Datenkompetenzzentrum für Circular Economy Daten

Gefördert durch:
Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt

Finanziert von der Europäischen Union
NextGenerationEU

M3.1.1 Leitfaden zur Datengewinnung

Dissemination Level	PU (Public)
Abgabedatum	31.12.2024
Version	2.0.0
Autoren	Verantwortung: Mahdi, Rezapour (DFKI) Mitarbeit: • Mahdi, Rezapour (DFKI) • Abdullah, Farrukh (DFKI) • Juliano, Araujo (HSPF) • Annalisa, Nolte (ANTS) • Julia, Reinhard (WI) • Helen, Brüggemann (WI) • Lina, Landwehr (WI) • Jakob, Deich (BUW)

Dokumentenhistorie

Die Dokumentenhistorie dient nur der Bearbeitungshistorie, um einen Überblick über Änderungen und Zwischenstände zu erhalten. In der finalen Abgabe wird diese entfernt.

Version	Datum	Autoren	Beschreibung
1.0	15.01.2025	Abdullah Farrukh, Mahdi Rezapour Juliano Araujo, Annalisa Nolte, Julia, Reinhard Helen Brüggmann, Lina Landwehr, Jakob Deich	Erste Version des Leitfadens
1.0	03.02.2025	Holger Berg	Review
1.2	06.05.2025	Abdullah Farrukh, Mahdi Rezapour Juliano Araujo, Annalisa Nolte, Julia, Reinhard Helen Brüggmann, Lina Landwehr, Jakob Deich	Einarbeitung Review Holger Berg
2.0	13.05.2025	Abdullah Farrukh, Mahdi Rezapour	Finalisierung V2.0

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 6
2 Zielsetzung des Leitfadens 7
3 Circular Economy 8
3.1 CE-Daten 9
3.2 CE-Ebenen 12
3.3 CE-Datendarstellung 14
4 Methoden der Datenerhebung 15
4.1 Datenerhebungsprozess in der Circular Economy 16
4.2 Datengewinnung der Zukunft 19
5 Datenquellen in der CE 22
5.1 Datenquellen Makro-Ebene 24
5.2 Datenquellen Meso-Ebene 25
5.3 Datenquellen Mikro-Ebene 26
5.4 Datenquellen Nano-Ebene 27
6 Zusammenfassung und Ausblick 30
7 Literaturverzeichnis 31
8 Anhang 34
8.1 Anhang A: CE Datenpunkte für die Nano-Ebene 34
8.2 Anhang B: Skript zur Erfassung von CE-Daten aus Unternehmensberichten auf Mikroebene 36

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 3.1: Kreislaufwirtschaftsdaten und die Rolle der Akteure innerhalb der Produktkette 8
Abbildung 3.2: Dimensionen der Daten der Kreislaufwirtschaft (Araujo et al.[17])..... 10
Abbildung 4.1: Übersicht zur Datenerhebung in der CE - von Primärdaten bis zu Annahmen 17
Abbildung 4.2: Die Abbildung zeigt ein Konzept zum Umgang mit der Vielfalt von CE-Daten. Es ermöglicht eine datenbasierte CE-Bewertung, indem Datenanforderungen abgeleitet, per intelligenter Abfrage im Datenraum gesucht und die Ergebnisse aufbereitet dem Akteur bereitgestellt werden. Bei ausreichender Datenqualität können auch spezifische CE-Dienste genutzt werden. 20

Tabelle 5.1: Datenquellen Makro-Ebene 24
Tabelle 5.2: Datenquellen Meso-Ebene 25
Tabelle 5.3: Datenquellen Mikro-Ebene 26
Tabelle 5.4 Datenquellen Nano-Ebene 27

1 Einleitung

Menschliche Aktivitäten beeinflussen die Umwelt durch Ressourcengewinnung, Produktion, Nutzung und Entsorgung von Produkten. Diese Prozesse verbrauchen Materialien und Energie, setzen Emissionen frei und schädigen Ökosysteme. Besonders entscheidend ist, wie Ressourcen verwaltet und genutzt werden. Traditionelle Wirtschaftssysteme folgen meist einem linearen Modell: Rohstoffe werden abgebaut, zu Produkten verarbeitet und nach deren Lebenszyklus entsorgt, ohne Wiederverwendung oder Rückgewinnung. Dies führt zu Ressourcenerschöpfung, Umweltverschmutzung und übermäßigem Abfall.

Die Kreislaufwirtschaft (Circular Economy, CE) möchte diese negativen Folgen verringern, indem Produkte und Materialien länger im Umlauf bleiben. Durch die Anwendung sog. R-Strategien wie z.B. Wiederverwendung, Reparatur und Recycling werden Materialien in den Produktionskreislauf zurückgeführt, wodurch Abfälle reduziert, Ressourcen geschont und die Umweltbelastung gesenkt werden. Ziel ist ein geschlossenes System, das nachhaltige Entwicklung und wirtschaftliches Wachstum zugleich ermöglicht [1]. Der Übergang zur CE erfordert tiefgreifende Veränderungen in den Wertschöpfungsprozessen. Eng vernetzte Zusammenarbeit zwischen Unternehmen, Lieferanten, Abfallwirtschaft und weiteren Akteuren ist hier unverzichtbar. Besonders wichtig ist die Nutzung umfangreicher Daten entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Datengestützte Entscheidungen ermöglichen die Nachverfolgung und Optimierung in jeder Phase – von der Materialbeschaffung und dem Produktdesign bis hin zu Rückführungslogistik und der Nutzung sekundärer Rohstoffe. Diese Datenerfassungsprozesse liefern wertvolle Einblicke in Ressourcennutzung, Materialflüsse und Lebenszyklusmanagement. Sie unterstützen Wiederverwendungs-, Aufbereitungs- und Recyclingprozesse und helfen, die Abhängigkeit von Primärressourcen zu reduzieren [2], [3], [4], [5].

Laut Piétron et al. (2023) hängt die erfolgreiche Umsetzung der Kreislaufwirtschaft entscheidend von den verfügbaren Informationen ab. Es besteht breiter Konsens, dass Daten systemweit geteilt und wiederverwendet werden müssen, um das Potenzial der CE vollständig auszuschöpfen [6]. Dafür braucht es effektive Methoden, um Daten aus verschiedenen Quellen – etwa Unternehmen, Lieferketten, Abfallwirtschaft und Verbrauchern – zu erfassen. Diese Daten müssen so aufbereitet werden, dass sie für unterschiedliche Interessengruppen nutzbar sind, darunter Hersteller, Regierungen, Rohstoffanbieter, Forschungseinrichtungen und Endverbraucher. Nur durch eine umfassende Analyse entlang der gesamten Wertschöpfungskette können fundierte Entscheidungen getroffen werden, die den Übergang zur Kreislaufwirtschaft fördern und Nachhaltigkeit sowie Ressourceneffizienz steigern.

Der vorliegende Leitfaden bietet Forschenden im Bereich der Kreislaufwirtschaft einen strukturierten Einstieg, mit Fokus auf die Rolle der Datengewinnung. Es werden grundlegende Definitionen, zentrale Fragestellungen und offene Forschungs- und Wissenslücken vorgestellt. Kapitel zwei beschreibt die Ziele des Leitfadens, Kapitel drei erläutert das CE-Konzept, definiert CE-Daten und stellt die CE-Ebenen vor. Kapitel vier widmet sich der Datenerhebung, der Darstellung von CE-Daten und gibt einen Ausblick auf zukünftige Erfassungsmethoden. Abschließend bietet der Leitfaden eine kurze Zusammenfassung und schlägt nächste Schritte für künftige Forschung vor. Zudem werden die wichtigsten Herausforderungen für Akteure der Kreislaufwirtschaft und unterstützende Institutionen identifiziert. Praktische Empfehlungen zeigen auf, welche Maßnahmen erforderlich sind, um diese Hürden zu überwinden und wie Daten in der CE effizient erfasst, verwaltet und genutzt werden können.

2 Zielsetzung des Leitfadens

Das Ziel dieses Leitfadens ist es, aufzuzeigen, wie die Datenerhebung im Kontext der Kreislaufwirtschaft effektiv durchgeführt werden kann. Um dieses Ziel zu erreichen, ist es zunächst notwendig, zwischen der traditionellen linearen Wirtschaft und der Kreislaufwirtschaft zu unterscheiden. Diese Unterscheidung verdeutlicht die zentrale Rolle von Daten für die Umsetzung der Kreislaufwirtschaft. In diesem Zusammenhang ist die Förderung sowohl der datengetriebenen Grundlagenforschung als auch der angewandten Forschung zur Erfassung und Nutzung von CE-Daten ein zentrales Anliegen.

Die Etablierung eines soliden Rahmens erfordert die Beantwortung mehrerer entscheidender Fragen, darunter:

- Welche spezifischen Daten werden benötigt, und wie können sie identifiziert werden?
- Welche Methoden eignen sich am besten zur effektiven Erfassung und Verarbeitung von CE-Daten?
- Wie können bestehende Datensätze genutzt und sinnvoll verknüpft werden?
- Welche potenziellen Anwendungen gibt es für diese Daten, und wie können sie dazu beitragen, die Zirkularität zu messen und zu verbessern?

Die Berücksichtigung dieser Aspekte liefert eine strukturierte Orientierung für alle, die mit CE-Daten arbeiten – sowohl für Neueinsteiger als auch für Fachleute, die ihr Wissen vertiefen möchten. Ziel des Leitfadens ist es, eine klare Ausgangsbasis zu schaffen, indem er beschreibt, welche Informationen erforderlich sind, wo und wie sie beschafft werden können und wie sie bewertet und praktisch genutzt werden können. Eine Struktur wird bereitgestellt, die den Zugriff auf grundlegende Informationen, einschlägige Richtlinien und praxisbezogene Inhalte ermöglicht. Dieser Ansatz kann mit bestimmten Herausforderungen verbunden sein. In vielen Fällen fehlen klare oder allgemein anerkannte Definitionen für CE-Daten und verwandte Konzepte. Zudem unterscheiden sich die Anforderungen an CE-Daten je nach CE-Ebene, sodass es notwendig ist, nicht nur die einzelnen CE-Ebenen zu verstehen, sondern auch klare Richtlinien zu den spezifischen Datenanforderungen auf jeder Ebene zu haben. Darüber hinaus können bestimmte Daten für mehrere Ebenen relevant sein, was eine gemeinsame Nutzung der Daten zwischen Stakeholdern entlang der Wertschöpfungskette ermöglichen könnte. Da viele der benötigten Daten nicht öffentlich zugänglich sind und beispielsweise Betriebsgeheimnissen unterliegen, ist eine umfassende Datenerhebung erforderlich, um eine objektive Bewertung zu ermöglichen, die nicht ausschließlich vom produzierenden Unternehmen selbst durchgeführt wird.

Um diese Herausforderungen zu bewältigen und ein verlässliches Rahmenwerk zu schaffen, hat das DACE-Projekt Forschungen durchgeführt und verschiedene Anwendungsfälle analysiert, um allgemein anwendbare Methoden zu identifizieren, die auch für zukünftige Entwicklungen offenbleiben.

3 Circular Economy

Die Kreislaufwirtschaft ist ein Produktions- und Verbrauchsmodell zur Förderung einer nachhaltigeren und ressourcensicheren Wirtschaft. Sie ist ein zentraler Bestandteil des European Green Deal und wird durch den CE Action Plan auf europäischer Ebene vorangetrieben, mit dem Ziel, bis 2050 eine kreislauforientierte und klimaneutrale Wirtschaft zu etablieren [7]. Durch die Verlängerung des Produktlebenszyklus sollen Primärrohstoffe geschont und Abfälle reduziert werden, wodurch die CE eine Schlüsselrolle in der Nachhaltigkeitspolitik einnimmt. Maßnahmen wie der CE-Aktionsplan, die Ökodesign-Verordnung für nachhaltige Produkte und die Batterieverordnung verdeutlichen ihre Bedeutung für die moderne Industriepolitik [8].

