung** (Urain et al., 2022): Die erste Reifegradebene wird in der Literatur alternativ auch beispielsweise als träge (Aguiar & Jugend, 2022a) oder als Anfangsphase (Brendzel-Skowera, 2021) beschrieben. In dieser Phase entsteht erstes Interesse am Thema Kreislaufwirtschaft, an zirkulären Geschäftsmodellen und daran, wie erste Schritte in Richtung gemacht werden können (Urain et al., 2022).
- **Stufe 2 Sensibilisierung** (Aguiar & Jugend, 2022a): Die zweite Phase wird in den vorhandenen Publikationen alternativ beispielsweise als Bewusstseinsphase (Julkovski et al., 2022), als Pilotphase (Acerbi et al., 2021) oder als minimaler Reifegrad bezeichnet (Montag et al., 2021). In dieser

Phase ist zumindest das Thema grundsätzlich bekannt und erstes Wissen vorhanden, eine Umsetzung aber noch unterentwickelt (Aguiar & Jugend, 2022a).

- **Stufe 3 Integration** (Bertassini et al., 2022): Die dritte Stufe wird in der vorhandenen Literatur alternativ als etabliert (Sehnm et al., 2019), operationalisiert (Urain et al., 2022) oder definiert (Brendzel-Skowera, 2021) beschrieben. In dieser Phase werden erste zirkuläre Prinzipien in der Geschäftspraxis umgesetzt und das Unternehmen hat bereits an Wissen und Erfahrung gesammelt (Bertassini et al., 2022).
- **Stufe 4 Systematisierung** (Uhrenholt, Kristensen, Rincón, Adamsen, et al., 2022): Die vierte Reifegradebene wird in der analysierten Literatur beispielsweise auch als vorhersehbar (Sehnm et al., 2019), kreislaufwirtschaftliches Denken (Acerbi et al., 2021) oder überwacht (Aguiar & Jugend, 2022a) beschrieben. In dieser Phase wird die Kreislaufwirtschaft systematisch auf die gesamte Organisation und Unternehmensstrategie ausgeweitet und erste Pilotprojekte werden skaliert (Uhrenholt, Kristensen, Rincón, Adamsen, et al., 2022).
- **Stufe 5 Optimierung**: Die letzte Reifegradebene wird in der Literatur alternativ als regenerativ (Uhrenholt, Kristensen, Rincón, Adamsen, et al., 2022), nachhaltig (Julkovski et al., 2022), als vollständig zirkulär (Acerbi et al., 2021) oder führend (Bertassini et al., 2022) betitelt. Da vollständige Zirkularität jedoch für produzierende Unternehmen nur ein theoretisches Konzept ist, wurde hierbei auf die Formulierung von Sehnm et al. (2019), Aguilar & Jugend (2022) und Brendzel-Skowera (2021) zurückgegriffen. In dieser Phase werden die bereits systematisierten und messbaren zirkuläre Prozesse kontinuierlich kritisch analysiert und verbessert (Sehnm et al., 2019).

Tabelle 3 bietet eine deduktive Analyse anhand der Reifegrade zur Kreislaufwirtschaft, ermittelt durch die systematische Literaturrecherche, und identifiziert dabei die wesentlichen Indikatoren für den Fortschritt zu höheren Stufen. Diese Zusammenfassung bildet die Ausgangsbasis für die Darstellung der Forschungsergebnisse und die Formulierung zugehöriger Forschungsfragen.

<i>Reifegrad</i>	<i>Zusammenfassung der Literatur</i>	<i>Transformationsmechanismen</i>
<i>Linear</i>	Unternehmen auf Stufe 0 folgen einem strikt linearen Modell ("Take-Make-Dispose"), ohne Engagement für Kreislaufwirtschaftsinitiativen. Sehnm et al. (2019) betonen das Fehlen kreislaforientierter Praktiken und eine Fokussierung auf Kostenreduktion. Uhrenholt et al. (2022) und Acerbi et al. (2021) beschreiben einen reaktiven Nachhaltigkeitsansatz, der sich auf Abfallmanagement beschränkt. Bertassini et al. (2022) und Montag et al. (2021) bestätigen ein fehlendes Bewusstsein für die Kreislaufwirtschaft.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verfolgung eines linearen "Take-Make-Dispose"-Modells</li> <li>• Mangel an kreislaufwirtschaftlichen Initiativen und Bewusstsein</li> <li>• Fokussierung auf Kostenreduktion und reaktive Nachhaltigkeitsansätze</li> </ul>

<i>Initiierung</i>	Auf der Initiierungsstufe zeigen Organisationen ein aufkommendes Interesse an den Grundsätzen der Kreislaufwirtschaft, wie Sehnem et al. (2019) feststellen, doch fehlt es an effektiver Umsetzung. Uhrenholt et al. (2022) und Acerbi et al. (2021) weisen auf unzureichende Praktiken hin. Bertassini et al. (2022) und Montag et al. (2021) betonen das Fehlen proaktiver Kreislaufstrategien, wobei sich Bemühungen lediglich auf die Einhaltung gesetzlicher Vorgaben beschränken.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entwickelndes Interesse an den Prinzipien der Kreislaufwirtschaft</li> <li>• Unzureichende praktische Umsetzung und Fehlen proaktiver Strategien</li> <li>• Bemühungen hauptsächlich auf gesetzliche Compliance ausgerichtet</li> </ul>
<i>Sensibilisierung</i>	Organisationen auf dieser Stufe sind sich der Kreislaufwirtschaft bewusst und beginnen mit ersten Umsetzungsversuchen, die jedoch oft fragmentiert bleiben. Sehnem et al. (2019) und Aguiar & Jugend (2022) erkennen ein grundlegendes, aber unterentwickeltes Verständnis für kreislaufwirtschaftliche Konzepte. Uhrenholt et al. (2022) beobachten Diskussionen über CE-Prinzipien und Pilotprojekte, die CE-Konzepte testen, während Julkovski et al. (2022) und Brendzel-Skowera (2021) unstrukturierte Praktiken mit unvorhersehbaren Ergebnissen beschreiben. Bertassini et al. (2022), Acerbi et al. (2021), Montag et al. (2021) und Urain et al. (2022) bestätigen erste Schritte in Richtung Kreislaufwirtschaft, die jedoch in ihrer Wirkung beschränkt sind.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bewusstsein und grundlegendes Verständnis für Kreislaufwirtschaft vorhanden</li> <li>• Erste Umsetzungsversuche, die jedoch fragmentiert und begrenzt wirksam sind</li> <li>• Diskussionen über Kreislaufwirtschaftsprinzipien und Durchführung erster Pilotprojekte</li> </ul>
<i>Integration</i>	In der Integrationsstufe beginnen Unternehmen, Kreislaufwirtschaftsprinzipien gezielter umzusetzen und Erfahrungen zu sammeln. Sehnem et al. (2019) beschreiben etablierte Praktiken, die kontrolliert werden. Julkovski et al. (2022) stellen fest, dass Prozesse definiert, aber elementar bleiben. Uhrenholt et al. (2022) erwähnen Demonstrations- und Pilotprojekte, die CE-Konzepte testen. Bertassini et al. (2022) und Montag et al. (2021) beobachten erste Kenntnisse aus der Praxis und Maßnahmen im Zusammenhang mit CE, die jedoch nicht vollständig in die Unternehmensprozesse integriert sind. Urain et al. (2022) weisen auf ein wachsendes Interesse an der Umstellung von Geschäftsmodellen auf CE hin.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gezielte Implementierung von Kreislaufwirtschaftsprinzipien mit kontrollierten Praktiken</li> <li>• Definition elementarer, aber noch zu integrierender Prozesse</li> <li>• Wachsendes Interesse an der Anpassung von Geschäftsmodellen an die Kreislaufwirtschaft</li> </ul>
<i>Systematisierung</i>	Auf der Stufe der Systematisierung weiten Organisationen die Anwendung von Kreislaufwirtschaftsprinzipien systematisch aus. Sehnem et al. (2019) und Aguiar & Jugend (2022) beschreiben die Praktiken als verwaltet und standardisiert. Uhrenholt et al. (2022) stellen fest, dass CE strategisch implementiert wird, einschließlich der erfolgreichen Skalierung von Pilotprojekten. Julkovski et al. (2022) sprechen von fortgeschrittenen Praktiken, die zu einer verbesserten Prozessleistung führen. Acerbi et al. (2021) und Brendzel-Skowera (2021) heben die unternehmensweite Einführung von CE hervor. Bertassini et al. (2022) und Montag et al. (2021) erwähnen die Formalisierung von CE-Strategien. Urain et al. (2022) betonen die systematische Ausrichtung der Unternehmensbemühungen auf CE-Prinzipien.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Systematische Anwendung und Standardisierung von Kreislaufwirtschaftsprinzipien</li> <li>• Strategische Implementierung von CE-Praktiken und Verbesserung der Prozessleistung</li> <li>• Fortschritte in der unternehmensweiten Einführung und Formalisierung von CE-Strategien</li> </ul>

<i>Optimierung</i>	<p>Organisationen auf dieser Stufe haben Kreislaufwirtschaftspraktiken fest etabliert, die kontinuierlich überwacht, gemessen und optimiert werden. Sehnem et al. (2019) beschreiben diese Praktiken als kontrolliert und messbar. Aguiar &amp; Jugend (2022) betonen, dass die Kreislaufwirtschaft nicht nur bekannt und entwickelt, sondern auch standardisiert und einer kontinuierlichen Verbesserung unterzogen ist. Acerbi et al. (2021) definieren diese Ebene durch "Circular Economy Thinking", bei dem Unternehmen die Kreislaufwirtschaft über interne Prozesse hinaus auf externe Partnerschaften ausweiten. Bertassini et al. (2022) und Montag et al. (2021) heben hervor, dass Kreislaufwirtschaftsprinzipien in Innovationsprojekte und das Markenmarketing integriert sind, während Urain et al. (2022) die hohe Priorität der Kreislaufwirtschaft in den Unternehmen und deren Einfluss auf Produkte, Prozesse und Geschäftsmodelle unterstreichen.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fest etablierte und kontinuierlich optimierte Kreislaufwirtschaftspraktiken</li> <li>• "Circular Economy Thinking" leitet unternehmensweite Entscheidungen und Innovationen</li> <li>• Skalierung erfolgreicher Projekte und Ausweitung der CE-Prinzipien auf externe Partnerschaften</li> <li>• Ganzheitliche und unternehmensweite Integration von CE in strategische Ausrichtung, Produkte, Prozesse und Geschäftsmodelle.</li> </ul>
--------------------	---	---

**Tabelle 3 Zusammenfassung der Reifegradebenen am Weg zur Kreislaufwirtschaft**

Basierend auf den in Tabelle 5 dargelegten zentralen Merkmalen der Transformationsmechanismen sowie der Untersuchung der in der Fachliteratur erörterten Reifegrade, erfolgt in den nachstehenden Entwicklungsphasen eine Bewertung der ermittelten kritischen Unternehmenssegmente. Zudem werden die Kennzahlen (KPIs) in entsprechende Fragestellungen überführt.

#### 4.4. Identifikation kritischer Unternehmensbereiche

Im folgenden Abschnitt werden die Publikationen, die in Abschnitt 3.3 der HC2 zugeordnet wurden, anhand der dargestellten unternehmenskritischen Bereiche, Erfolgsfaktoren und KPIs untersucht und dem theoretischen Rahmen nach zugeordnet. Hierbei wurden 14 Publikationen analysiert. Zusätzlich wurden die Untersuchungsbereiche von bestehenden Bewertungsmodellen zur Analyse hinzugezogen. Hierbei wurden 19 Publikationen analysiert. In Summe wurden in der vorhandenen Literatur in einem ersten Schritt 670 kritische Unternehmensbereiche mit Duplikaten identifiziert. Nach Eliminierung von Redundanzen und Duplikaten wurden die große Anzahl an Bereichen auf 225 kritische Unternehmensbereiche reduziert. Im Zuge der Zuordnung an das theoretische Rahmenwerk konnte diese Anzahl durch Entfernen von Synonymen und durch die Zusammenfassung von thematisch ähnlichen Begriffen 30 kritische Unternehmensbereiche identifiziert und der zirkulären Wertschöpfungskette zugeordnet. Die vorläufigen verwendeten Unternehmensbereiche sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

<i>Circular Value Chain</i>	<i>Subkategorie</i>	<i>Quelle</i>
<i>Firmeninfrastruktur</i>	Bewusstsein, Kultur & Ethik	(Aloini et al., 2020; Bressanelli et al., 2021; Franco et al., 2021; Garza-Reyes et al., 2019; Jansen, 2023; Kayikci et al., 2022; Khan et al., 2020; Kreutzer, Borowski, et al., 2023; Kreutzer, Müller-Abdelrazeq, et al., 2023; Thorley et al., 2021)
	Geschäftsmodell	(Aloini et al., 2020; Bressanelli et al., 2021; Camacho-Otero & Ordoñez, 2017; Demko-Rihter et al., 2023; Fernandez de Arroyabe



		et al., 2021; Franco et al., 2021; Garza-Reyes et al., 2019; HSSMI, 2023; Jansen, 2023; Kayikci et al., 2022; Khan et al., 2020; Kreutzer, Borowski, et al., 2023; Kreutzer, Müller-Abdelrazeq, et al., 2023; Pieroni, McAloone, Borgianni, et al., 2021; Pigosso & McAloone, 2021; Prieto-Sandoval et al., 2018; Vinante et al., 2021)
	<b>Umweltmanagement &amp; Nachhaltigkeit</b>	(Aloini et al., 2020; Bressanelli et al., 2021; Demko-Rihter et al., 2023; Fernandez de Arroyabe et al., 2021; Garza-Reyes et al., 2019; Kayikci et al., 2022; Pieroni, McAloone, Borgianni, et al., 2021; Thorley et al., 2021; Urain et al., 2022; Valls-Val et al., 2022; Vinante et al., 2021)
	<b>Compliance, Gesetzgebung &amp; Governance</b>	(Kayikci et al., 2022; Kreutzer, Borowski, et al., 2023; Kreutzer, Müller-Abdelrazeq, et al., 2023; Pigosso & McAloone, 2021; Urain et al., 2022)
	<b>Kollaboratives Engagement, Stakeholder-Community-Engagement</b>	(Aloini et al., 2020; Cagno et al., 2023; Fernandez de Arroyabe et al., 2021; Garza-Reyes et al., 2019; Kayikci et al., 2022; Kreutzer, Borowski, et al., 2023; Kreutzer, Müller-Abdelrazeq, et al., 2023; Pieroni, McAloone, Borgianni, et al., 2021; Seles et al., 2022)
	<b>Vermögens- &amp; Risikomanagement</b>	(Aloini et al., 2020; HSSMI, 2023; Kayikci et al., 2022; Kreutzer, Borowski, et al., 2023; Pigosso & McAloone, 2021; The Ellen MacArthur Foundation, 2020; Vinante et al., 2021)
	<b>Organisation, Strategie, Vision &amp; Flexibilität</b>	(Aloini et al., 2020; Garza-Reyes et al., 2019; Jansen, 2023; Kayikci et al., 2022; Kreutzer, Borowski, et al., 2023; Kreutzer, Müller-Abdelrazeq, et al., 2023; Pigosso & McAloone, 2021; Seles et al., 2022; The Ellen MacArthur Foundation, 2020; Thorley et al., 2021; Trollman et al., 2021; Vinante et al., 2021)
<b>HR-Management</b>	<b>Personalentwicklung, Qualifikationsanpassung &amp; HSE</b>	(Aloini et al., 2020; Corona et al., 2019; Fernandez de Arroyabe et al., 2021; Kayikci et al., 2022; Khan et al., 2020; Kreutzer, Borowski, et al., 2023; Pigosso & McAloone, 2021; The Ellen MacArthur Foundation, 2020; Thorley et al., 2021)
	<b>HR-Management &amp; Mitarbeiterführung</b>	(HSSMI, 2023; Jansen, 2023; Kayikci et al., 2022; Kreutzer, Borowski, et al., 2023; The Ellen MacArthur Foundation, 2020; Thorley et al., 2021; Vinante et al., 2021)
	<b>Organisatorischer Wandel &amp; Mitarbeiterengagement</b>	(Cagno et al., 2023; Parchomenko et al., 2019; Pieroni, McAloone, & Pigosso, 2021; Thorley et al., 2021)
<b>Technologie &amp; Innovation</b>	<b>Business Innovation</b>	(Franco et al., 2021; Jansen, 2023; Pieroni, McAloone, Borgianni, et al., 2021; Seles et al., 2022)
	<b>Forschung &amp; Entwicklung</b>	(Cagno et al., 2023; Garza-Reyes et al., 2019; Jansen, 2023; Kayikci et al., 2022; Kreutzer, Borowski, et al., 2023; Kreutzer, Müller-Abdelrazeq, et al., 2023; Seles et al., 2022; Urain et al., 2022; Vinante et al., 2021)
	<b>Design</b>	(Bressanelli et al., 2021; Demko-Rihter et al., 2023; Garza-Reyes et al., 2019, 2021; HSSMI, 2023; Kayikci et al., 2022; Khan et al., 2020; Pieroni, McAloone, Borgianni, et al., 2021; Pigosso & McAloone, 2021; Prieto-Sandoval et al., 2018; Seles et al., 2022; The Ellen MacArthur Foundation, 2020; Urain et al., 2022; Valls-Val et al., 2022; Vinante et al., 2021)
	<b>Daten &amp; Transparenz</b>	(Aloini et al., 2020; Fernandez de Arroyabe et al., 2021; Garza-Reyes et al., 2019; HSSMI, 2023; Kayikci et al., 2022; Kreutzer, Borowski, et al., 2023; Kreutzer, Müller-Abdelrazeq, et al., 2023; Montag et al., 2021; Parchomenko et al., 2019; Pigosso & McAloone, 2021; Thorley et al., 2021)
<b>Marketing &amp; Vertrieb</b>	<b>Marktstrategie, Verbraucherinformationen und Kommunikation</b>	(Aloini et al., 2020; Garza-Reyes et al., 2019; Jansen, 2023; Kreutzer, Müller-Abdelrazeq, et al., 2023; Pieroni, McAloone, Borgianni, et al., 2021; Pieroni, McAloone, & Pigosso, 2021; Vinante et al., 2021)
<b>Produktion</b>	<b>Integration der Wertschöpfungskette</b>	(Fernandez de Arroyabe et al., 2021; Garza-Reyes et al., 2019; Parchomenko et al., 2019; Pigosso & McAloone, 2021; Prieto-Sandoval et al., 2018)
	<b>Lebenszyklus- &amp; Emissionsbewertung</b>	(Baratsas et al., 2022; Corona et al., 2019; Garza-Reyes et al., 2019; Kayikci et al., 2022; Kreutzer, Borowski, et al., 2023; Kreutzer, Müller-Abdelrazeq, et al., 2023; Parchomenko et al., 2019; Prieto-Sandoval et al., 2018)

	Produktion & Ressourceneffizienz	(Aloini et al., 2020; Baratsas et al., 2022; Bressanelli et al., 2021; Cagno et al., 2023; Camacho-Otero & Ordoñez, 2017; Demko-Rihter et al., 2023; Franco et al., 2021; Garza-Reyes et al., 2019; HSSMI, 2023; Jansen, 2023; Kayikci et al., 2022; Khan et al., 2020; Montag et al., 2021; Pigosso & McAlloone, 2021; Rincón-Moreno et al., 2021; Ruiz-Pastor et al., 2022; Seles et al., 2022; Trollman et al., 2021; Urain et al., 2022)
<i>Eingangs- &amp; Ausgangslogistik</i>	Lebenszyklusmanagement von Materialien & Ressourcen	(Demko-Rihter et al., 2023; Fernandez de Arroyabe et al., 2021; Franco et al., 2021; Garza-Reyes et al., 2019; Kayikci et al., 2022; Parchomenko et al., 2019; Rincón-Moreno et al., 2021; Vinante et al., 2021)
	Supply Chain Management	(Aloini et al., 2020; Bressanelli et al., 2021; Cagno et al., 2023; HSSMI, 2023; Jansen, 2023; Kreutzer, Borowski, et al., 2023; Seles et al., 2022)
	Logistikeffizienz & Rückverfolgbarkeit	(Bressanelli et al., 2021; Franco et al., 2021; HSSMI, 2023; Jansen, 2023; Kreutzer, Borowski, et al., 2023; Kreutzer, Müller-Abdelrazeq, et al., 2023; Pieroni, McAlloone, Borgianni, et al., 2021; Vinante et al., 2021)
<i>Beschaffung</i>	Verpackungs- & Vertriebsmanagement	(Baratsas et al., 2022; Bressanelli et al., 2021; Demko-Rihter et al., 2023; Garza-Reyes et al., 2019; HSSMI, 2023; Trollman et al., 2021; Valls-Val et al., 2022)
	Nachhaltige Beschaffung, Standards und Lieferantenmanagement	(Baratsas et al., 2022; Demko-Rihter et al., 2023; Kreutzer, Borowski, et al., 2023; The Ellen MacArthur Foundation, 2020; Valls-Val et al., 2022; Vinante et al., 2021)
<i>Rückführlogistik &amp; Rückgewinnung</i>	Erneuerbare Ressourcen	(Baratsas et al., 2022; Bressanelli et al., 2021; Corona et al., 2019; Franco et al., 2021; Garza-Reyes et al., 2019; HSSMI, 2023; Pigosso & McAlloone, 2021)
	Recycling, Rückgewinnung & End-of-Life-Management	(Bressanelli et al., 2021; Camacho-Otero & Ordoñez, 2017; Demko-Rihter et al., 2023; Franco et al., 2021; Garza-Reyes et al., 2019; Kayikci et al., 2022; Parchomenko et al., 2019; Rincón-Moreno et al., 2021; Valls-Val et al., 2022)
<i>Service</i>	Wiederverwendung, Aufarbeitung, Wiederaufbereitung & Wiederverwendung Rückführlogistik	(Bressanelli et al., 2021; Camacho-Otero & Ordoñez, 2017; Demko-Rihter et al., 2023; Franco et al., 2021; Garza-Reyes et al., 2019; Khan et al., 2020; Kreutzer, Müller-Abdelrazeq, et al., 2023; Parchomenko et al., 2019; Pigosso & McAlloone, 2021; Seles et al., 2022; Valls-Val et al., 2022)
	Produkt-Service-Systeme & Kund:innenbetreuung	(Aloini et al., 2020; Bressanelli et al., 2021; Franco et al., 2021; Kayikci et al., 2022; Kreutzer, Müller-Abdelrazeq, et al., 2023, 2023; Pieroni, McAlloone, Borgianni, et al., 2021)
	Wartung, Reparatur & Nutzungsdienste	(Bressanelli et al., 2021; Pigosso & McAlloone, 2021; The Ellen MacArthur Foundation, 2020; Urain et al., 2022; Valls-Val et al., 2022; Vinante et al., 2021)
		(Fernandez de Arroyabe et al., 2021; Garza-Reyes et al., 2019; Pigosso & McAlloone, 2021; Seles et al., 2022; Valls-Val et al., 2022)

**Tabelle 4 Zusammenfassung der identifizierten kritischen Unternehmensbereiche**

Insgesamt wurden 30 Subbereiche identifiziert. Die Zuordnung der zu erhebenden Messgrößen erfolgt im nächsten Abschnitt.

## 4.5. Erfassung von KPIs, CSF und Fragestellungen

### 4.5.1. Deduktive Analyse von KPIs, CSF und Fragestellungen

Zur Identifikation der KPIs, der messbaren CSFs und spezifischer Fragestellungen für die Bewertung des Fortschritts in der Kreislaufwirtschaft wurden Publikationen aus den Hauptkategorien HC1 und HC2 analysiert. Hierbei wurden aus etablierten Bewertungsmodellen relevante Fragestellungen und KPIs extrahiert. Ebenso wurden

aus Arbeiten der Hauptkategorie HC2, die Schlüsselbereiche, entscheidende Indikatoren und kritische Faktoren für eine erfolgreiche Transformation zur Kreislaufwirtschaft identifiziert. Insgesamt wurden hierbei 33 Arbeiten zur Analyse herangezogen. Aus diesen Veröffentlichungen konnten 1.543 Messgrößen identifiziert werden. Die manuelle Zuordnung der Indikatoren erwies sich aufgrund inhomogener Formulierungen und Strukturen als herausfordernd, was auch das Entfernen von Synonymen oder Duplikaten zur Reduktion der Gesamtmenge erschwerte. Zur Bewältigung dieser Herausforderung wurden Machine-Learning-Algorithmen zur Analyse der großen Datenmenge herangezogen. Hierfür wurde ein hybrider Ansatz basierend auf den Arbeiten von Shafiabady et al. (2016) und Surdeanu et al. (2005), angewendet. Dieser Ansatz bestand einerseits aus einem unsupervised-Machine-Learning-Algorithmus, mit welchem die Daten initial anhand von Schlüsselwörtern geclustert wurden und andererseits aus einem Supervised-Learning-Algorithmus, welcher Trainingsdaten aus der initialen Clusterung erhalten hat.

### *Initiale Clusterung der Messgrößen*

Für das initiale Kategorisieren der umfangreichen Datenmengen kam ein unsupervised Machine-Learning-Algorithmus zum Einsatz. Dies erfolgte in Anlehnung an die von Probiez et al. (2022) vorgeschlagene Methodik. Die Daten wurden zunächst mittels Natural Language Processing (NLP) bearbeitet, dabei zusätzlich tokenisiert, Stoppwörter entfernt und lemmatisiert. Im Anschluss folgte eine Clusterung mit einem K-Means Machine Learning-Modell. Hierbei erwies sich das Tf-idf Maß als besonders effektiv (Probiez et al., 2022). Der Prozess wurde iterativ durchgeführt, um ein zufriedenstellendes Ergebnis zu erzielen. Nicht relevante Keywords wurden schrittweise eliminiert, und die Anzahl der Cluster wurde angepasst. Die Anzahl der Cluster wurde so gewählt, dass sie der Anzahl der vordefinierten Subkategorien entsprach, auch wenn eine direkte Übereinstimmung nicht gegeben war. Diese methodische Entscheidung trug dazu bei, eine differenzierte Sicht auf die verschiedenen Messgrößen zu gewährleisten und einen strukturierten Überblick über die Datenlandschaft zu ermöglichen. Dieser Arbeitsschritt wurde aufgrund der großen Datenmenge in der Originalsprache der Literatur, also Englisch, durchgeführt. Das Ergebnis dieses Prozesses war eine automatische Zuordnung der identifizierten Messgrößen zu automatisch erstellten Clustern. Am Ende dieses iterativen Prozesses waren die folgenden Keyword Cluster das Resultat:

- awareness, employee, increase, training
- business, model, case, innovation
- ce, knowledge, investment, concerning
- consumption, energy, material, product
- cost, energy, activity, waste
- customer, cooation, green, product

- design, product, remanufacturing, disassembly
- economy, circular, initiative, implementation
- emission, ghg, reduction, pollutant
- energy, renewable, consumed, process
- environmental, production, impact, development
- gas, profit, waste, emission
- generated, waste, hazardous, energy
- logistics, reverse, presence, cost
- management, environmental, system, presence
- material, recycled, used, raw
- operational, space, surface, nox
- packaging, material, used, compostable
- product, part, life, average
- product, sold, component, number
- recycling, input, material, process
- reduce, possible, material, action
- resource, internal, carried, process
- service, lifetime, product, support
- strategy, economy, current, focused
- supplier, environmental, selection, cooation
- use, product, material, shared
- value, proposition, material, deliver
- waste, recycling, produced, generation
- water, consumption, withdrawal, volume

### **Zuordnung der Messgrößen**

Um die Messgrößen den bereits in Abschnitt 4.4 identifizierten Unternehmensbereichen zuzuordnen, wurden die Ergebnisse aus dem unsupervised Machine-Learning-Algorithmus für das Erstellen eines Trainingssets für einen Supervised-Learning-Algorithmus verwendet. Dieses Trainingsset wurde auf Basis der initialen Clusterung manuell erstellt und als Ausgangsbasis für eine automatische Zuordnung verwendet. Hierbei zeigte sich eine Support Vector Machine (SVM), wie in von Deng et al. (2019) und Joachims (1998) beschrieben, als besonders effektiv für die Klassifizierung der Textdaten in die zuvor definierten Subkategorien. Dieser Prozess wurde iterativ durchgeführt, wobei das Trainingsset fortlaufend angepasst wurde, um eine hohe Genauigkeit zu erzielen. Nachdem eine akzeptable Genauigkeit zwischen dem Trainings- und Testset erreicht war, erfolgte die Kategorisierung der gesamten Liste von 1.543 KPIs, CSFs und Fragestellungen, was zu den folgenden Ergebnissen führte:

<i>Circular Value Chain</i>	<i>Subkategorie</i>	<i>Anzahl an Messgrößen</i>
<i>Firmeninfrastruktur</i>	Bewusstsein, Kultur & Ethik	28
	Geschäftsmodell	15
	Umweltmanagement & Nachhaltigkeit	31
	Compliance, Gesetzgebung & Governance	23

	Kollaboratives Engagement, Stakeholder- & Community-Engagement	10
	Vermögens- & Risikomanagement	65
	Organisation, Strategie, Vision & Flexibilität	94
	<b>Summe Infrastruktur</b>	<b>266</b>
<i>HR-Management</i>	Personalentwicklung, Qualifikationsanpassung & HSE	19
	HR-Management & Mitarbeiterführung	21
	Organisatorischer Wandel & Mitarbeiterengagement	26
	<b>Summe HR-Management</b>	<b>66</b>
<i>Technologie &amp; Innovation</i>	Business Innovation	21
	Forschung & Entwicklung	21
	Design	64
	Daten & Transparenz	18
	<b>Summe Technologie &amp; Innovation</b>	<b>124</b>
<i>Marketing &amp; Vertrieb</i>	<b>Marktstrategie, Verbraucherinformationen und Kommunikation</b>	<b>104</b>
<i>Produktion</i>	Integration der Wertschöpfungskette	20
	Lebenszyklus- & Emissionsbewertung	302
	Produktion & Ressourceneffizienz	97
	Lebenszyklusmanagement von Materialien & Ressourcen	94
	<b>Summe Produktion</b>	<b>513</b>
<i>Eingangs- &amp; Ausgangslogistik</i>	Supply Chain Management	16
	Logistikeffizienz & Rückverfolgbarkeit	37
	Verpackungs- & Vertriebsmanagement	43
	<b>Summe Eingangs- und Ausgangslogistik</b>	<b>96</b>
<i>Beschaffung</i>	Nachhaltige Beschaffung, Standards und Lieferantenmanagement	33
	Erneuerbare Ressourcen	53
	<b>Summe Beschaffung</b>	<b>86</b>
<i>Rückführlogistik &amp; Rückgewinnung</i>	Recycling, Rückgewinnung & End-of-Life-Management	84
	Wiederverwendung, Aufarbeitung, Wiederaufbereitung & Wiederverwendung	122
	Rückführlogistik	16
	<b>Summe Rückführlogistik &amp; Rückgewinnung</b>	<b>222</b>
<i>Service</i>	Produkt-Service-Systeme & Kund:innenbetreuung	40
	Wartung, Reparatur & Nutzungsdienste	26
	<b>Summe Service</b>	<b>66</b>
<b>Messgrößen</b>	<b>Summe Messgrößen</b>	<b>1.543</b>

**Tabelle 5 Zusammenfassung des halbautomatischen Klassifizierungsprozesses**

Das initiale Clustering sowie die anschließende Kategorisierung erfolgten unter Einsatz von Python, wobei speziell die Open-Source Machine-Learning-Bibliothek Scikit-Learn (Kramer, 2016) zum Einsatz kam.