CE braucht einen systemischen Ansatz, der sich auf gesamte Produktlebenszyklen, Wertschöpfungsnetze und Materialsysteme erstreckt. Ihre Umsetzung stützt sich auf drei Kernstrategien: Verengung, Verlangsamung und Schließung, wie sie in Rahmenwerken wie dem 9-R-Modell von [9] skizziert werden. Zusammenfassend lässt sich nach [10] festhalten, dass „Verengung“ die Reduktion von Ressourcen pro Produkt bedeutet, „Verlangsamung“ den Ressourcenfluss durch längere oder intensivere Produktnutzung verringert und „Schließung“ den Kreislauf zwischen Nachnutzung und Produktion schließt.

Diese Strategien tragen zur ökologischen, wirtschaftlichen und sozialen Verbesserung entlang der gesamten Wertschöpfungskette bei – von der Produktion bis zum Recycling, wie beispielhaft in Abbildung 3.1 abgebildet. In der Produktionsphase wird beispielsweise Wert auf Ressourceneffizienz und CE-gerechtes Design gelegt, was Materialeinsparungen und Emissionsreduktionen fördert [11]. In der Verbrauchsphase unterstützen Maßnahmen wie Wiederverwendung, Sharing-Modelle und die Verfügbarkeit von Ersatzteilen eine verlängerte Produktlebensdauer, wodurch Abfall reduziert und die Nachfrage nach neuen Rohstoffen gesenkt wird [10].

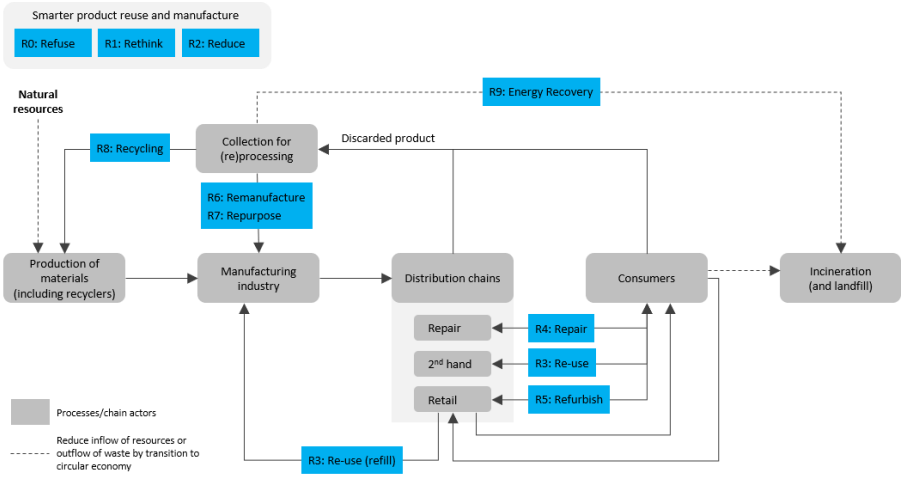


Abbildung 3.1: Kreislaufwirtschaftsdaten und die Rolle der Akteure innerhalb der Produktkette

Bei einem breiten Spektrum an Messgrößen sind umfangreiche Daten (als CE-Daten bezeichnet) erforderlich, um die Leistung für verschiedene Ziele und Bereiche zu berechnen und gezielte Optimierungsmaßnahmen abzuleiten [12]. Die Bedeutung von CE wächst aufgrund der Notwendigkeit eines nachhaltigeren Wirtschaftens und der Steigerung der Versorgungssicherheit in und über verschiedene Sektoren hinweg. Dies unterstreicht die

Notwendigkeit, CE-Daten besser zu verstehen. Dazu gehört, zu definieren, was als CE-Daten angesehen wird, wie sie derzeit genutzt werden und wie ihre wirtschaftliche Verwertung ausgeweitet werden kann. Dies ist entscheidend, um das Wissen über CE zu erweitern, nachhaltige Praktiken zu verbessern, Geschäftsmodelle zu unterstützen und politische sowie regulatorische Entscheidungen fundiert zu gestalten.

3.1 CE-Daten

Daten spielen eine entscheidende Rolle bei der Ermöglichung des Übergangs zu einer Kreislaufwirtschaft, da sie Einblicke in Materialflüsse, Produktlebenszyklen und wirtschaftliche Chancen bieten. Das Weltwirtschaftsforum, die Ellen MacArthur Foundation und McKinsey & Company [13] betonen die Bedeutung von Daten bei der Bekämpfung von Plastikmüll und heben hervor, wie die Verfolgung und Analyse der Materialnutzung systemweite Veränderungen vorantreiben kann, indem Ineffizienzen und Möglichkeiten zur Wiederverwendung und zum Recycling identifiziert werden. Ohne präzise Daten haben Unternehmen und politische Entscheidungsträger Schwierigkeiten, fundierte Entscheidungen über Materialbeschaffung, Abfallmanagement und kreislauforientierte Designstrategien zu treffen.

In ähnlicher Weise unterstreichen Bocken et al. [10], dass CE-Daten essenziell für die Gestaltung nachhaltiger Produkte und die Entwicklung von Geschäftsmodellen sind, die sich an den Prinzipien der Kreislaufwirtschaft orientieren. Durch die Nutzung von Daten können Unternehmen die Umweltbilanz ihrer Produkte bewerten, Lieferketten optimieren und geschlossene Kreislaufsysteme schaffen, die die Lebensdauer von Produkten verlängern. Darüber hinaus erleichtern CE-Daten die Zusammenarbeit zwischen Stakeholdern, indem sie ein gemeinsames Verständnis der Ressourcenströme schaffen und so die Einführung innovativer Kreislauflösungen in der Industrie ermöglichen.

Die Bedeutung von Daten für die Kreislaufwirtschaft wird zusätzlich von Kirchherr et al. [14] hervorgehoben, die argumentieren, dass das Fehlen zuverlässiger Daten eine der größten Hürden für die Umsetzung kreislauforientierter Strategien in großem Maßstab darstellt. Sie weisen darauf hin, dass standardisierte Methoden der Datenerfassung sowie digitale Werkzeuge wie Blockchain und das Internet der Dinge (IoT) die Rückverfolgbarkeit und Transparenz in Lieferketten verbessern können. Ebenso betonen Lacy und Rutqvist [15], dass Digitalisierung und datengesteuerte Entscheidungsfindung zentrale Treiber der Kreislaufwirtschaft sind, da sie es Unternehmen ermöglichen, Materialien zu verfolgen, die Nachfrage vorherzusagen und Rückführungslogistik effizient umzusetzen.

Eine umfassende Datenerhebung und -analyse stellt somit eine wesentliche Grundlage für die Optimierung der Ressourcennutzung, die Reduktion von Abfällen und die Entwicklung kreislauforientierter Strategien dar. Daher ist die Integration umfassender Datensysteme in die Kreislaufwirtschaft entscheidend, um den Übergang zu einer nachhaltigeren und ressourceneffizienteren Wirtschaft zu beschleunigen. In diesem Zusammenhang werden Daten als „eine physische Sammlung qualitativer oder quantitativer Werte über bestimmte Eigenschaften von Objekten oder Personen definiert, die durch automatische Mittel oder Menschen verändert, verarbeitet, kommuniziert oder interpretiert werden können“ [16]. CE-Daten sind Daten, die benötigt werden, um die Prinzipien und Praktiken der Kreislaufwirtschaft zu transformieren und zu unterstützen. CE-Daten sind strukturierte Informationen und Wissensbestände im Zusammenhang mit der Kreislaufwirtschaft. Sie umfassen Datenpunkte, die den Übergang von einem linearen zu einem zirkulären Wirtschaftsmodell unterstützen. In [12]

wird festgestellt, dass ein erheblicher Bedarf an CE-Daten besteht, da eine Vielzahl von Leistungskennzahlen der Kreislaufwirtschaft in verschiedenen Bereichen, Zielen und Merkmalen vertreten ist.

Die Schaffung eines universellen Rahmens für Circular Economy (CE)-Daten ist eine erhebliche Herausforderung aufgrund der Komplexität und Vielfalt des Konzepts in verschiedenen Industrien, Regionen und Stakeholdern. Wie von Kirchherr et al. [14] hervorgehoben, wird die Kreislaufwirtschaft je nach Sektor unterschiedlich interpretiert, was die Standardisierung der erforderlichen Daten zur Unterstützung von CE-Strategien erschwert. Verschiedene Industrien haben unterschiedliche Bedürfnisse in Bezug auf CE-Daten, mit variierenden Definitionen, Kennzahlen und Leistungsindikatoren, was die Entwicklung eines einheitlichen Systems kompliziert. So betonen Bocken et al. [10], dass CE-Daten entscheidend für die Gestaltung nachhaltiger Produkte und Geschäftsmodelle sind, jedoch behindert das Fehlen eines gemeinsamen Datenrahmens eine effiziente Zusammenarbeit und eine systemweite Umsetzung.

Abbildung 3.2: Dimensionen der Daten der Kreislaufwirtschaft (Araujo et al.[17])

Darüber hinaus spielt der regionale Kontext eine Schlüsselrolle bei den Herausforderungen im Bereich der Daten, wie die Kreislaufwirtschaft-Strategie der Europäischen Kommission (2018) zeigt, die den Bedarf an konsistenten, aber flexiblen Datenerfassungspraktiken anerkennt, die auf spezifische geografische und industrielle Kontexte zugeschnitten sind. Digitale Werkzeuge und datengestützte Entscheidungen sind zentral für die Skalierung zirkulärer Lösungen. Das Fehlen standardisierter Datensysteme stellt jedoch eine Barriere für deren breite Anwendung dar [15]. Hier stellen wir fest, dass CE-Daten wichtig sind, um den Richtlinien der Kreislaufwirtschaft zu folgen, und dass es einige Herausforderungen mit diesen Daten gibt, die berücksichtigt und überwunden werden müssen.

Aus diesem Grund wurde in einem ersten Schritt das Verständnis von CE-Daten innerhalb des Konsortiums untersucht, diskutiert und das Ergebnis in der Veröffentlichung “A Typology for

Circular Economy Data" dokumentiert [17]. Letztendlich dient die Typologie dazu, eine klare Definition dessen zu liefern, was als CE-Daten gilt, und trägt positiv zu geschäftlichen Anwendungen bei, beispielsweise zur Messung der Kreislauffähigkeit, indem sie zirkuläre Ströme und Praktiken kategorisiert und strukturiert analysiert. Das Ziel war die Entwicklung einer umfassenden Typologie der Datenlandschaft der Kreislaufwirtschaft, die alle Ebenen der Datenhierarchie vom Nano- bis zum Makroniveau abdeckt. Dieser Ansatz führte zur Identifikation und Klassifikation charakteristischer Datentypen, die in acht Dimensionen und dreißig mögliche Werte (Subdimensionen) organisiert wurden. Die Analyse einer Stichprobe von 334 zirkulären Datenpunkten, ergänzt durch die Berücksichtigung spezialisierter Literatur, ermöglichte die Identifizierung der Vielfalt existierender Datentypen, die verschiedene Phasen des Lebenszyklus sowie eine Vielzahl von Stakeholdern umfassen.