Basierend auf diesem Klassifizierungsprozess wird die erarbeitete theoretische Basis induktiv weiter analysiert. In den folgenden Kapiteln erfolgen eine schrittweise Synthese und eine iterative Abstimmung der in Tabelle 4 aufgeführten identifizierten Subbereiche sowie der vorläufig festgelegten Messgrößen in Tabelle 5.

#### 4.5.2. Induktive Analyse und Synthese der KPIs und Kategorien

Die initiale Liste von über 1500 Messgrößen wurde einer manuellen Überprüfung unterzogen, um in einem ersten Schritt adäquate Kategorien zuzuweisen, Duplikate und Synonyme zu eliminieren sowie unbrauchbare Größen auszusortieren. Nach dieser initialen Bereinigung und Kategorisierung erfolgte eine iterative Überarbeitung jeder Kategorie, um Synonyme zu entfernen, Redundanzen zu minimieren und die

Kategorisierung weiter zu optimieren. Dieser iterative Prozess wurde wiederholt, bis eine finale Liste von 221 Messgrößen resultierte. Während dieses Vorgehens erfolgte eine kontinuierliche Evaluation und Anpassung der Kategorisierung sowie der Kategorien selbst, wobei sich zeigte, dass einige Kategorien redundant waren oder sich stark überschneiden, während andere nur wenige Messgrößen umfassten, was eine Zusammenlegung mit ähnlichen Kategorien nahelegte. Parallel zur Optimierung der Messgrößen wurden deshalb auch die bestehenden Kategorien kritisch überprüft und angepasst, um Effizienz und Relevanz zu steigern. Dies führte zu einer Neustrukturierung einiger Bereiche, wodurch die Kategorien präziser auf die Kernaspekte der Kreislaufwirtschaft und die spezifischen Anforderungen des Sektors abgestimmt wurden. Beispielsweise wurden finanzielle Aspekte und Risikomanagement in „Vermögens- und Finanzmanagement sowie Risikominderung“ integriert, während Geschäftsmodelle und Innovationen zu „Geschäftsmodell und Innovation“ zusammengefasst wurden. „Umweltmanagement“ wurde unter „Compliance, Gesetzgebung & Governance“ zusammengefasst, und das Emissions- und Lebenszyklusmanagement wurde auf verschiedene Kategorien aufgeteilt.

Nach der Kategorienoptimierung wurden die verbliebenen Messgrößen erneut kategorieweise untersucht, um Redundanzen zu identifizieren, Synonyme zu eliminieren und ähnliche Größen zu synthetisieren. Dieser Prozess wurde so lange wiederholt, bis innerhalb der Kategorien keine weiteren Anpassungen mehr erforderlich waren. Anschließend wurden thematisch ähnliche Kategorien vergleichend analysiert, um auch hier Redundanzen zu adressieren und Synonyme sowie ähnliche Größen zusammenzufassen. Dieser Schritt wurde fortgeführt, bis auch auf dieser Ebene keine weiteren Modifikationen notwendig waren. Abschließend erfolgte eine ganzheitliche Überprüfung aller Messgrößen, um die Konsistenz und Kohärenz des finalen Sets zu gewährleisten.

Das Resultat des ausführlichen Analyseprozesses war eine Liste aus 151 Messgrößen in 18 Kategorien. Eine Zusammenfassung dieser Größen, als auch die Zuordnung zu den Kategorien und die Unterteilung in qualitative und quantitative Variablen ist in der nachfolgenden Tabelle ersichtlich:

<i>We rtsc höp fun g</i>	<i>Kategorie</i>	<i>Messgröße</i>	
<i>Beschaffung</i>	<i>Nachhaltige Beschaffung und Lieferkette</i>	<i>Umwelt-, Leistungs- und Zertifizierungsstandards für Lieferanten</i>	<i>a</i>
		<i>Verpackungsstrategie und Kommunikation zum Lebensende</i>	<i>a</i>
		<i>Lieferantenentwicklung und strategische Einbindung</i>	<i>a</i>
		<i>Umweltkostenwirkung in der Beschaffung</i>	<i>a</i>
		<i>Kommunikationseffektivität von Umweltkaufkriterien</i>	<i>a</i>
		<i>Strategien zur Sicherung nachhaltiger Ressourcen und Priorisierung</i>	<i>a</i>
		<i>Materialrückverfolgbarkeit und Quellenzertifizierung</i>	<i>a</i>
		<i>Anpassungsfähigkeit und Resilienz der Lieferkette</i>	<i>a</i>

		% verwendeter wiederverwendbarer kompostierbarer recycelbarer Verpackungsmaterialien	b	
		% geschlossener Lieferkettenpraktiken	b	
		% wiedergewonnener/wiederverwerteter Verpackungsmaterialien	b	
		% verwendeter recycelter Verpackungsmaterialien	b	
		% verwendeter erneuerbarer Verpackungsmaterialien	b	
		% verantwortungsvoll beschaffter Materialien und Produkte	b	
		% beschaffter regenerierte und recycelte Materialien	b	
		% beschaffter erneuerbare Energien	b	
Eingangs- & Ausgangslogistik	Eingangs- & Ausgangslogistik	Effizienz der Logistik und Optimierung der Distribution	a	
		Lieferantennähe und Material- und Ressourceneffizienz	a	
		Verfügbarkeit von Ersatzteilen	a	
		Zugänglichkeit von gebrauchten Produkten zur Wiederverwendung oder zum Recycling	a	
		Optimierung von Transportmodus und Umweltauswirkungen	a	
		Rückverfolgbarkeit von Lieferkette und Logistik	a	
Firmeninfrastruktur	Compliance, Gesetzgebung & Governance	Zertifizierungen des Managementsystems (z.B. ISO 9001:2015; ISO 14001:2015 etc.	a	
		Einhaltung der Umweltpolitik und Ausrichtung auf die SDGs	a	
		Proaktive CE-Gesetzgebung und -Politikführung	a	
		Einhaltung des Nachhaltigkeitsberichts und des Frameworks (CDP, GRI, DJSI)	a	
		Kenntnisse und Bewusstsein über staatliche Anreize für CE	a	
	Geschäftsmodell und Innovation	Geschäftsmodell und Innovation	Umfang der Circular Business Case Formulierung, Umsatzgenerierung und Rentabilität	a
			Innovation und Anpassungsfähigkeit in zirkulären Geschäftsmodellen	a
			Lebenszyklusweite Wertangebote	a
			Implementierungsgrad des zirkulären Geschäftsmodells und Beitrag zu zirkulären Praktiken	a
			Umsetzungsgrad der R-Strategien	a
			Adoption flexibler Eigentumsmodelle	a
			% des Umsatzes aus CBM und neuen Einnahmequellen	b
	Organisation, Strategie, Vision und Resilienz	Organisation, Strategie, Vision und Resilienz	Verfügbarkeit und Integration öffentlicher und interner CE-Strategien und -Ziele	a
			Abstimmung der Unternehmensstrategie und -werte mit dem CE-Ziel	a
			Adaptive Organisationsgestaltung für CE	a
			Formalisierung und Überwachung von CE-Prozessen	a
	Strategische Partnerschaften, Stakeholder und Integration der Wertschöpfungskette	Strategische Partnerschaften, Stakeholder und Integration der Wertschöpfungskette	Engagement externer Investoren zum Thema Kreislaufwirtschaft	a
			Intersektorale und Bildungspartnerschaften für Innovationen Technologien und Entwicklungen	a
			Umfassende Stakeholder- und Gemeinschaftsbeteiligung für CE	a
			Kund:innenengagement für CE	a
			Symbiotische und regionale Zusammenarbeit für Kreislaufsynergien	a
			Engagement bei politischen Entscheidungsträgern für den Übergang zur CE	a
			Symbiotische Partnerschaften und Ressourcensynergien	a
			Nutzung von Plattformen für den Austausch von Abfällen und Nebenprodukten	a
			Wertschöpfungseinfluss in sekundären und tertiären Industrien	a
Vermögens- und Finanzmanagement sowie Risikominderung	Vermögens- und Finanzmanagement sowie Risikominderung	Ausmaß der finanziellen Unterstützung für die Kreislaufwirtschaft	a	
		Richtlinien für das End-of-Life-Management von Vermögenswerten	a	
		Integrierte CE-Risikomanagementstrategien	a	
		Unterstützung und Bereitschaft der Infrastruktur für CE	a	
		% Anteil der Vermögenswerte mit Nachhaltigkeitszertifizierung	b	
HR-Management	Bildungsiniciativen und nachhaltige Praktiken	% Finanzielles Engagement für CE-Initiativen	b	
		Umfassendes Wissen zur Kreislaufwirtschaft und Auswirkungen auf steuerliche, rechtliche Aspekte und organisatorische Aspekte	a	
		Bewusstsein und Förderung von Verhaltensänderungen für CE	a	
		Verständnis und Wahrnehmung von CE und der Umweltauswirkungen	a	

Marketing & Vertrieb	Leadership und organisatorisches Engagement	Nachhaltige Praktiken und Anreize für Mitarbeiter	a
		Qualität und Zugänglichkeit der CE-Bildung	a
		Interdisziplinäre Zusammenarbeit und Wissensaustausch über CE	a
		Führungs- und Mitarbeiterengagement für CE	a
		Organisationskultur und Minimierung interner Konflikte im Zusammenhang mit CE	a
	Talentmanagement und Mitarbeiterengagement	Rolle der CE-Entwicklung und Integration von Talenten	a
		Mitarbeiterengagement und CE-zentrierte Organisationskultur	a
		CE-Kompetenzentwicklung und Kapazität der Belegschaft	a
		CE-Arbeitsplatzschaffung und Engagementanreize	a
	Marktstrategie und Konsumenteneinsichten	Zirkuläre Marketingstrategie, Budget und Zielgruppenansprache	a
		Verbraucherbewusstsein Loyalität und Engagement für nachhaltiges Verhalten	a
		Engagement nach dem Verkauf und Beziehungsmanagement	a
		Nachfrage nach zirkulären Produkten und Feedback	a
Produktgebrauchsanleitung einschließlich Strategien für das Lebensende oder Möglichkeiten zur Verlängerung der Produktlebensdauer		a	
Marktdynamik und nachhaltiges Markenimage		a	
% des Marketingbudgets für die Kreislaufwirtschaft		b	
Produktion	Material- und Ressourcennutzung	Analyse von Energieverbrauch und -effizienz	a
		Strategien zur Materialminimierung und Selbstversorgung	a
		Strategien zur Verringerung fossiler Brennstoffe und zur Reduzierung von THG-Emissionen	a
		% des Verbrauchs von erneuerbarer elektrischer Energie	b
		% der Nutzung erneuerbarer Energien (%)	b
		% der Nutzung erneuerbarer Materialien	b
		% der Nutzung gefährlicher Materialien	b
		% selbst erzeugter erneuerbarer Energie	b
	Produktion und Ressourceneffizienz	% der Material- und Energieeffizienz	b
		% Wasserspar- und Effizienzrate	b
		Energie- und Materialeffizienz in Produktionsprozessen	a
		Variabilitätsreduzierung in Abfallrückgewinnungsprozessen	a
		Optimierung von Leerlaufzeiten in der Produktion	a
		Effizienz der Abfalltrennung und -entsorgung	a
		Anpassungsgrad und Flexibilität in der Produktion	a
		% der Recycling- und Wiederverwendungsrate von Produktionsmaterialien	b
	Ressourcenrückgewinnung und Abfallmanagement	% Abfallerzeugung pro Materialverbrauch	b
		CO <sub>2</sub> -Emissionen pro Produktionsprozess (kg CO <sub>2</sub> /Einheit)	b
		% der Nutzungsauslastung genutzter Produktionsanlagen	b
		Bewertung des Abfallmanagementsystems	a
		Strategien zur Umleitung von Abfällen von Deponien und kaskadierende Nutzung von Materialien	a
		Einhaltung von Umweltvorschriften bei der Abfallentsorgung	a
		Optimierung des Recyclingsystems für Nachhaltigkeit	a
Bewertung der Recyclingqualität und ihrer Auswirkungen		a	
% gefährlicher Abfall		b	
% recyceltes Material		b	
% Recycling- und Wiederverwendungsrate von Abfällen		b	
Rückwärtslogistik	% des wiedervermarkteten Abfalls	b	
	% End-of-Life-Deponie	b	
	% Materialrückgewinnungs- und -rückführungsrate	b	
	% der Energiegewinnung aus Abfallströmen	b	
	% Reduzierung von THG-Emissionen durch Recyclingaktivitäten	b	
	Kosteneffizienz für die Sammlung zurückgegebener Produkte	a	
	Niveau der Infrastruktur für Rückwärtslogistik	a	
Wirksamkeit von Rücknahmesystemen	a		
Stakeholder-Beteiligung in der Rückwärtslogistik	a		
Leistungsüberwachung der Rückwärtslogistik	a		



		<i>Integrationsgrad mit Drittanbieter-Logistik für den Rückfluss</i>	<i>a</i>
		<i>Wirksamkeit von Verbraucheranreizen für die Produktretoure</i>	<i>a</i>
		<i>Synergie zwischen Vorwärts- und Rückwärtslogistik</i>	<i>a</i>
		<i>% rückgeführter und zurückgegebene Produkte/Materialien</i>	<i>b</i>
<b>Service</b>	<i>Verlängerung der Produktlebensdauer und Services Zirkulärer Produktlebenszyklus und Wiederverwendungsstrategien</i>	<i>Produktlebensdauer und Wartungsstrategie (Überwachung prädiiktive präventive und korrektive)</i>	<i>a</i>
		<i>Lebensdauer der Dienstleistung und Verfügbarkeit von Software- und Hardware-Upgrades</i>	<i>a</i>
		<i>Wirksamkeit des After-Sales-Supports und Anreize der Kreislaufwirtschaft</i>	<i>a</i>
		<i>Zugänglichkeit und Sozialisierung von Kreislaufdienstleistungen</i>	<i>a</i>
		<i>Kreislaufwirkung durch Beibehaltung des Eigentums durch die Organisation bei der Dienstleistungserbringung</i>	<i>a</i>
		<i>% des Dienstleistungsumsatzes der Kreislaufdienstleistungen zugeordnet ist</i>	<i>b</i>
		<i>% der Produkte die von Lebensdauererlängerungsdienstprogrammen abgedeckt sind</i>	<i>b</i>
		<i>% Umsatz aus Garantie- Wartungs- und Reparaturservice-Programmen</i>	<i>b</i>
		<i>% Steigerung der funktionalen und technischen Lebensdauer des Produkts</i>	<i>b</i>
		<i>% Umsatz durch Leasing-/Mietgeschäftsmodellen</i>	<i>b</i>
		<i>% Umsatz von Pay-per-Use- und Sharing-Geschäftsmodellen</i>	<i>b</i>
		<i>Einhaltung der Standards für Wiederverwendung und Recycling</i>	<i>a</i>
		<i>Strukturelle Grundlagen der Wiederverwendbarkeit, Wiederaufbereitarbeit und Recyclbarkeit</i>	<i>a</i>
		<i>Effizienz bei Produktzerlegung und -wiederaufbereitung</i>	<i>a</i>
		<i>Beteiligung an Initiativen zur Produktwiederverwendung und -wiederaufbereitung</i>	<i>a</i>
		<i>% Produktrecyclingrate nach dem ersten Lebenszyklus</i>	<i>b</i>
		<i>% Übernahmerate der kaskadischen Nutzung von Materialien und Komponenten</i>	<i>b</i>
		<i>% Wertgewinnung aus zirkulären Produkten</i>	<i>b</i>
		<i>% Verhältnis von reparierten/wiederverwendeten Produkten zu neuen Produkten</i>	<i>b</i>
		<i>% Wiederverwendungs-/Wiederaufbereitungs-/Instandsetzungsrate für zurückgegebene Produkte</i>	<i>b</i>
<b>Technologie &amp; Innovation</b>	<i>Produktdesign und Einfluss auf den Produktlebenszyklus</i>	<i>Einfachheit des Produktlebenszyklusmanagements (Demontage, Reparatur, Wartung, Wiederverwendung, Recycling, Rückgewinnung)</i>	<i>a</i>
		<i>Technologische Unterstützung und digitale Systeme für zirkuläre Lösungen</i>	<i>a</i>
		<i>Umfassende Erfassung von Produktlebenszyklusdaten</i>	<i>a</i>
		<i>Produktlebensdauer und Garantie</i>	<i>a</i>
		<i>Materialeffizienz im Design (Dematerialisierung)</i>	<i>a</i>
		<i>Design für emotionale Langlebigkeit</i>	<i>a</i>
		<i>Entwicklung von modularen Produkten</i>	<i>a</i>
		<i>Ressourcenschonung im Design</i>	<i>a</i>
		<i>Präsenz von Öko-Zertifizierungen</i>	<i>a</i>
		<i>Berücksichtigung des Lebenszyklusdesigns entlang der Wertschöpfungskette</i>	<i>a</i>
		<i>Erweiterte Produktfunktionalität</i>	<i>a</i>
		<i>Lebenszyklusanalyse und Bewertung der wirtschaftlichen und ökologischen Auswirkungen</i>	<i>a</i>
		<i>% der Produkte die nach Prinzipien der Kreislaufwirtschaft entworfen wurden</i>	<i>b</i>
		<i>% der nachhaltigen wiederverwendbaren kompostierbaren und recycelbaren Materialien</i>	<i>b</i>
		<i>% Minimierung gefährlicher Materialien</i>	<i>b</i>

*a: Qualitative Messgrößen*

*b: Quantitative Messgrößen*

**Tabelle 6 Zusammenfassung der Messgrößen**

Basierend auf der dargelegten Liste relevanter Messgrößen soll nun, gestützt auf theoretische Grundlagen und unter Einbeziehung des definierten Anforderungsprofils sowie der analysierten Transformationsprozesse, das Bewertungsmodell konzipiert werden. Dieser Schritt markiert den Übergang zur nächsten Phase der Untersuchung, in der das Modell im Detail ausgearbeitet wird.

## 5. Design und Entwicklung

Im nachfolgenden Abschnitt wird zuerst auf Basis der bereits im vorherigen Abschnitt dargelegten Messgrößen ein Fragebogen entwickelt. Für diesen wird daraufhin ein Bewertungsschema konzipiert und abschließend wird die Ergebnisdarstellung des Modells entwickelt und somit der erste Prototyp und ein Proof of Concept fertiggestellt und damit M4 erreicht. Um auch für den nachfolgenden Validierungsschritt die Grundlage zu schaffen, wird zusätzlich auf Basis des Anforderungskataloges in Abschnitt 4.1 ein Zielsystem zur Bewertung des Modells entwickelt.

### 5.1. Entwicklung des Fragebogens

Die Entwicklung des Fragebogens folgte einem mehrstufigen, iterativen Prozess gemäß den Richtlinien des Design Science. In der initialen Phase wurden aus zuvor definierten Messgrößen spezifische Fragestellungen abgeleitet, wobei besonderer Wert auf Konsistenz und Einfachheit gelegt wurde. Parallel erfolgte die Aggregation von Messgrößen in Frageclustern. Die Fragen wurden nach den von Groves (2009) vorgeschlagenen Methoden von allgemeinen hin zu spezifischen sortiert. Im Hinblick auf die spätere Entwicklung eines Analysetools wurde zudem der jeweilige theoretische Rahmen notiert, der entweder für die Gestaltung der Antwortskalen oder als Unterstützung für die befragten Unternehmen dient.

Während des Entwicklungsprozesses der Fragen wurde wiederholt auf Redundanzen und thematische Lücken geachtet. Überlappende Fragen oder solche, die in mehreren Kategorien auftraten, wurden entfernt. Um thematische Lücken, wie etwa eine unvollständige Abdeckung der Abfallhierarchie oder fehlende Geschäftsmodelle, zu schließen, wurden Ergänzungen unter Berücksichtigung des theoretischen Rahmens vorgenommen. Auch die Kategorisierung unterlag einer kontinuierlichen Evaluierung, was zu Anpassungen führte. Ein Unterkapitel im Bereich HR-Management wurde entfernt und unter „Bildungsinitiativen und nachhaltige Praktiken“ zusammengefasst. Die ursprünglich getrennten Kapitel zur Eingangs- und Ausgangslogistik sowie Rückwärtslogistik wurden unter dem Oberbegriff „Logistik“ zusammengefasst, wobei die ursprünglichen Kapitel als Subkapitel beibehalten wurden.

Insgesamt resultierte der Prozess in der Formulierung von 144 Fragen, aufgeteilt in 17 Subkapitel und 8 Aktivitätsbereiche der Wertschöpfungskette. Zusätzlich wurde zwischen 97 qualitativen Fragen und 47 quantitativen Fragen unterschieden.

Auf Basis der entwickelten Fragen wurden in einem nachfolgenden Schritt für qualitative Elemente Antwortmöglichkeiten in Form einer sechsstufigen Likert-Skala entwickelt. Diese orientieren sich an der Methodik von Joshi et al. (2015) und Moosbrugger & Kelava (2020), unter Berücksichtigung des theoretischen Rahmens aus Abschnitt 2 sowie der Entwicklungsschritte und Reifegrade aus Abschnitt 4.3. Die

Evaluation und iterative Anpassung der Messgrößen und Fragen war ein fortlaufender Prozess. Dabei ergab sich, dass in einigen Bereichen eine höhere Detaillierung der Fragen durch eine aggregierte Darstellung im Antwortformat effektiver abgebildet werden konnte. Zudem wurden in den Antwortmöglichkeiten die erforderlichen theoretischen Rahmenbedingungen berücksichtigt. Insbesondere im Bereich der Geschäftsmodelle, den spezifischen Aspekten der Regulierung und dem Einsatz digitaler Technologien wurde gezielt versucht, bestehende Lücken in den Fragestellungen und Messgrößen zu schließen, um eine ganzheitliche Betrachtung des Themas Kreislaufwirtschaft zu gewährleisten.

Insgesamt wurde somit ein finales Set an Fragestellungen inklusive Antworten entworfen, dass sich auf 106 Fragen beläuft. Eine Übersicht über die Fragestellungen ist in Tabelle 7 zu sehen.

Aktivitäten der Wertschöpfungskette	Subkategorien	Anzahl der Fragen
Beschaffung	<i>Nachhaltige Beschaffung und Lieferkette</i>	10
Firmeninfrastruktur	<i>Compliance, Gesetzgebung und Governance</i>	3
	<i>Geschäftsmodell und Innovation</i>	7
	<i>Organisation, Strategie, Vision und Resilienz</i>	3
	<i>Strategische Partnerschaften, Stakeholder und Integration der Wertschöpfungskette</i>	6
	<i>Vermögens- und Finanzmanagement sowie Risikominderung</i>	6
HR-Management	<i>Bildungsinitiativen und nachhaltige Praktiken</i>	3
	<i>Leadership und organisatorisches Engagement</i>	4
Logistik	<i>Eingangs- &amp; Ausgangslogistik</i>	4
	<i>Rückwärtslogistik</i>	6
Marketing & Vertrieb	<i>Marktstrategie und Konsumenteneinblicke</i>	7
Produktion	<i>Material- und Ressourcennutzung</i>	10
	<i>Produktion und &amp; Optimierung</i>	5
	<i>Ressourcenrückgewinnung und Abfallmanagement</i>	6
Service	<i>Verlängerung der Produktlebensdauer und Services</i>	7
	<i>Zirkulärer Produktlebenszyklus und Wiederverwendungsstrategien</i>	6
Technologie & Innovation	<i>Produktdesign und Produktlebenszyklus</i>	13
<b>Summe</b>		<b>106</b>

**Tabelle 7 Übersicht über die Fragestellungen**

Die entwickelten Fragestellungen werden in einem nächsten Schritt in Excel in ein Tool gegossen und dafür eine Auswertungslogik- und Darstellung entwickelt.

## 5.2. Entwicklung der Auswertung

Für die Ermittlung des Reifegrads mittels des entwickelten Fragebogens war die Zuweisung spezifischer Werte zu den Frage- bzw. Antwortoptionen erforderlich. Dabei kam für qualitative Fragen die bereits etablierte Likert-Skala mit Werten von 1 bis 6

zum Einsatz. Quantitative Fragen hingegen basierten ausschließlich auf relativen Messgrößen, um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Die Reifegradbestimmung stützte sich jedoch vorrangig auf qualitative Fragen, da quantitative Fragen für eine fundierte Bewertung Referenzwerte erfordern würden. Angesichts der Vielfalt existierender Reifegradmodelle (Valls-Val et al., 2023) und dem Mangel an quantitativen Erhebungen auf Unternehmensebene (Holly, Schild, et al., 2023) waren solche Referenzwerte für valide Schlüsse nur begrenzt verfügbar. Der aus den qualitativen Antworten berechnete Reifegrad basierte auf dem arithmetischen Mittel der Antworten. Dieser Wert wurde sowohl für eine Gesamtübersicht über die Aktivitäten der Wertschöpfungskette als auch für eine detaillierte Betrachtung der Subkategorien ermittelt. Quantitative Daten fanden ebenfalls Eingang in die Detailansicht, um ein Benchmarking zu ermöglichen und einen quantitativen Überblick über den Fortschritt des Unternehmens in Richtung Kreislaufwirtschaft zu bieten.

Die in Abschnitt 4.1 dargelegten Anforderungen finden in der Konzeption der Auswertungsdarstellung des Bewertungsmodells umfassende Berücksichtigung. Durch die Einbeziehung der gesamten Wertschöpfungskette und die Bereitstellung von Detailansichten werden sämtliche Unternehmensbereiche sowie die relevanten Stakeholder effektiv integriert und in der Bewertung erfasst. Die Aspekte der Rechtskonformität und strategischen Anpassungsfähigkeit werden auf zweifache Weise adressiert: Zum einen wurden diese Anforderungen bereits während der Entwicklungsphase des Modells einbezogen, zum anderen liefert die quantitative Datenerhebung wichtige Informationen in Bezug auf aktuelle gesetzliche Bestimmungen.

Hinsichtlich der Visualisierung und Ergebnispräsentation wurde besonderer Wert auf eine intuitive und benutzerfreundliche Gestaltung gelegt. Trotz der Entwicklungsumgebung in Excel ermöglicht die Benutzeroberfläche mit ihren interaktiven Elementen, wie Buttons, eine leicht verständliche Ergebnisdarstellung. Die mehrstufige Ergebnispräsentation gewährt sowohl einen managementgerechten Überblick als auch detaillierte Einblicke, was die Zugänglichkeit und Anwendbarkeit der Ergebnisse erheblich verbessert.

Neben den quantitativen Analysen wurde eine deskriptive Bewertung vorgenommen, basierend auf den Transformationsmechanismen, die in Abschnitt 4.3 erläutert sind. Diese Mechanismen wurden mit den kritischen Unternehmensbereichen, den maßgeblichen Messgrößen und Erfolgsfaktoren zusammengefasst, um für jede Ebene eine detaillierte Darstellung zu schaffen. Ziel ist es hierbei, eine möglichst präzise und verständliche Positionsbestimmung für die Unternehmen zu schaffen. Gleichzeitig sollen praktische Ableitungen für Maßnahmen zur Unterstützung der Kreislaufwirtschaft und Entscheidungshilfen für das Management präsentiert werden. Für die acht definierten Kategorien wurde eine spezifische Auswertung durchgeführt.

Ebenso wurde eine kompakte übergreifende Auswertung erstellt, um eine umfassende Übersicht zu bieten.

Diese Beschreibungen wurden ebenfalls in einem sich automatisch aktualisierenden Textfeld in der Excel-Übersicht dargestellt. Damit wurde in der Ergebnisdarstellung eine zusätzliche deskriptive Komponente umgesetzt, um eine fundierte Abprungbasis für die Unternehmen zu schaffen.

### 5.3. Entwicklung der Beschreibungen

Um das Verständnis der Unternehmen für das Thema und seine spezifischen Aspekte zu verbessern, wurden auf Grundlage des entwickelten theoretischen Rahmens erläuternde Zusammenfassungen für ausgewählte Unterpunkte erstellt. Ziel war es, die Anforderungen an eine niedrige Einstiegshürde sowie das Fehlen von Definitionen und Verständnis zu adressieren. Im Excel-Tool wurde dies durch klickbare Buttons gelöst, die in Fragestellungen integriert wurden. Für diese Fragen wurden entsprechende Antworten bereitgestellt:

- Was ist Kreislaufwirtschaft?
- Welche zirkulären Geschäftsmodelle gibt es?
- Was sind die R-Strategien?
- Welche Emissionen müssen in der Berichterstattung erfasst werden?
- Welche Risiken gibt es zu minimieren?
- Warum ist das Budget für Initiativen der Kreislaufwirtschaft relevant?
- Welche Rohstoffe sind besonders kritisch und relevant?
- Was ist bei Verpackungen in Bezug auf Kreislaufwirtschaft zu beachten?
- Welche zirkulären Möglichkeiten gibt es entlang der Wertschöpfungskette?
- Was ist hinsichtlich Designs zu beachten und welche Vorgaben gibt es?
- Welche Möglichkeiten des Technologieeinsatzes gibt es in der Produktentwicklung?
- Welche Möglichkeiten gibt es zur Datenerhebung zur Optimierung der Produktion?
- Was gibt es bei der Abfallverwertung zu beachten?
- Was ist die Abfallhierarchie?
- Wofür sind zirkuläre Dienstleistungen zusätzlich relevant?
- Warum sind Ausgaben zur Unterstützung der Kreislaufwirtschaft relevant?

Diese Fragen wurden auf Basis des theoretischen Rahmens beantwortet und zusätzlich teilweise grafisch aufgearbeitet, um den Lerneffekt zu vergrößern und die Verständlichkeit zu erhöhen. Wie die Umsetzung im Tool selbst erfolgt, lässt sich exemplarisch in Abbildung 8, an der Beantwortung der Frage „Was ist Kreislaufwirtschaft?“ am Beginn des Fragebogens sehen.

## Was ist Kreislaufwirtschaft?

### Kreislaufwirtschaft:

Die Kreislaufwirtschaft markiert einen entscheidenden Wandel hin zu einer nachhaltigen Entwicklung und setzt sich für einen regenerativen Ansatz ein, der traditionelle lineare Wirtschaftsmodelle in Frage stellt. Dieses Konzept basiert auf Prinzipien, die Ressourcennutzung optimieren, Produktlebenszyklen erweitern und eine regenerative Beziehung zur Umwelt fördern. Kernprinzipien, Ziele und Enabler von CE zielen gemeinsam darauf ab, Umweltqualität, wirtschaftlichen Wohlstand und soziale Gerechtigkeit für gegenwärtige und zukünftige Generationen zu verbessern.

### Kernprinzipien:

**R-Strategien:** Fokus auf minimale Ressourcennutzung, Verlängerung der Produktlebensdauer und Wiederverwertung von Materialien zur Abfallreduktion.

**Erneuerbare Energiequellen:** Nutzung erneuerbarer Energien zur Minimierung von Kohlenstoffemissionen und Abhängigkeit von endlichen Ressourcen.

Systemische Sichtweise: Ganzheitliche Betrachtung auf Mikro-, Meso- und Makroebene zur Förderung systemischer Veränderungen in Richtung Nachhaltigkeit.

**Technologische und biologische Kreisläufe:** Unterscheidung und effiziente Nutzung in technologischen und biologischen Zyklen.

Circular Supply Chains: Optimierung und Kooperation in Lieferketten zur effizienten Ressourcenbewegung und -nutzung.

### Ziele:

**Nachhaltigkeit:** Ausrichtung auf ökologische Nachhaltigkeit und soziales Wohlergehen.

**Werterhaltung und Abfallvermeidung:** Maximierung des Produktwerts bei Minimierung von Abfall.

**Regenerativ:** Förderung eines regenerativen Kreislaufs durch intersektorale Zusammenarbeit.

### Enabler

**Geschäftsmodelle:** Förderung zirkulärer Geschäftsmodelle, die Kreislaufwirtschaftsprinzipien unterstützen.

**Politik und Legislative:** Schaffung rechtlicher Rahmenbedingungen für den Übergang zur Kreislaufwirtschaft.

**Technologie, Innovation und Wissenschaft:** Bedeutung technologischer Innovationen für die Ermöglichung der Kreislaufwirtschaft.

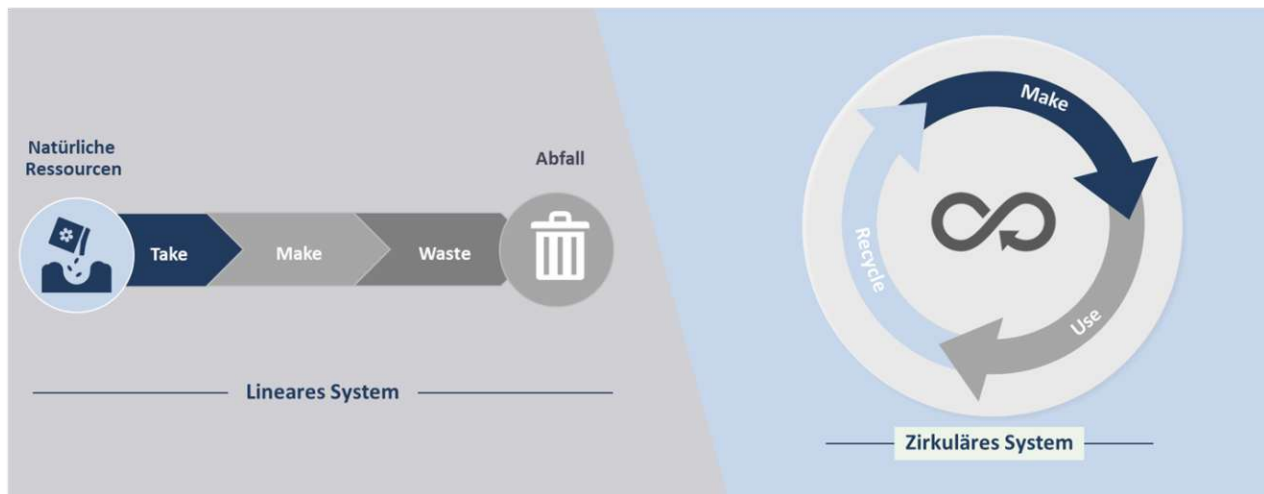


Abbildung 8 "Was ist Kreislaufwirtschaft?" auf Basis des theoretischen Rahmens

## 5.4. Entwicklung des Zielsystems

Um eine Messbarkeit und Bewertbarkeit des Erreichens der Ziele des vorliegenden Design-Science Projektes zu garantieren, sowie um eine gezielte Validierung und Evaluierung des Tools zu ermöglichen, wurde auf Basis des Anforderungskataloges und der identifizierten Forschungslücken ein Zielsystem entwickelt. Hierbei gilt die Methodik von Cloquell-Ballester et al. (2006) zur Validierung als Rahmen, um ebendiese zielgerichtet zu ermöglichen. Entsprechend wurden für die zu evaluierenden Kriterien Fragen entwickelt, zu denen mittels Likert-Skalen ein Zutreffen ausgedrückt werden konnte.

**Bewertungskriterien und Messmethoden:**

In welchem Ausmaß wurden geeignete Messgrößen eingesetzt und Erfolgsfaktoren für die Umsetzung der Kreislaufwirtschaft berücksichtigt?

In welchem Ausmaß wurde die Subjektivität in der Eingabe und Ausgabe minimiert?

In welchem Ausmaß wurden qualitative und quantitative Daten integriert?

**Wertschöpfungskette und Supply Chain Management**

In welchem Ausmaß wurde die gesamte Wertschöpfungskette berücksichtigt?

In welchem Ausmaß wurden Material- und Energieflüsse integriert sowie der Einsatz erneuerbarer Ressourcen berücksichtigt?

**Strategie und Management**

In welchem Ausmaß werden der Entscheidungsfindungsprozess und Managementstrategien unterstützt?

In welchem Ausmaß werden die Meso- und Makroperspektive einbezogen?

In welchem Ausmaß werden die Stakeholder- und Nutzerperspektive einbezogen?

**Rechtskonformität und strategische Anpassung**

In welchem Ausmaß werden das Verständnis für die Kreislaufwirtschaft und Einflüsse der Unternehmenskultur berücksichtigt?

In welchem Ausmaß werden regulatorische und institutionelle Rahmenbedingungen berücksichtigt?

**Strategische Modellentwicklung und Operationalisierung**

In welchem Ausmaß ist die Nutzeroberfläche einfach und intuitiv zu bedienen und mit geringer Einstiegshürde versehen?

In welchem Ausmaß werden grundsätzliche praktische Ableitungen von Maßnahmen zur Förderung der Kreislaufwirtschaft ermöglicht?

In welchem Ausmaß werden die Definitionen und Grundlagen der Kreislaufwirtschaft berücksichtigt?

**Tabelle 8 Zielsystem für die Bewertbarkeit des Bewertungsmodells**

Mithilfe des in Tabelle 8 entwickelten Zielsystems wird im nachfolgenden Abschnitt die Validierung des entwickelten Bewertungsmodells durchgeführt.



## 6. Validierung des Bewertungsmodells

Für die Validierung des Bewertungsmodells wird die Methodik von Cloquell-Ballester et al. (2006) herangezogen, um hierfür eine systematische Vorgehensweise sicherzustellen. Im Zuge dieses Validierungsprozesses werden die Meilensteine M5 und M6 erreicht. Die Validierung wurde in drei Schritten durchgeführt:

1. **Selbstvalidierung:** In dieser Phase wurde die Klarheit, Relevanz, Vergleichbarkeit und Messbarkeit des entwickelten Bewertungsmodells und des zugehörigen Fragebogens geprüft. Durch Pseudo-Pilottests wurden die Fragen, Beschreibungen und die deskriptiven Auswertungen iterativ angepasst und verbessert.
2. **Expertenvalidierung:** Expert:innen aus den Bereichen Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft evaluierten das Modell nach einem Testdurchlauf. Sie gaben qualitatives Feedback zur Optimierung des Artefakts und bewerteten das zugrundeliegende Zielsystem. Der Fokus lag auf der Maximierung der Objektivität, der inhaltlichen Kohärenz und dem ganzheitlichen Abdecken der Kreislaufwirtschaft in der Fokusindustrie.
3. **Unternehmensvalidierung:** Industrieunternehmen setzten das Bewertungsmodell ein und evaluierten das Zielsystem. Anschließend wurden Interviews durchgeführt, um weiteres qualitatives Feedback zu sammeln und die Modellkomponenten zu optimieren. Ziel war es, die Transparenz der Entwicklung zu maximieren sowie die Anwendbarkeit und praktische Relevanz des Modells zu gewährleisten.

Zwischen diesen Validierungsschritten wurde gemäß den Richtlinien der Design Science bereits laufend iterativ das Tool dem Feedback entsprechend adaptiert (Hevner et al., 2004).

### 6.1. Teilnehmer der Validierung

Für den Validierungsprozess wurden insgesamt sechs Expert:innen (E) und vier Vertreter:innen von Industrieunternehmen (U) herangezogen. Eine Übersicht darüber findet sich in Tabelle 9.

	Position	Expertise	Branche	Unternehmensgröße
E1	Projektleitung	ESG-Beratung	Unternehmensberatung	<10 VZÄ
E2	Senior Projektleiter	Compliance und Circular Economy Beratung	Unternehmensberatung	>250 VZÄ
E3	Partner	Service Management und Circular Economy Beratung	Unternehmensberatung	>250 VZÄ
E4	Consultant	Berufserfahrung in der Industrie im Qualitätsmanagement und Umwelts-, Sicherheits- und	Unternehmensberatung	>250 VZÄ

		Gesundheitsmanageme nt			
<b>E5</b>	Wissenschaftli cher Mitarbeiter	Forschung zum Thema Kreislaufwirtschaft	Forschungsinstitut		>250 VZÄ
<b>E6</b>	Geschäftsführ ung	Erfahrung in Förderprojekten der Ressourceneffizienz und Kreislaufwirtschaft	NGO		<10
<b>U1</b>	Business Development Managerin für EV und neue Mobilität	Expertise. Berufserfahrung und vortragend im Bereich neue Mobilitätskonzepte und Kreislaufwirtschaft	Fahrzeugbau		>250 VZÄr
<b>U2</b>	Sustainability Management	Sustainability Management und Business Development Kreislaufwirtschaft	Maschinenbau		>250 VZÄ
<b>U3</b>	Senior Director Recycling	Berufserfahrung in der Industrie im Bereich Recycling und Rohstoffverwertung	Herstellung von Fasern und Textilien		>250 VZÄr
<b>U4</b>	Projektleiter Nachhaltigkeit s- berichterstatu ng	Expertise in der Berichterstattung in der produzierenden Industrie	Maschinen- Fahrzeugbau	und	>250 VZÄ

**Tabelle 9 Übersicht über die Teilnehmer des Validierungsprozesses**

## 6.2. Expertenvalidierung

Im folgenden Abschnitt wird das qualitative Feedback der Expertenvalidierung und der dabei durchgeführten Interviews zusammengefasst. Zusätzlich wird erläutert, wie daraufhin im iterativen Entwicklungsprozess eingegangen wurde.

### **Struktur und Aufteilung:**

Um die Navigation im Tool zu verbessern, wurde empfohlen, nicht mit der Ergebnisübersicht im Bewertungsmodell zu starten und den Wechsel zwischen den einzelnen Tabellenblättern zu erleichtern. Auf Basis dieses Feedbacks wurde eine zusätzliche Einleitungsseite eingeführt, die dem Tool zusätzliche Struktur und Klarheit verleiht. Diese Seite umreißt die Erwartungen und erläutert den Aufbau des Tools. Zudem wurde ein spezieller Navigationsbereich ergänzt, der es ermöglicht, effizient zwischen den verschiedenen Teilbereichen und der Ergebnisdarstellung zu navigieren. Eine intuitive Benutzerführung ist für die Effektivität des Tools unerlässlich. Es wurde zusätzlich empfohlen, durch klare Fortschrittsanzeigen und einfach zu bedienende Navigationsbuttons die Benutzerfreundlichkeit und eine konsistente Handhabung zu fördern. Als Reaktion darauf wurde die Gesamtanzahl der Fragen in jedem Kapitel angezeigt und die Fragen wurden entsprechend ihrer Kapitelzugehörigkeit nummeriert. Zusätzlich wurden auf jeder Seite Vor- und Zurück-Buttons sowie ein Button für den schnellen Zugriff auf die Übersichtsseite implementiert.

Der Validierungsprozess zeigte zusätzlich, dass die ursprüngliche Kategorie „Firmeninfrastruktur“ zu breit gefasst war und zahlreiche Subkategorien enthielt. Die explizite Anwendung von Porters Wertschöpfungskettenmodell erwies sich als weder förderlich noch intuitiv verständlich, was zur Reorganisation dieser Kategorie führte. Die Neugliederung resultierte in den Kategorien „Strategie & Management“ und „Geschäftsmodell & Ökosystem“. „Strategie & Management“ umfasst nun die Bereiche „Organisation, Strategie, Vision und Resilienz“, „Compliance, Gesetzgebung und Governance“ sowie „Vermögens- und Finanzmanagement und Risikominderung“. „Geschäftsmodell & Ökosystem“ beinhaltet die Subkategorien „Geschäftsmodell und Innovation“ sowie „Strategische Partnerschaften, Stakeholder und Integration der Wertschöpfungskette“.

### ***Fragestellungen und Klarheit:***

Um komplexe Konzepte besser zugänglich zu machen, sollte die Grammatik klar und die Sprache einfach gehalten werden. Weshalb zusätzlich ein erneuter Evaluierungsprozess durchgeführt wurde, um sprachliche Fehler zu korrigieren und Formulierungen zu präzisieren. Des Weiteren wurden die Antwortmöglichkeiten bei einigen Fragen angepasst, um die Unterscheidung zwischen den verschiedenen Stufen zu verdeutlichen.

Einzelne Fragestellungen wurden überarbeitet, um Klarheit zu schaffen, Redundanzen zu vermeiden und relevante Inhalte klar zu trennen. Zum Beispiel wurde der After-Sales-Service nun explizit nur im Bereich Service abgefragt, Kund:innenfeedback ausschließlich dem Bereich Marketing & Vertrieb zugeordnet und für Hardware- und Software-Updates wurden separate Fragen erstellt. Auch wurde im Bereich der Verpackungsmaterialien angemerkt, dass eine Trennung zwischen wiederverwendbaren und recycelbaren Materialien sinnvoll ist. Dieses Feedback deckt sich mit dem theoretischen Rahmen und wurde entsprechend eingebaut.

### ***Praktische Anwendbarkeit und Verständnis:***

In der Expertenvalidierung wurde die Relevanz der praktischen Anwendbarkeit und der inhaltlichen Tiefe betont. Hierbei wurde einerseits betont, dass das Modell aktuell den Stand der Forschung umfassend abdeckt, dieser jedoch noch nicht am Stand der Technik und Industrie angekommen ist, was zu Diskrepanzen in der Anwendbarkeit und dem Verständnis führen könnte. Zusätzlich wurde angemerkt, dass Schlüsselbegriffe wie „emotionale Langlebigkeit“, „flexible Eigentumsmodelle“, „lebenszyklusweite Angebote“, „Geschäftsmodellinnovation“, „Resilienz“ und „Ökozertifizierungen“ potenziell unverständlich sind und einer ausführlicheren Erklärung bedürfen. Um auf dieses Feedback einzugehen, ohne die umfassende Darstellung der Thematik zu reduzieren, wurden die Erklärungen zu diesen Begriffen ergänzt, die Formulierungen vereinfacht und zusätzliche Beispiele in Fragen und

Antworten integriert. Darüber hinaus wurde betont, dass Unternehmen aufgrund des Umfangs erhebliche Zeit investieren müssen. Daher wurde in der Einleitung der Umfang des Aufwands dargelegt und darauf hingewiesen, dass eine Unterbrechung der Durchführung möglich ist.

### ***Visualisierung und Materialien:***

Hierbei wurden im Feedback Konsistenz in der Reihenfolge der Ergebnisdarstellungen und Farbgebung angemerkt, weshalb diese entsprechend angepasst und optimiert wurde. Zusätzlich wurde angemerkt, dass eine optische Differenzierung zwischen unterstützenden Aktivitäten und primären Aktivitäten nach Porters Wertschöpfungskette nicht intuitiv ist und dadurch nicht zur Klarheit beiträgt, weshalb diese Trennung entfernt wurde. Auch die zur Verfügung gestellten zusätzlichen Informationen waren teilweise nicht intuitiv ersichtlich und thematisch Fragen zugeordnet. Diese wurden entsprechend stärker hervorgehoben und direkt an den passenden Fragen platziert.

### ***Bewertung des Zielsystems***

Nach Abschluss der Interviews und Implementierung des Bewertungsmodells wurden die Expert:innen aufgefordert, das in Abschnitt 5.4 vorgestellte Zielsystem auszufüllen und Bewertungen für die definierten Anforderungen abzugeben. Diese Bewertungen erfolgten mittels einer Likert-Skala von 1, „Trifft überhaupt nicht zu“, bis 4, „Trifft voll und ganz zu“, deren Ergebnisse in Abbildung 9 visualisiert sind. Alle Kategorien erreichten Bewertungen über 3, was eine allgemeine Erfüllung der Anforderungen signalisiert. Besonders in den Bereichen Bewertungskriterien und Messmethoden (3,56), Wertschöpfungskette und Supply Chain Management (3,92) sowie Strategie und Management (3,78) wurden Werte über 3,5 erzielt, was auf eine überdurchschnittliche Erfüllung der Anforderungen hindeutet. Hingegen erzielten die Bereiche Rechtskonformität und strategische Anpassung (3,42) sowie strategische Modellentwicklung und Operationalisierung (3,39) niedrigere Werte, die gerundet eine teilweise Erfüllung anzeigen.

Die Aspekte der Rechtskonformität und strategischen Anpassung erforderten eine Überarbeitung des Zielsystems. Anfangs gab es Rückmeldungen, die Unklarheiten bei der Fragestellung zu „kulturellen Einflüssen“ aufzeigten. Diese wurde daraufhin präzisiert und in „Einflüsse der Unternehmenskultur“ geändert. Nach dieser iterativen Anpassung wurde dieser Aspekt als „Trifft voll und ganz zu“ bewertet. Zusätzlich wurde der unzureichend erläuterte Einfluss der Regulatorik thematisiert. Es stellte sich heraus, dass die bestehenden Infoboxen, die zentrale regulatorische Informationen bereitstellen, in ihrer Bedienung und Platzierung Verbesserungspotenzial aufwiesen. Als Reaktion darauf wurden die Infoboxen und Fragebuttons in der Benutzeroberfläche deutlicher hervorgehoben und benutzerfreundlicher gestaltet.

Im Segment der strategischen Modellentwicklung stellte die Länge des Tools ein Einstiegshindernis dar, wobei ein Konflikt zwischen umfassender Abdeckung und Benutzerfreundlichkeit identifiziert wurde. Aufgrund der Priorisierung einer vollständigen Integration der Kreislaufwirtschaftsprinzipien wurde empfohlen, das Bewertungsmodell idealerweise in Zusammenarbeit mit einem Experten auszufüllen. Zusätzlich ermöglicht der modulare Aufbau des Bewertungsmodells den Nutzern, individuelle Module zu bearbeiten und so gezielte Teilergebnisse zu generieren.

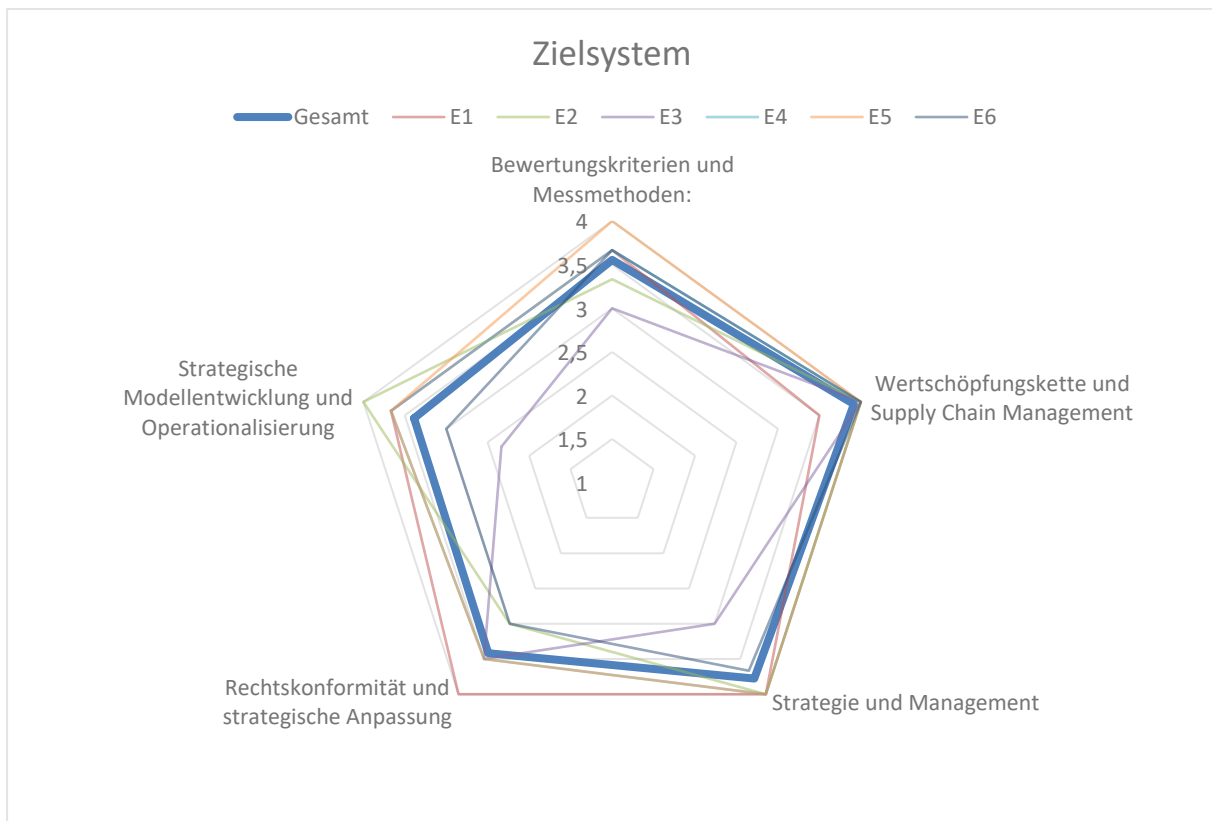


Abbildung 9 Ergebnis des Zielsystems nach der Expertenvalidierung

### 6.3. Unternehmensvalidierung

Im folgenden Abschnitt wird das qualitative Feedback der Unternehmensvalidierung und der dabei durchgeführten Interviews zusammengefasst. Zusätzlich wird erläutert, wie daraufhin im iterativen Entwicklungsprozess eingegangen wurde.

#### Struktur und Umfang

Das Feedback der Unternehmen unterstreicht die umfassende Abdeckung der Kreislaufwirtschaft im Tool, betont jedoch den Zielkonflikt zwischen Ganzheitlichkeit und Einstiegshürde aufgrund des großen Umfangs. Es wurde angemerkt, dass es sinnvoll ist, das Bewertungsmodell von mehreren Personen auszufüllen und die Durchführung abteilungsübergreifend zu gestalten. Diese Empfehlung wurde in der Einleitung aufgenommen und betont. Der modulare Aufbau und die Unterteilung in

Aktivitäten der Wertschöpfungskette ermöglichen eine sinnvolle Zuordnung zu den verschiedenen Abteilungen in Unternehmen.

### ***Aussagekraft und Antwortmöglichkeiten***

Im Feedback der Unternehmensvertreter:innen wurde darauf hingewiesen, dass bei einigen Fragen die Antworten auf persönlichen Einschätzungen beruhen. Gleichzeitig wurde hervorgehoben, dass der Fokus auf qualitative Fragestellungen mit vorgefertigten Antworten sinnvoll sei, um die Subjektivität zu minimieren. Zusätzlich wurde angemerkt, dass die Unterschiede zwischen den ersten Stufen der Skala teilweise zu groß seien. Daher wurde darauf geachtet, dass Formulierungen wie „alle“, „ganzheitlich“ oder „systematisch“ in niedrigeren Stufen vermieden werden. Ein zusätzlicher Evaluierungsdurchlauf wurde durchgeführt, um sicherzustellen, dass die Antwortmöglichkeiten möglichst verständlich und praxisnah formuliert sind.

### ***Verständlichkeit und Praxisnähe***

Es wurde angemerkt, dass die verwendete Sprache tendenziell wissenschaftlich sei. Diese wurde in einem weiteren Evaluierungsdurchlauf vereinfacht. Begriffe wie „Standards“, „Infrastruktur“ oder „kontinuierliche Verbesserung“ wurden klarer formuliert und durch Beispiele weiter definiert. Zusätzlich wurden Abkürzungen ausgeschrieben und erklärt. Diese Änderungen erhöhen die Benutzerfreundlichkeit und stellen sicher, dass auch Personen ohne tiefgehendes Fachwissen die Fragen verstehen können.

### ***Benchmarking und Brancheneinteilung***

In Bezug auf Benchmarking wurde angemerkt, dass hierfür eine Abfrage der Branche notwendig sei. Eine solche Abfrage wurde in die Einleitungsfolie integriert, hat für den vorliegenden Entwicklungsprozess jedoch ausschließlich perspektivische Zwecke.

### ***Relevanz für die Kreislaufwirtschaft***

Das Feedback wies darauf hin, dass einige Fragen nicht explizit die Kreislaufwirtschaft behandeln, sondern tendenziell Prozessoptimierungen ansprechen, die auch außerhalb der Kreislaufwirtschaft relevant sind. Dies war eine bewusste Entscheidung während des Entwicklungsprozesses, da das Grundprinzip der Kreislaufwirtschaft „Narrowing“ integriert wurde und kritische Erfolgsfaktoren zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Nachhaltigkeit berücksichtigt wurden. Um jedoch trotzdem auf das Feedback einzugehen, wurde der Bezug zur Kreislaufwirtschaft in den Fragen deutlicher hervorgehoben.

### ***Bedienung und Benutzerfreundlichkeit***

Die intuitive Bedienung des Tools wurde als positiv bewertet. Um die Benutzerfreundlichkeit weiter zu erhöhen, wurde die Sichtbarkeit der Theorie-Buttons verbessert, damit alle Nutzer die theoretischen Hintergrundinformationen leicht finden können. Zusätzlich wurde angemerkt, dass perspektivisch eine Implementierung des Bewertungsmodells als Webtool die Benutzerfreundlichkeit weiter erhöhen könnte.

### ***Einheiten bei quantitativen Fragen***

Es wurde angemerkt, dass bei einigen quantitativen Fragen, die in Prozent gemessen werden, die Einheiten nicht klar waren. Um dies zu verbessern, wurden Einheiten wie Kilogramm der Gesamtproduktionsmenge oder Prozent des ursprünglichen Verkaufspreises hinzugefügt, um eine klare und einheitliche Messung zu gewährleisten.

### ***Bewertung des Zielsystems***

Nach Durchführung des Bewertungsmodells und im Anschluss an das qualitative Feedback wurde von den Unternehmensvertreter:innen das in Abschnitt 5.4 entwickelte Zielsystem ausgefüllt. Die Ergebnisse hierfür sind in Abbildung 10 dargestellt. Hierbei zeigt sich, dass alle Kategorien eine Bewertung von über 3 erreicht haben, was eine allgemeine Erfüllung der Anforderungen signalisiert. Insbesondere in den Kategorien Strategische Modellentwicklung und Operationalisierung (3,83), Strategie und Management (3,58), Wertschöpfungskette und Supply Chain Management (3,54) sowie Bewertungskriterien und Messmethoden (3,5) wurde ein vollständiges Zutreffen der Anforderungen bestätigt. Im Bereich Rechtskonformität und strategische Anpassung (3,375) wurde ein teilweises Erfüllen der Anforderungen angegeben. Hierbei zeigte sich auch in den Gesprächen die große Notwendigkeit der Aufbereitung der aktuellen gesetzlichen Lage für Unternehmen hinsichtlich einzelner Richtlinien oder Gesetze. Aufgrund des hohen regulatorischen Drucks auf Unternehmen war in diesem Bereich jedoch bereits ein größeres Wissen ersichtlich. Basierend auf dem Zielsystem und dem qualitativen Feedback wurden spezifische Themen wie Scope-Emissionen und der Warenimport im Zusammenhang mit der CO<sub>2</sub>-Bepreisung in die Analyse einbezogen. Diese Aspekte ergaben sich aus den Rückmeldungen und wurden berücksichtigt, um die Umweltauswirkungen und regulatorischen Anforderungen besser zu verstehen und entsprechende Maßnahmen zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen zu entwickeln.