Die Typologie wurde innerhalb vier methodischer Phasen entwickelt. Zunächst wurden relevante Bewertungsmodelle im Kontext der Kreislaufwirtschaft auf verschiedenen Ebenen im Rahmen einer Literaturrecherche identifiziert und gesammelt. Anschließend wurden die darin enthaltenen CE-Indikatoren in ihre Datenkomponenten bzw. die einzelnen zur Berechnung der Indikatoren benötigten Datenpunkte aufgeschlüsselt (diese stellen die CE-Daten dar). Die Vielfalt der Indikatoren der CE ist entscheidend für die Entwicklung einer Datenklassifikation der CE, da die breite Palette an Leistungskennzahlen die Erzeugung und Organisation einer großen Menge an Daten erfordert. Anschließend wurden diese Datenpunkte nach unterschiedlichen und gemeinsamen Eigenschaften untersucht, um Muster zu detektieren bzw. "Daten-Dimensionen" abzuleiten und somit die Datenpunkte inhaltlich gruppieren zu können.

Durch diese detaillierte Betrachtung der Typologie von CE-Daten wird der gesamte Prozess der Datenerfassung und -verarbeitung verbessert. Dies ermöglicht ein verbessertes Verständnis relevanter Akteure, unterstützt die Planung und Umsetzung zirkulärer Aktionspläne, fördert innovationsbezogene Entwicklungen und erleichtert die Implementierung kreislauforientierter Geschäftsmodelle. Insgesamt stellen Typologie Studien ein ressourcenschonendes Rahmenwerk zur systematischen Beschreibung komplexer Organisationsformen und zur Analyse ihrer Ergebnisse dar, wie bereits von Doty & Glick (1994) hervorgehoben.

Nachdem die CE-Daten charakterisiert und definiert sowie die Datenpunkte den jeweiligen Dimensionen zugeordnet wurden, können acht Kategorien zur Erfassung und Beschreibung der CE-Daten eingeführt werden (siehe Abbildung 3.2). Diese acht Kategorien sind wie folgt:

1) CE-Ebenen
2) Stakeholdergruppen
3) Phasen der Wertschöpfungskette
4) CE-Strategien
5) technischer oder biologischer Zyklus
6) technologischer oder sozio-institutioneller Fokus
7) quantitativ und qualitativ
8) CE-Transformationsprozess-Status

Eine ausführlichere Beschreibung der acht Kategorien, einschließlich ihrer methodischen Herleitung und praktischer Anwendungsbeispiele, ist im zugehörigen Fachartikel von Araujo et al. (2025) [17] nachzulesen. Die Einteilung in diese Kategorien ermöglicht eine klarere Strukturierung der vielfältigen CE-Daten und schafft eine gemeinsame Grundlage für verschiedene Anwendungsbereiche der Kreislaufwirtschaft. Im Folgenden wird zunächst die

Kategorie der CE-Ebenen näher erläutert, die eine zentrale Rolle für die systematische Einordnung und Analyse von Daten in unterschiedlichen Maßstabsebenen spielt.

3.2 CE-Ebenen

CE kann über mehrere Ebenen verstanden werden, die jeweils einen anderen Maßstab und Umfang der Umsetzung darstellen. Diese Ebenen bieten einen strukturierten Rahmen für das Verständnis, wie Kreislaufprinzipien in verschiedenen Kontexten angewendet werden können, von einzelnen Produkten bis hin zu globalen Systemen. Die vier Ebenen sind:

- Makro-Ebene
  Definition: Die Makro-Ebene bezieht sich auf die breite, systemische oder nationale/internationale Ebene, auf der die Prinzipien der Kreislaufwirtschaft angewendet werden. Dazu gehören politische Entscheidungen, Gesetze und groß angelegte Infrastrukturprojekte, die eine Kreislaufwirtschaft fördern. Diese Ebene kann auch als eine andere Perspektive betrachtet werden, da sie das Verständnis des Übergangs zur Kreislaufwirtschaft aus einem gesamtgesellschaftlichen und politischen Kontext herausfordert.
  Beispiel:
    - Nationale Strategien für die Kreislaufwirtschaft: Ein Land könnte nationale Strategien für Ressourceneffizienz, Abfallverringerung und Kreislaufwirtschaftspraktiken umsetzen.
    - Globale Initiativen: Internationale Vereinbarungen und Kooperationen wie der europäische Green Deal, die darauf abzielen, die Wirtschaft in großem Maßstab auf Kreislaufmodelle umzustellen.

  Erwartbare Daten: Auf dieser Ebene werden häufig Makro-Daten wie nationale oder internationale Wirtschaftsdaten (z.B. CO_2-Emissionen, Ressourcennutzung, Abfallmengen) benötigt. Wichtige Indikatoren können die Umsetzung nationaler Kreislaufwirtschaftsstrategien und deren messbare Auswirkungen auf Ressourceneffizienz und Abfallreduktion sein. Daten zu Investitionen in Infrastruktur, politischen Maßnahmen und deren Auswirkungen auf die Kreislaufwirtschaft sind ebenfalls relevant [14], [18].

- Meso-Ebene
  Definition: Die Meso-Ebene bezieht sich auf die Anwendung von Kreislaufwirtschaftsprinzipien innerhalb von Gemeinden, Städten, industriellen Clustern oder Netzwerken von Organisationen. Sie konzentriert sich auf die Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Einheiten, um eine Kreislaufwirtschaft zu erreichen.
  Beispiel:
    - Öko-Industrieparks: Eine Gruppe von Unternehmen in einem Industriepark, die Ressourcen, Energie und Materialien gemeinsam nutzen, wobei die Abfälle eines Unternehmens als Input für ein anderes dienen. Kalundborg Symbiose in Dänemark ist ein berühmtes Beispiel, wo mehrere Unternehmen zusammenarbeiten, um Abfälle, Wärme und Materialien effizient wiederzuverwenden.

Erwartbare Daten: Auf dieser Ebene sind Daten zu industriellen Netzwerken und Kooperationen erforderlich, um die Effizienz der Ressourcennutzung und die Kreislauffähigkeit innerhalb von Clustern oder Öko-Industrieparks zu bewerten. Diese Daten umfassen die Menge der gemeinsam genutzten Ressourcen, die eingesparten Kosten durch Abfallvermeidung, sowie die Menge an Abfällen, die innerhalb der Zusammenarbeit wiederverwendet oder recycelt werden. Solche Daten sind für die Bewertung der Effektivität von Kreislaufsystemen in spezifischen geografischen oder industriellen Kontexten entscheidend [18].

- Mikro-Ebene

  Definition: Die Mikro-Ebene bezieht sich auf einzelne Organisationen, Unternehmen oder Produkte. Hier geht es um die Einführung von Praktiken der Kreislaufwirtschaft innerhalb eines bestimmten Geschäfts- oder Produktlebenszyklus, wobei der Schwerpunkt auf Design-, Produktions- und Verbrauchsprozessen liegt, die die Abfallmenge minimieren und die Ressourceneffizienz maximieren.

  Beispiel:
  - Verlängerung der Produktlebensdauer: Ein Unternehmen könnte Reparaturdienste anbieten, um die Lebensdauer seiner Produkte zu verlängern und so den Bedarf an neuen Ressourcen zu verringern und den Abfall zu minimieren.

  Erwartbare Daten: Auf dieser Ebene werden Daten zu den Produktlebenszyklen, den verwendeten Ressourcen, der Menge an reparierten oder wiederverwendeten Produkten und der Effizienz von Recyclingprozessen erwartet. Auch die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle, die auf Ressourcenschonung und Wiederverwendung beruhen, fällt unter diese Ebene. Diese Geschäftsmodelle können aus Daten über den Lebenszyklus eines Produkts, die Menge an recycelten Materialien und die Reduzierung von Abfall und Energieverbrauch bestehen [14].

- Nano-Ebene

  Definition: Die Nano-Ebene umfasst die kleinste Bewertungsebene der Kreislaufwirtschaft und konzentriert sich auf spezifische Komponenten, Materialien oder Technologien, die in Produkten verwendet werden. Sie befasst sich mit Innovationen in der Materialwissenschaft, der Nanotechnologie und der Mikrotechnik, um die Wiederverwertbarkeit, Haltbarkeit und Effizienz von Produkten auf der Material- oder Komponentenebene zu verbessern.

  Beispiel:
  - Design wiederverwertbarer Materialien: Entwicklung neuartiger Polymere oder Verbundwerkstoffe, die sich leichter recyceln lassen, oder Einsatz von Nanotechnologie zur Entwicklung selbstheilender Materialien, die den Ersatzbedarf verringern und die Lebensdauer von Produkten verlängern.

  Erwartbare Daten: Auf dieser Ebene sind Daten zur Materialwissenschaft und spezifischen Technologien erforderlich. Dazu gehören Daten zu den entwickelten Materialien, deren Recyclingfähigkeit, Haltbarkeit und den damit verbundenen Energie- und Ressourceneinsparungen. Technologische Innovationen wie selbstheilende Materialien oder neue Polymerarten bieten Einblicke in den Fortschritt der Kreislaufwirtschaft auf der Mikro- und Materialebene [18].

3.3 CE-Datendarstellung

Die Erhöhung der Nutzung von CE-Daten, erfordert die Repräsentation der Daten in einem Format, das für alle Nutzer zugänglich und verständlich ist, unabhängig von ihrem Fachwissen oder ihrer Beteiligung. Der Weg zu einer effektiven Datennutzung beginnt mit einer klaren Definition der Anforderungen und Datenpunkte, die die Sammlung, Verwaltung und Anwendung der Daten leiten. Diese Grundlage stellt sicher, dass die CE-Daten nicht nur genau und relevant, sondern auch so strukturiert sind, dass sie leicht zu interpretieren und allgemein anwendbar sind. Dies ist eine wesentliche Voraussetzung, um Kreislaufstrategien voranzutreiben und langfristige Nachhaltigkeitsziele zu erreichen.

Um diese Herausforderung zu bewältigen, könnte ein praktischerer Ausgangspunkt darin bestehen, sich zunächst auf die Nano-Ebene zu konzentrieren. Wenn man auf dieser granularen Ebene beginnt, kann man die spezifischen Anforderungen und Merkmale von CE-Daten auf kontrollierter und detaillierter Weise ermitteln. Dieser Bottom-up-Ansatz ermöglicht ein klareres Verständnis dafür, welche Daten wesentlich sind und wie sie standardisiert werden können, was dann auf die Mikro-, Meso-Ebene und Makro-Ebene ausgeweitet werden kann. Mit der Nano-Ebene zu beginnen, vereinfacht nicht nur den Prozess, sondern bietet auch eine solide Grundlage für die Entwicklung eines umfassenderen CE-Datenrahmens, der über alle Analyseebenen hinweg angepasst und angewendet werden kann.

Die Wahl der Nano-Ebene als Ausgangspunkt für die Definition der für CE-Daten erforderlichen Datenpunkte ermöglicht eine umfassende Überprüfung der einschlägigen Arbeiten im Bereich CE und ein besseres Verständnis der Anforderungen an eine effektive Datendarstellung. Dieser Ansatz zielt darauf ab, die kritischen Datenpunkte zu identifizieren und zu extrahieren, die für die Darstellung von CE-Daten auf Nanoebene erforderlich sind. Nach umfangreicher Forschung und Literaturrecherche haben wir unsere Ergebnisse in einer Tabelle zusammengefasst, die in Anhang 8.1 dargestellt ist. Diese Tabelle enthält eine strukturierte Liste von Datenpunkten, die für die Datenpräsentation vorgeschlagen werden, gruppiert in drei Hauptkategorien: Produktinformationen, Lieferkette und Dokumentation. Diese Kategorien wurden nicht nur gewählt, um das Verständnis der Datenpunkte zu erleichtern, sondern auch um ihre Wiederverwendbarkeit für zukünftige Entwicklungen zu verbessern und die Flexibilität bei der Nutzung und Anwendung der Daten zu fördern.