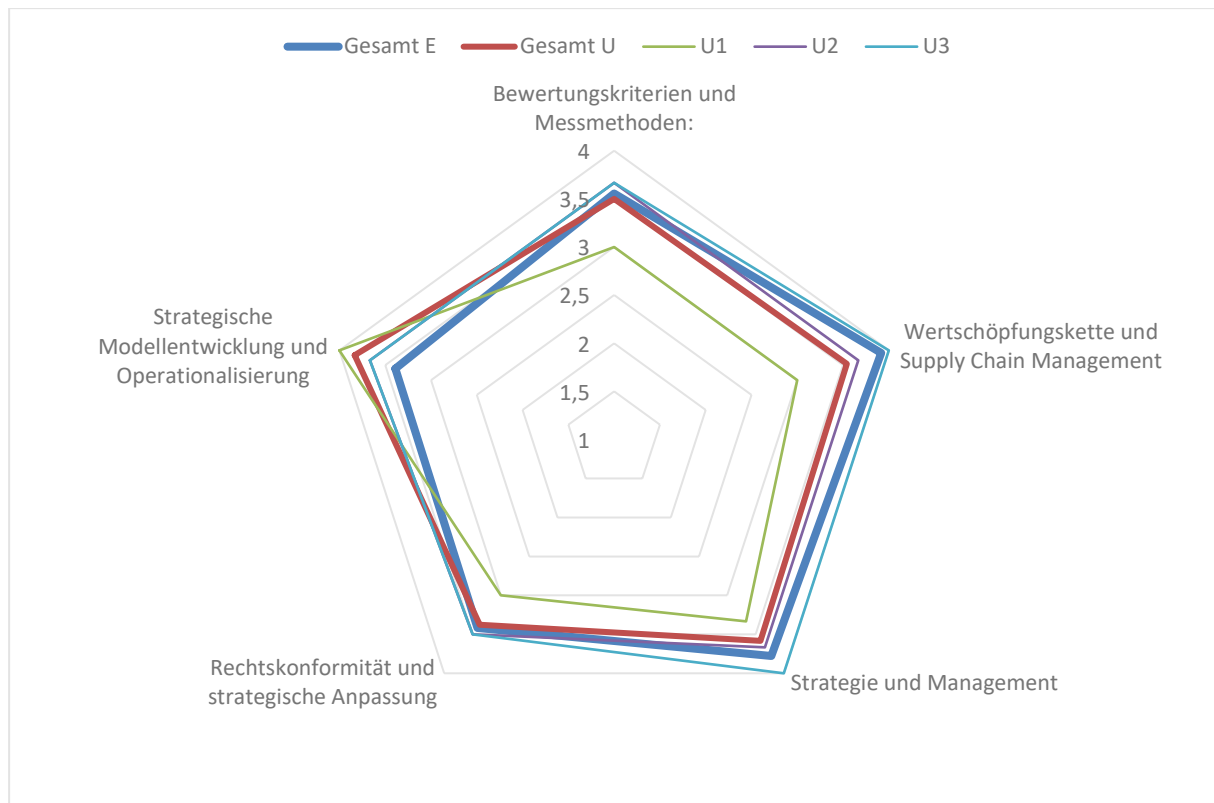


Abbildung 10 Ergebnis des Zielsystems nach der Unternehmensvalidierung

## 6.4. Zusammenfassung der Validierung

Der Validierungsprozess des Bewertungsmodells führte zu mehreren wesentlichen Entwicklungsschritten und Anpassungen. Basierend auf dem qualitativen Feedback der Expert:innen und Unternehmensvertreter:innen wurden die Struktur des Tools verbessert, die Benutzerführung optimiert und die Fragestellungen präzisiert. Dies ermöglichte eine klarere und praktischere Anwendung des Modells. Die iterative Anpassung des Modells führte zu einer umfassenden Verbesserung in Bezug auf Struktur, Klarheit und Anwendbarkeit, was durch die abschließenden Bewertungen bestätigt wurde. Auf Grundlage des Feedbacks wurden finale iterative Entwicklungsschritte im Bewertungsmodell durchgeführt. Im nachfolgenden Abschnitt wird das Ergebnis dieses Entwicklungsprozesses präsentiert.



## 7. Ergebnis

Der folgende Abschnitt zielt darauf ab, das finale Ergebnis des iterativen Entwicklungsprozesses zu präsentieren. Er bietet eine Konsolidierung der Zwischenergebnisse aus den verschiedenen Phasen: die initiale Identifikation von relevanten Unternehmensbereichen und Messgrößen in Abschnitt 4, die darauf folgende Design- und Entwicklungsphase in Abschnitt 5 und schließlich die Anpassungen, die auf Basis des Feedbacks von Fachexpertinnen und -experten sowie Praktikerinnen und Praktikern während der Validierungsphase in Abschnitt 6 vorgenommen wurden.

Das als Artefakt aus diesem Prozess hervorgegangene Bewertungsmodell beantwortet die zentrale Forschungsfrage: „Wie kann ein ganzheitliches Bewertungsmodell für die Kreislaufwirtschaft entwickelt werden, das systematisch, quantifizierbar und standardisiert notwendige Unternehmensbereiche und Mechanismen erfasst und operationalisierbare, praxisrelevante sowie effektiv kommunizierbare Ergebnisse für produzierende Unternehmen liefert?“ Die Kernbausteine des Modells, einschließlich eines detailliert ausgearbeiteten Fragebogens zur Erfassung zentraler Unternehmensbereiche, einer angepassten Auswertungslogik und Visualisierung, werden im nachfolgenden Abschnitt dargelegt.

### 7.1. Unternehmensbereiche und Fragebogen

Im finalen Bewertungsmodell werden Unternehmen hinsichtlich ihres Fortschritts auf dem Weg zur Kreislaufwirtschaft in 9 Kategorien und 17 Subkategorien evaluiert, basierend auf insgesamt 101 Fragestellungen, von denen 75 qualitativ und 26 quantitativ sind. Die finale Aufteilung des Fragebogens ist in Tabelle 10 dargestellt.

Wertschöpfungskette	Subkategorien	Anzahl der Fragen
Strategie & Management	<i>Organisation, Strategie, Vision und Resilienz</i>	3
	<i>Compliance, Gesetzgebung und Governance</i>	3
	<i>Vermögens- und Finanzmanagement sowie Risikominderung</i>	6
Geschäftsmodell & Ökosystem	<i>Geschäftsmodell und Innovation</i>	7
	<i>Strategische Partnerschaften, Stakeholder und Integration der Wertschöpfungskette</i>	6
Beschaffung	<i>Nachhaltige Beschaffung und Lieferkette</i>	9
Produkt & Technologie	<i>Produktdesign und Produktlebenszyklus</i>	13
HR-Management	<i>Bildungsinitiativen und nachhaltige Praktiken</i>	3
	<i>Leadership und organisatorisches Engagement</i>	4
Produktion	<i>Material- und Ressourcennutzung</i>	6
	<i>Produktion und &amp; Optimierung</i>	5
	<i>Ressourcenrückgewinnung und Abfallmanagement</i>	6
Logistik	<i>Eingangs- &amp; Ausgangslogistik</i>	4
	<i>Rückwärtslogistik</i>	7

Service	<i>Verlängerung der Produktlebensdauer und Services</i>	7
	<i>Zirkulärer Produktlebenszyklus und Wiederverwendungsstrategien</i>	6
Marketing & Vertrieb	<i>Marktstrategie und Konsumenteneinblicke</i>	6
<b>Summe</b>		<b>101</b>

**Tabelle 10 Übersicht über die finalen Kategorien und Fragestellungen**

Qualitativen Fragestellungen wurden jeweils sechs Antwortmöglichkeiten zugeordnet. Diese wurden auf Basis der entwickelten Reifegrade und Transformationsmechanismen in Abschnitt 4.3 erstellt und laufend iterativ evaluiert und optimiert. Der finale Fragebogen des Bewertungsmodells ist in Tabelle 11 ersichtlich.

## Strategie & Management

### Organisation, Strategie, Vision und Resilienz

Frage 1: Wie stark sind Ihre Unternehmensstrategie und -werte auf kreislaufwirtschaftliche Ziele ausgerichtet und integriert?

Frage 2: Wie hoch ist das Ausmaß der Flexibilität in der Organisationsgestaltung in Ihrem Unternehmen zur Förderung der Kreislaufwirtschaft?

Frage 3: Wie hoch ist das Ausmaß der Formalisierung und Überwachung von Kreislaufwirtschafts-Prozessen in Ihrem Unternehmen?

### Compliance, Gesetzgebung und Governance

Frage 4: Wie hoch ist das Ausmaß der Einhaltung Ihres Nachhaltigkeitsberichts und der Anwendung bekannter Frameworks?

Frage 5: Wie hoch ist das Ausmaß der Kenntnisse und des Bewusstseins über staatliche Anreize für die Kreislaufwirtschaft in Ihrem Unternehmen?

Frage 6: Wie hoch ist das Ausmaß der proaktiven Berücksichtigung von Kreislaufwirtschafts-Gesetzgebung und -Politikführung in Ihrer Unternehmensstrategie?

### Vermögens- und Finanzmanagement sowie Risikominderung

Frage 7: Wie hoch ist das Ausmaß der finanziellen Unterstützung, die Ihr Unternehmen für Initiativen und Projekte der Kreislaufwirtschaft bereitstellt?

Frage 8: Wie hoch ist das Ausmaß der Integration von Kreislaufwirtschafts-Prinzipien in Ihre Risikomanagementstrategien?

Frage 9: Wie hoch ist das Ausmaß der Entwicklung und Implementierung von Richtlinien für das End-of-Life-Management von Vermögenswerten in Ihrem Unternehmen?

Frage 10: Wie hoch ist das Ausmaß der Unterstützung und Bereitschaft Ihrer betrieblichen Infrastruktur, die für zirkuläres Wirtschaften notwendig ist, die Prinzipien und Praktiken der Kreislaufwirtschaft zu adaptieren und umzusetzen?

Frage 11: Welcher Prozentsatz Ihrer Vermögenswerte verfügt über eine Nachhaltigkeitszertifizierung?

Frage 12: Welcher Prozentsatz Ihres Gesamtbudgets wird für Initiativen und Projekte der Kreislaufwirtschaft aufgewendet?

## Geschäftsmodell & Ökosystem

### Geschäftsmodell und Innovation

Frage 1: Wie hoch ist das Ausmaß der Implementierung zirkulärer Geschäftsmodelle und deren Beiträge zu zirkulären Praktiken?

Frage 2: Wie hoch ist das Ausmaß der Adaption flexibler Eigentumsmodelle, wie Leasing, Sharing oder Product as a Service Modelle, für Produkte und Dienstleistungen in Ihrem Unternehmen?

Frage 3: Wie hoch ist das Ausmaß an Erfahrung mit Geschäftsmodellinnovation?

Frage 4: Wie hoch ist das Ausmaß der Angebote und Leistungen entlang des gesamten Lebenszyklus in Ihrem Unternehmen?

Frage 5: Wie hoch ist das Ausmaß der Formulierung von Circular Business Cases sowie der damit verbundenen Umsatzgenerierung und Rentabilität?

Frage 6: Wie hoch ist das Ausmaß der Umsetzung der R-Strategien (z.B. Reduzieren, Reuse, Recyceln) in Ihrem Unternehmen?

Frage 7: Welcher Prozentsatz Ihres Gesamtumsatzes stammt aus zirkulären Geschäftsmodellen (CBM) und neuen Einnahmequellen?

Zirkuläre Inputs and Design

Produktlebensdauererlängerung

Recycling, Rückgewinnung und Rückwärtslogistik

Service- und Nutzungsorientierte Modelle

Sharing and Kollaboration

### **Strategische Partnerschaften, Stakeholder und Integration der Wertschöpfungskette**

Frage 8: Wie hoch ist das Ausmaß Ihres Engagements bei politischen Entscheidungsträgern für den Übergang zur Kreislaufwirtschaft?

Frage 9: Wie hoch ist das Ausmaß des Engagements externer Investoren in Bezug auf die Kreislaufwirtschaft in Ihrem Unternehmen?

Frage 10: Wie hoch ist das Ausmaß intersektoraler und Bildungspartnerschaften zur Förderung von Innovationen, Technologien und Entwicklungen im Bereich der Kreislaufwirtschaft?

Frage 11: Wie hoch ist das Ausmaß des Kund:innenengagements für die Prinzipien und Praktiken der Kreislaufwirtschaft in Ihrem Unternehmen?

Frage 12: Wie hoch ist das Ausmaß der Nutzung von Plattformen für den Austausch und Handel von Abfällen und Nebenprodukten in Ihrem Unternehmen?

Frage 13: Wie hoch ist das Ausmaß Ihres Wertschöpfungseinflusses in der Rohstoffgewinnung und im Dienstleistungssektor?

## **Beschaffung**

### **Nachhaltige Beschaffung und Lieferkette**

Frage 1: Wie hoch ist das Ausmaß der Berücksichtigung von Umweltauswirkungen und -standards, wie Emissionsreduktionen, lokale Beschaffung und umweltfreundliche Materialien, in Beschaffungsentscheidungen und bei der Auswahl von Lieferanten?

Frage 2: Wie hoch ist das Ausmaß der Effektivität in der Kommunikation von Umweltkriterien im Einkauf?

Frage 3: Wie hoch ist das Ausmaß der Lieferantenentwicklung und strategischen Einbindung hinsichtlich Nachhaltigkeitspraktiken?

Frage 4: Wie hoch ist das Ausmaß der Rückverfolgbarkeit und Zertifizierung der Ressourcen unter Berücksichtigung zirkulärer Prinzipien, einschließlich direkter und indirekter Auswirkungen?

Frage 5: Wie hoch ist das Ausmaß der Priorisierung und Sicherung nachhaltiger Ressourcen in Beschaffungsstrategien?

Frage 6: Wie hoch ist das Ausmaß der Anpassungsfähigkeit und Resilienz Ihrer Lieferkette, also ihrer Kapazität, nach Veränderungen weiterhin zu funktionieren?

Frage 7: Wie hoch ist das Ausmaß der Berücksichtigung von Kreislaufwirtschaftsprinzipien und Kommunikation zum Lebensende in der Verpackungsstrategie?

Frage 8: Prozentsatz Ihrer Verpackungsmaterialien (gemessen an der Gesamtmenge in kg) die folgenden Kriterien erfüllen:

Wiederverwendbare, kompostierbare oder recycelbare Verpackungsmaterialien

Aus erneuerbaren Ressourcen hergestellte Verpackungsmaterialien

Wiedergewonnen oder wiederverwendete Verpackungsmaterialien

Aus recycelten Materialien hergestellte Verpackungsmaterialien

Frage 9: Umwelt-, Leistungs und Zertifizierungsstandards für Lieferanten, wie beispielsweise die Rückverfolgbarkeit von Lieferketten:

Welcher Prozentsatz Ihrer Lieferanten (gemessen an den Betriebsausgaben - OpEx für Lieferungen) wird auf die festgelegten Umwelt-, Leistungs- und Zertifizierungsstandards überprüft?

Welcher Prozentsatz Ihrer Lieferanten (gemessen an den Betriebsausgaben - OpEx für Lieferungen) erfüllt, die festgelegten Umwelt-, Leistungs- und Zertifizierungsstandards?

## Produkt & Technologie

### Produktdesign und Produktlebenszyklus

Frage 1: Wie hoch ist das Niveau der Integration und Optimierung von Produktdesignprinzipien entlang der gesamten Wertschöpfungskette und des Produktlebenszyklus?

Frage 2: Wie hoch ist das Ausmaß der Berücksichtigung emotionaler Langlebigkeit im Design Ihrer Produkte?

Frage 3: Wie hoch ist das Ausmaß in dem Zerlegbarkeit, Benutzerfreundlichkeit und einfache Demontage am Produktlebensende bereits in der Entwicklungsphase berücksichtigt?

Frage 4: Wie hoch ist das Ausmaß der Berücksichtigung erweiterter Funktionalitäten in Ihren Produktkonzepten?

Frage 5: Wie hoch ist das Ausmaß der Durchführung von Lebenszyklusanalysen und der Bewertung der wirtschaftlichen und ökologischen Auswirkungen Ihrer Produkte?

Frage 6: Wie hoch ist das Ausmaß der Berücksichtigung der Produktlebensdauer und der Gewährleistung in Ihren Produktstrategien?

Frage 7: Wie hoch ist das Ausmaß der Ressourcenschonung, die in das Design Ihrer Produkte integriert ist?

Frage 8: Wie hoch ist das Ausmaß der Integration technologischer Unterstützung und digitaler Systeme für die Ermöglichung zirkulärer Lösungen?

Frage 9: Welcher Prozentsatz der in Ihren Produkten verwendeten Materialien ist nachhaltig, wiederverwendbar, kompostierbar oder recycelbar?

Frage 10: Welcher Prozentsatz Ihrer Produkte (gemessen an der Gesamtmenge in kg) wurde, explizit nach den Prinzipien der Kreislaufwirtschaft entworfen?

Frage 11: Um welchen Prozentsatz konnten Sie die Verwendung gefährlicher Materialien (gemessen an der Gesamtmenge in kg) in Ihren Produkten und Prozessen minimieren?

Frage 12: Für welchen Prozentsatz Ihrer Produkte (gemessen an der Gesamtmenge in kg) wurde eine Lebenszyklusanalyse durchgeführt und deren wirtschaftliche sowie ökologische Auswirkungen bewertet?

Frage 13: Welcher Prozentsatz Ihrer Produkte (gemessen an der Gesamtmenge in kg) verfügt über Öko-Zertifizierungen wie beispielsweise das österreichische oder europäische Umweltzeichen?

## HR-Management

### Bildungsinitiativen und nachhaltige Praktiken

Frage 1: Wie hoch ist das Ausmaß von Wissen bezüglich der Kreislaufwirtschaft und ihrer vielfältigen Auswirkungen im Unternehmen?

Frage 2: Wie hoch ist das Ausmaß der Implementierung nachhaltiger Praktiken und Anreize für Mitarbeiter in Bezug auf die Kreislaufwirtschaft?

Frage 3: Wie hoch ist das Ausmaß der Qualität und Zugänglichkeit von Bildungsangeboten zur Kreislaufwirtschaft und der Kompetenzentwicklung in diesem Bereich?

### **Leadership und organisatorisches Engagement**

Frage 4: Wie hoch ist das Ausmaß des Engagements der Führungskräfte und Mitarbeiter für die Prinzipien und Praktiken der Kreislaufwirtschaft?

Frage 5: Wie hoch ist das Ausmaß der interdisziplinären Zusammenarbeit und des Wissensaustauschs über Kreislaufwirtschaft in Ihrem Unternehmen?

Frage 6: Wie hoch ist das Ausmaß, in dem die Organisationskultur die Umsetzung der Kreislaufwirtschaft unterstützt und interne Konflikte in diesem Zusammenhang minimiert?

Frage 7: Wie hoch ist das Ausmaß der gezielten Entwicklung von Mitarbeiterkapazitäten und der Schaffung von Arbeitsplätzen im Bereich der Kreislaufwirtschaft?

## **Produktion**

### **Material- und Ressourcennutzung**

Frage 1: Wie hoch ist das Ausmaß der Durchführung von Analysen bezüglich des Energieverbrauchs und der Energieeffizienz in Ihrem Unternehmen?

Frage 2: Wie hoch ist das Ausmaß der Anwendung von Strategien zur Verringerung des Einsatzes fossiler Brennstoffe und zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen?

Frage 3: Wie hoch ist das Ausmaß der Implementierung von Strategien zur Minimierung des Materialverbrauchs und zur Förderung der Selbstversorgung?

Frage 4: Energieverbrauch:

Welcher Prozentsatz des Gesamtenergieverbrauchs (gemessen in kWh des Gesamtenergieverbrauchs) Ihres Unternehmens stammt aus erneuerbaren Energiequellen?

Welcher Prozentsatz Ihres elektrischen Energieverbrauchs (gemessen in kWh des Gesamtstromverbrauchs) wird durch erneuerbare Quellen gedeckt?

Welcher Prozentsatz der in Ihrem Unternehmen genutzten Energie (gemessen in kWh des Gesamtenergieverbrauchs) wird intern aus erneuerbaren Quellen erzeugt?

Frage 5: Materialeinsatz:

Welcher Prozentsatz der in Ihren Produkten und Prozessen verwendeten Materialien (gemessen in kg des Gesamtmaterialverbrauchs) ist erneuerbar?

Welcher Prozentsatz der in Ihren Prozessen und Produkten verwendeten Materialien (Materialien (gemessen in kg des Gesamtmaterialverbrauchs) wird als gefährlich eingestuft?

Frage 6: Effizienz:

Welcher Prozentsatz Ihrer betrieblichen Prozesse weist verbesserte Material- und Energieeffizienz auf?

Welcher Prozentsatz Ihrer Wasserressourcen wird durch Wassersparmaßnahmen (gemessen in l des Gesamtwasserbrauchs) und Effizienzsteigerungen eingespart?

### **Produktion und Produktionsoptimierung**

Frage 7: Wie hoch ist das Ausmaß der Anpassungsfähigkeit und Flexibilität Ihrer Produktionsprozesse?

Frage 8: Wie hoch ist das Ausmaß der Optimierung von Produktionsprozessen und der Einsatz digitaler Technologie zur Minimierung des Energie- und Materialverbrauchs?

Frage 9: Wie hoch ist das Ausmaß der Optimierung von Leerlaufzeiten in Ihrer Produktion?

Frage 10: Welcher Prozentsatz des Materialverbrauchs in Ihrer Produktion (gemessen in kg des Gesamtmaterialverbrauchs) resultiert in Abfallerzeugung?

Frage 11: Wie hoch ist der Prozentsatz der Nutzungsauslastung Ihrer Produktionsanlagen?

---

### **Ressourcenrückgewinnung und Abfallmanagement**

---

Frage 12: Wie hoch ist das Ausmaß der Variabilitätsreduzierung in Ihren Abfallrückgewinnungsprozessen?

Frage 13: Wie hoch ist das Ausmaß der Effektivität Ihres Abfallmanagements, der Einhaltung von Abfallrichtlinien und der Implementierung kaskadischer Nutzungskonzepte?

Frage 14: Wie hoch ist das Ausmaß der Prozessoptimierung und Effizienzsteigerung in Ihren Recyclingverfahren?

Frage 15: Wie wird ihr Abfall gemäß der Abfallhierarchie (gemessen in kg des Gesamtabfalls) verwertet?

Wiederverwendung oder Wiedervermarktung

Recycling

Thermische Verwertung und energetische Rückgewinnung

Deponierung

Frage 16: Welcher Prozentsatz Ihres Abfalls wird als gefährlich eingestuft?

Frage 17: Um welchen Prozentsatz konnten die Treibhausgasemissionen durch Ihre Recyclingaktivitäten reduziert werden?

---

## **Logistik**

---

### **Eingangs- & Ausgangslogistik**

Frage 1: Wie hoch ist das Ausmaß der Effizienzsteigerung in Ihrer Logistik und der Optimierung Ihrer Distribution?

Frage 2: Wie hoch ist das Ausmaß der Berücksichtigung von Lieferantennähe zur Steigerung der Material- und Ressourceneffizienz?

Frage 3: Wie hoch ist das Ausmaß der Verfügbarkeit von Ersatzteilen in Ihrem Unternehmen?

Frage 4: Wie hoch ist das Ausmaß der Optimierung von Transportmodi hinsichtlich der Reduzierung von Umweltauswirkungen?

### **Rückwärtslogistik**

Frage 5: Wie hoch ist das Ausmaß der Synergie zwischen Vorwärts- und Rückwärtslogistik und der Zusammenarbeit mit Logistikdienstleistern für den Rückfluss in Ihrem System?

Frage 6: Wie hoch ist das Ausmaß der Wirksamkeit und Kosteneffizienz Ihrer Rücknahmesysteme und der Sammlung zurückgegebener Produkte im Rahmen Ihres Rückwärtslogistiksystems?

Frage 7: Wie hoch ist das Ausmaß der Standardisierung, Systematisierung und kontinuierlichen Leistungsüberwachung sowie Optimierung in Ihrem Rückwärtslogistiksystem?

Frage 8: Wie hoch ist das Niveau der Infrastruktur, das für die Rückwärtslogistik in Ihrem Unternehmen vorhanden ist?

Frage 9: Wie hoch ist das Ausmaß der Einbindung von Verkaufspartner:innen und der Kundschaft und die Effektivität von gezielten Anreizen für die Produktrückgabe in Ihren Rückwärtslogistikprozessen?

Frage 10: Wie hoch ist das Niveau der Infrastruktur, das für die Rückwärtslogistik in Ihrem Unternehmen vorhanden ist?

Frage 11: Welcher Prozentsatz Ihrer Produkte und Materialien (gemessen in kg des Gesamtmaterialverbrauchs) wird von der Kundschaft oder durch Ihr Rücknahmesystem rückgeführt oder zurückgegeben?

---

## **Service**

---

### **Verlängerung der Produktlebensdauer und Services**

Frage 1: Wie hoch ist das Ausmaß der Verfügbarkeit von Hardware-Updates und -Upgrades?

---

Frage 2: Wie hoch ist das Ausmaß der Verfügbarkeit von Software-Updates und -Upgrades?

Frage 3: Wie hoch ist das Ausmaß der Effektivität Ihrer Wartungsstrategien zur Verlängerung der Produktlebensdauer?

Frage 4: Wie hoch ist das Ausmaß der Wirksamkeit Ihres After-Sales-Supports und der Anreize zur Förderung der Kreislaufwirtschaft bei Ihrer Kundschaft?

Frage 5: Welcher Prozentsatz Ihrer Produkte (gemessen in kg der verkauften Produkte) ist durch Lebensdauererlängerungsdienstprogramme abgedeckt?

Frage 6: Umsatz durch Services:

Welcher Prozentsatz Ihres Umsatzes wird Dienstleistungen zugeordnet?

Welcher Prozentsatz Ihres Umsatzes stammt aus Garantie-, Wartungs- und Reparaturservice-Programmen?

Welcher Prozentsatz Ihres Umsatzes stammt aus dem Verkauf von Ersatzteilen?

Welcher Prozentsatz Ihres Umsatzes stammt aus dem Verkauf von Gebrauchsgütern?

Welcher Prozentsatz Ihres Umsatzes wird durch Leasing- oder Mietgeschäftsmodelle generiert?

Welcher Prozentsatz Ihres Umsatzes stammt aus Pay-per-Use- und Sharing-Geschäftsmodellen?

Frage 7: Um welchen Prozentsatz erhöhen Ihre Dienstleistungen die funktionale und technische Lebensdauer der Produkte?

### **Zirkulärer Produktlebenszyklus und Wiederverwendungsstrategien**

Frage 8: Wie hoch ist das Ausmaß Ihrer Aktivitäten und Programme zur Förderung der Produktwiederverwendung und -wiederaufbereitung?

Frage 9: Wie hoch ist das Ausmaß der Effizienz bei der Produktzerlegung und -wiederaufbereitung in Ihrem Unternehmen?

Frage 10: Wie hoch ist das Niveau Ihrer Unternehmensstrukturen zur Förderung der Kreislauffähigkeit von Produkten?

Frage 11: Welcher Prozentsatz Ihrer Produkte (gemessen in kg der verkauften Produkte) wird nach dem ersten Lebenszyklus wiederverwendet?

Frage 12: Welcher Prozentsatz des ursprünglichen Wertes (gemessen in € am ursprünglichen Verkaufswert) wird durch die zirkuläre Nutzung Ihrer Produkte wiedererlangt?

Frage 13: Kaskadische Nutzung von zurückgegebenen Produkten in %:

Wiederverwendung

Reparatur

Wiederaufbereitung

Recycling

Energetische Verwertung

### **Marketing & Vertrieb**

#### Marktstrategie und Konsumenteneinblicke

Frage 1: Wie hoch ist das Ausmaß des Markenimages hinsichtlich Kreislaufwirtschaft und der damit verbundenen Bewusstseinsbildung?

Frage 2: Wie hoch ist das Ausmaß, in dem das Kund:innenfeedback zu zirkulären Produkten die Unternehmensstrategie zur Steuerung der Nachfrage beeinflusst?

Frage 3: Wie hoch ist das Ausmaß der Verfügbarkeit von Informationen nach dem Kauf über die Optionen am Ende der Produktlebensdauer?

Frage 4: Wie hoch ist das Ausmaß der Kund:innenbindung und des Verbraucherbewusstseins durch kreislaforientierte Praktiken, Geschäftsmodelle und Angebote?

---

Frage 5: Wie hoch ist das Ausmaß der Anwendung einer zirkulären Marketingstrategie, der Allokation eines spezifischen Budgets und der gezielten Ansprache von Zielgruppen zur Förderung der Kreislaufwirtschaft?

Frage 6: Welcher Prozentsatz Ihrer Ausgaben für Marketing wird, speziell für die Förderung und Unterstützung der Kreislaufwirtschaft eingesetzt?

---

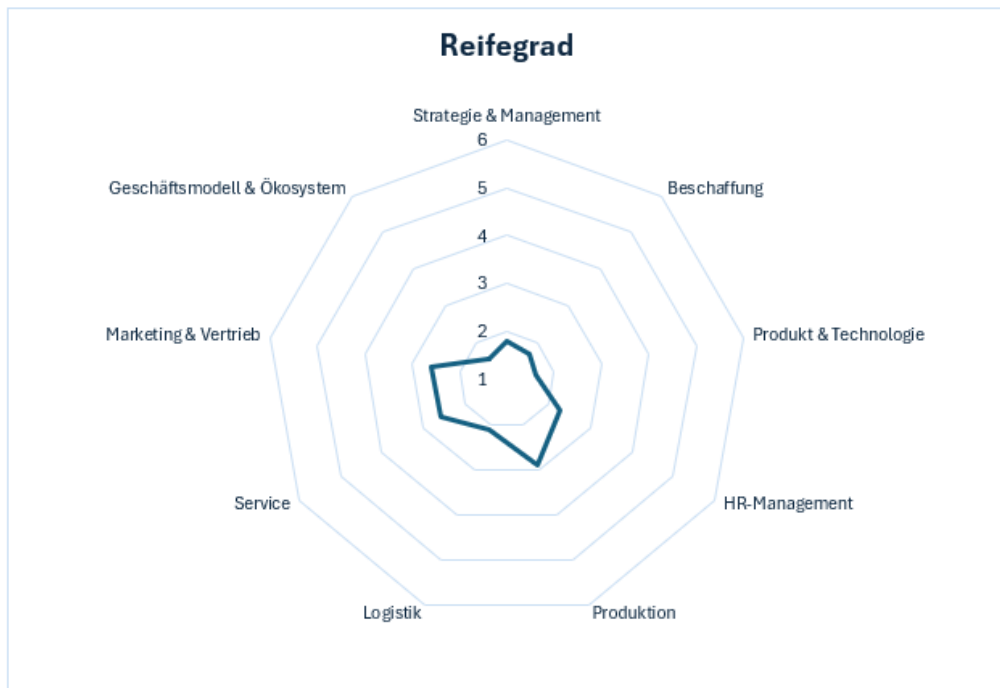
#### **Tabelle 11 Fragebogen des Bewertungsmodells**

## **7.2. Exemplarische Auswertung und Visualisierung**

Im folgenden Abschnitt wird das Resultat des Entwicklungsprozesses exemplarisch präsentiert, bei dem die Auswertung sowie die Ergebnisdarstellung und -visualisierung erarbeitet wurden. Zunächst wird die allgemeine Auswertung dargestellt, gefolgt von Ausschnitten der deskriptiven Ergebnismatrix, der Detailansicht der Ergebnisse und der interaktiven Ergebnisdarstellung in den Frageblättern.

Die Ergebnisse des Bewertungsmodell wurden auf einer übersichtlich gestalteten Seite präsentiert, die ein Spinnendiagramm enthält, welches die Hauptkategorien der Untersuchung darstellt. Des Weiteren ist auf der Übersichtsseite ein deskriptiver Text verfügbar, der sowohl in einer allgemeinen Form als auch spezifisch für jede Kategorie angezeigt werden kann. Dieser Text aktualisiert sich automatisch basierend auf den neuesten Eingaben und spiegelt den Fortschrittsgrad wider. Eine exemplarische Auswertung und Übersichtsdarstellung sind in Abbildung 11 ersichtlich.





Allgemeines Reifegradlevel: 2,08

Status Quo: Bewusstsein für Kreislaufwirtschaft und erste Schritte, die jedoch oft fragmentiert bleiben. Es gibt Diskussionen über Kreislaufwirtschaftsprinzipien und die Durchführung erster Pilotprojekte.

Nächste Schritte: Ausweitung der Pilotprojekte und Integration kreislaufwirtschaftlicher Prinzipien in mehrere Unternehmensbereiche, um eine kohärentere Umsetzung zu erreichen.

### Abbildung 11 Übersicht und allgemeine Auswertung

Ein exemplarischer Auszug aus der entwickelten Matrix, welche die Basis für die deskriptiven Auswertungen ist, ist in der nachfolgenden Aufzählung anhand der Allgemeinen Textbausteine und der für die Kategorie Produktion zu sehen.

#### Allgemein

##### Linear:

- Status Quo: Vorherrschendes lineares "Take-Make-Dispose"-Modell ohne Engagement für Kreislaufwirtschaftsinitiativen. Es herrscht ein Fokus auf Kostenreduktion mit reaktiven Nachhaltigkeitsansätzen und einem minimalen Bewusstsein für Kreislaufwirtschaft.
- Nächste Schritte: Einführung grundlegender Recyclingpraktiken und Sensibilisierung für die Bedeutung der Abfallreduktion als erster Schritt zur Annäherung an kreislaufwirtschaftliche Konzepte. Identifikation der theoretischen Möglichkeiten in den einzelnen Bereichen mit dem größten Hebel für das Unternehmen.

##### Initiierung:

- Status Quo: Wachsendes Interesse an Kreislaufwirtschaftsprinzipien, jedoch ohne effektive Umsetzung. Die Bemühungen beschränken sich hauptsächlich auf die Einhaltung gesetzlicher Vorgaben.
- Nächste Schritte: Entwicklung von Pilotprojekten und Workshops zur Schulung der Mitarbeiter in den Grundlagen der Kreislaufwirtschaft, um das Verständnis und das Engagement zu vertiefen.

#### Sensibilisierung:

- Status Quo: Bewusstsein für Kreislaufwirtschaft und erste Schritte, die jedoch oft fragmentiert bleiben. Es gibt Diskussionen über Kreislaufwirtschaftsprinzipien und die Durchführung erster Pilotprojekte.
- Nächste Schritte: Ausweitung und Skalierung der Pilotprojekte und Integration kreislaufwirtschaftlicher Prinzipien in mehreren Unternehmensbereichen, um eine kohärentere Umsetzung zu erreichen.

#### Integration:

- Status Quo: Beginn Kreislaufwirtschaftsprinzipien gezielter umzusetzen und Sammeln erste Erfahrungen. Es gibt etablierte Praktiken, die jedoch nicht vollständig in die Unternehmensprozesse integriert sind.
- Nächste Schritte: Integration kreislaufwirtschaftlicher Praktiken in die Unternehmensprozesse und die Entwicklung von Geschäftsmodellen, die auf Kreislaufwirtschaft ausgerichtet sind.

#### Systematisierung:

- Status Quo: Systematische Ausweitung und Anwendung von Kreislaufwirtschaftsprinzipien innerhalb der Organisation. Die Praktiken sind verwaltet und standardisiert, und CE wird strategisch implementiert.
- Nächste Schritte: Formalisierung von CE-Strategien und Schaffung einer unternehmensweiten Kultur der Kreislaufwirtschaft, um die systematische Anwendung und Verbesserung der Prozessleistung weiter voranzutreiben.

#### Optimierung:

- Status Quo: Kreislaufwirtschaftspraktiken sind fest etabliert und werden kontinuierlich überwacht und optimiert. Unternehmen weiten Kreislaufwirtschaftsprinzipien auf externe Partnerschaften aus und integrieren CE in Innovationsprojekte.
- Nächste Schritte: Weitere Skalierung erfolgreicher Projekte und innovative Weiterentwicklung von kreislaufwirtschaftlichen Praktiken, um kontinuierliche Verbesserungen und einen breiteren Einfluss auf den Markt und die Gesellschaft zu erzielen.

#### **Produktion:**

Linear:

- Status Quo: Produktionsprozesse sind starr, und es gibt keine Optimierung hinsichtlich Energie- und Materialverbrauch. Keine systematischen Analysen zum Energieverbrauch; keine Strategien zur Reduzierung von fossilen Brennstoffen. Abfallrückgewinnungsprozesse weisen hohe Variabilität auf, und das Abfallmanagement ist ineffektiv.
- Nächste Schritte: Beginn der Durchführung einfacher Analysen zum Energieverbrauch und der Erkundung von Möglichkeiten zur effizienteren Materialnutzung. Aufnahme von bestehenden Leerlaufzeiten und Verschwendungsquellen.

#### Initiierung:

- Status Quo: Erste Analysen des Energieverbrauchs werden durchgeführt; beginnendes Bewusstsein für Energieeffizienz. Erste Schritte zur Erhöhung der Flexibilität in der Produktion. Leichte Verbesserungen im Abfallmanagement; erste Ansätze zur Standardisierung der Rückgewinnungsprozesse.
- Nächste Schritte: Intensivierung der Analysen zum Energieverbrauch und der Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz. Beginn der Optimierung von Produktionsprozessen zur Minimierung des Energie- und Materialverbrauchs, der Leerlaufzeiten und der Verschwendungen. Einführung von Sensoren zur besseren Überwachung und Steuerung der Produktion.

#### Sensibilisierung:

- Status Quo: Zunehmende Durchführung von Energieanalysen; erste Maßnahmen zur Energieeffizienz werden umgesetzt. Produktionsprozesse werden flexibler, Anpassungen an wechselnde Anforderungen werden effektiver. Verbesserungen in der Rückgewinnung von Materialien und Abfallmanagement; erste erkennbare Standardisierungen.
- Nächste Schritte: Systematisierung der Energieeffizienzmaßnahmen und weiterführende Optimierung der Produktionsprozesse. Fortführung der Standardisierung im Abfallmanagement und der Rückgewinnungsprozesse. Einsatz von digitalen Technologien zur Simulation und weiteren Optimierung der Produktionsprozesse.

#### Integration:

- Status Quo: Systematische Energieanalysen und Effizienzbewertungen sind implementiert; gezielte Effizienzmaßnahmen werden umgesetzt und dadurch Leerlaufzeiten reduziert. Gute Anpassungsfähigkeit in der Produktion; systematische Ansätze zur Steigerung der Flexibilität. Fortschritte in der Rückgewinnung und im Abfallmanagement; deutliche Effizienzsteigerungen.
- Nächste Schritte: Weiterführung der fortgeschrittenen Analysen zur Energieeffizienz. Intensivierung der Prozessoptimierungen zur weiteren Flexibilisierung der Produktion. Implementierung einer zentralen Plattform für das Energiemanagement.

#### Systematisierung:

- Status Quo: Umfassende Analysen zur Energieeffizienz sind etabliert; kontinuierliche Optimierung wird durchgeführt. Leerlaufzeiten werden laufend minimiert. Hohe Flexibilität in der Produktion ermöglicht schnelle Anpassung an Markt- und Umweltveränderungen. Fortgeschrittene Methoden in der Rückgewinnung und im Abfallmanagement minimieren die Variabilität und erhöhen die Effizienz.
- Nächste Schritte: Aufrechterhaltung der hohen Standards in der Energieeffizienz und fortlaufende Innovationen. Fortführung der kontinuierlichen Verbesserung in der Flexibilität und Anpassungsfähigkeit der Produktionsprozesse. Einsatz fortgeschrittener prädiktiver Wartungssysteme und Systeme zur Optimierung von Auslastungen.

#### Optimierung:

- Status Quo: Kontinuierlich optimierte Energieverwaltung mit laufenden Innovationen. Produktionsprozesse sind äußerst flexibel, adaptiv und Leerlaufzeiten und Verschwendungen sind quasi null; kontinuierliche Verbesserungen prägen den Betrieb. Maximal konsistente Rückgewinnungsprozesse durch innovative Technologien; Effektivität des Abfallmanagements ist hoch.
- Nächste Schritte: Maximierung der Energieeffizienz und der Produktionsflexibilität. Ständige Weiterentwicklung und Innovation im Bereich der Ressourcenrückgewinnung und des Abfallmanagements. Vertiefte Integration von fortschrittlichen Analysetools zur weiteren Optimierung und Personalisierung der Produktionsprozesse.

Die deskriptive Beschreibung für die einzelnen Kategorien finden sich ebenfalls auf der Übersichtsseite. Dort können durch interaktive zusätzliche Detailansichten der eingeblendet werden. Diese Ansichten, realisiert durch Balkendiagramme, zeigen den Fortschritt innerhalb der Subkategorien, die relativen quantitativen Daten sowie die deskriptive Ergebnisbeschreibung für die einzelnen Kategorien an. Eine beispielhafte Darstellung hiervon findet sich in Abbildung 12 für die Kategorie „Strategie & Management“.

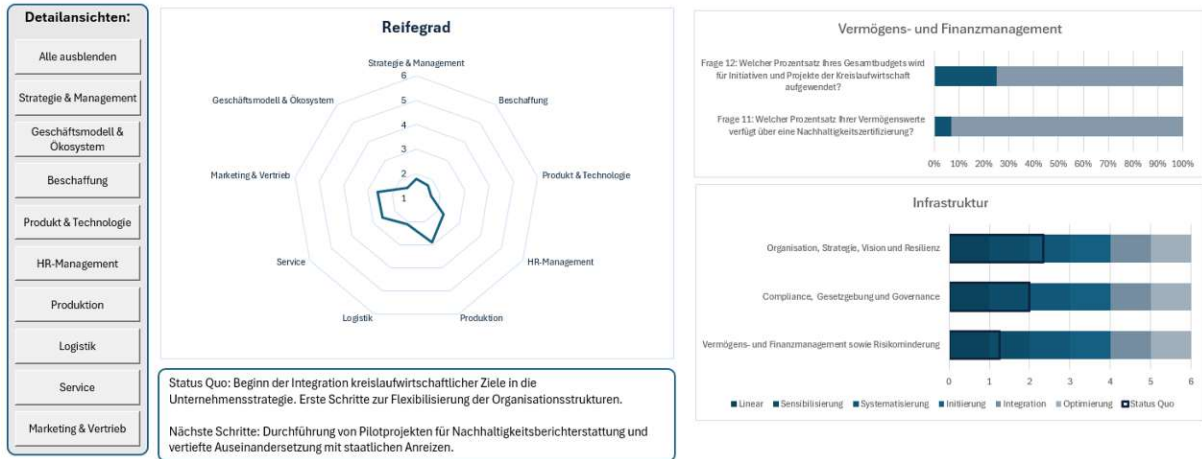


Abbildung 12 Exemplarische Auswertung der Kategorie Strategie & Management

Diese Visualisierung dient als zentraler Ausgangspunkt für die detailliertere Betrachtung des Fortschritts. Ähnliche Detailansichten der Subkategorien werden auch auf den einzelnen Frageblättern der Kategorien präsentiert. Diese Ansichten sind dynamisch und passen sich kontinuierlich an neue Daten an, um stets aktuelle Informationen bereitzustellen. Die konsistente Verwendung von automatisch aktualisierenden Visualisierungen über alle Ebenen des Bewertungsmodells hinweg gewährleistet eine kohärente und interaktive Erfahrung für den Nutzer. Eine exemplarische Darstellung der Kategorie Geschäftsmodell & Ökosystem findet sich in Abbildung 13.

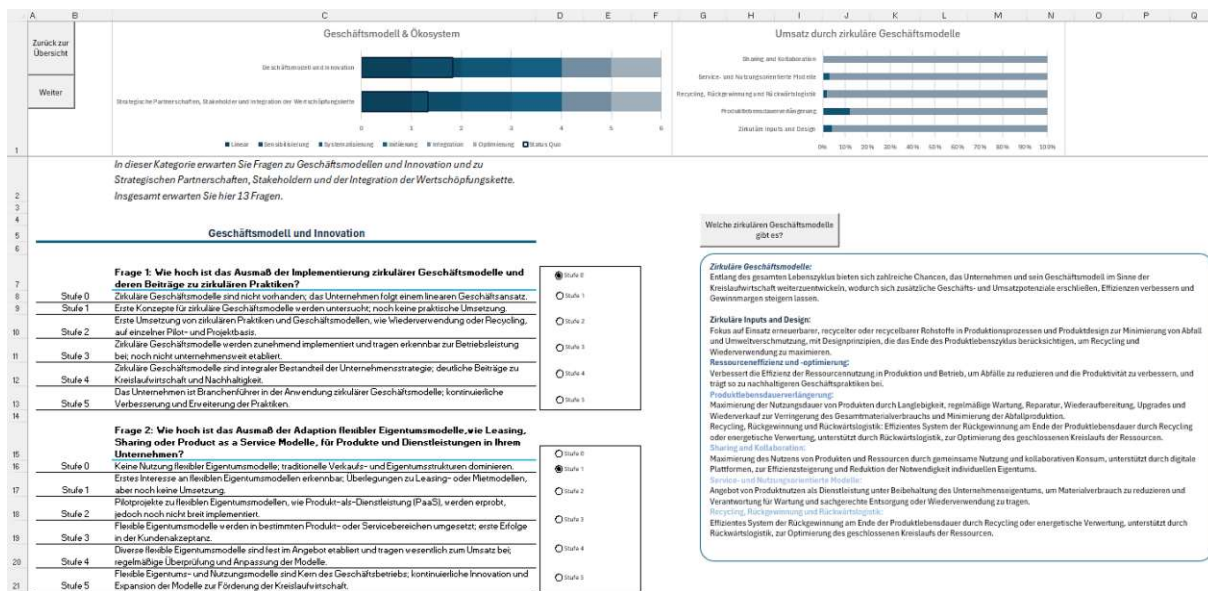


Abbildung 13 Exemplarische Darstellung der Kategorie Geschäftsmodell & Ökosystem

## 8. Diskussion und Ausblick

In diesem Abschnitt werden zunächst die Ergebnisse des Forschungsprojekts erörtert und mit der existierenden Literatur verglichen. Anschließend werden die im Entwicklungsprozess aufgetretenen Limitationen sowie die daraus resultierenden Perspektiven für zukünftige Forschungsarbeiten dargestellt. Dadurch wird zusätzlich der letzte Meilenstein der vorliegenden Arbeit, M7, erreicht.

### 8.1. Diskussion der Ergebnisse

Das Ziel der vorliegenden wissenschaftlichen Arbeit ist es, Unternehmen der produzierenden Industrie zu ermöglichen, ihren Fortschritt in Richtung Kreislaufwirtschaft systematisch und verständlich zu evaluieren. Hierfür wurden in Abschnitt 3.4 Forschungslücken identifiziert und in Abschnitt 4 ein Anforderungskatalog definiert. Inwiefern diese Lücken systematisch durch die vorliegende Arbeit gefüllt werden und in welchem Ausmaß die Anforderungen an das Artefakt im Entwicklungsprozess erfüllt wurden, wird im nachfolgenden Abschnitt sukzessive diskutiert.

#### *Methodik und Validierung*

In der Literatur wird sowohl in Publikationen, die eigene Bewertungsmodelle für die Kreislaufwirtschaft entwickeln, als auch in Analysen bestehender Modelle einheitlich vorgeschlagen, die Synthese bestehender Modelle voranzutreiben, um Synergieeffekte zu erzielen. Beispielsweise diskutieren Pigosso & McAloone (2021) die Kombination von dem von ihnen entwickelten Tool mit bestehenden, um potentielle Synergien auszunutzen. Valls-Val et al. (2022) diskutieren nach ihrer Analyse von zehn bestehenden Tools, dass eine mangelnde Harmonisierung der existierenden Modelle zu einer niedrigen Akzeptanz der Tools selbst und derer Ergebnisse führt. In der vorliegenden Arbeit wurden mitunter 19 Publikationen für Teile der Entwicklung herangezogen, in welchen entweder Bewertungsmodelle entwickelt oder bestehende analysiert wurden. Dadurch war es möglich, durch die Synthese bestehender Tools Synergieeffekte auszunutzen und die Vorteile der jeweiligen Tools zu nutzen. Zusätzlich war es dadurch möglich, die Diskrepanz zwischen Begrifflichkeiten wie Reifegrad, Bereitschaft und Zirkularität, welcher für Unternehmen eine zusätzliche Komplexität verursacht (Kreutzer, Borowski, et al., 2023), zu eliminieren und den Fortschritt von Unternehmen am Weg zur Kreislaufwirtschaft zu bewerten. Hierfür wurde ebenfalls für die Ergebnisdarstellung eine deskriptive Auswertung entwickelt, die eine Einordnung der Unternehmen ermöglicht, abseits der genannten Begrifflichkeiten und basierend auf quantitativen Werten.

Ein mangelnder Validierungsprozess ist bei einer Vielzahl der in der Literatur beschriebenen Modellen eine Limitation der Ergebnisse (Garza-Reyes et al., 2019;

Kayikci et al., 2022; Sacco et al., 2021). In der vorliegenden Arbeit wurde dieser Forschungslücke begegnet, indem eine umfassende Validierung mit sechs Expert:innen aus verschiedenen Sektoren, einschließlich Unternehmensberatung, Forschung und NGOs, durchgeführt wurde. Weiterhin erfolgte eine praktische Validierung des entwickelten Tools mit 4 Vertreter:innen von Unternehmen, um eine hohe Praxisrelevanz sicherzustellen.

### ***Datenverfügbarkeit und -qualität***

Das Ziel von Bewertungsmodellen für die Kreislaufwirtschaft besteht darin, die Transition zu einem nachhaltigen, zirkulären Wirtschaftssystem zu unterstützen und ganzheitlich abzudecken. Diese Modelle müssen die Synergien zwischen den einzelnen Komponenten wie Produktdesign, Geschäftsmodellen und Logistikprozessen durch robuste und umfassende Metriken abbilden (Saidani et al., 2019). In der vorliegenden Arbeit wurde ein rigoroser und umfassender Analyseprozess sowohl für die zu untersuchenden Unternehmensbereiche als auch für die zu messenden Metriken durchgeführt. Insgesamt wurden 670 Unternehmensbereiche und 1543 Messgrößen berücksichtigt und synthetisiert, um dieses Ziel zu erreichen.

Chripim et al. (2023) weisen darauf hin, dass bei bestehenden Modellen die Verfügbarkeit und Verlässlichkeit von Daten eine Herausforderung für Unternehmen darstellen. Um diese Barriere zu mildern, ermöglicht das entwickelte Modell eine umfassende Bewertung und Analyse des Ist-Zustandes primär durch qualitative Metriken, ergänzt durch deskriptive Beschreibungen jeder Antwortmöglichkeit. Dies soll es Unternehmen und ihren Vertreter:innen ermöglichen, eine möglichst verlässliche Einschätzung zum Fortschritt des Unternehmens zu erlangen. Auch Trollman et al. (2021) merken an, dass bei Unternehmen für die Aufnahme einiger Messgrößen die Datengrundlage fehlt, weshalb im vorliegenden Modell die Verfügbarkeit von Daten separat von den Daten selbst abgefragt und bewertet werden kann.

### ***Sektorspezifische und kulturelle Unterschiede***

Die Berücksichtigung von sektorspezifischen Anforderungen war in einer Vielzahl von Modellen eine Limitation in der Entwicklung (Chripim et al., 2023; Kreutzer, Borowski, et al., 2023). In der Entwicklung des vorliegenden Modells wurde daher besonderer Wert auf die Evaluierung dieser Anforderungen im Validierungsprozess gelegt. Trotz dieser Bemühungen zeigte sich auch in diesem Modell eine Einschränkung: Abseits des Validierungsprozesses sind keine branchenspezifischen Inhalte für Sektoren außerhalb der produzierenden Industrie (Manufacturing) verfügbar. Um diese Schwierigkeit zu mildern, wurde das Modell modular aufgebaut, sodass unternehmens- und branchenspezifische Anpassungen möglich sind.

Weiterhin wird in der Literatur darauf hingewiesen, dass sich bestehende Tools häufig auf technologische Aspekte wie Produktion oder Produktentwicklung konzentrieren (Bertassini et al., 2022). Das entwickelte Tool hingegen ermöglicht durch eine umfassende Auswahl an Metriken auch die Berücksichtigung unternehmenskultureller Aspekte.

### ***Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft***

Die Integration von Nachhaltigkeitsthemen wie Ökologie und Umweltschutz wird in der wissenschaftlichen Literatur kontrovers diskutiert. Einerseits wird die Verwendung uneinheitlicher Terminologien und der Mangel an klaren Definitionen als hinderlich für Forschungszwecke beschrieben (Kravchenko et al., 2019), andererseits wird das Fehlen dieser Themen in bestehenden Modellen als signifikante Lücke und Limitation hervorgehoben (Franco et al., 2021; Roos Lindgreen et al., 2020). In der vorliegenden Arbeit wurde ein Kompromiss angestrebt, indem für die systematische Literaturrecherche ausschließlich Publikationen berücksichtigt wurden, die sich direkt auf die Kreislaufwirtschaft beziehen. Zusätzlich wurden bei der Definition der Messgrößen kritische Erfolgsfaktoren einbezogen, die nicht nur auf die Kreislaufwirtschaft abzielen, sondern auch nachhaltige Unternehmensprozesse fördern.

### ***Regulatorische und institutionelle Rahmenbedingungen***

Die Einbeziehung von regulatorischen Vorgaben in bestehende Modelle zeigt eine signifikante Forschungslücke auf (Sacco et al., 2021; Urain et al., 2022). Gleichfalls werden institutionelle Strategien und Ansätze in aktuellen Modellen unzureichend berücksichtigt (Chrispim et al., 2023). In der vorliegenden Arbeit wurde daher besonderes Augenmerk auf die Integration der Strategien und Regularien auf der nationalen als auch auf der EU-Ebene gelegt. Speziell wurden die für die produzierende Industrie relevanten Richtlinien des Europäischen Green Deals (European Commission, 2019) sowie die österreichische Kreislaufwirtschaftsstrategie (BMK, 2022) einbezogen. Zusätzlich wurde darauf geachtet, diese Vorgaben und die daraus resultierenden Fragestellungen und Messkriterien ausführlich zu erläutern, um das Bewusstsein der Unternehmen in diesen Bereichen zu schärfen.

### ***Bewertungskriterien und Messmethoden***

Eine wesentliche Anforderung an Bewertungsmodelle ist der Einsatz geeigneter Key Performance Indicators (de Oliveira et al., 2021). In der Fachliteratur wird zudem die Einbeziehung von kritischen Erfolgsfaktoren empfohlen, um den Übergang zu einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft zielgerichtet und ganzheitlich zu erfassen (Franco et al., 2021). Weiterhin wird die Bedeutung der Integration sowohl qualitativer als auch quantitativer Metriken betont. Valls-Val et al. (2022) analysieren zehn existierende Tools und stellen fest, dass lediglich eines einen hybriden Ansatz verwendet, während



keines qualitative und quantitative Variablen zufriedenstellend abfragt. Im entwickelten Bewertungsmodell wurden daher sowohl quantitative als auch qualitative Metriken berücksichtigt. Diese wurden jedoch getrennt ausgewertet, da für die quantitativen Messgrößen die Datengrundlage für eine valide Bewertung fehlt.

### ***Werkzeugentwicklung und Anwendbarkeit***

Bei der Entwicklung von Bewertungsmodellen lag der Fokus besonders darauf, das übergeordnete Ziel der Förderung der Kreislaufwirtschaft zu unterstützen. Roos Lindgreen et al. (2020) betonen hierfür die Bedeutung von Anleitungen und Schulungsmaterialien, um sowohl das Verständnis während der Nutzung zu verbessern als auch einen langfristigen Lerneffekt zu fördern. In dieser Hinsicht wurden sowohl allgemeine als auch kategoriespezifische Einleitungen und Erklärungen formuliert, ergänzt durch Theorieblöcke, die die abgefragten Themen der Kreislaufwirtschaft verdeutlichen.

Die Benutzerfreundlichkeit von Bewertungsmodellen wird ebenfalls stark hervorgehoben, da die Akzeptanz solcher Modelle wesentlich von einer benutzerfreundlichen Oberfläche abhängt (Cagno et al., 2023; Parchomenko et al., 2019). Es wurde daher ein intuitiv nutzbares Tool entwickelt, das durch Buttons, standardisierte Inhalte und Illustrationen eine hohe Benutzerfreundlichkeit gewährleistet. Besonderes Augenmerk lag auch auf einer kompakten Ergebnisauswertung und leichten Verständlichkeit.

Die Anpassbarkeit und Flexibilität von Bewertungsmodellen wird ebenso betont, um die spezifischen Bedürfnisse von Unternehmen optimal zu erfüllen (Sacco et al., 2021). Um dieser Anforderung gerecht zu werden, wurde ein modulares Tool entwickelt, das sowohl in den Fragestellungen als auch in der Auswertung schnell und einfach angepasst werden kann.

### ***Wertschöpfungskette und Supply Chain Management***

Die ganzheitliche Erfassung des Fortschritts in der Kreislaufwirtschaft erfordert eine umfassende Darstellung der Wertschöpfungs- und Lieferketten produzierender Unternehmen (Kristensen & Mosgaard, 2020). Um dies zu gewährleisten, wurde Porters Wertschöpfungskettenmodell als Ausgangsbasis verwendet und iterativ erweitert, um die darin enthaltenen Aktivitäten durch kritisch zu erhebende Unternehmensbereiche und Subkategorien zu ergänzen. Aus einer ursprünglichen Analyse von 670 Bereichen wurde ein Modell entwickelt, das aus 17 Kategorien besteht. Dieses Modell bildet sowohl die Wertschöpfungskette als auch die Supply Chain ab und ermöglicht so eine präzise Erfassung und Analyse der kreislaufwirtschaftlichen Aktivitäten.

### **Strategie und Management:**

Die effektive Förderung der Kreislaufwirtschaft erfordert eine zielgerichtete Aufbereitung der relevanten Themen für das Management (Kayikci et al., 2022). Dies beinhaltet die Unterstützung bei Entscheidungsprozessen (Trollman et al., 2021) sowie die Operationalisierung der Thematik (Roos Lindgreen et al., 2020).

Für die Entscheidungsfindung wurde eine kompakte Ergebnisdarstellung entwickelt, die das Management durch klare, deskriptive Erläuterungen und definierte „nächste Schritte“ für jede Aktivität der Wertschöpfungskette unterstützt. Diese Elemente sind darauf ausgerichtet, fundierte Entscheidungen zu erleichtern, indem sie einen unmittelbaren Überblick über den aktuellen Zustand des Unternehmens bieten.

Zur Operationalisierung der Kreislaufwirtschaft im Unternehmensalltag wurden die Fragestellungen des Bewertungstools so gestaltet, dass sie nicht nur theoretische Konzepte abfragen, sondern auch praktische Beispiele und Antwortmöglichkeiten enthalten. Dadurch wird theoretisches Wissen in anwendbare Praxis übersetzt. Ergänzend dazu wurden für Schlüsselfragen erläuternde Theorieblöcke und Infografiken erstellt, die das Management bei der Umsetzung der Kreislaufwirtschaft effektiv unterstützen und das Verständnis vertiefen.

### **Nutzer- und Stakeholder-Perspektiven**

Ein zentrales Prinzip der Kreislaufwirtschaft ist die systemische Betrachtung des Wirtschaftens (Ghisellini et al., 2016). Dies unterstreicht die Notwendigkeit, sowohl die Stakeholder- als auch die Nutzungsperspektiven zu berücksichtigen. Thorley et al. (2021) betonen die Bedeutung der Einbeziehung dieser Perspektiven, während Chrispim et al. (2023) die oft mangelhafte Berücksichtigung der Meso- und Makroperspektive in bestehenden Modellen kritisieren.

Deshalb wurde im Entwicklungsprozess dieses Tools besonderer Wert auf die Integration dieser verschiedenen Perspektiven gelegt. Spezifische Subkategorien wie „Strategische Partnerschaften und Wertschöpfungskette“ sowie „Marktstrategie und Konsumenteneinblicke“ reflektieren die Ansichten der Stakeholder und Nutzer sowie die übergeordneten gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen.

Darüber hinaus wurde der Validierungsprozess des Tools iterativ gestaltet, um eine hohe Praxisrelevanz und einen partizipativen Entwicklungsansatz zu gewährleisten (Roos Lindgreen et al., 2020). Dies ermöglichte es, das Tool kontinuierlich anhand des eingehenden Feedbacks zu optimieren und so sicherzustellen, dass es die Bedürfnisse und Erwartungen der Nutzer effektiv erfüllt.