Jeder Datenpunkt ist mit detaillierten Attributen versehen, wie z. B. der Art der enthaltenen Informationen (z. B. statisch oder dynamisch) und der Datenquelle (z. B. Produktionssysteme, Vertriebskanäle oder Endverbraucher). Darüber hinaus werden in der Tabelle für jeden Datenpunkt die möglichen Akteure in der Lieferkette hervorgehoben, z. B. Hersteller, Händler, Verbraucher und Verwerter. Darüber hinaus wird jeder Datenpunkt in einen von zwei Datentypen unterteilt: Allgemeine Daten oder CE-spezifische Daten, wodurch eine klare Unterscheidung zwischen universell anwendbaren Informationen und CE-spezifischen Inhalten ermöglicht wird.

Die Tabelle gibt einen umfassenden Überblick über die grundlegenden Anforderungen an eine erste Darstellung der CE-Daten. Sie fasst ein breites Spektrum von Datentypen und -quellen zusammen und gewährleistet einen Ansatz für die Datenintegration. Die Datenpunkte umfassen beispielsweise Herstellerinformationen, Betriebsanleitungen und Stücklisten, so dass sowohl technische als auch kontextbezogene Daten dargestellt werden. Diese strukturierte Darstellung erleichtert das Verständnis, die Anpassbarkeit und die Nutzbarkeit der Daten für verschiedene Interessengruppen und Systeme.

4 Methoden der Datenerhebung

Die Herausforderung, Datenbedarfe zu decken, erfordert eine methodische Vorgehensweise. In DACE werden im Projektverlauf sowohl etablierte als auch neue, teilweise automatisierte Methoden der Datenerhebung erforscht. Wie im Kapitel 3.1 dargelegt, spielen Daten eine zentrale Rolle in der Kreislaufwirtschaft, da sie die Grundlage für fundierte Entscheidungen in Bereichen wie Ressourceneffizienz, Materialflüsse und nachhaltige Produktionsprozesse bilden [13]. Eine umfassende und zuverlässige Datenbasis ermöglicht es Unternehmen und politischen Akteuren, Stoffkreisläufe transparenter zu gestalten, Ressourcennutzung zu optimieren und Kreislaufstrategien gezielt umzusetzen [10].

Um diese Potenziale auszuschöpfen, ist es essenziell, repräsentative und qualitativ hochwertige Datenquellen für die verschiedenen Ebenen der Kreislaufwirtschaftsdaten zu identifizieren. Die Heterogenität bereits verfügbarer Daten – bedingt durch unterschiedliche Erhebungsmethoden, Granularitäten und Aktualitätsstufen – stellt eine der größten Herausforderungen dar [19]. Daher sind gezielte Methoden zur Identifikation, Standardisierung und Integration relevanter Datenquellen erforderlich, um eine belastbare Datengrundlage für die CE-Forschung und -Praxis zu schaffen.

Für die Analyse der Kreislaufwirtschaft können sowohl Primär- als auch Sekundärdaten analysiert werden. Primärdaten sind Daten, die gezielt für eine spezifische Forschungsfrage erhoben werden, etwa durch Umfragen, Messungen oder Experimente. Sie ermöglichen eine präzisere Abbildung spezifischer CE-Prozesse, da sie direkt aus der Praxis stammen und nicht durch vorherige Aggregation oder Transformation beeinflusst wurden [20]. Demgegenüber stehen Sekundärdaten, die bereits bestehende und aus anderen Quellen gewonnene Daten umfassen, beispielsweise Unternehmensberichte, öffentlich zugängliche Statistiken oder wissenschaftliche Datenbanken [21]. Sekundärdaten bieten oft den Vorteil einer breiten Verfügbarkeit und Zeitersparnis, weisen jedoch auch Herausforderungen auf, insbesondere im Hinblick auf Datenaktualität, Vergleichbarkeit und spezifische Anforderungen der CE-Analyse [19].

Gerade im Kontext der Kreislaufwirtschaftsdaten sind Primärdaten essenziell, da viele Materialflüsse, Nutzungsmuster und Umweltwirkungen in bestehenden Datenbanken nicht ausreichend abgebildet sind. Beispielsweise erfordert die detaillierte Analyse von Produktlebenszyklen oder Stoffströmen häufig maßgeschneiderte Messungen, die über vorhandene Statistiken hinausgehen [22], [23]. Daher ist eine gezielte Kombination aus Primär- und Sekundärdaten erforderlich, um eine belastbare Datengrundlage für die Entwicklung zirkulärer Strategien zu schaffen.

In den nachfolgenden Kapiteln wird zunächst auf die allgemeine Datenerhebungsstrategie eingegangen. Diese allgemeine Strategie ist übertragbar auf die Erhebung von CE-Daten, da hier die grundlegenden Aspekte erläutert werden. Anschließend wird auf ausblickend auf die Datenerhebung der Zukunft eingegangen. Hierfür werden aktuelle Herausforderungen und die im Projekt erstellten Lösungskonzepte erläutert.

4.1 Datenerhebungsprozess in der Circular Economy

Die Datenerhebung kann nach [24] in konkrete Schritte eingeteilt wird. Diese Aufteilung ermöglicht ein strukturiertes Vorgehen für eine erfolgreiche Datenerhebung. Nachfolgenden wird auf Grundlage von [24] auf die einzelnen Schritte eingegangen.

Planung und Vorbereitung

Die Datengewinnung beginnt mit der Festlegung der Forschungsfrage und dem Forschungsziel. Eine definierte Frage oder Ziel legt den Umfang und Art der benötigten Daten fest und ermöglicht somit eine zielgerichtete Datenerhebung. Ist das Forschungsziel bzw. die Forschungsfrage festgelegt, so müssen verschiedene Faktoren in der Planung zur Datenerhebung betrachtet werden:

- Organisatorische Faktoren z.B. Zeit, Ressourcen
- Technische Faktoren z.B. Messinstrumente
- Soziale Faktoren z.B. ethische und rechtliche Anforderungen

Unter Berücksichtigung des Datengewinnungsziel und den oben genannten Faktoren müssen Methoden zur Datenerhebung für das Vorhaben festgelegt werden.

Auswahl der Datengewinnungsmethoden

Zur Bestimmung der Methoden zur Datengewinnung muss zunächst geklärt werden, ob durch die Datenerhebung Primärdaten gesammelt werden oder vorhandene Daten (z.B. aus Datenbanken) verwendet werden (auch Sekundärdatenanalyse genannt). Je nach Art der benötigten Daten muss im nächsten Schritt überlegt werden, ob sich bei den zu sammelnden Daten um quantitative oder qualitative Daten handelt. Quantitative Primärdaten sind z.B. Umfragen, Fragebögen und Experimente, die spezifisch für das Vorhaben aufgenommen bzw. gesammelt werden. Interviews, Fallstudien und Web-Scraping sind Beispiele für qualitative Primärdaten.

Sekundärdaten können hingegen aus diversen Quellen bezogen werden. Hierzu gehören Quellen aus dem Internet (öffentliche Datenbanken, spezialisierte Datenbanken usw.), Bücher, (Stadt)-Archive, Wirtschaftsberichte, Inhalte aus Medien (Zeitung, Nachrichten) und weitere Datenquellen. Bei Sekundärdaten ist darauf zu achten, dass die Datenquelle zuverlässig, vertrauenswürdig und relevant für das Vorhaben ist. Bei Nutzung von Sekundärdaten muss klar kommuniziert werden, aus welchen Quellen die Daten bezogen wurden.

Nach dem die Art der benötigten Daten festgelegt ist, muss entschieden werden, welche Stichprobenmethoden geeignet sind, um repräsentative und relevante Daten aufnehmen zu können. Das eigentliche Sammeln der Daten erfolgt, je nach Anwendungsfall, manuell oder automatisiert. Für beide Methoden müssen geeignete „Instrumente“ z.B. Web-Scraping genutzt oder entwickelt werden.

In der CE können abhängig vom CE-Level, sowohl Primärdaten als auch Sekundärdaten relevant sein. Hierzu enthält die folgende Abbildung eine kurz zusammengefasste Übersicht zum Vorgehen.

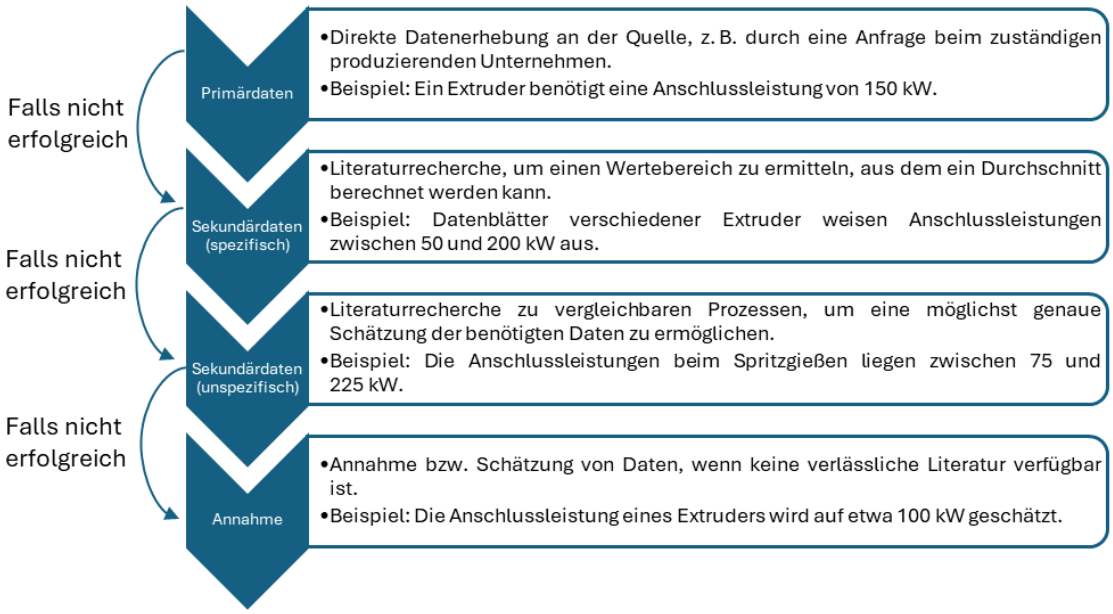


Abbildung 4.1: Übersicht zur Datenerhebung in der CE - von Primärdaten bis zu Annahmen

Nachhaltigkeitsberichte von Unternehmen sind wertvolle Quellen für sekundäre Daten mit großem Potenzial für die Kreislaufwirtschaft, insbesondere auf Mikroebene. Dies ist auf ihre weitverbreitete Nutzung durch Unternehmen unterschiedlichster Größen und aus verschiedenen Wirtschaftssektoren zurückzuführen, die unterschiedliche Reifegrade in Bezug auf Kreislaufwirtschaft aufweisen. Darüber hinaus stellt die Standardisierung dieser Berichte durch weithin anerkannte Leitfäden wie GRI (Global Reporting Initiative), ESRS (European Sustainability Reporting Standards) oder CSRD (Corporate Sustainability Reporting Directive) sicher, dass die Daten zuverlässig, vergleichbar und über die Zeit nachverfolgbar sind – wesentliche Voraussetzungen für Leistungsmesssysteme.

Vor diesem Hintergrund wurde im Projekt ein automatisierter Prozess zur Datenerfassung entwickelt. Mithilfe digitaler Werkzeuge werden die Berichte anhand ihrer strukturellen Komponenten analysiert, wie dem Reporting-Modell, der Codierung der Indikatoren, der Standardbeschreibung der Indikatoren und schließlich den Maßeinheiten. Die Daten werden automatisch aus Textelementen, Tabellen oder Diagrammen extrahiert und anschließend gemäß den zehn verschiedenen Strategien organisiert, die von Potting et al. (2017) [9] vorgeschlagen wurden. Das vereinfachte Skript des Prozesses ist im Anhang 8.2 dieses Berichts verfügbar.