## 8.2. Limitationen und Potentiale für die Zukunft

Im Zuge der Entwicklung des vorliegenden Artefakts wurden mehrere Limitationen identifiziert, die Potentiale für zukünftige Forschungsvorhaben bieten. Diese werden nachfolgend, ähnlich den Forschungslücken und des Anforderungskatalogs, geclustert und zusammengefasst:

### ***Methodik und Validierung***

Obwohl das Tool ausgiebig und systematisch validiert wurde, gab es keine Möglichkeit, dessen langfristigen Erfolg zu testen. Um die Wirksamkeit des Tools zur Förderung der Kreislaufwirtschaft zu evaluieren, wäre es notwendig, mittels Case Studies Unternehmen langfristig zu begleiten und regelmäßig den Ist-Zustand zu erheben. Das Tool ermöglicht zwar theoretisch ein Benchmarking, jedoch fehlt hierfür aufgrund der kurzen Validierungszeiträume eine solide Datengrundlage.

### ***Sektorspezifische und kulturelle Unterschiede***

Innerhalb der vielfältigen Landschaft der produzierenden Industrie mangelt es an einem theoretischen Rahmen, um Unternehmen innerhalb dieser breiten Branchendefinition zu klassifizieren. Dies erschwert sektorspezifische Anpassungen abseits von praktischen Validierungen und einzelnen qualitativen Feedbackschleifen. Hier bietet sich die Möglichkeit, Unternehmen auf Basis existierender Klassifizierungen wie der NACE rev. 2 (European Commission, 2006) hinsichtlich ihrer spezifischen Eigen- und Besonderheiten in der Kreislaufwirtschaft beschrieben werden.

### ***Bewertungskriterien und Messmethoden***

In dieser Arbeit wurden qualitative und quantitative Metriken gesondert untersucht und die Kategorien einzeln ausgewertet, um eine objektive Bewertung zu gewährleisten. Die mangelnde Bewertbarkeit des Einflusses der einzelnen Kategorien und Metriken bietet jedoch Potentiale für zukünftige Forschung, um zu analysieren, wie stark verschiedene Aktivitäten den Erfolg der Kreislaufwirtschaft beeinflussen. Aktuell fehlt es an einer Datengrundlage für die Bewertung quantitativer Metriken und ein objektives Benchmarking, was zukünftige Forschungsvorhaben in Form von Studien adressieren könnten.

### ***Strategie und Management***

Obwohl das Modell bereits praxisnah entwickelt wurde, gibt es immer noch Potentiale für zusätzliche Forschung. Konkrete Handlungsempfehlungen, die auf erfolgreichen Praxisbeispielen basieren und für die jeweilige Zielgruppe relevant sind, könnten dazu beitragen, die Kreislaufwirtschaft für das Management und strategische Entwicklungen verständlicher zu machen.

## 9. Conclusio

Das Hauptziel dieser Forschungsarbeit war die Entwicklung eines Bewertungsmodells für die Kreislaufwirtschaft, das speziell auf die Anforderungen der produzierenden Industrie ausgerichtet ist. Initial wurde eine umfassende Analyse des aktuellen Forschungsstands zu bestehenden Bewertungsmodellen durchgeführt. Diese Analyse beantwortete die erste Unterforschungsfrage (SQ1) und half dabei, den Forschungsbedarf (M1) zu definieren sowie den Forschungsstand (M2) zu aktualisieren. Basierend darauf entstand ein Anforderungskatalog, der die zweite Unterforschungsfrage (SQ2) adressierte und den Rahmen für die Entwicklung des Bewertungsmodells setzte. Dem Anforderungskatalog entsprechend lag der Fokus der Modellentwicklung auf der Auswahl und Integration adäquater Leistungsindikatoren und Erfolgsfaktoren, einer rigorosen Werkzeugentwicklung und der Gewährleistung von Benutzerfreundlichkeit. Ebenfalls wurde die gesamte Wertschöpfungs- und Lieferkette berücksichtigt, um die praktische Anwendbarkeit des Modells für strategisches Management zu sichern und dabei Nutzer- und Stakeholder-Perspektiven einzubeziehen.

Im Rahmen einer systematischen Literaturrecherche und -analyse wurden sechs Reifegrade definiert, die von linear bis optimiert reichen. Diese Klassifizierung ermöglicht es, Unternehmen entsprechend ihres Fortschritts auf dem Weg zur Kreislaufwirtschaft einzustufen. Diese Einteilung beantwortete die dritte Unterforschungsfrage (SQ3) und schuf eine solide Basis für die anschließende Entwicklung des Bewertungsmodells. In einem nachfolgenden Schritt wurden die entscheidenden Unternehmensbereiche identifiziert, denen schließlich 101 aus einer anfänglichen Auswahl von 1543 möglichen Messgrößen zugewiesen wurden. Die Zuordnung dieser Messgrößen erfolgte mittels eines hybriden Ansatzes, der unsupervised- und supervised-Machine-Learning-Algorithmen integrierte. Dieser Prozess wurde durch eine manuelle und iterative Überprüfung und Anpassung der Ergebnisse ergänzt. Dieser methodische Ansatz lieferte die Antworten auf die vierte Unterforschungsfrage (SQ4) und führte zur Erfüllung des dritten Meilensteins (M3).

Das entwickelte Bewertungsmodell wurde gemäß den Prinzipien des Design Science zu einem ersten Proof of Concept weiterentwickelt und in einem benutzerfreundlichen Excel-Tool implementiert, was den vierten Meilenstein (M4) markierte. Dieses Tool unterzog sich einem dreistufigen Validierungs- und Optimierungsprozess mit Expert:innen und Unternehmensvertreter:innen, was zur Erreichung des fünften und sechsten Meilensteins (M5, M6) führte. Die gesamte Forschungsarbeit wurde detailliert dokumentiert, wobei die Ergebnisse und die Diskussionen der Limitationen den abschließenden Meilenstein (M7) bildeten. Diese Dokumentation stellt sicher, dass das Modell nicht nur theoretisch fundiert, sondern auch praktisch anwendbar ist und den Anforderungen der Zielindustrie entspricht.

## 10. Literaturverzeichnis

- Acerbi, F., Järnefelt, V., Martins, J. T., Saari, L., Valkokari, K., & Taisch, M. (2021). Developing a Qualitative Maturity Scale for Circularity in Manufacturing. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 632 IFIP, 377–385. Scopus. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-85906-0\\_42](https://doi.org/10.1007/978-3-030-85906-0_42)
- Aguiar, M. F., & Jugend, D. (2022a). Circular product design maturity matrix: A guideline to evaluate new product development in light of the circular economy transition. *Journal of Cleaner Production*, 365, 132732. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132732>
- Aguiar, M. F., & Jugend, D. (2022b). Circular product design maturity matrix: A guideline to evaluate new product development in light of the circular economy transition. *Journal of Cleaner Production*, 365, 132732. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132732>
- Ahlemann, F., Schröder, C., & Teuteberg, F. (2005). Kompetenz- und Reifegradmodelle für das Projektmanagement: Grundlagen, Vergleich und Einsatz.
- Aloini, D., Dulmin, R., Mininno, V., Stefanini, A., & Zerbino, P. (2020). Driving the Transition to a Circular Economic Model: A Systematic Review on Drivers and Critical Success Factors in Circular Economy. *Sustainability*, 12(24), Article 24. <https://doi.org/10.3390/su122410672>
- Antikainen, M., Uusitalo, T., & Kivikytö-Reponen, P. (2018). Digitalisation as an Enabler of Circular Economy. *Procedia CIRP*, 73, 45–49. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.04.027>
- Baratsas, S. G., Pistikopoulos, E. N., & Avraamidou, S. (2022). A quantitative and holistic circular economy assessment framework at the micro level. *Computers & Chemical Engineering*, 160, 107697. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2022.107697>
- Becker, J., Knackstedt, R., & Pöppelbuß, J. (2009). Entwicklung von Reifegradmodellen für das IT-Management. *WIRTSCHAFTSINFORMATIK*, 51(3), 249–260. <https://doi.org/10.1007/s11576-009-0167-9>
- Benz, L. A. (2022). Critical Success Factors for Circular Business Model Innovation from the Perspective of the Sustainable Development Goals. *Sustainability*, 14(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/su14105816>
- Berndorfer, J., Kurz, A., Pecksteiner, C., & Klinglmayr, J. (2022). Digitale Schlüsseltechnologien für eine kreislaufbasierte Produktion.
- Bertassini, A. C., Calache, L. D. D. R., Carpinetti, L. C. R., Ometto, A. R., & Gerolamo, M. C. (2022). CE-oriented culture readiness: An assessment approach based on maturity models and fuzzy set theories. *Sustainable Production and Consumption*, 31, 615–629. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.03.018>
- Blomsma, F., & Brennan, G. (2017). The Emergence of Circular Economy: A New Framing Around Prolonging Resource Productivity. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 603–614. <https://doi.org/10.1111/jiec.12603>
- Blomsma, F., Pieroni, M., Kravchenko, M., Pigosso, D. C. A., Hildenbrand, J., Kristinsdottir, A. R., Kristoffersen, E., Shahbazi, S., Nielsen, K. D., Jönbrink, A.-K., Li, J., Wiik, C., & McAloone, T. C. (2019). Developing a circular strategies framework for manufacturing companies to support circular economy-oriented innovation. *Journal of Cleaner Production*, 241, 118271. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118271>
- BMK, B. (Bundesministerium für K., Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie). (2022). Österreich auf dem Weg zu einer nachhaltigen und zirkulären Gesellschaft Die österreichische Kreislaufwirtschaftsstrategie.
- BMK, B. (Bundesministerium für K., Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie). (2024, März 19). EU-Taxonomie-Verordnung. EU-Taxonomie Verordnung. <https://www.bmk.gv.at/green-finance/finanzen/eu-strategie/eu-taxonomie-vo.html>
- Bocken, N. M. P., de Pauw, I., Bakker, C., & van der Grinten, B. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 33(5), Article 5. <https://doi.org/10.1080/21681015.2016.1172124>

- Brendzel-Skowera, K. (2021). Circular Economy Business Models in the SME Sector. *Sustainability*, 13(13), Article 13. <https://doi.org/10.3390/su13137059>
- Bressanelli, G., Perona, M., & Saccani, N. (2019). Challenges in supply chain redesign for the Circular Economy: A literature review and a multiple case study. *International Journal of Production Research*, 57(23), 7395–7422. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1542176>
- Bressanelli, G., Perona, M., & Saccani, N. (2021). Assessing the readiness of manufacturing companies for the Circular Economy: An analysis and an initial proposal. *Proceedings of the Summer School Francesco Turco*. Scopus.
- Cagno, E., Negri, M., Neri, A., & Giambone, M. (2023). One Framework to Rule Them All: An Integrated, Multi-level and Scalable Performance Measurement Framework of Sustainability, Circular Economy and Industrial Symbiosis. *Sustainable Production and Consumption*, 35, 55–71. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.10.016>
- Calisto Friant, M., Vermeulen, W. J. V., & Salomone, R. (2021). Analysing European Union circular economy policies: Words versus actions. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 337–353. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.11.001>
- Camacho-Otero, J., & Ordoñez, I. (2017, Juni 14). Circularity assessment in companies: Conceptual elements for developing assessment tools.
- Camón Luis, E., & Celma, D. (2020). Circular Economy. A Review and Bibliometric Analysis. *Sustainability*, 12(16), Article 16. <https://doi.org/10.3390/su12166381>
- Castro-Lopez, A., Iglesias, V., & Santos-Vijande, M. L. (2023). Organizational capabilities and institutional pressures in the adoption of circular economy. *Journal of Business Research*, 161, 113823. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2023.113823>
- Cayzer, S., Griffiths, P., & Beghetto, V. (2017). Design of indicators for measuring product performance in the circular economy. *International Journal of Sustainable Engineering*, 1–10. <https://doi.org/10.1080/19397038.2017.1333543>
- Chauhan, C., Parida, V., & Dhir, A. (2022). Linking circular economy and digitalisation technologies: A systematic literature review of past achievements and future promises. *Technological Forecasting and Social Change*, 177, 121508. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121508>
- Chrispim, M. C., Mattsson, M., & Ulvenblad, P. (2023). The underrepresented key elements of Circular Economy: A critical review of assessment tools and a guide for action. *Sustainable Production and Consumption*, 35, 539–558. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.11.019>
- Cloquell-Ballester, V.-A., Cloquell-Ballester, V.-A., Monterde-Díaz, R., & Santamarina-Siurana, M.-C. (2006). Indicators validation for the improvement of environmental and social impact quantitative assessment. *Environmental Impact Assessment Review*, 26(1), 79–105. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2005.06.002>
- Corona, B., Shen, L., Reike, D., Rosales Carreón, J., & Worrell, E. (2019). Towards sustainable development through the circular economy—A review and critical assessment on current circularity metrics. *Resources, Conservation and Recycling*, 151, 104498. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104498>
- Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). *Designing and conducting mixed methods research* (Third Edition). SAGE.
- de Almeida Santos, D., Luiz Gonçalves Quelhas, O., Francisco Simões Gomes, C., Perez Zotes, L., Luiz Braga França, S., Vinagre Pinto de Souza, G., Amarante de Araújo, R., & da Silva Carvalho Santos, S. (2020). Proposal for a Maturity Model in Sustainability in the Supply Chain. *Sustainability*, 12(22), Article 22. <https://doi.org/10.3390/su12229655>
- de Bruin, T., Rosemann, M., Freeze, R., & Kulkarni, U. (2005). Understanding the main phases of developing a maturity assessment model: 16th Australasian Conference on Information Systems, ACIS 2005. *ACIS 2005 Proceedings - 16th Australasian Conference on Information Systems*. <http://www.scopus.com/inward/record.url?scp=84869135773&partnerID=8YFLogxK>
- de Oliveira, C. T., Dantas, T. E. T., & Soares, S. R. (2021). Nano and micro level circular economy indicators: Assisting decision-makers in circularity assessments. *Sustainable Production and Consumption*, 26, 455–468. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.11.024>

- de Oliveira, C. T., & Oliveira, G. G. A. (2023). What Circular economy indicators really measure? An overview of circular economy principles and sustainable development goals. *Resources, Conservation and Recycling*, 190, 106850. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106850>
- De Pascale, A., Arbolino, R., Szopik-Depczyńska, K., Limosani, M., & Ioppolo, G. (2021). A systematic review for measuring circular economy: The 61 indicators. *Journal of Cleaner Production*, 281, 124942. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124942>
- de Souza, E. D., Kerber, J. C., Bouzon, M., & Rodriguez, C. M. T. (2022). Performance evaluation of green logistics: Paving the way towards circular economy. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 3, 100019. <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2021.100019>
- Demko-Rihter, J., Sassanelli, C., Pantelic, M., & Anisic, Z. (2023). A Framework to Assess Manufacturers' Circular Economy Readiness Level in Developing Countries: An Application Case in a Serbian Packaging Company. *Sustainability*, 15(8), Article 8. <https://doi.org/10.3390/su15086982>
- Deng, X., Li, Y., Weng, J., & Zhang, J. (2019). Feature selection for text classification: A review. *Multimedia Tools and Applications*, 78(3), 3797–3816. <https://doi.org/10.1007/s11042-018-6083-5>
- Diaz, A., Reyes, T., & Baumgartner, R. J. (2022). Implementing circular economy strategies during product development. *Resources, Conservation and Recycling*, 184. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106344>
- Drucker, P. F. (2005, Januar 1). *Managing Oneself*. Harvard Business Review. <https://hbr.org/2005/01/managing-oneself>
- Eisenreich, A., Füller, J., Stuchtey, M., & Gimenez-Jimenez, D. (2022). Toward a circular value chain: Impact of the circular economy on a company's value chain processes. *Journal of Cleaner Production*, 378, 134375. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134375>
- Elia, V., Gnoni, M. G., & Tornese, F. (2017). Measuring circular economy strategies through index methods: A critical analysis. *Journal of Cleaner Production*, 142, 2741–2751. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.196>
- Europäische Kommission. (2020). Verordnung—2020/852—DE - taxonomie verordnung—EUR-Lex. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2020/852/oj?locale=de>
- Europäische Kommission. (2021a). DELEGIERTE VERORDNUNG (EU) 2021/2178 DER KOMMISSION vom 6. Juli 2021 zur Ergänzung der Verordnung (EU) 2020/852 des Europäischen Parlaments und des Rates durch Festlegung des Inhalts und der Darstellung der Informationen, die von Unternehmen, die unter Artikel 19a oder Artikel 29a der Richtlinie 2013/34/EU fallen, in Bezug auf ökologisch nachhaltige Wirtschaftstätigkeiten offenzulegen sind, und durch Festlegung der Methode, anhand deren die Einhaltung dieser Offenlegungspflicht zu gewährleisten ist. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R2178>
- Europäische Kommission. (2021b). DELEGIERTE VERORDNUNG (EU) 2021/2178 DER KOMMISSION vom 6. Juli 2021 zur Ergänzung der Verordnung (EU) 2020/852 des Europäischen Parlaments und des Rates durch Festlegung des Inhalts und der Darstellung der Informationen, die von Unternehmen, die unter Artikel 19a oder Artikel 29a der Richtlinie 2013/34/EU fallen, in Bezug auf ökologisch nachhaltige Wirtschaftstätigkeiten offenzulegen sind, und durch Festlegung der Methode, anhand deren die Einhaltung dieser Offenlegungspflicht zu gewährleisten ist. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R2178>
- Europäische Kommission. (2022a). RICHTLINIE DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES zur Änderung der Richtlinien 2005/29/EG und 2011/83/EU hinsichtlich der Stärkung der Verbraucher für den ökologischen Wandel durch besseren Schutz gegen unlautere Praktiken und bessere Informationen. <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-7808-2022-INIT/de/pdf>
- Europäische Kommission. (2022b). Vorschlag zur Schaffung eines Rahmens für Ökodesign-Anforderungen für nachhaltige Produkte und zur Aufhebung der Ökodesign-Richtlinie.pdf.
- Europäische Kommission. (2023a). ANHANG der DELEGIERTEN VERORDNUNG (EU) .../... DER KOMMISSION zur Ergänzung der Verordnung (EU) 2020/852 des Europäischen Parlaments und des Rates durch Festlegung der technischen Bewertungskriterien, anhand deren bestimmt wird, unter welchen Bedingungen davon auszugehen ist, dass eine Wirtschaftstätigkeit einen wesentlichen Beitrag zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz von Wasser- und Meeresressourcen, zum Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft, zur Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung

oder zum Schutz und zur Wiederherstellung der Biodiversität und der Ökosysteme leistet, und anhand deren bestimmt wird, ob diese Wirtschaftstätigkeit erhebliche Beeinträchtigungen eines der übrigen Umweltziele vermeidet, und zur Änderung der Delegierten Verordnung (EU) 2021/2178 in Bezug auf besondere Offenlegungspflichten für diese Wirtschaftstätigkeiten. [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:41bc9b06-1515-11ee-806b-01aa75ed71a1.0012.02/DOC\\_3&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:41bc9b06-1515-11ee-806b-01aa75ed71a1.0012.02/DOC_3&format=PDF)

Europäische Kommission. (2023b, Juni 28). VERORDNUNG (EU) 2023/... DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom ... über Batterien und Altbatterien, zur Änderung der Richtlinie 2008/98/EG und der Verordnung (EU) 2019/1020 und zur Aufhebung der Richtlinie 2006/66/E. <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/PE-2-2023-INIT/de/pdf>

Europäische Kommission. (2023c, Dezember 18). VERORDNUNG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES über Verpackungen und Verpackungsabfälle, zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/1020 und der Richtlinie (EU) 2019/904 sowie zur Aufhebung der Richtlinie 94/62/EG. <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-16946-2023-INIT/de/pdf>

European Commission. (2006). REGULATION (EC) No 1893/2006 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL: establishing the statistical classification of economic activities NACE Revision 2 and amending Council Regulation (EEC) No 3037/90 as well as certain EC Regulations on specific statistical domains.

European Commission. (2018, April 27). DIRECTIVE (EU) 2018/... OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of ... amending Directive 2008/98/EC on waste. <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/PE-11-2018-INIT/en/pdf>

European Commission. (2019). Der europäische Grüne Deal.

European Commission. (2020a). A new Circular Economy Action Plan.

European Commission. (2020b). Ein neuer Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft.

European Commission. (2022). DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL amending Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control) and Council Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of wast. [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:6a2e6b16-b5a9-11ec-b6f4-01aa75ed71a1.0001.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:6a2e6b16-b5a9-11ec-b6f4-01aa75ed71a1.0001.02/DOC_1&format=PDF)

European Commission. (2023a). RICHTLINIE DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES über gemeinsame Vorschriften zur Förderung der Reparatur von Waren und zur Änderung der Verordnung (EU) 2017/2394 und der Richtlinien (EU) 2019/771 und (EU) 2020/1828. [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:cdbeaa83-c94e-11ed-a05c-01aa75ed71a1.0023.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:cdbeaa83-c94e-11ed-a05c-01aa75ed71a1.0023.02/DOC_1&format=PDF)

European Commission. (2023b, Dezember 7). REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on shipments of waste, amending Regulations (EU) No 1257/2013 and (EU) No 2020/1056 and repealing Regulation (EC) 1013/2006. <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-16528-2023-INIT/en/pdf>

European Commission. Joint Research Centre. (2023). Supply chain analysis and material demand forecast in strategic technologies and sectors in the EU: A foresight study. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2760/386650>

Eurostat. (2022). Circular economy monitoring framework. CIRCULAR ECONOMY Monitoring Framework. <https://ec.europa.eu/eurostat/cache/scoreboards/circular-economy/>

Fereday, J., & Muir-Cochrane, E. (2006). Demonstrating Rigor Using Thematic Analysis: A Hybrid Approach of Inductive and Deductive Coding and Theme Development. *International Journal of Qualitative Methods*, 5(1), 80–92. <https://doi.org/10.1177/160940690600500107>

Fernandez de Arroyabe, J. C., Arranz, N., Schumann, M., & Arroyabe, M. F. (2021). The development of CE business models in firms: The role of circular economy capabilities. *Technovation*, 106, 102292. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2021.102292>



- Franco, N. G., Almeida, M. F. L., & Calili, R. F. (2021). A strategic measurement framework to monitor and evaluate circularity performance in organizations from a transition perspective. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 1165–1182. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.02.017>
- Fraser, P., Moultrie, J., & Gregory, M. (2002). The use of maturity models/grids as a tool in assessing product development capability. *IEEE International Engineering Management Conference*, 1, 244–249 Bd.1. <https://doi.org/10.1109/IEMC.2002.1038431>
- Garcés-Ayerbe, C., Rivera-Torres, P., Suárez-Perales, I., & La Leyva-de Hiz, D. I. (2019). Is It Possible to Change from a Linear to a Circular Economy? An Overview of Opportunities and Barriers for European Small and Medium-Sized Enterprise Companies. *International journal of environmental research and public health*, 16(5). <https://doi.org/10.3390/ijerph16050851>
- Garcia-Saravia Ortiz-de-Montellano, C., & van der Meer, Y. (2022). A Theoretical Framework for Circular Processes and Circular Impacts Through a Comprehensive Review of Indicators. *Global Journal of Flexible Systems Management*, 23(2), 291–314. <https://doi.org/10.1007/s40171-022-00300-5>
- Garza-Reyes, J. A., Salomé Valls, A., Peter Nadeem, S., Anosike, A., & Kumar, V. (2019). A circularity measurement toolkit for manufacturing SMEs. *International Journal of Production Research*, 57(23), 7319–7343. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1559961>
- Geissdoerfer, M., Pieroni, M. P. P., Pigosso, D. C. A., & Soufani, K. (2020). Circular business models: A review. *Journal of Cleaner Production*, 277, 123741. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123741>
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757–768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
- Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11–32. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>
- Goyal, S., Garg, D., & Luthra, S. (2022). Analyzing critical success factors to adopt sustainable consumption and production linked with circular economy. *Environment, Development and Sustainability*, 24(4), 5195–5224. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01655-y>
- Grant, K. P., & Pennypacker, J. S. (2006). Project management maturity: An assessment of project management capabilities among and between selected industries. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 53(1), 59–68. <https://doi.org/10.1109/TEM.2005.861802>
- Groves, R. M. (Hrsg.). (2009). *Survey methodology* (2nd ed). Wiley.
- Guldmann, E., & Huulgaard, R. D. (2020). Barriers to circular business model innovation: A multiple-case study. *Journal of Cleaner Production*, 243, 118160. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118160>
- Hansen, E., Revellio, F., & Julia, S. (2020). *Circular Economy erfolgreich umsetzen: Die Rolle von Innovation, Qualitätsstandards & Digitalisierung*.
- Hevner, A. R., March, S. T., Park, J., & Ram, S. (2004). Design Science in Information Systems Research. *MIS Quarterly*, 28(1), 75–105. <https://doi.org/10.2307/25148625>
- Hina, M., Chauhan, C., Kaur, P., Kraus, S., & Dhir, A. (2022). Drivers and barriers of circular economy business models: Where we are now, and where we are heading. *Journal of Cleaner Production*, 333, 130049. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130049>
- Holly, F., Kolar, G., Berger, M., Fink, S., Ogonowski, P., & Schlund, S. (2023). Challenges on the way to a circular economy from the perspective of the Austrian manufacturing industry. *Frontiers in Sustainability*, 4. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frsus.2023.1243374>
- Holly, F., & Schild, C. (2024). *Concepts, Strategies and Business Models of the Circular Economy for the Manufacturing Industry: A Systematic Literature Review*.
- Holly, F., Schild, C., & Schlund, S. (2023). Development of an assessment model for measuring mechanical engineering companies' circularity and maturity levels [Preprint]. In Review. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3391466/v1>

- Homrich, A. S., Galvão, G., Abadia, L. G., & Carvalho, M. M. (2018). The circular economy umbrella: Trends and gaps on integrating pathways. *Journal of Cleaner Production*, 175, 525–543. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.064>
- HSSMI. (2023). Circular Economy Maturity Assessment. HSSMI. <https://www.hssmi.org/cema/>
- Jansen, D. (2023). Developing a Capability Model for Circular Economy Implementation. [https://pure.tue.nl/ws/portalfiles/portal/271733336/Master\\_Thesis\\_Daan\\_Jansen.pdf](https://pure.tue.nl/ws/portalfiles/portal/271733336/Master_Thesis_Daan_Jansen.pdf)
- Joachims, T. (1998). Text categorization with Support Vector Machines: Learning with many relevant features. In C. Nédellec & C. Rouveirol (Hrsg.), *Machine Learning: ECML-98* (Bd. 1398, S. 137–142). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/BFb0026683>
- Joshi, A., Kale, S., Chandel, S., & Pal, D. (2015). Likert Scale: Explored and Explained. *British Journal of Applied Science & Technology*, 7, 396–403. <https://doi.org/10.9734/BJAST/2015/14975>
- Julkovski, D. J., Sehnem, S., Ramos, M. D. C. P., & Jabbour, C. J. C. (2022). Circular business models and the environment: Maturity levels of the circular economy and innovation in greener craft breweries. *Business Strategy and the Environment*. Scopus. <https://doi.org/10.1002/bse.3311>
- Kayikci, Y., Kazancoglu, Y., Gozacan-Chase, N., Lafci, C., & Batista, L. (2022). Assessing smart circular supply chain readiness and maturity level of small and medium-sized enterprises. *Journal of Business Research*, 149, 375–392. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.05.042>
- Khan, S., Maqbool, A., Haleem, A., & Khan, M. I. (2020). Analyzing critical success factors for a successful transition towards circular economy through DANP approach. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 31(3), 505–529. <https://doi.org/10.1108/MEQ-09-2019-0191>
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221–232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
- Kirchherr, J., Yang, N.-H. N., Schulze-Spüntrup, F., Heerink, M. J., & Hartley, K. (2023). Conceptualizing the Circular Economy (Revisited): An Analysis of 221 Definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 194, 107001. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107001>
- Kitchenham BA & S. Charters. (2007). Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering (Bd. 2). [https://www.researchgate.net/profile/barbara-kitchenham/publication/302924724\\_guidelines\\_for\\_performing\\_systematic\\_literature\\_reviews\\_in\\_software\\_engineering](https://www.researchgate.net/profile/barbara-kitchenham/publication/302924724_guidelines_for_performing_systematic_literature_reviews_in_software_engineering)
- Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppälä, J. (2018). Circular Economy: The Concept and its Limitations. *Ecological Economics*, 143, 37–46. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041>
- Korne, T., Köhler, C., Ewald, P., & Freyler, D. (2022). Reifegradmodelle der ökologischen Nachhaltigkeit: Beurteilung der Eignung für fertigende KMU. *Zeitschrift Für Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 117(9), 537–542. <https://doi.org/10.1515/zwf-2022-1105>
- KPMG. (2023, April 17). Circular Economy—KPMG Austria. KPMG. <https://kpmg.com/at/de/home/insights/2021/04/circular-economy.html>
- Kramer, O. (2016). Scikit-Learn. In O. Kramer (Hrsg.), *Machine Learning for Evolution Strategies* (S. 45–53). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-33383-0\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-33383-0_5)
- Kravchenko, M., Pigosso, D. CA., & McAloone, T. C. (2019). Towards the ex-ante sustainability screening of circular economy initiatives in manufacturing companies: Consolidation of leading sustainability-related performance indicators. *Journal of Cleaner Production*, 241(118318). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118318>
- Kreutzer, D., Borowski, E., & Isenhardt, I. (2023). Review of circular economy maturity model indicators and metrics for manufacturing companies. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19132.21124>
- Kreutzer, D., Müller-Abdelrazeq, S., & Isenhardt, I. (2023). Circular Economy Maturity Models: A Systematic Literature Review. *International Journal of Economics and Management Engineering*, 17, 666–678.