Datenqualität und -verwaltung

Datenqualität ist ein wichtiger Aspekt bei der Datengewinnung, jedoch wann sind Daten „gut“? Folgende Punkte legen die grundlegenden Anforderungen an guten Daten fest:

- Relevanz: Erfüllung des (Forschungs-) Vorhabens durch die Daten
- Genauigkeit: Daten sind korrekt und fehlerfrei
- Vollständigkeit: Ermöglichung datenbasierter Schlussfolgerungen durch ausreichend hohe, lückenlose Quantität der Daten
- Objektivität: Daten und Datenaufnahme unvoreingenommen und neutral
- Reproduzierbarkeit: Klare Dokumentation des Vorgehens der Datensammlung

Qualitativ hochwertige Daten bilden den Grundstein zur Beantwortung einer Forschungsfrage. Sie erhöhen nicht nur die das Vertrauen und die Zuverlässigkeit der Ergebnisse und Entschlüsse, sondern erhöhen auch die Wiederverwendbarkeit der Forschungsergebnisse. Auf höheren CE-Level können gute Daten die Grundlage für Entwicklung von Strategien sein und ermöglichen eine faktenbasierte Entscheidungstreffung.

Speicherung und Teilen von Daten

Ein weiterer wichtiger Aspekt der Datengewinnung ist das Speichern und Teilen von Daten. Es ist essential für langfristige Nutzung von Daten, dass diese eindeutig beschrieben werden, sodass andere Akteure diese Daten wiederfinden können bzw. Forschungsergebnisse anhand von Daten validiert werden können. Somit ist das Speichern in verwalteten Datenbanken ein wichtiger Schritt der Datengewinnung. Hierbei ist es wichtig, dass die Daten in einer Datenbank gesichert werden, die nach bestimmten Prinzipien bzw. bestimmten nach Regeln agiert z.B. dem FAIR Prinzipien. Anhand dem Fair Prinzip (Findable, Accessible, Interoperable and Reuseable) werden Daten auch für Forschende aus anderen Bereichen auffindbar, zugreifbar, interoperabel und wiederverwendbar [25].

Die oben genannten Punkte bilden eine mögliche Vorgehensweise bei der Gewinnung von CE-Daten ab und lehnen sich an [24]. Um die Herausforderung des hohen Datenbedarfs in der Kreislaufwirtschaft zu bewältigen, ist es wichtig, erweiterte, teilweise spezifische Vorgehensweisen für die Datengewinnung der CE zu entwickeln, die grundlegend jedoch mit dem vorgestellten Rahmenwerk kompatibel sind bzw. hierauf aufbauen.

4.2 Datengewinnung der Zukunft

Die Suche nach den richtigen CE-Daten passend zu dem jeweiligen Anwendungsfall bestand lange aus langwierigem Zusammensuchen der Daten aus verschiedenen Datenquellen mit unterschiedlicher Zugänglichkeit und Interoperabilität. Dank des Fortschrittes in Bereichen wie Datenbanken, Digitalisierung und künstlicher Intelligenz sind wir heute deutlich besser vernetzt. Dennoch gibt es noch einige Hürden auf dem Weg zu leicht, schnell und sicher zugänglichen Datenquellen. Vier zentrale Hürden sind dabei besonders hervorzuheben [26]:

1. Datensilos: Die isolierte Speicherung von Daten innerhalb von Unternehmen oder sogar einzelnen Abteilungen der Unternehmen macht die Daten unzugänglich für außenstehende Akteure.
2. Fehlende Standards: Das unterschiedliche Verständnis von Nomenklatur, Einheiten oder Datenformaten erschwert die Datenoperabilität.
3. Datenqualität: Die Daten, die vorhanden sind, sind häufig unvollständig, fehlerhaft oder es fehlen Metadaten, die diese Daten ausreichend beschreiben.
4. Fehlende Datenkompetenzen der Akteure: Das nötige Wissen, wie Daten gesammelt, gemanagt, ausgewertet oder angewendet werden, fehlt oft den jeweiligen Akteuren.

Für den Großteil dieser Herausforderungen stehen bereits Lösungen zur Verfügung. DACE plant diese zusammenzuführen, um die Datengewinnung für die breite Masse zugänglich zu machen. Dies geschieht auf drei Ebenen.

Auf der ersten Ebene treten wir in den direkten Kontakt mit den Akteur*innen der Kreislaufwirtschaftsdaten und vermitteln durch das Zertifikatsprogramm der DACE Academy die nötigen CE-Datenkompetenzen. Dazu fördern wir die dringend notwendige Vernetzung der Akteure durch Events und unsere Online-Plattform. Dies bildet das Fundament, um Datengewinnung überhaupt möglich zu machen.

Auf der zweiten Ebene bereiten wir Wissenschaft und Wirtschaft auf neue Datenerhebungsmöglichkeiten durch Digitale Produktpässe und die zu Grunde liegenden Datenökosysteme vor, die hochqualitative Daten mit einheitlichen Standards versprechen, aber auch einen erheblichen Mehraufwand für betroffene Unternehmen bedeuten können [27].

Auf der letzten und technischen Ebene unserer Bemühungen arbeiten wir an einem Datenraum, der verfügbare CE-relevante DPP-Daten mit Daten aus öffentlichen Datenbanken anreichert, interoperabel sichert und zugänglich macht. Mithilfe von Methoden der künstlichen Intelligenz wie z.B. großen Sprachmodellen sollen auch für Akteur*innen ohne tiefgehende Datenverarbeitungskompetenzen die Informationen, die in den Daten stecken, abrufbar sein.

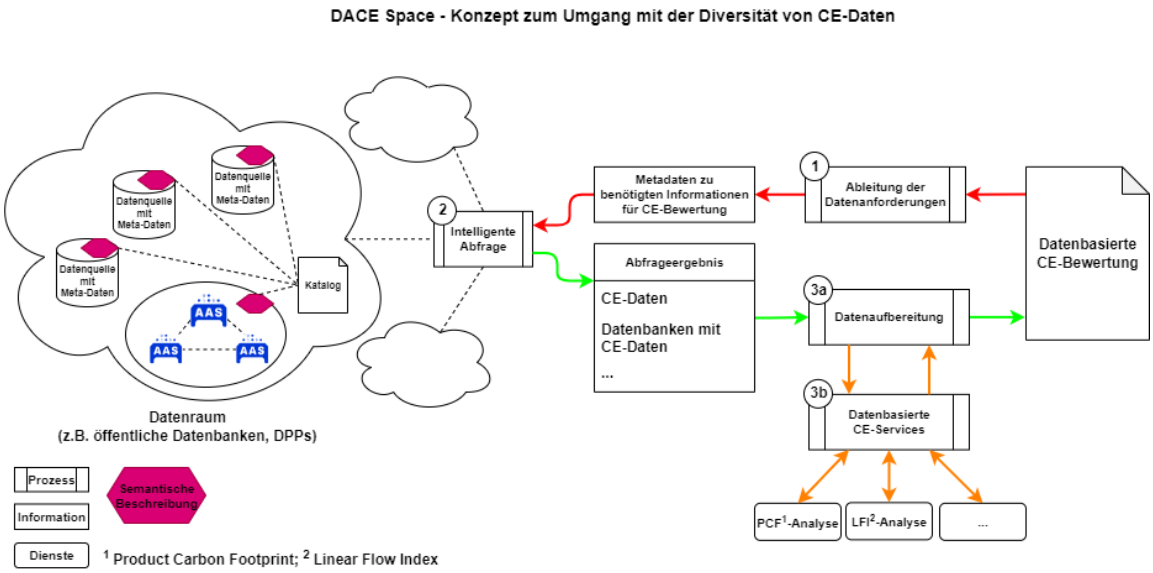


Abbildung 4.2: Die Abbildung zeigt ein Konzept zum Umgang mit der Vielfalt von CE-Daten. Es ermöglicht eine datenbasierte CE-Bewertung, indem Datenanforderungen abgeleitet, per intelligenter Abfrage im Datenraum gesucht und die Ergebnisse aufbereitet dem Akteur bereitgestellt werden. Bei ausreichender Datenqualität können auch spezifische CE-Dienste genutzt werden.

Auf Grundlage der oben genannten Anforderungen im Projekt DACE ein Prozess entwickelt, der den Umgang mit CE-Daten deutlich erleichtern soll. Als Anwendungsfall dienen CE-Bewertungen auf zwei Ebenen: Nano und Mikro. Abbildung 4.2 veranschaulicht diesen Prozess. Ziel ist es, in klar definierten, teils automatisierten Schritten Daten bereitzustellen, die von den CE-Akteuren benötigt werden. In der initialen Umsetzungsphase liegt der Fokus auf Forschenden als zentrale Nutzergruppe.

Der Prozess gliedert sich in mehrere Schritte:

1. Ableitung der Datenanforderungen: Im ersten Schritt werden die benötigten Datenpunkte ermittelt, indem die Vorgaben des CE-Akteurs (z. B. eine Liste relevanter CE-Indikatoren) analysiert werden. Aus diesen Vorgaben werden Metadaten abgeleitet, die die Datenanforderungen präzise beschreiben. Diese Metadaten bilden die Grundlage für eine intelligente Abfrage im Datenraum. Für Generierung der Metadaten kommen sowohl KI-gestützte als auch klassische datenwissenschaftliche Methoden zum Einsatz.

2. Intelligente Abfrage im Datenraum: Auf Basis der Metadaten wird eine Abfrage im Datenraum durchgeführt. Der Datenraum umfasst verschiedene Datenquellen (z. B. Materialdatenbanken, digitale Produktpässe), die ebenfalls über Metadaten beschrieben sind. Die Abfrage erfolgt stufenweise: Zunächst wird angestrebt, alle Datenanforderungen vollständig zu erfüllen, um konkrete Werte für die benötigten Datenpunkte zu liefern. Ist dies nicht möglich - etwa weil Daten unstrukturiert vorliegen – wird zumindest eine Referenz zu geeigneten Datenbanken bereitgestellt, die durch den CE-Akteur gesichtet werden kann. Durch das Filtern der Datenbanken soll der Aufwand für den CE-Akteur verringert werden.

3. Aufbereitung und Bewertung der Ergebnisse: Die Abfrageergebnisse werden anschließend aufbereitet und die Datenqualität bewertet. Wenn die Qualität ausreicht und die Anforderungen vollständig erfüllt sind, können datenbasierte CE-Dienste (z. B. Analysen, Berichte) genutzt werden, deren Ergebnisse in die CE-Bewertung einfließen. Andernfalls werden die aufbereiteten Daten direkt an die CE-Akteure übergeben.

Im Projekt DACE werden die beschriebenen Prozessschritte kontinuierlich erforscht, weiterentwickelt sowie anhand der genannten Anwendungsbeispiele getestet und evaluiert. Auf dieser Basis können künftig weitere Anwendungsfälle untersucht werden – sowohl aus der Forschung als auch aus der Industrie. Zwei Beispiele verdeutlichen dies:

- Fallbeispiel 1: Eine Studentin benötigt Energiedaten, um den durchschnittlichen CO_2-Fußabdruck eines Produkts über die vergangenen fünf Jahre zu berechnen. Sie möchte den Einfluss des gestiegenen Anteils erneuerbarer Energien auf den CO_2-Fußabdruck nachvollziehen und darstellen.