- Kristensen, H. S., & Mosgaard, M. A. (2020). A review of micro level indicators for a circular economy – moving away from the three dimensions of sustainability? *Journal of Cleaner Production*, 243, 118531. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118531>
- Kristoffersen, E., Blomsma, F., Mikalef, P., & Li, J. (2020). The smart circular economy: A digital-enabled circular strategies framework for manufacturing companies. *Journal of Business Research*, 120, 241–261. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.07.044>
- Kumar, V., Sezersan, I., Garza-Reyes, J. A., Gonzalez, E. D. R. S., & AL-Shboul, M. A. (2019). Circular economy in the manufacturing sector: Benefits, opportunities and barriers. *Management Decision*, 57(4), 1067–1086. <https://doi.org/10.1108/MD-09-2018-1070>
- Kümmerer, K., Clark, J. H., & Zuin, V. G. (2020). Rethinking chemistry for a circular economy. *Science*, 367(6476), 369–370. <https://doi.org/10.1126/science.aba4979>
- Lacy, P., Long, J., & Spindler, W. (2020). *The Circular Economy Handbook: Realizing the Circular Advantage*. Palgrave Macmillan UK. <https://doi.org/10.1057/978-1-349-95968-6>
- Lieder, M., Asif, F. M. A., Rashid, A., Mihelič, A., & Kotnik, S. (2017). Towards circular economy implementation in manufacturing systems using a multi-method simulation approach to link design and business strategy. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 93(5), 1953–1970. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0610-9>
- Lieder, M., & Rashid, A. (2016). Towards circular economy implementation: A comprehensive review in context of manufacturing industry. *Journal of Cleaner Production*, 115, 36–51. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.042>
- Linder, M., Sarasini, S., & van Loon, P. (2017). A Metric for Quantifying Product-Level Circularity. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 545–558. <https://doi.org/10.1111/jiec.12552>
- Lüdeke-Freund, F., Gold, S., & Bocken, N. M. P. (2019). A Review and Typology of Circular Economy Business Model Patterns. *Journal of Industrial Ecology*, 23(1), 36–61. Scopus. <https://doi.org/10.1111/jiec.12763>
- Mettler, T., Rohner, P., & Winter, R. (2010). Towards a Classification of Maturity Models in Information Systems. In A. D'Atri, M. De Marco, A. M. Braccini, & F. Cabiddu (Hrsg.), *Management of the Interconnected World* (S. 333–340). Physica-Verlag HD. [https://doi.org/10.1007/978-3-7908-2404-9\\_39](https://doi.org/10.1007/978-3-7908-2404-9_39)
- Milios, L. (2018). Advancing to a Circular Economy: Three essential ingredients for a comprehensive policy mix. *Sustainability science*, 13(3), 861–878. <https://doi.org/10.1007/s11625-017-0502-9>
- Montag, L., Klünder, T., & Steven, M. (2021). Paving the Way for Circular Supply Chains: Conceptualization of a Circular Supply Chain Maturity Framework. *Frontiers in Sustainability*, 2. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frsus.2021.781978>
- Moosbrugger, H., & Kelava, A. (Hrsg.). (2020). *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-61532-4>
- Negri, M., Neri, A., Cagno, E., & Monfardini, G. (2021). Circular Economy Performance Measurement in Manufacturing Firms: A Systematic Literature Review with Insights for Small and Medium Enterprises and New Adopters. *Sustainability*, 13(16), Article 16. <https://doi.org/10.3390/su13169049>
- Nightingale, A. (2009). A guide to systematic literature reviews. *Surgery (Oxford)*, 27(9), 381–384. <https://doi.org/10.1016/j.mpsur.2009.07.005>
- Nika, C.-E., Expósito, A., Kisser, J., Bertino, G., Oral, H. V., Dehghanian, K., Vasilaki, V., Iacovidou, E., Fatone, F., Atanasova, N., & Katsou, E. (2021). Validating Circular Performance Indicators: The Interface between Circular Economy and Stakeholders. *Water*, 13(16), Article 16. <https://doi.org/10.3390/w13162198>
- Nowell, L. S., Norris, J. M., White, D. E., & Moules, N. J. (2017). Thematic Analysis: Striving to Meet the Trustworthiness Criteria. *International Journal of Qualitative Methods*, 16(1), 1609406917733847. <https://doi.org/10.1177/1609406917733847>
- Olatayo, K. I., Mativenga, P. T., & Marnewick, A. L. (2023). Plastic value chain and performance metric framework for optimal recycling. *Journal of Industrial Ecology*, 27(2), 601–623. Scopus. <https://doi.org/10.1111/jiec.13384>

- Opferkuch, K., Walker, A. M., Roos Lindgreen, E., Caeiro, S., Salomone, R., & Ramos, T. B. (2023). Towards a framework for corporate disclosure of circular economy: Company perspectives and recommendations. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 30(5), 2457–2474. <https://doi.org/10.1002/csr.2497>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., & Moher, D. (2021). Updating guidance for reporting systematic reviews: Development of the PRISMA 2020 statement. *Journal of Clinical Epidemiology*, 134, 103–112. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2021.02.003>
- Pagoropoulos, A., Pigosso, D. C. A., & McAlloone, T. C. (2017). The Emergent Role of Digital Technologies in the Circular Economy: A Review. *Procedia CIRP*, 64, 19–24. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.02.047>
- Papamichael, I., Voukkali, I., Loizia, P., Pappas, G., & Zorpas, A. A. (2023). Existing tools used in the framework of environmental performance. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 32, 101026. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2023.101026>
- Parchomenko, A., Nelen, D., Gillabel, J., & Rechberger, H. (2019). Measuring the circular economy—A Multiple Correspondence Analysis of 63 metrics. *Journal of Cleaner Production*, 210, 200–216. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.357>
- Parida, V., Burström, T., Visnjic, I., & Wincent, J. (2019). Orchestrating industrial ecosystem in circular economy: A two-stage transformation model for large manufacturing companies. *Journal of Business Research*, 101, 715–725. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.01.006>
- Paulk, M. C., Curtis, B., Chrissis, M. B., & Weber, C. V. (1993). *Capability Maturity Model for Software, Version 1.1: Defense Technical Information Center*. <https://doi.org/10.21236/ADA263403>
- Peppers, K., Tuunanen, T., Rothenberger, M., & Chatterjee, S. (2007). A design science research methodology for information systems research. *Journal of Management Information Systems*, 24, 45–77.
- Pieroni, M. P. P., McAlloone, T. C., Borgianni, Y., Maccioni, L., & Pigosso, D. C. A. (2021). An expert system for circular economy business modelling: Advising manufacturing companies in decoupling value creation from resource consumption. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 534–550. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.01.023>
- Pieroni, M. P. P., McAlloone, T. C., & Pigosso, D. C. A. (2021). Circular economy business model innovation: Sectorial patterns within manufacturing companies. *Journal of Cleaner Production*, 286, 124921. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124921>
- Pigosso, D. C. A., & McAlloone, T. C. (2021). Making the transition to a Circular Economy within manufacturing companies: The development and implementation of a self-assessment readiness tool. *Sustainable Production and Consumption*, 28, 346–358. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.05.011>
- Porter, M. E. (1985). *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. Free Press.
- Potting, J., Hekkert, M. P., Worrell, E., & Hanemaaijer, A. (2017). Circular Economy: Measuring Innovation in the Product Chain. *Planbureau Voor de Leefomgeving*, 2544. <https://dspace.library.uu.nl/handle/1874/358310>
- PricewaterhouseCoopers. (2023). Whitepaper: „From waste to wealth: embracing the circular economy“. PwC. <https://www.pwc.ch/en/insights/sustainability/embracing-the-circular-economy.html>
- Prieto-Sandoval, V., Ormazabal, M., Jaca, C., & Viles, E. (2018). Key elements in assessing circular economy implementation in small and medium-sized enterprises. *Business Strategy and the Environment*, 27(8), 1525–1534. <https://doi.org/10.1002/bse.2210>
- Probiez, B., Kozak, J., & Hrabia, A. (2022). Clustering of scientific articles using natural language processing. *Procedia Computer Science*, 207, 3449–3458. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.09.403>
- Proudfoot, K. (2023). Inductive/Deductive Hybrid Thematic Analysis in Mixed Methods Research. *Journal of Mixed Methods Research*, 17(3), 308–326. <https://doi.org/10.1177/15586898221126816>

- Rigamonti, L., & Mancini, E. (2021). Life cycle assessment and circularity indicators. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 26(10), 1937–1942. <https://doi.org/10.1007/s11367-021-01966-2>
- Rincón-Moreno, J., Ormazábal, M., Álvarez, M. J., & Jaca, C. (2021). Advancing circular economy performance indicators and their application in Spanish companies. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123605. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123605>
- Roos Lindgreen, E., Salomone, R., & Reyes, T. (2020). A Critical Review of Academic Approaches, Methods and Tools to Assess Circular Economy at the Micro Level. *Sustainability*, 12(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/su12124973>
- Rosa, P., Sassanelli, C., & Terzi, S. (2019). Towards Circular Business Models: A systematic literature review on classification frameworks and archetypes. *Journal of Cleaner Production*, 236, 117696. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117696>
- Ruiz-Pastor, L., Chulvi, V., Mulet, E., & Royo, M. (2022). A metric for evaluating novelty and circularity as a whole in conceptual design proposals. *Journal of Cleaner Production*, 337, 130495. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130495>
- Sacco, P., Vinante, C., Borgianni, Y., & Orzes, G. (2021). Circular Economy at the Firm Level: A New Tool for Assessing Maturity and Circularity. *Sustainability*, 13(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/su13095288>
- Saidani, M., Yannou, B., Leroy, Y., Cluzel, F., & Kendall, A. (2019). A taxonomy of circular economy indicators. *Journal of Cleaner Production*, 207, 542–559. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.014>
- Salvador, R., Barros, M. V., Luz, L. M. da, Piekarski, C. M., & de Francisco, A. C. (2020). Circular business models: Current aspects that influence implementation and unaddressed subjects. *Journal of Cleaner Production*, 250, 119555. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119555>
- Sassanelli, C., Rosa, P., Rocca, R., & Terzi, S. (2019). Circular economy performance assessment methods: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 229, 440–453. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.019>
- Sehnm, S., Campos, L. M. S., Julkovski, D. J., & Cazella, C. F. (2019). Circular business models: Level of maturity. *Management Decision*, 57(4), 1043–1066. <https://doi.org/10.1108/MD-07-2018-0844>
- Seles, B. M. R. P., Mascarenhas, J., Lopes de Sousa Jabbour, A. B., & Trevisan, A. H. (2022). Smoothing the circular economy transition: The role of resources and capabilities enablers. *Business Strategy and the Environment*, 31(4), 1814–1837. <https://doi.org/10.1002/bse.2985>
- Shafiabady, N., Lee, L. H., Rajkumar, R., Kallimani, V. P., Akram, N. A., & Isa, D. (2016). Using unsupervised clustering approach to train the Support Vector Machine for text classification. *Neurocomputing*, 211, 4–10. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2015.10.137>
- Shevchenko, T., Yannou, B., Saidani, M., Cluzel, F., Ranjbari, M., Esfandabadi, Z. S., Danko, Y., & Leroy, Y. (2022). Product-level circularity metrics based on the “Closing–Slowing Future–Past” quadrant model. *Sustainable Production and Consumption*, 34, 395–411. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.09.024>
- Stahel, W. (2010). *The performance economy* (2nd ed). Palgrave Macmillan.
- Stahel, W. R. (2016). The circular economy. *Nature*, 531(7595), Article 7595. <https://doi.org/10.1038/531435a>
- Steffen, W., Richardson, K., Rockstrom, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., Biggs, R., Carpenter, S. R., de Vries, W., de Wit, C. A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G. M., Persson, L. M., Ramanathan, V., Reyers, B., & Sorlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 1259855. <https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- Surdeanu, M., Turmo, J., & Ageo, A. (2005). A hybrid unsupervised approach for document clustering. *Proceedings of the eleventh ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery in data mining*, 685–690. <https://doi.org/10.1145/1081870.1081957>
- Taival. (2022, November 23). Reifegradmodell zur Kreislaufwirtschaft—Wie zirkulär ist ein Unternehmen? *Medium*. <https://medium.com/@Taival/reifegradmodell-zur-kreislaufwirtschaft-wie-zirkul%C3%A4r-ist-ein-unternehmen-20154c7cf450>

- Tan, J., Tan, F. J., & Ramakrishna, S. (2022). Transitioning to a Circular Economy: A Systematic Review of Its Drivers and Barriers. *Sustainability*, 14(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/su14031757>
- The Ellen MacArthur Foundation. (2015). Towards a circular economy: Business rationale for an accelerated transition. <https://ellenmacarthurfoundation.org/towards-a-circular-economy-business-rationale-for-an-accelerated-transition>
- The Ellen MacArthur Foundation. (2020). Circulytics—A world without measurement doesn't work. <https://ellenmacarthurfoundation.org/resources/circulytics/overview>
- Thorley, J., Garza-Reyes, J. A., & Anosike, A. (2021). Circular economy: A conceptual model to measure readiness for manufacturing SMEs. *Benchmarking: An International Journal*, 29(4), 1362–1390. <https://doi.org/10.1108/BIJ-03-2021-0161>
- Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. *British Journal of Management*, 14(3), 207–222. <https://doi.org/10.1111/1467-8551.00375>
- Trollman, H., Colwill, J., & Jagtap, S. (2021). A Circularity Indicator Tool for Measuring the Ecological Embeddedness of Manufacturing. *Sustainability*, 13(16), Article 16. <https://doi.org/10.3390/su13168773>
- Tseng, M.-L., Tran, T. P. T., Ha, H. M., Bui, T.-D., & Lim, M. K. (2021). Sustainable industrial and operation engineering trends and challenges Toward Industry 4.0: A data driven analysis. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 38(8), 581–598. <https://doi.org/10.1080/21681015.2021.1950227>
- Uhrenholt, J. N., Kristensen, J. H., Rincón, M. C., Adamsen, S., Jensen, S. F., & Waehrens, B. V. (2022). Maturity Model as a Driver for Circular Economy Transformation. *Sustainability*, 14(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/su14127483>
- Uhrenholt, J. N., Kristensen, J. H., Rincón, M. C., Jensen, S. F., & Waehrens, B. V. (2022). Circular economy: Factors affecting the financial performance of product take-back systems. *Journal of Cleaner Production*, 335, 130319. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130319>
- Ünal, E., & Shao, J. (2019). A taxonomy of circular economy implementation strategies for manufacturing firms: Analysis of 391 cradle-to-cradle products. *Journal of Cleaner Production*, 212, 754–765. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.291>
- Urain, I., Eguren, J. A., & Justel, D. (2022). Development and validation of a tool for the integration of the circular economy in industrial companies: Case study of 30 companies. *Journal of Cleaner Production*, 370, 133318. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133318>
- Urbinati, A., Franzò, S., & Chiaroni, D. (2021). Enablers and Barriers for Circular Business Models: An empirical analysis in the Italian automotive industry. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 551–566. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.01.022>
- Valls-Val, K., Ibáñez-Forés, V., & Bovea, M. D. (2022). How can organisations measure their level of circularity? A review of available tools. *Journal of Cleaner Production*, 354, 131679. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131679>
- Valls-Val, K., Ibáñez-Forés, V., & Bovea, M. D. (2023). Tools for assessing qualitatively the level of circularity of organisations: Applicability to different sectors. *Sustainable Production and Consumption*, 36, 513–525. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.01.023>
- Vásquez, J., Aguirre, S., Puertas, E., Bruno, G., Priarone, P. C., & Settineri, L. (2021). A sustainability maturity model for micro, small and medium-sized enterprises (MSMEs) based on a data analytics evaluation approach. *Journal of Cleaner Production*, 311, 127692. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127692>
- VDMA. (2023). Mehr Transparenz für die Kreislaufwirtschaft. <https://www.vdma.org/viewer/-/v2article/render/79844380>
- Vegter, D., van Hillegersberg, J., & Olthaar, M. (2023). Performance measurement system for circular supply chain management. *Sustainable Production and Consumption*, 36, 171–183. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.01.003>

- Vinante, C., Sacco, P., Orzes, G., & Borgianni, Y. (2021). Circular economy metrics: Literature review and company-level classification framework. *Journal of Cleaner Production*, 288, 125090. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125090>
- Watson, R. T., & Webster, J. (2020). Analysing the past to prepare for the future: Writing a literature review a roadmap for release 2.0. *Journal of Decision Systems*, 29(3), 129–147. <https://doi.org/10.1080/12460125.2020.1798591>
- Witkowsky, P., & Bingham, A. (2021). Deductive and inductive approaches.
- Wohlin, C. (2014). Guidelines for snowballing in systematic literature studies and a replication in software engineering. *ACM International Conference Proceeding Series*. Scopus. <https://doi.org/10.1145/2601248.2601268>

## 11. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 DSRM-Prozessmodell nach Peffers et al. (2007) .....	7
Abbildung 2 Aufbau der Arbeit auf Basis der DSRM .....	9
Abbildung 3 9R Framework adaptiert von Potting et al.....	21
Abbildung 4 Smarte Produkte und Möglichkeiten der Digitalisierung (selbst erstellte Grafik, adaptiert nach Hansen et al. (2020) und Berndorfer et al. (2022)).....	28
Abbildung 5 Zusammenfassung der SLR nach dem PRISMA-Rahmenwerk (Page et al., 2021).....	35
Abbildung 6 Vorgehensweise der Literaturanalyse und -synthese adaptiert nach Fereday & Muir-Cochrane (2006), Nowell et al. (2017) und Witkowsky & Bingham (2021).....	36
Abbildung 7 Zusammenfassung des Anforderungsprofils und Umsetzungsstrategien .....	45
Abbildung 8 "Wast ist Kreislaufwirtschaft?" auf Basis des theoretischen Rahmens ..	64
Abbildung 9 Ergebnis des Zielsystems nach der Expertenvalidierung .....	70
Abbildung 10 Ergebnis des Zielsystems nach der Unternehmensvalidierung .....	73
Abbildung 11 Übersicht und allgemeine Auswertung .....	82
Abbildung 12 Exemplarische Auswertung der Kategorie Strategie & Management ..	86
Abbildung 13 Exemplarische Darstellung der Kategorie Geschäftsmodell & Ökosystem .....	86



## 12. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Richtlinien der Design Science Research nach Hevner et al. (2004) - Anforderungen und Umsetzungen .....	6
Tabelle 2 Codierung der Literatur adaptiert nach Watson & Webster (2020) .....	38
Tabelle 3 Zusammenfassung der Reifegradebenen am Weg zur Kreislaufwirtschaft	49
Tabelle 4 Zusammenfassung der identifizierten kritischen Unternehmensbereiche ..	51
Tabelle 5 Zusammenfassung des halbautomatischen Klassifizierungsprozesses.....	54
Tabelle 6 Zusammenfassung der Messgrößen .....	58
Tabelle 7 Übersicht über die Fragestellungen .....	61
Tabelle 8 Zielsystem für die Bewertbarkeit des Bewertungsmodells .....	65
Tabelle 9 Übersicht über die Teilnehmer des Validierungsprozesses .....	67
Tabelle 10 Übersicht über die finalen Kategorien und Fragestellungen .....	75
Tabelle 11 Fragebogen des Bewertungsmodells.....	81

## 13. Abkürzungsverzeichnis

CE	Circular Economy
EoL	End of Life
CBM	Circular Business Model
MQ	Main Research Question
SQ	Subresearch Question
SOTA	State of the Art
KPI	Key Performance Indicator
M	Meilenstein
DS	Design Science
R	Richtlinie
DSRM	Design Science Research Methodology
A	Aktivitäten
Ü	Übergangsaktivität
EU	Europäische Union
CO2	Kohlenstoffdioxid
CapEx	Capital Expenditures
OpEx	Operational Expenditures
DT	Digitale Technologien
IoT	Internet of Things
NFC	Near Field Communication
RFID	Radio Frequency Identification
AR	Augmented Reality
VR	Virtual Reality
SLR	Systematische Literaturrecherche
CSF	Critical Success Factors
HC	Hauptcodes
NLP	Natural Language Processing
SVM	Support Vector Machine
E	Expert:innen
U	Unternehmensvertreter:innen

## 14. Anhang

### 14.1. Anhang 1: Analyse der Literatur zu Bewertungsmodellen für die Kreislaufwirtschaft

Publikation	Kurzbeschreibung	Forschungsstand / Anforderungen	Unternehmensbereiche	KPIs & Subbereiche	Reifegrade & Transformationsmechanismen
(Kayikci et al., 2022)	Bereitschafts- und Reifegradmodell für die Kreislaufwirtschaft und insbesondere für KMUs.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Umfassende Analyse von Reifegrad- und Bereitschaftsfaktoren und Berücksichtigung von Barrieren und Erfolgsfaktoren.</li> <li>Berücksichtigung von Auswirkungen auf das Management.</li> <li>Berücksichtigung der praktischen Anwendung und Einbringung von praktischen Beispielen.</li> <li>Breite Validierung in verschiedenen Unternehmen und Sektoren.</li> </ul>	Ökonomie, Ökologie, Soziales, Regulatorik, Prozesse, Produkt, Strategie & Technologie	63 Subdimensionen die mittels Statements abgefragt werden.	Messung in Bereitschaft (Readiness) und Reifegrad (Maturity) auf einer numerischen Skala von 0-4.
(Bertassini et al., 2022)	Entwicklung eines Erhebungsmodell für die kulturelle Bereitschaft für die Transformation hin zur Kreislaufwirtschaft.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ganzheitliches Rahmenwerk, das sowohl kulturelle als auch technologische Aspekte berücksichtigt.</li> <li>Ausbalanciertes Tool, das sowohl harte als auch weiche Faktoren berücksichtigt.</li> <li>Richtlinien und Hilfestellung bei der Implementierung von CE-Strategien.</li> <li>Berücksichtigung von sektorspezifischen Anforderungen.</li> <li>Möglichkeit des Performance-Vergleichs und der Visualisierung.</li> <li>Qualitative und Quantitative Datenintegration.</li> </ul>	Circular Values, Circular Mindset, Circular Behavior, Circular Competences, Circular Capabilities	75 Subbereiche die mittels eines Fragebogens bzw. Statements abgefragt werden.	6 Bereitschaftlevels: <ol style="list-style-type: none"> <li>Rudimentär</li> <li>Erste Phase</li> <li>Oppertunist</li> <li>Integriert</li> <li>Innovativ</li> <li>Führend</li> </ol>
(Chrispin et al., 2023)	Analyse von 38 Tools für die Analyse der Kreislaufwirtschaft und Entwicklung eines Leitfadens für die Verwendung dieser.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Berücksichtigung aller R-Strategien.</li> <li>Ganzheitliche Betrachtungsweise inklusive Produktebene und industriellen Symbiosen.</li> <li>Berücksichtigung von Stakeholdern.</li> <li>Priorisierung von Schlüsselindikatoren.</li> <li>Interpretation und Veranschaulichung der Ergebnisse.</li> <li>Praktische Validierung.</li> <li>Bestehende Tools kombinieren, um die Mängel auszubessern und Vorteile zu kombinieren.</li> <li>Fokus auf Datenverfügbarkeit und -verlässlichkeit.</li> <li>Berücksichtigung von sektorspezifischen Anforderungen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>R-Strategien</li> <li>GRI-Standards</li> <li>Lebenszyklusphasen</li> </ul>		

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bereitstellung einer Benutzeranleitung und Schulungsunterlagen, um die Durchführung zu erleichtern.</li> <li>• Berücksichtigung einer makro- und institutionellen Perspektive.</li> <li>• Minimierung der Subjektivität bei Bewertungen.</li> </ul>			
(Demko-Riher et al., 2023)	Rahmenwerk, um die Bereitschaft von Unternehmen vor allem auf Produktebene und auf Geschäftsmodellebene zu erheben.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entwicklung und Verwendung geeigneter KPIs für die Dimensionen und Subdimensionen</li> <li>• Berücksichtigung der Nutzerperspektive</li> <li>• Berücksichtigung und Integration der regulatorischen Rahmenwerke</li> <li>• Berücksichtigung der Makroauswirkungen</li> <li>• Integration der strategischen Ausrichtung von Unternehmen</li> <li>• Minimierung der Subjektivität</li> </ul>	Produkt: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Produkteigenschaften</li> <li>• Geschäftsmodell für den Konsum</li> <li>• Gesellschaft</li> <li>• Makroperspektive</li> <li>• Ökonomie und Ökologie</li> </ul> Geschäftsmodell: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Material-Input</li> <li>• Öko-Design</li> <li>• Produktion</li> <li>• Konsum</li> <li>• Abfallmanagement</li> </ul>	41 KPIs die in Interviews mit normativen Antworten abgefragt werden.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Completely unready</li> <li>2. Partly unready</li> <li>3. Neither unready, nor ready</li> <li>4. Partly ready</li> <li>5. Completely ready</li> </ol>
(Bressa nelli et al., 2021)	Entwicklung eines Bewertungsmodells für die Bereitschaft für die Kreislaufwirtschaft auf Basis vier bestehender Modelle.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ganzheitliche Erhebung eines gesamten Unternehmens und der zugehörigen Supply Chain.</li> <li>• Produktion von quantitativen und messbaren Ergebnissen.</li> <li>• Berücksichtigung von Enablern für die Kreislaufwirtschaft.</li> <li>• Beachtung einer einheitlichen Sprache.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produktdesign und -struktur</li> <li>• Produktionsprozesse</li> <li>• Geschäftsmodell</li> <li>• Supply Chain</li> <li>• Rückwärtslogistik, Rückgewinnung und EoL</li> <li>• Unternehmenskultur und Verhalten</li> </ul>	33 KPIs bei denen der Fortschritt abgefragt wird.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Low readiness</li> <li>2. Middle readiness</li> <li>3. High readiness</li> </ol>
(Sacco et al., 2021)	Entwicklung eines Bewertungsmodells (CM-Flat) für die Kreislaufwirtschaft bei dem der Reifegrad und die Zirkularität der zirkulären Wertschöpfungskette eines Unternehmens untersucht werden.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Berücksichtigung der Erwartungen der Unternehmen und möglicher Diskrepanzen zwischen Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft</li> <li>• Ressourceneffizientes Tool</li> <li>• Umfassende Abdeckung der Thematik mit begrenzten Fragen, um Effizienz und Effektivität zu maximieren</li> <li>• Wissenschaftliche Grundlage und Validierung für das Tool</li> <li>• Konformität mit auftretenden Gesetzen, Standards oder sonstigen Anforderungen</li> <li>• Flexibilität in der Benutzung und des Fokus</li> <li>• Integration mit bestehenden Erhebungstools</li> <li>• Anpassbarkeit an verschiedene Faktoren wie Branche, Unternehmensgröße oder Ausgangslage</li> <li>• Klare und wirksame Leistungsindikation und -kommunikation</li> <li>• Nutzung des Tools zur Datenerfassung und -analyse</li> </ul>	Strategie und Vision Geschäftsmodell Umweltmanagement Kooperationen & industrielle Symbiose Training Mitarbeiterzufriedenheit und -beteiligung Direktlogistik Rückwärtslogistik Ressourcenverbrauch Abfallmanagement Ressourcenrückgewinnung Marketing & Kommunikation Green Products Performance After-Sales-Services	73 quantitative und qualitative Metriken werden in 45 Fragen abgefragt.	0-100% für Reifegrad und Zirkularität.

(Pigosso & McAloon e, 2021)	Entwicklung eines Bereitschaftsmodell für die Kreislaufwirtschaft (MATChE).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Berücksichtigung des Zusammenhanges zwischen Bereitschaft und Umsetzung</li> <li>• Schaffen eines Verständnisses des Ergebnisses</li> <li>• Schaffung der Basis für die Transformation von Unternehmen</li> <li>• Datensammlung und -analyse für Dashboards, Benchmarks oder Studien</li> <li>• Berücksichtigung von quantifizierbaren Metriken und Indikatoren</li> <li>• Kombination von bestehenden Modellen, um Synergieeffekte zu schaffen</li> <li>• Inkludierung von Material- und Energieflüssen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Organisation</li> <li>• Strategie &amp; Geschäftsmodelle</li> <li>• Produkte &amp; Service</li> <li>• Produktion &amp; Wertschöpfungskette</li> <li>• Technologie &amp; Daten</li> <li>• Nutzung, Support &amp; Wartung</li> <li>• Rücknahme &amp; EoL-Strategien</li> <li>• Regulatorien &amp; Markt</li> </ul>	30 qualitative Abfragen zu den jeweiligen Unternehmensbereichen die mittels Likert-Skalen abgefragt werden.	Maximaler Score von 150, auf Basis dieses Scores und der Priorisierung von Unternehmensbereichen werden Verbesserungsbereiche und -potentiale aufgezeigt.
(Thorley et al., 2021)	Entwicklung eines konzeptuellen Bereitschaftsmodell für KMUs auf Basis bestehender Literatur. Kriterien für die Bereitschaft werden auf Basis von Barrieren gebildet. Ausgangsbasis sind Modelle zur Change-Readiness. Fragebogen wird auf drei Personalebene abgefragt und dafür leicht adaptiert: Leitung, Supervisors und Mitarbeiter.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erstellung eines ganzheitlichen und übersichtlichen Auswertungsprofils</li> <li>• Schaffung der Basis für die Transformation hin zur Kreislaufwirtschaft</li> <li>• Berücksichtigung von emotionalen und kognitiven Faktoren</li> <li>• Ermöglichung eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses</li> <li>• Operationalisierung durch einen Fragebogen</li> <li>• Berücksichtigung verschiedener Perspektiven und Interessen verschiedener Stakeholder</li> <li>• Empirische Validierung des Modells</li> <li>• Berücksichtigung des Einflusses von Kultur, Verhaltensweisen und Überzeugungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Individueller / Kollektiver Unterschied <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Diskrepanz</li> <li>◦ Angemessenheit</li> <li>◦ Persönliche Wertigkeit</li> <li>◦ Positive Emotionen über Veränderung</li> <li>◦ Veränderung Selbstwirksamkeit (Vertrauen)</li> <li>◦ Unterstützung</li> <li>◦ Bewusstheit</li> </ul> </li> <li>• Organisatorische Faktoren <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Kollektives Engagement</li> <li>◦ Kollektive Wirksamkeit</li> <li>◦ Kollektives Vertrauen</li> </ul> </li> <li>• Strukturelle und kontextuelle Faktoren <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Abstimmung von Wissen und Fertigkeiten</li> <li>◦ Unterstützendes Klima</li> <li>◦ Erleichterungen</li> </ul> </li> </ul>	67 Fragen bzw. Subbereiche die mittels einer Likert-Skala beantwortet werden.	Deskriptive Auswertung anhand einer Likert-Skala.
(Baratsas et al., 2022)	Entwicklung eines quantitativen Bewertungsmodells für die Erhebung der Kreislaufwirtschaft. Basis ist ein Indikatoren- und Metrikenset welches auf vier Sektoren abgestimmt wurde. Zusätzlich wurden fünf Hauptziele der Kreislaufwirtschaft definiert.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ganzheitliche Bewertung von Unternehmen auf Basis sektorspezifischer Eigenschaften</li> <li>• Quantitative Messung</li> <li>• Übergeordnete Metrik für die Zirkularität entwickeln</li> <li>• Ermöglichung eines Benchmarkings und kontinuierlichen Trackings</li> <li>• Basis für Entscheidungen auf operativem und strategischem Level</li> <li>• Visualisierung der Ergebnisse</li> <li>• Standardisierung der Messung</li> <li>• Berücksichtigung von nicht verfügbaren Daten</li> <li>• Ermöglichung von Analysen auf einer Meso- und Makroebene</li> <li>• Berücksichtigung des Zusammenhanges zur Nachhaltigkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduktion von Verschwendungen und Abfall <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Abfall</li> </ul> </li> <li>• Reduktion des Inputs und der Verwendung von natürlichen Ressourcen <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Wasser</li> <li>◦ Einkauf</li> </ul> </li> <li>• Erhöhung des Anteils von erneuerbarer Energie und Ressourcen <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Energie</li> </ul> </li> <li>• Reduktion von Emissionen <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Emissionen</li> <li>◦ Leckagen und Ausschüsse</li> </ul> </li> <li>• Erhöhung der Wertbeständigkeit von Produkten <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Wertbeständigkeit</li> </ul> </li> </ul>	Quantitative Indikatoren und Metriken auf Basis von GRI-Standards. 41 Indikatoren und 45 Metriken insgesamt, diese wurden je nach Branche verwendet.	Für jedes Ziel einen Wert zwischen 0 und 1 und einen übergeordneten circularity-index zwischen 0 und 1.