  Nach dem zuvor beschriebenen Prozess werden in diesem Fallbeispiel die Vorgaben der Studentin analysiert und daraus die Anforderungen – im Folgenden auch „Suchparameter" genannt – abgeleitet. Dazu zählt beispielsweise das Zeitfenster der letzten fünf Jahre für den gesuchten Indikator „CO_2-Fußabdruck". Da nicht spezifiziert ist, ob sich der Fußabdruck auf den privaten oder industriellen Sektor bezieht, erfolgt in der intelligenten Abfrage keine diesbezügliche Einschränkung. Auf Basis der Suchparameter wird im Datenraum eine Abfrage durchgeführt. Diese ist mehrstufig aufgebaut: Zunächst werden Datenquellen aus einem Katalog ausgeschlossen, die nicht mit den Parametern übereinstimmen. Die verbleibenden Quellen werden anschließend auf Übereinstimmung mit den Suchparametern geprüft und entsprechend priorisiert.

  Falls spezifische Schnittstellen für den Zugriff auf eine Datenquelle verfügbar sind (z. B. über eine API), wird in einer erweiterten Suche anhand der Parameter nach konkreten Datenpunkten gesucht. Die Ergebnisse dieses Prozesses werden aufbereitet und der Studentin zur Verfügung gestellt. Auf dieser Grundlage kann sie anschließend entweder eine manuelle Recherche innerhalb der vorgeschlagenen Datenquellen durchführen oder die bereitgestellten Daten direkt für ihre Auswertung nutzen.

- Fallbeispiel 2: Ein produzierendes Unternehmen aus Wuppertal hat sich das Ziel gesetzt, bis 2030 klimaneutral zu werden. Um dieses Ziel zu erreichen, prüft es seine Lieferanten anhand spezifischer Indikatoren, um daraus die nächsten Schritte zur Anpassung der Lieferketten abzuleiten. Das Unternehmen hat bereits Digitale Produktpässe für seine Produkte zur Verfügung stehen.

  Wie im Fallbeispiel 1 werden auch in diesem Szenario die Suchparameter aus den vorliegenden Angaben abgeleitet. Als Datenquellen stehen sowohl die Digital Product Passports (DPPs) der Produkte als auch verschiedene Datenbanken zur Analyse zur Verfügung. Das Unternehmen nutzt den oben beschriebenen Prozess zunächst, um die DPPs auf relevante Indikatoren hin zu untersuchen und einen Referenzwert für spätere Vergleiche zu ermitteln. Darüber hinaus werden gezielt Daten zu aktuellen Lieferanten abgefragt. Da die Informationen in den DPPs strukturiert vorliegen, werden hier sehr präzise Datenpunkte als Ergebnis erwartet.

  Anschließend wird eine weitere Abfrage gestartet, die klima-relevante Indikatoren in den Geschäftsberichten von Unternehmen identifiziert.

5 Datenquellen in der CE

Datenquellen sind ein grundlegender Bestandteil jeder datengetriebenen Analyse, da sie die Ursprünge und Bereitstellungsmechanismen von Daten bestimmen. Eine Datenquelle bezieht sich auf den Ursprung und den Standort von Daten, die von verschiedenen Anwendungen und Nutzern zugänglich und nutzbar sind, und umfasst Repositorien wie Datenbanken, Systeme oder Plattformen, die dazu entwickelt wurden, Daten für verschiedene Zwecke zu speichern und bereitzustellen [28], [29], [30]. Eine Datenquelle kann an physischen Standorten, wie On-Premise-Servern, oder in digitalen Umgebungen, wie Cloud-Speicherplattformen angesiedelt sein [31], [32].

Datenquellen sind entscheidend für das Datenmanagement und die Datenanalyse, da sie die Rohdaten liefern, die für die Verarbeitung und Entscheidungsfindung erforderlich sind. Eine robuste Dateninfrastruktur ermöglicht es Unternehmen, Regierungen und Organisationen, Informationen effizient zu sammeln, zu speichern und für eine Vielzahl von Anwendungen zu nutzen, die von operativen Tätigkeiten bis hin zu strategischen Entscheidungen reichen [29]. Die Bedeutung von Datenquellen liegt in ihrem Potenzial, Forschungsergebnisse zu verbessern, Geschäftsprozesse zu optimieren und politische Entscheidungen voranzutreiben, indem sie groß angelegte, qualitativ hochwertige Daten nutzen [33], [34]. Besonders im wissenschaftlichen Umfeld gewinnen die FAIR-Prinzipien (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable) zunehmend an Bedeutung, um eine effiziente Nutzung und Verwaltung von Forschungsdaten zu gewährleisten [35].

Daten in diesen Quellen können aus einer Vielzahl von Quellen stammen, einschließlich primärer und sekundärer Quellen, strukturierter und unstrukturierter Daten sowie interner und externer Informationsquellen. Primäre Datenquellen umfassen direkt gesammelte Daten durch Umfragen, Experimente oder Sensoren, während sekundäre Quellen bestehende Datensätze, Berichte oder wissenschaftliche Publikationen umfassen. Die Wahl der Datenquelle beeinflusst die Qualität, Relevanz und Zuverlässigkeit der Analyseergebnisse erheblich [36]. Im Bereich der Big-Data-Analysen stellt die Kombination mehrerer Datenquellen eine Herausforderung dar, da unterschiedliche Formate, Strukturen und Standards harmonisiert werden müssen [31].

Die Qualität der Datenquellen ist entscheidend für die Zuverlässigkeit der abgeleiteten Erkenntnisse. Qualitätskriterien wie Vollständigkeit, Genauigkeit, Konsistenz und Aktualität spielen eine zentrale Rolle bei der Bewertung der Nutzbarkeit einer Datenquelle [36]. Schlechte Datenqualität kann zu fehlerhaften Schlussfolgerungen führen und sich negativ auf Entscheidungsprozesse auswirken. Daher sind Techniken wie Datenbereinigung, Datenmanagement und Datenherkunft notwendig, um die Integrität von Datenquellen zu gewährleisten [35].

In 3.1 wurde beschrieben, wie breit das Spektrum an CE-Daten ist, von der Nano- bis zur Makro-Ebene. Analog existieren sehr viele verschiedene und sehr heterogene Datenquellen in der und für die CE. Diese Heterogenität und Komplexität stellen eine große Herausforderung für die Qualität der Daten dar. Aufgrund von fehlenden oder zu vielen Standards, einer Vielzahl an Akteuren und Datenquellen sind die Daten oftmals nicht konsistent. Das kann zum einen zwischen verschiedenen Ebenen der Fall sein, beispielsweise, wenn Modelle der Makro-Ebene unterschiedliche Indikatoren oder Standards nutzen als die Modelle der Mikro-Ebene. Aber auch innerhalb der Ebenen, ist es oft der Fall, dass Daten aus verschiedenen Quellen inkonsistent sind. Beispielsweise erklärt die Agora Industriestudie, dass Schätzungen zu Plastikabfällen innerhalb

der EU rund 15 Millionen Tonnen zu niedrig sind. Grund hierfür ist, dass verwendetet Zahlen aus vielen dezentralen kommunalen Abfallsystemen konsolidiert werden und diese nicht immer sicher und präzise genug vorliegen [37]. Solche und weitere Beispiele geben Grund für den Hinweis, dass Zahlen und Daten in der Kreislaufwirtschaft der Vorsicht und ggf. Überprüfung bedürfen und die Wahl der Daten, Anpassung und Interpretation ein wichtiger Bestandteil der Datenerhebung sind. Für die CE-Datenforschung ist daher die Dokumentation von Modellierungsentscheidungen, sowie von Ursprung und Erhebung der Daten eine notwendige Praxis, um anderen Akteuren Transparenz zu sichern, den konsistenten Umgang mit Daten zu erleichtern sowie Glaubwürdigkeit und Validität von Untersuchungen zu sichern [38].

Im Folgenden werden verschiedenen Datenquellen der CE-Daten vorgestellt, diese sind analog zu der Aufteilung in die verschiedenen CE-Ebenen kategorisiert: Makro, Meso, Mikro und Nano. Auf diesen Ebenen wird ein immer enger werdender Fokus von internationalem Level auf Makro Ebene, bis hin zur kleinsten Bewertungsebene, der Nano-Ebene, gesetzt. So werden auch (Unternehmens-) Netzwerke (Meso), einzelne Organisationen (Mikro) bis hin zum einzelnen Produkt und dessen Zusammensetzung (Nano) betrachtet.
Die folgende Liste gibt eine erste Übersicht über mögliche Datenquellen bei der Datengewinnung für CE-Forschung und CE-Fragestellungen. Sie bezieht sich nur auf sektorübergreifende Datenquellen. Für spezifischere Forschungsfragen ist es sinnvoll auch weitere spezifisch sektorbezogene Datenquellen hinzuzuziehen, wie z.B. Catena-X für die Automobilbranche.

5.1 Datenquellen Makro-Ebene

Auf Makro-Ebene liefern u. a. Forschungsinstitute, Verbände oder statistische Ämter des Bundes und der Bundesländer Daten und Statistiken bspw. auf nationaler oder globaler Ebene bzw. für Staatenverbünde wie die EU. Diese beziehen sich in der Regel auf industrielle Systeme wie gesamte Produktions- und Konsumsysteme oder Volkswirtschaften. Eine Herausforderung auf der Makro-Ebene ist die häufige Inkonsistenz der Daten zwischen verschiedenen Quellen oder Regionen. Das kann u.a. darin begründet sein, dass unterschiedliche Indikatoren und Bewertungsmethoden genutzt werden [37]. Diese Daten sind teilweise frei verfügbar.

Tabelle 5.1: Datenquellen Makro-Ebene

Art der Datenquelle	Name der Datenquelle	Kurze Charakterisierung	Freie Verfügbarkeit (ja/nein)
	Destatis	Das statistische Bundesamt erhebt, sammelt und analysiert statistische Informationen zu Wirtschaft, Gesellschaft und Umwelt in Deutschland, u.a. die Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung und Umweltökonomische Gesamtrechnung, des Landes und der Länder Inlandsprodukt Deutschland	Ja
	Eurostat	Das Statistische Amt der Europäischen Union verarbeitet und veröffentlicht vergleichbare statistische Daten in Europa.	Ja
	Forschungsinstitutionen	Forschungsinstitutionen im CE Bereich veröffentlichen Studien und Daten.	Teilweise
	Statistische Ämter der Länder	Gemeinsames Statistikportal der Bundesländer Deutschlands	Ja
	Statista	Statistische Datenbank mit Volkswirtschaftlichen Statistiken	Teilweise
	EXIOBASE	EXIOBASE 3 bietet eine Zeitreihe von ökologisch erweiterten multiregionalen Input-Output-Tabellen (EE MRIO), die von 1995 bis zum aktuellen Jahr für 44 Länder (28 EU-Mitglieder plus 16 große Volkswirtschaften) und fünf Regionen der übrigen Welt reichen. Es enthält Globale Multi-Regional Environmentally Extended Supply-Use Tabellen (MR-SUT) und Input-Output Tabellen (MR -IOT).	Teilweise
	Industrial Ecology Data Commons	Makro-Daten aus der Industrial Ecology, vor allem MFA-Daten und EEIO-Daten. Dort kann man länder-/regions-/branchenspezifische Verbräuche, Bedarfe und Umweltwirkungen etc. auslesen	Ja
		Die Daten der Yale Stocks and Flow Database beschreiben die Verwendung von 102 Materialien von den frühen 1800er Jahren bis etwa 2013 durch anthropogene Zyklen, ihre Recycling- und Kritikalitätseigenschaften und auf räumlichen Skalen, die von Vororten bis zur globalen Ebene reichen. Diese Datensammlung war zuvor über mehrere uneinheitlich formatierten Dateien wie Zeitschriftenartikel, Berichte und unveröffentlichte Tabellen verstreut.	Ja

5.2 Datenquellen Meso-Ebene

Auf Meso-Ebene steht die Synergie zwischen Unternehmen einer definierten Region wie beispielsweise eines Bundeslandes, einer Gebietskörperschaft oder eines Industrieparks im Vordergrund. Datenbestände auf Meso-Ebene sind sektor- oder branchenspezifisch sowie auf allgemeiner Ebene material- oder produktbezogen. Dies können Statistiken auf kommunaler/regionaler Ebene z.B. zu Abfallmengen oder Recyclingquoten sein. Zum Zeitpunkt der Erstellung des Leitfadens, gab es noch keine öffentlichen Datenbanken, in denen solche Berichte zu finden waren. Daten darüber lassen sich vereinzelt auf Webseiten von Eco Industrial Parks oder aus Meta-Studien ziehen.

Tabelle 5.2: Datenquellen Meso-Ebene

Art der Datenquelle	Name der Datenquelle	Kurze Charakterisierung	Freie Verfügbarkeit (ja/nein)
Statistische Daten von Wirtschaftsverbänden	z.B. Automotive Data Publishers Association	Sektorspezifische Wirtschaftsverbände veröffentlichen Daten und Statistiken	Teilweise
Environmental management systems (EMS) and energy management systems (EnMS).		Informationssysteme auf Eco Industrial Park Level zum Austausch von Daten.	Nein
Veröffentlichungen einzelner Symbioseparks	z.B. Kalundborg Symbiosis	Symbioseparks veröffentlichen teilweise Kennzahlen	Teilweise
Forschungsinstitutionen	z.B. Retrospektive Fallstudienanalyse zu Einflussfaktoren auf den Verlauf von industriellen Transformationprozessen A review of international eco-industrial parks for implementation success in the United States	Forschungsinstitutionen im CE Bereich veröffentlichen Studien, Metastudien und Daten.	Teilweise

5.3 Datenquellen Mikro-Ebene

Daten auf der Mikro-Ebene beziehen sich auf einzelne Unternehmen, die daher auch eine mögliche Datenquellen darstellen. Unternehmens-Informationen können aus Berichten wie Nachhaltigkeitsberichten entnommen werden, die häufig frei verfügbar vorliegen. Unternehmensintern können außerdem Statistiken erhoben werden. Da es z.B. für Nachhaltigkeitsberichte teilweise noch keine Formvorgaben gibt, erfolgt Berichterstattung oft uneinheitlich und bietet damit geringe Vergleichbarkeit *[39]*.

Tabelle 5.3: Datenquellen Mikro-Ebene

Art der Datenquelle	Name der Datenquelle	Kurze Charakterisierung	Freie Verfügbarkeit (ja/nein)
Unternehmens-spezifisch	Nachhaltigkeits-berichte	Global Reporting Initiative (GRI) Die GRI soll Organisationen helfen, transparent zu sein und Verantwortung für ihre Auswirkungen zu übernehmen, damit wir eine nachhaltige Zukunft schaffen können. GRI schafft eine globale gemeinsame Sprache für Organisationen, um über ihre Auswirkungen zu berichten, was einen fundierten Dialog und eine Entscheidungsfindung in Bezug auf diese Auswirkungen ermöglicht. Sie folgen einem unabhängigen Multi-Stakeholder-Prozess. Industriebeispiel: BMW Group	Ja
		Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD)) EU-Richtlinie zur Unternehmens-Nachhaltigkeitsberichterstattung	
		Sustainability Accounting Standards Board (SASB) Die SASB®-Normen spielen eine wichtige Rolle bei der Anwendung des ISSB-Standards für allgemeine Anforderungen, IFRS S1, durch die Unternehmen. Insbesondere helfen die Standards den Unternehmen, über die klimabezogenen Aspekte hinaus, nachhaltigkeitsbezogene Risiken und Chancen zu identifizieren. Nachhaltigkeitsthemen werden in fünf „Nachhaltigkeitsdimensionen“ gruppiert: Umwelt, Humankapital, Sozialkapital, Geschäftsmodell und Innovation sowie Führung und Governance.	
	Statistiken	Statistiken z.B. zu Abfallmengen und Recyclingquoten auf Unternehmensebene	Teilweise
Suchmaschinen und Datenbanken für Daten über Firmen- und Verbraucher*innen	Wikirate	Freiwilliges öffentliches Communityprojekt als Datenbank für Unternehmensberichte (nicht immer überprüft)	Ja
	Statista	Statistische Datenbanken mit Statistiken z.B. über Verbraucher*innenverhalten.	Teilweise
	SustainabilityReports.com	Datenbank für Nachhaltigkeitsberichte (sustainability, ESG, CSR, and integrated reports)	Ja
	Sustainability Reporting Navigator	Open-Science-Plattform für Nachhaltigkeitsberichterstattung	Ja

5.4 Datenquellen Nano-Ebene

Auf Nano-Ebene werden spezifische Produkt oder Materialdaten betrachtet. Hier handelt es sich hauptsächlich um produktspezifische Sachbilanzen, bspw. zum Energieverbrauch, zum Rohstoffverbrauch oder zur Wassernutzung. Mit diesen können u.a. Nachhaltigkeitseigenschaften von Materialien oder Produkten bewertet und der Nutzen von Strategien der Kreislaufführung von Ressourcen analysiert werden. Die Datenquellen lassen sich unterteilen in öffentliche Datenbanken und interne Unternehmensdatenbanken. In öffentlichen Datenbanken werden zumeist sekundäre Daten zusammengefasst. Diese Datenbanken sind teilweise frei verfügbar und enthalten Produkt- und Prozessdaten [40]. Sie können fehlende Daten ergänzen oder als Vergleichswerte dienen, wenn beispielsweise Lebenszyklusanalysen von Produkten durchgeführt werden und Primärdaten nicht vorliegen. Auch hier gibt es Inkonsistenzen zwischen verschiedenen Datenbanken, was an unterschiedlichen Primärdaten als Grundlage oder Modellierungsentscheidungen oder auch dem zur Verfügung stehenden Budget liegen kann, dass Möglichkeiten der Bereinigung und Aufarbeitung limitiert.

Bei den Unternehmensdatenbanken handelt es sich um interne Primärdaten, die Firmen erheben und meist in ERP-Systemen speichern. Zukünftig können solche Daten auch in Digitalen Produktpässen abgespeichert sein und damit ggf. öffentlich einsehbar werden. Interne Daten sind sonst meist nicht frei verfügbar. Eine Herausforderung im Hinblick auf Produktdaten, - auch bei Sekundärdaten - besteht darin, dass sie häufig veraltet sind oder nur partiell vorliegen [41].

Tabelle 5.4 Datenquellen Nano-Ebene

Art der Datenquelle	Name der Datenquelle	Kurze Charakterisierung	Freie Verfügbarkeit (ja/nein)
Datenbanken	Ecoinvent	Ecoinvent ist eine international tätige, auftragsorientierte Organisation, die sich der Unterstützung hochwertiger, wissenschaftlich fundierter Umweltprüfungen verschrieben hat.	Kostenpflichtig
	U.S. Life Cycle Inventory (USLCI) Datenbank	Von National Renewable Energy Laboratory (NREL) und seinen Partnern entwickelt. US-bezogene Sammlung von Sachbilanzdaten für verschiedene Materialien, Produkte und Prozesse.	Ja
	Umberto	LCA-Software für Ökobilanzen, integriert u.a. mit Ecoinvent und U.S. Life Cycle Inventory (USLCI) Datenbank	Kostenpflichtig
	Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagement (ProBas)	Vom deutschen Umweltbundesamt zusammengestellte Datenbank mit über 20.000 Datensätzen.	Ja
	Global Logistics Emissions Council (GLEC)	Zum Vergleich von Treibhausgasemissionen hat der Global Logistics Emissions Council (GLEC) den GLEC-Rahmen und Database entwickelt, um die Berechnung und Berichterstattung von Treibhausgasemissionen in der Logistik über multimodale Lieferketten hinweg zu harmonisieren.	Ja

	Greenhouse Gas Inventory Data Explorer	Umweltschutzbehörde der Vereinigten Staaten	Ja
	UNEP Global LCA Data Access Network (GLAD)	Das Global LCA Data Access Network ist das größte nicht-kommerzielle Verzeichnis von Ökobilanzdaten von unabhängigen LCA-Datenbankanbietern aus der ganzen Welt. GLAD hostet nicht direkt Datenbanken. Sein Hauptzweck ist es, den Benutzern zu helfen, die von ihnen benötigten LCA-Daten zu finden. Anschließend leitet es die Nutzer auf die Website des Datenanbieters weiter, von der die Datensätze kostenlos oder gegen eine kommerzielle Lizenzgebühr heruntergeladen werden können. Die vom UN-Umweltprogramm (UNEP) betriebene Life Cycle Initiative verwaltet GLAD.	Teilweise
	European Platform on Life Cycle Assessment (EPLCA)	Das Life Cycle Data Network (LCDN) zielt darauf ab, eine weltweit nutzbare Infrastruktur für die Veröffentlichung von qualitätsgesicherten LCA-Datensätzen von verschiedenen Organisationen (z. B. Industrie, nationale LCA-Projekte, Forschungsgruppen und Berater) bereitzustellen. Das LCDN ist eine nicht zentralisierte, webbasierte Infrastruktur, die auch als Registry bezeichnet wird. Die LCDN-Datensätze unterstützen die Entwicklung von politischen Aktivitäten zum ökologischen Fußabdruck und lebenszyklusbasierte Projekte der Europäischen Kommission.	Ja
	Ganzheitliche Bilanzierung (GaBi)	Die Sachbilanzdatenbank enthält fast 17.000 Prozesse und Planmodelle, die zum großen Teil auf der Erfassung von Primärdaten basieren. Jährlich werden alle Inhalte der GaBi-Datenbanken aktualisiert. Die Datenbank wird von sphera angeboten, welche von der thinkstep übernommen wurde.	Kostenpflichtig
	Chinesische Life Cycle Database (CLCD)	Ökobilanzdatenbank für die chinesische Grundstoffindustrie, die das durchschnittliche Niveau der Produktionstechnologie und des Marktes in China widerspiegelt. Die einzige öffentlich zugängliche lokale chinesische Lebenszyklusdatenbank, die mehr als 600 wichtige Datensätze zu Energie, Rohstoffen und Transport umfasst.	Ja
	Australische Life Cycle Database (AusLCI)	Initiative der Australian Life Cycle Assessment Society mit Stakeholdern der Industrie, der australischen Politik und aus der Forschung zum konsistenten und einheitlichen Sammeln von Life Cycle Daten.	Ja
	Impact Database	Beispiel für Sektorspezifische Datenbank im Bausektor	Kostenpflichtig
Suchmaschinen /Sammlungen	Open LCA Nexus	Online-Repository und Suchmaschine für Ökobilanz-Daten. Die Datensätze sind “leicht-harmonisiert”, sodass mehrere Datensätze zusammen verwendet werden können.	Kostenpflichtig
	Greenhouse Gas Protocol (Lifecycle Databases)	Sammlung von Ökobilanzdaten durch das GHG-Protocol, welches sich zum Ziel gesetzt hat umfassende, weltweit standardisierte Rahmenbedingungen für die Messung und das	Teilweise

		Management von Treibhausgasemissionen aus dem privaten und öffentlichen Sektor, aus Wertschöpfungsketten und aus Maßnahmen zur Emissionsminderung zu setzen. In Partnerschaft mit dem World Resources Institute (WRI) und dem World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)	
Firmendaten-banken/ Primärdaten	Enterprise Ressource Planning (ERP) Datenbanken	Firmeninterne Datenbanken, um Ressourcen zu organisieren	Intern
	Digitale Produktpässe (in Zukunft durch europäisceh Regulationen vorgegeben.	Öffentlich zugängliche produktbezogene Daten wie Footprints, Zusammensetzung etc. Mit unterschiedlichen Informationen für unterschiedliche Anspruchsgruppen auf Need-to-now-Basis.	Ja

6 Zusammenfassung und Ausblick

Der vorliegende Leitfaden fasst zentrale Erkenntnisse aus dem DACE-Projekt zur Datengewinnung in der Kreislaufwirtschaft zusammen. Er richtet sich an Forschende, Praktiker sowie Entscheidungsträger in Wirtschaft, Politik und Verwaltung, die sich mit der Erhebung, Nutzung und Analyse von Daten in der Circular Economy (CE) befassen. Als praxisnaher Einstieg bietet das Dokument grundlegende Informationen sowohl zur Kreislaufwirtschaft selbst als auch zur systematischen Erhebung relevanter Daten.