(Montag et al., 2021)	Entwicklung eines Reifegradmodells für die Transformation von Unternehmen und deren Supply Chain. Self-Assessment Tool auf Basis einer Matrix bei der die einzelnen Schritte selbst von 1-5 bewertet und priorisiert werden.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Berücksichtigung von potenziellen Erweiterungen</li> <li>Operationalisierung durch Quantifizierung der Messung und des Fortschrittes</li> <li>Messung auf Basis der unternehmensspezifischen Ziele</li> <li>Basis für die Entwicklung einer Roadmap für die Transformation</li> <li>Validierung in praxisnahem Kontext</li> <li>Berücksichtigung von Interdependenzen zwischen verschiedenen Unternehmensbereichen</li> <li>Berücksichtigung von Gewichtung von Unternehmensbereichen oder Aktivitäten</li> <li>Entwicklung von Handlungsempfehlungen für bestimmte Reifegradebenen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Organisation (strategisch) <ul style="list-style-type: none"> <li>Management</li> <li>Informationen und Technologie</li> </ul> </li> <li>Produkt (taktisch) <ul style="list-style-type: none"> <li>BoL</li> <li>MoL</li> <li>EoL</li> </ul> </li> <li>Prozesse (operativ) <ul style="list-style-type: none"> <li>Plan</li> <li>Quellen</li> <li>Produktion</li> <li>Lieferung</li> <li>Nutzung</li> <li>Rücknahme</li> <li>Wiedergewinnung</li> <li>Ermöglichen</li> </ul> </li> </ul>	n.a.	Die Hauptbereiche jeweils deskriptiv beschrieben in folgenden Schritten: <ol style="list-style-type: none"> <li>0. Linear</li> <li>1. Minimal</li> <li>2. Entwicklung</li> <li>3. Definiert</li> <li>4. Zirkulär</li> </ol>
(Valls-Val et al., 2022)	Analyse von 10 bestehenden Bewertungstools für die Kreislaufwirtschaft. Untersucht wurden allgemeine Merkmale, erforderliche Informationen sowie deren Ergebnisse.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fokus auf eine standardisierte und wissenschaftliche Evaluierung</li> <li>Erzeugung von transparenten und vergleichbaren Ergebnissen</li> <li>Berücksichtigung von qualitativen und quantitativen Aspekten</li> <li>Berücksichtigung von sektorspezifischen Anforderungen</li> <li>Entwicklung eines benutzerfreundlichen Tools, um den Einstieg in die Thematik zu erleichtern</li> <li>Inklusion aller Aspekte der Kreislaufwirtschaft</li> <li>Unterstützung für Entscheidungsfindung</li> <li>Synthese von bestehenden Modellen, um die Vorteile zu nutzen und die Nachteile zu verringern</li> <li>Praktische Validierung des Tools</li> </ul>	Sustainability: <ul style="list-style-type: none"> <li>Umwelt</li> <li>Gesellschaft</li> <li>Wirtschaft</li> <li>Zirkularität</li> </ul> Stakeholder: <ul style="list-style-type: none"> <li>Kunden</li> <li>Andere Organisationen</li> <li>Lieferanten</li> <li>Eigene Organisation</li> <li>Gesellschaft</li> <li>Öffentliche Organisationen und Finanzdienstleister</li> </ul> Anwendungsbereich: <ul style="list-style-type: none"> <li>Organisation</li> <li>Produkte / Services</li> </ul> Zirkuläre Strategien: <ul style="list-style-type: none"> <li>14 Strategien untersucht</li> </ul> Eurostat-Indikatoren <ul style="list-style-type: none"> <li>10 Indikatoren untersucht</li> </ul>	Analyse auf Berücksichtigung von 6 Subbereichen hinsichtlich Produkte und Services, 8 Subbereichen hinsichtlich der Unternehmen, 14 zirkuläre Strategien und 10 Eurostat-Indikatoren.	6/10 Tools verwenden ein prozentuelles Ergebnis zwischen 0% und 100%. Die anderen hinsichtlich verwenden Skalen von 1-5 und ein Modell 1-7.
(Roos Lindgreen et al., 2020)	Entwicklung eines Bewertungsrahmen für Bewertungsansätze für die Kreislaufwirtschaft. Mit diesem werden 74 Ansätze allgemein, deskriptiv, normativ und präskriptiv analysiert. Gibt Empfehlungen für die Entwicklung neuer Modelle aus.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Beachtung einer methodischen Kohärenz und Verwendung bestehender Methodiken zur Maximierung der Transparenz und Vergleichbarkeit</li> <li>Inklusion aller Dimension der Nachhaltigkeit, um sicherzustellen, dass die Förderung der Kreislaufwirtschaft gleichzeitig eine nachhaltige Entwicklung fördert</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ökologie</li> <li>Ökonomie</li> <li>Soziales</li> <li>Zirkularität</li> </ul>	n.a.	n.a.

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Partizipativer Ansatz bei der Entwicklung, um Benutzerfreundlichkeit und Praxisrelevanz sicherzustellen</li> <li>• Berücksichtigung verschiedener Perspektiven bei der Forschung, um die praktische Umsetzung zu fördern</li> <li>• Entscheidung zwischen sektorspezifischen Anforderungen oder einem generischen Modell</li> <li>• Abdeckung der Komplexität einer Wertschöpfungskette</li> <li>• Praxisnahe Validierung des Modells</li> <li>• Bereitstellung von Anleitungen und inhaltlichen Erklärungen zur Operationalisierung des Modells und des Themas</li> <li>• Berücksichtigung der Ergebnisdarstellung während des Designs</li> </ul>			
(Negri et al., 2021)	Systematische Literaturrecherche zur Performance Messung hinsichtlich der Kreislaufwirtschaft in produzierenden Unternehmen.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Berücksichtigung aller Dimensionen der Nachhaltigkeit</li> <li>• Ganzheitliche Herangehensweise und Berücksichtigung der Meso-Perspektive</li> <li>• Skalierbarkeit des Modells auf verschiedene Notwendigkeiten der Unternehmen</li> <li>•</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ökologie</li> <li>• Ökonomie</li> <li>• Soziales</li> <li>• Transformationsphasen von Unternehmen</li> <li>• Ressourceneffizienz</li> <li>• Stakeholder</li> <li>• Innovation</li> </ul>	n.a.	n.a.
(Franco et al., 2021)	Bewertungsmodell auf Basis der 9R-Strategien. Quantitatives Modell, erfragt Indikatoren den R-Strategien zugeordnet.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Integration der Kreislaufwirtschaft und den drei Säulen der Nachhaltigkeit</li> <li>• Berücksichtigung der Meso- und Makroebene</li> <li>• Theoretische und empirische Fundierung des Tools</li> <li>• Skalierbarkeit und Flexibilität, um auf die Notwendigkeiten der User und deren Reifegrad einzugehen</li> <li>• Inklusion der Möglichkeit zum internen und externen Benchmarking</li> <li>• Vermeidung von Redundanzen bei abgefragten Indikatoren und Metriken</li> <li>• Berücksichtigung von R-Strategien</li> <li>• Berücksichtigung von Umsetzungsmöglichkeiten von R-Strategien</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>0. Refuse</li> <li>1. Rethink</li> <li>2. Reduce</li> <li>3. Reuse</li> <li>4. Repair</li> <li>5. Refurbish</li> <li>6. Remanufacture</li> <li>7. Repurpose</li> <li>8. Recycle</li> <li>9. Recovery</li> </ol>	58 quantitative Metriken die den R-Strategien zugeordnet werden.	Werte zwischen 0 und 1 für jede R-Strategie welche im Anschluss zusätzlich zu einem Indikator zusammengefasst wird.
(Valls-Val et al., 2023)	Analyse von 7 qualitativen Bewertungsmodellen für die Kreislaufwirtschaft und Untersuchung derer Anwendbarkeit für verschiedene Branchen.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Standardisierung und Maximierung der Vergleichbarkeit</li> <li>• Synthese von bestehenden Tools, um Synergieeffekte zu nutzen</li> <li>• Berücksichtigung von sektorspezifischen Besonderheiten</li> <li>• Ausbalancierung des Detailgrades</li> <li>• Intuitives und benutzerfreundliches Tool</li> </ul>	n.a.	n.a.	n.a.

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sofortiger Output und Ergebnisse, die direkt Verbesserungspotentiale aufzeigen</li> <li>• Validierung durch langfristige Case Studies</li> <li>• Untersuchung der Implementierung bei Unternehmen</li> </ul>			
(Saidani et al., 2019)	Erstellung einer Taxonomie für Kreislaufwirtschaftsindikatoren und -bewertungsmodelle. Zusätzliche Entwicklung eines Tools, das ein Filtern nach bestimmten Anwendungszwecken ermöglicht. Insgesamt wurden 55 CE-Indikatoren berücksichtigt.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verwendung von objektiven und robusten Metriken für die Messung</li> <li>• Anpassung an sektorspezifische Anforderungen</li> <li>• Maximierung der Transparenz und Vertrauenswürdigkeit des Tools</li> <li>• Adaptierung an bestehende Legislative, Empfehlungen sonstige Vorgaben von öffentlichen Institutionen</li> <li>• Berücksichtigung von bestehenden Modellen für die Kreislaufwirtschaft</li> <li>• Fokus auf Standardisierung und Vergleichbarkeit des Tools</li> <li>• Implementierung von Benchmarking und Best Practice Beispielen</li> <li>• Berücksichtigung aller drei Säulen der Nachhaltigkeit.</li> </ul>	n.a.	n.a.	n.a.
(Cagno et al., 2023)	Entwicklung eines Rahmenwerks zur Messung des Fortschrittes der Kreislaufwirtschaft. Messung auf drei Ebenen mittels Indikatoren: Unternehmen, Supply Chain, Region. Zusätzlicher Fokus und Berücksichtigung von industrieller Symbiose und Entwicklung eines Kernrahmenwerks.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Berücksichtigung von verschiedenen Paradigmen und Ebenen der Kreislaufwirtschaft</li> <li>• Schaffung eines verständlichen und einfach bedienbaren Tools</li> <li>• Berücksichtigung von Faktoren außerhalb der Unternehmensgrenzen</li> <li>• Schaffung eines Verständnisses darüber, warum es wichtig ist die Performance hinsichtlich der Kreislaufwirtschaft zu messen</li> <li>• Berücksichtigung von sektorspezifischen Anforderungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unternehmen: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Produkt und Produktion</li> <li>○ Material</li> <li>○ Abfall</li> <li>○ Energie</li> <li>○ Wasser</li> <li>○ Emissionen</li> <li>○ Mitarbeiter</li> <li>○ Gesundheit und Sicherheit</li> <li>○ Andere Investitionen</li> <li>○ Kosten</li> </ul> </li> <li>• Supply Chain: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Management</li> <li>○ Vorlaufzeit</li> <li>○ Material</li> <li>○ Abfall</li> <li>○ Energie</li> <li>○ Emissionen</li> <li>○ Kunden</li> <li>○ Stakeholder</li> <li>○ Kosten</li> </ul> </li> <li>• Region: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Management</li> <li>○ Material</li> <li>○ Abfall</li> <li>○ Energie</li> </ul> </li> </ul>	91 Indikatoren abgefragt. Sowohl quantitativ als auch qualitativ.	Keine Ergebnispräsentation oder Empfehlungen auf Basis des Ergebnisses.



			<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Wasser</li> <li>○ Gemeinschaft</li> <li>○ Stakeholder</li> <li>○ Kosten</li> <li>○ Einkommen</li> </ul>		
(Camacho-Otero & Ordoñez, 2017)	Analyse von vier bestehenden Bewertungsmodellen und Analyse von Zielen, Prinzipien, Skalen und Kriterien. Auf Basis davon wurde eine Scorecard für Bewertungsmodelle entwickelt.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definition von verwendeten Konzepten wie Bewertungen, Metriken, Indikatoren, etc.</li> <li>• Definition des verwendeten Untersuchungsbereichs</li> <li>• Integration von bestehenden Tools, um Synergieeffekte zu nutzen</li> <li>• Berücksichtigung von sektorspezifischen Anforderungen</li> <li>• Bewertung von verschiedenen Unternehmen, um die Komplexität der Kreislaufwirtschaft abzubilden (Nano; Mikro; Meso)</li> <li>• Berücksichtigung der relevanten Stakeholder und deren Interessen</li> <li>• Verbindung zwischen Forschung und Praxis finden</li> <li>• Berücksichtigung von interdisziplinären Interdependenzen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prozess: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Effiziente Nutzung</li> <li>○ Energieverbrauch</li> <li>○ Materialintensität</li> <li>○ Erneuerbarkeit</li> <li>○ Reparatur</li> <li>○ Smartness</li> <li>○ Abfallproduktion</li> <li>○ Abfallreduktion</li> </ul> </li> <li>• Produkt: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Gefährdung</li> <li>○ Bedarf an zukünftigem Material</li> <li>○ Rohstoffe</li> <li>○ Recycling</li> <li>○ Refurbishing</li> <li>○ Remanufacturing</li> <li>○ Reusability</li> <li>○ Nutzungsintensität</li> </ul> </li> <li>• Anderes <ul style="list-style-type: none"> <li>○ CBMs</li> <li>○ Werterhalt</li> <li>○ Kosten</li> <li>○ Zirkuläre Materialien</li> </ul> </li> </ul>	Zusätzliche Identifikation von 21 Kriterien, welche mit quantitativen Fragen abgefragt werden. Diese werden auf Ebene des Produktes, des Geschäftsmodells, der Prozesse oder des Systems betrachtet.	n.a.
(Cayzer et al., 2017)	Untersuchung der Möglichkeiten der CE-Performance von Produkten. Zusätzlich wurde untersucht, welche und wie Variablen abgefragt werden sollen. Auf Basis dessen wurde ein Prototyp eines Fragebogens zur Erhebung der Performance von Produkten entwickelt.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Berücksichtigung von branchenspezifischen Anforderungen</li> <li>• Erstellung von transparenten und vergleichbaren Ergebnissen</li> <li>• Inklusion von systemischen Bedenken die sozialen und verhaltenstechnischen Aspekte berücksichtigen</li> <li>• Balance zwischen Komplexität und Einfachheit der Erhebung</li> <li>• Förderung von Entscheidungsfindung</li> <li>• Berücksichtigung der Interessen von Stakeholdern</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Design / Redesign <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Materialauswahl</li> <li>○ Materialidentifikation</li> </ul> </li> <li>• Produktion <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Energieidentifikation</li> <li>○ Abfallmanagement</li> </ul> </li> <li>• Kommerzialisierung <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Verpackung</li> <li>○ Lebensdauerverlängerung</li> <li>○ Zugang zum Produkt</li> </ul> </li> <li>• Nutzung <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Lebensdauerverlängerung</li> <li>○ Abfallreduktion</li> </ul> </li> <li>• Ende der Nutzungsphase <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Rückgewinnung</li> </ul> </li> </ul>	Insgesamt 15 Variablen die mittels Fragen abgefragt werden. Nur qualitative Fragen.	Auswertung und Prozent von 0% bis 100%, Darstellung im Spinnendiagramm und Ranking in Poor, Fair, Good und Very Good. Unterteilung in Gesamtscore und in Produktphasen.
(Garza-Reyes et al., 2019)	Entwicklung eines Tools für die Messung der Zirkularität von produzierenden KMUs. Entwicklung auf Basis einer	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Berücksichtigung des vollen Spektrums der Kreislaufwirtschaft und kein Fokus auf einzelne Schritte</li> <li>• Erzeugung eines Leitfadens für die notwendigen zukünftigen Schritte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interne Praktiken</li> <li>• Internes Bewusstsein</li> <li>• Externes Bewusstsein</li> <li>• Unterstützung durch Wertschöpfungskette</li> <li>• Externe Praktiken</li> </ul>	Abfrage von 138 Faktoren mittels Ja / Nein Fragen. Weitere	Unterteilung in 9 Level je nach erreichter Punktzahl in bestimmten Bereichen. Nicht für jedes Level

	systematischen Literaturrecherche.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definition von verschiedenen Leveln, um den Ist-Stand sinnvoll darzustellen</li> <li>• Vermeidung von Fehlern, Bias und Redundanzen durch klare Definitionen</li> <li>• Robuster Verifizierungs- und Validierungsprozess</li> <li>• Berücksichtigung der Kundenperspektive und der Nutzungsphase</li> <li>• Ermöglichung einer Datenanalyse für Entscheidungsprozesse</li> <li>• Interkonnektivität der Wertschöpfungskette</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grüne Marktentwicklungen</li> <li>• Forschung und Entwicklung</li> <li>• Gesetzgebung und Politik</li> </ul>	Unterteilung in 33 Subbereiche. Punkte je nach Ja / Nein Verteilung – für Antworten die einen Fortschritt andeuten gibt es einen Punkt.	wird jeder Bereich berücksichtigt. <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Circular Developer</li> <li>2. Circular Promoter</li> <li>3. Circular</li> <li>4. Waved</li> <li>5. Curved</li> <li>6. Saw Tooth</li> <li>7. V-Shape Up</li> <li>8. V-Shape Down</li> <li>9. Linear</li> </ol> Beschreibung und Charakteristika zu jedem Level verfügbar.
(The Ellen MacArthur Foundation, 2020)	Reifegradmodell entwickelt von der Ellen MacArthur Foundation gemeinsam mit strategischen Partnern und Unternehmen.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transparenz in Ergebnisproduktion und -darstellung</li> <li>• Adaptierbarkeit auf sich ändernde Regulatorik (Grund für die Einstellung des Tools)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Strategie und Planung</li> <li>• Innovation</li> <li>• Personen und Fähigkeiten</li> <li>• Produktion</li> <li>• Externes Engagement</li> <li>• Produkte und Materialien</li> <li>• Services</li> <li>• Produktionsstätte, Eigentum und Anlagen</li> <li>• Wasser</li> <li>• Energie</li> <li>• Finanzen</li> </ul>	46 KPIs die qualitativ und quantitativ abgefragt werden. Werden je nach Branche abgefragt.	Reifegrade von A-E
(Urain et al., 2022)	Entwicklung eines Fragebogens zur Selbsterhebung des Ist-Standes der Kreislaufwirtschaft. Entwicklung des Fragebogens auf Basis von industriellen Standards und akademischer Literatur, insgesamt wurden so 165 Fragen zusammengetragen.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Möglichkeit für kontinuierliche Adaptierung, Aktualisierung und Verbesserung</li> <li>• Berücksichtigung von Management Systemen</li> <li>• Rücksicht auf Benutzerfreundlichkeit</li> <li>• Umfassendes Fragewerk, um die Komplexität der Kreislaufwirtschaft abbilden zu können</li> <li>• Berücksichtigung von quantitativen Eingaben</li> <li>• Berücksichtigung von branchenspezifischen Anforderungen</li> <li>• Möglichkeit für Feedback und einen iterativen Verbesserungsprozess</li> <li>• Sicherstellung praktischer Relevanz und Validierung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Extern <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Gesellschaft</li> <li>○ Lieferanten</li> <li>○ Umwelt</li> <li>○ Wirtschaft</li> <li>○ Legislative</li> <li>○ Technologie</li> <li>○ Kunden</li> </ul> </li> <li>• Intern <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Strategische Prozesse</li> <li>○ Operative Prozesse</li> <li>○ Unterstützende Prozesse</li> </ul> </li> </ul>	165 qualitative Statements, welche anhand einer Likert-Skala beantwortet werden.	Werden in fünf Level unterteilt welche auf BSI 8001:2017 basiert. Zu jedem Level ist eine Kurzbeschreibung vorhanden. <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Anfänger</li> <li>2. Basic</li> <li>3. Operativ</li> <li>4. Engagiert</li> <li>5. Strategisch</li> </ol>
(Trollman et al., 2021)	Entwicklung und Validierung eines Tools zur Messung der Zirkularität und der ökologischen Einbettung von produzierenden Unternehmen.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Integration von bestehenden und harmonisierenden Standards</li> <li>• Berücksichtigung von sektorspezifischen Anforderungen</li> <li>• Anknüpfen an einen vollständigen Entwicklungsprozess</li> <li>• Integration von Management Systemen</li> <li>• Quantifizierbarer Input und Output</li> <li>• Berücksichtigung der Wertschöpfungskette</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verstehen <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Reifegrad</li> <li>○ Produkteigenschaften</li> <li>○ Charakteristika der Wertschöpfung und Produktion</li> </ul> </li> <li>• Realisierung <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Praktiken</li> <li>○ Innovation</li> <li>○ Zertifizierungen</li> </ul> </li> </ul>	13 Fragen die mit Likert-ähnlichen vorgefertigten Statements beantwortet werden.	Skala von 0 bis 6 ausgewertet mittels Spinnendiagramm. Zusätzlich gibt es eine Liste an ökologischen Aktivitäten die Produktlebensphasen zugeordnet werden.

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ermöglichung von Updates und Aktualisierungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Supply Chain</li> <li>• Nutzen <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Marketing</li> <li>○ Verteilung</li> <li>○ Verkauf</li> </ul> </li> <li>• Verhandeln <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Wert</li> <li>○ Akzeptanz</li> <li>○ Vertrauen</li> </ul> </li> <li>• Rückfordern <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Involvierung</li> <li>○ Engagement</li> <li>○ Kooperation</li> <li>○ Feedback</li> <li>○ Rückwärtslogistik</li> </ul> </li> </ul>		
(HSSMI, 2023)	Entwicklung eines Reifegradmodells, womit der aktuelle und zukünftige Zustand des Unternehmens hinsichtlich der CE erhoben werden kann.	Nur Vorschau möglich, keine transparente Darstellung des Entwicklungs- und Reifegraderhebungsprozesses.	Erhebung in 28 ungeclusterten Bereichen.	n.a.	Spidergraph mit einer Skala von 1-5. Restliche Auswertung nicht einsehbar.
(Kreutzer, Müller-Abdelrazeq, et al., 2023)	Analyse von 16 bestehenden Bewertungsmodellen für die Kreislaufwirtschaft. Klassifizierung anhand Porters Value Chain und Untersuchung wie und mit welchen Subbereichen diese erhoben wird.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Standardisierung und Vereinheitlichung der Bausteine der Kreislaufwirtschaft und des Bewertungsmodells, um eine Vergleichbarkeit zu ermöglichen</li> <li>• Abdeckung der gesamten Wertschöpfungskette</li> <li>• Transparente Auswertung und Darstellung des Ergebnisses</li> <li>• Integration von Bereitschaft für die Kreislaufwirtschaft</li> <li>• Berücksichtigung und Anpassbarkeit an sektorspezifische Anforderungen</li> <li>• Detaillierte Beschreibung der Reifegradlevel und Untermauerung der Ergebnisse mittels Daten</li> <li>• Identifizierung und Abfrage von relevanten Charakteristika für den Reifegrad der gesamten Wertschöpfung von Unternehmen</li> <li>• Umfangreiche und flexible Darstellungsmöglichkeiten der Ergebnisse</li> </ul>	Porters Value Chain Kategorien: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Firmeninfrastruktur</li> <li>• HR-Management</li> <li>• Technologieentwicklung</li> <li>• Beschaffung</li> <li>• Interne &amp; externe Logistik</li> <li>• Produktion</li> <li>• Marketing &amp; Sales</li> <li>• Service</li> </ul>	Identifizierung von 46 Charakteristika die innerhalb der Wertschöpfungskette erhoben werden sollten.	Empfehlung für eine Kombination aus datengetriebenen und qualitativen Darstellungen, bei einer sinnvoll gewählten Anzahl an Reifegraden.
(KPMG, 2023)	Circularity Scan der KPMG, entwickelt als Teil der Geschäftsmodell- und Strategieentwicklung in Richtung CE. Dreistufiger Erhebungsprozess: Analyse des Unternehmens, Identifikation von Chancen und Risiken und Erstellung einer Potentiallandkart.	Entwicklungs- und Erhebungsprozess nicht transparent einsehbar.	Evaluierung der 7 R's: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rethink</li> <li>• Reduce</li> <li>• Re-Use</li> <li>• Repair</li> <li>• Refurbish</li> <li>• Recover</li> <li>• Recycle</li> </ul>	n.a.	Evaluierung auf einer 1-6 Skala und anschließende Priorisierung.

(De Pascale et al., 2021)	Analyse von 61 Indikatoren zur Kreislaufwirtschaft. Diese wurden im Anschluss nach Mikro, Meso und Makro, sowie den 3Rs geclustert. Darstellung von Strategien, Skalierung, Normalisierung und Gewichtung.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verwendung von standardisierten Metriken für die Messung der Kreislaufwirtschaft</li> <li>• Berücksichtigung des Erhalts von natürlichem Kapital und der Verwendung von erneuerbaren Ressourcen</li> <li>• Berücksichtigung aller R-Strategien und Vermeidung eines zu großen Fokus auf Recycling</li> <li>• Berücksichtigung von geographischen und geopolitischen Besonderheiten</li> <li>• Rationalisierung, Verschlinkung und Vereinfachung des komplexen Themas</li> </ul>	Kategorisierung der Modelle in Anwendung der 3Rs und SDGs.	n.a.	n.a.
(Kristen & Mosgaard, 2020)	Analyse von 30 Mikro-Level-Indikatoren der Kreislaufwirtschaft. Evaluierung des Zusammenhangs zwischen Nachhaltigkeit und den Indikatoren.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verwendung von standardisierten Mikro-Level-Metriken für die Messung der Kreislaufwirtschaft</li> <li>• Berücksichtigung aller R-Strategien und nicht nur Recycling</li> <li>• Berücksichtigung der SDGs</li> <li>• Minimierung der Komplexität und Entwicklung eines benutzerfreundlichen Tools</li> <li>• Berücksichtigung von branchenspezifischen Charakteristika</li> <li>• Berücksichtigung von Beziehungen zur Meso- und Makroebene</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recycling</li> <li>• Remanufacturing</li> <li>• Reuse</li> <li>• Ressource-efficiency</li> <li>• Disassembly</li> <li>• Lifetime extension</li> <li>• Waste management</li> <li>• End-of-life management</li> <li>• Multidimensional indicators</li> </ul>	n.a.	n.a.
(Parchomenko et al., 2019)	Analyse von 63 CE-Indikatoren und Clusterung in: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ressourceneffizienz</li> <li>• Material- und Ressourcenfluss</li> <li>• Produkte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Berücksichtigung aller Aspekte der Kreislaufwirtschaft</li> <li>• Berücksichtigung des Werterhalts und nicht nur dem End-of-life von Produkten</li> <li>• Balancierung des Detailgrads</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Waste disposal</li> <li>• Primary vs secondary use</li> <li>• Resource efficiency productivity</li> <li>• Recycling efficiency</li> <li>• Energy</li> <li>• Recycling reman potential</li> <li>• Spatial</li> <li>• Flow destination</li> <li>• Stock availability concentration</li> <li>• Additional inputs</li> <li>• Reuse reman complexity</li> <li>• Retention</li> <li>• Value change</li> <li>• Cascading</li> <li>• Modelling cycles</li> <li>• Downcycling</li> <li>• Longevity</li> <li>• Sharing</li> <li>• Recyc material value</li> <li>• System stability</li> <li>• Materials mixing</li> <li>• Supply risk scarcity</li> <li>• Embedded stocks lifetimes</li> <li>• Toxicity</li> </ul>	n.a.	n.a.

(de Oliveira et al., 2021)	Analyse von 61 CE-Indikatoren auf Nano- und Mikroebene. Ziel ist es eine Unterstützung bei der Verwendung der Vielzahl an Indikatoren zu leisten.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Differenzierung der Nano- und Mikroebene</li> <li>• Ganzheitliche Erfassung des gesamten Produktlebenszyklus und nicht nur das EoL</li> <li>• Verwendung von standardisierten Metriken</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Take</li> <li>• Make</li> <li>• Use</li> <li>• Recover</li> </ul>	n.a.	n.a.
(Corona et al., 2019)	Analyse der methodischen Entwicklungen bei CE-Metriken und Bewertungstools. Identifizierung der Basis für die Messung, Evaluierung der Tools und Empfehlungen für die Messung der Kreislaufwirtschaft.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Berücksichtigung der Ursachen für die Notwendigkeit der Kreislaufwirtschaft</li> <li>• Berücksichtigung der Komplexität und der Herausforderungen bei geschlossenen Kreisläufen</li> <li>• Berücksichtigung von erneuerbarem Input</li> <li>• Bewertung der Langlebigkeit und des Werterhalts</li> <li>• Berücksichtigung der Makroperspektive</li> <li>• Berücksichtigung von bestehenden Methodiken und Modellen bei der Entwicklung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verringerung des Einsatzes von Ressourcen, insbesondere von knappen Ressourcen</li> <li>• Verringerung der Emissionen (Schadstoffe und Treibhausgasemissionen)</li> <li>• Verringerung von Materialverlusten/Abfällen</li> <li>• Erhöhung des Einsatzes von erneuerbaren und recycelten Ressourcen</li> <li>• Maximierung des Nutzens und der Haltbarkeit von Produkten</li> <li>• Schaffung von lokalen Arbeitsplätzen auf allen Qualifikationsstufen</li> <li>• Schaffung von Mehrwert und Vertrieb</li> <li>• Steigerung des sozialen Wohlergehens</li> </ul>	n.a.	n.a.