Im Fokus stehen insbesondere Akteure, die datenbasierte Ansätze zur Umsetzung, Bewertung, Steuerung und Überwachung von CE-Prozessen entwickeln oder anwenden. Der Leitfaden erläutert zentrale Konzepte der Kreislaufwirtschaft und liefert eine präzisierte Definition von CE-Daten. Darüber hinaus werden aktuelle Herausforderungen thematisiert – insbesondere in Bezug auf die Ermittlung des konkreten Datenbedarfs, Fragen der Datenverfügbarkeit sowie den vielfach bestehenden Mangel an geeigneten Daten. Diese Aspekte sind entscheidend, da eine strategische Nutzung von Daten den Übergang zu einer funktionierenden Kreislaufwirtschaft erheblich unterstützen kann.

Kapitel 4 stellt einen allgemeinen Ansatz zur Datengewinnung vor, ergänzt um einen spezifischen Prozess für die Erhebung von Daten auf der Mikro-Ebene der Kreislaufwirtschaft. Darüber hinaus wird ein zukunftsorientiertes Konzept zur Datengewinnung präsentiert, das auf die aktuellen Herausforderungen in der Datenerhebung von CE-Daten eingeht. In Kapitel 5 wird eine erste strukturierte Sammlung potenzieller Datenquellen für die verschiedenen CE-Ebenen (Nano, Mikro, Meso, Makro) zusammengestellt. Diese Datenquellen werden im Verlauf des Projekts zur Umsetzung konkreter Anwendungsfälle genutzt.

Im weiteren Projektverlauf werden die vorgestellten Datenerhebungsmethoden in verschiedenen Anwendungsfällen – wie sie im Arbeitspaket 3.2 definiert sind – praktisch getestet und evaluiert. Ziel ist es unter anderem, etablierte Datenerhebungsverfahren mit neueren, datenwissenschaftlich geprägten Methoden zu vergleichen. Daraus sollen konkrete Handlungsempfehlungen für unterschiedliche Zielgruppen abgeleitet werden.

Die gewonnenen Erkenntnisse fließen auch in die Konzeption eines Datenraums ein, der einen sicheren und souveränen Austausch von CE-relevanten Daten zwischen verschiedenen Akteuren ermöglichen soll. Die im Leitfaden identifizierten Datenquellen sollen in diesen Datenraum integriert und kontinuierlich erweitert werden.

Der Leitfaden selbst wird im Laufe des Projekts fortlaufend weiterentwickelt. Geplant ist unter anderem die Ergänzung um spezifische Methoden der Datenerhebung für die CE-Ebenen Nano, Meso und Makro. Auch Erkenntnisse aus Umfragen zur Datenkompetenz in der Kreislaufwirtschaft werden in die Weiterentwicklung des Leitfadens einfließen.

7 Literaturverzeichnis

[1] „Kreislaufwirtschaft: Definition und Vorteile“, Themen | Europäisches Parlament. Zugegriffen: 5. Mai 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.europarl.europa.eu/topics/de/article/20151201STO05603/kreislaufwirtschaft-definition-und-vorteile

[2] B. Mayanti und P. and Helo, „Circular economy in supply chain management: a framework for database tool development to enhance sustainability“, *International Journal of Environmental Studies*, Bd. 81, Nr. 4, S. 1962–1979, Juli 2024, doi: 10.1080/00207233.2024.2350757.

[3] L. Bragança *u. a.*, Hrsg., *Circular Economy Design and Management in the Built Environment: A Critical Review of the State of the Art*. Springer Nature, 2025. doi: 10.1007/978-3-031-73490-8.

[4] A. Eisenreich, J. Füller, M. Stuchtey, und D. Gimenez-Jimenez, „Toward a circular value chain: Impact of the circular economy on a company’s value chain processes“, *Journal of Cleaner Production*, Bd. 378, S. 134375, Dez. 2022, doi: 10.1016/j.jclepro.2022.134375.

[5] Siam university und S. Pavel, „Circular Economy: The Beauty of Circularity in Value Chain“, *jeb*, Bd. 1, Nr. 4, Dez. 2018, doi: 10.31014/aior.1992.01.04.52.

[6] D. Piétron, P. Staab, und F. Hofmann, „Digital circular ecosystems: A data governance approach“, *GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society*, Bd. 32, Nr. 1, S. 40–46, März 2023, doi: 10.14512/gaia.32.S1.7.

[7] *COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy*. 2015. Zugegriffen: 5. Mai 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:52015DC0614

[8] Directorate-General for Environment (European Commission), *2020 Circular Economy Action Plan: international aspects*. Publications Office of the European Union, 2020. Zugegriffen: 5. Mai 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://data.europa.eu/doi/10.2779/085517

[9] J. Potting, M. Hekkert, E. Worrell, und A. Hanemaaijer, „Circular Economy: Measuring Innovation in the Product Chain“, 2017. Zugegriffen: 5. Mai 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.semanticscholar.org/paper/Circular-Economy%3A-Measuring-Innovation-in-the-Chain-Potting-Hekkert/139c4590e78f66857304dd13765f640313d34921

[10] N. M. P. Bocken, I. de Pauw, C. Bakker, und B. van der Grinten, „Product design and business model strategies for a circular economy“, *Journal of Industrial and Production Engineering*, Juli 2016, Zugegriffen: 5. Mai 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/21681015.2016.1172124

[11] M. Geissdoerfer, P. Savaget, N. M. P. Bocken, und E. J. Hultink, „The Circular Economy – A new sustainability paradigm?“, *Journal of Cleaner Production*, Bd. 143, S. 757–768, Feb. 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.12.048.

[12] J. Matos, C. Martins, C. L. Simões, und R. Simoes, „Comparative analysis of micro level indicators for evaluating the progress towards a circular economy“, *Sustainable Production and Consumption*, Bd. 39, S. 521–533, Juli 2023, doi: 10.1016/j.spc.2023.06.002.

[13] „The New Plastics Economy: Rethinking the future of plastics“. Zugegriffen: 5. Mai 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/the-new-plastics-economy-rethinking-the-future-of-plastics

[14] J. Kirchherr, D. Reike, und M. Hekkert, „Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions“, *Resources, Conservation and Recycling*, Bd. 127, S. 221–232, Dez. 2017, doi: 10.1016/j.resconrec.2017.09.005.

[15] P. Lacy und J. Rutqvist, *Waste to Wealth*. London: Palgrave Macmillan UK, 2015. doi: 10.1057/9781137530707.

[16] „OECD Glossary of Statistical Terms“, OECD. Zugegriffen: 5. Mai 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.oecd.org/en/publications/oecd-glossary-of-statistical-terms_9789264055087-en.html
[17] J. B. Araujo *u. a.*, „A Typology for Circular Economy Data“, *JoCE*, Bd. 3, Nr. 1, 2025, doi: 10.55845/UXBM6358.
[18] C. Sassanelli, P. Rosa, R. Rocca, und S. Terzi, „Circular economy performance assessment methods: A systematic literature review“, *Journal of Cleaner Production*, Bd. 229, S. 440–453, Aug. 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.05.019.
[19] G. Moraga *u. a.*, „Circular economy indicators: What do they measure?“, *Resources, Conservation and Recycling*, Bd. 146, S. 452–461, Juli 2019, doi: 10.1016/j.resconrec.2019.03.045.
[20] M. Catterall, „Research Methods for Business Students“, *Qualitative Market Research: An International Journal*, Bd. 3, Nr. 4, S. 215–218, Jan. 2000, doi: 10.1108/qmr.2000.3.4.215.2.
[21] M. P. Johnston, „Secondary Data Analysis: A Method of which the Time Has Come“, *Qualitative and Quantitative Methods in Libraries*, Bd. 3, Nr. 3, S. 619–626, 2014.
[22] T. Shevchenko *u. a.*, „Metrics in the circular economy: An inclusive research landscape of the thematic trends and future research agenda“, *Ecological Indicators*, Bd. 165, S. 112182, Aug. 2024, doi: 10.1016/j.ecolind.2024.112182.
[23] A. Kulakovskaya, C. Knoeri, F. Radke, und N. U. Blum, „Measuring the Economic Impacts of a Circular Economy: an Evaluation of Indicators“, *Circ.Econ.Sust.*, Bd. 3, Nr. 2, S. 657–692, Juni 2023, doi: 10.1007/s43615-022-00190-w.
[24] „A Guide to Data Collection: Methods, Process, and Tools“, SurveyCTO. Zugegriffen: 5. Mai 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.surveycto.com/resources/guides/data-collection-methods-guide/
[25] „FAIR Principles“, GO FAIR. Zugegriffen: 5. Mai 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.go-fair.org/fair-principles/
[26] „Fortschritt durch Datennutzung“.
[27] R. Winnie, „Digital product passports for construction products“.
[28] S. Chaudhuri und U. Dayal, „An overview of data warehousing and OLAP technology“, *SIGMOD Rec.*, Bd. 26, Nr. 1, S. 65–74, März 1997, doi: 10.1145/248603.248616.
[29] S. Ouf und M. Nasr, „Cloud Computing: The Future of Big Data Management“, *IJCAC*, Bd. 5, Nr. 2, S. 53–61, Apr. 2015, doi: 10.4018/IJCAC.2015040104.
[30] S. R. Gardner, „Building the data warehouse“, *Commun. ACM*, Bd. 41, Nr. 9, S. 52–60, Sep. 1998, doi: 10.1145/285070.285080.
[31] M. Chen, S. Mao, und Y. Liu, „Big Data: A Survey“, *Mobile Netw Appl*, Bd. 19, Nr. 2, S. 171–209, Apr. 2014, doi: 10.1007/s11036-013-0489-0.
[32] H. V. Jagadish *u. a.*, „Big data and its technical challenges“, *Commun. ACM*, Bd. 57, Nr. 7, S. 86–94, Juli 2014, doi: 10.1145/2611567.
[33] I. H. Witten und E. Frank, „Data mining: practical machine learning tools and techniques with Java implementations“, *SIGMOD Rec.*, Bd. 31, Nr. 1, S. 76–77, März 2002, doi: 10.1145/507338.507355.
[34] R. Kitchin, „Big data and human geography: Opportunities, challenges and risks“, *Dialogues in Human Geography*, Bd. 3, Nr. 3, S. 262–267, Nov. 2013, doi: 10.1177/2043820613513388.
[35] M. D. Wilkinson *u. a.*, „Addendum: The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship“, *Sci Data*, Bd. 6, Nr. 1, S. 6, März 2019, doi: 10.1038/s41597-019-0009-6.
[36] C. Batini, C. Cappiello, C. Francalanci, und A. Maurino, „Methodologies for data quality assessment and improvement“, *ACM Comput. Surv.*, Bd. 41, Nr. 3, S. 16:1-16:52, Juli 2009, doi: 10.1145/1541880.1541883.
[37] P. Klevnäs und F. Peter, „EUROPE’S MISSING PLASTICS: Taking Stock of EU Plastics Circularity“. 2021.

[38] Umweltbundesamt, „Ecodesign Kit“. Zugegriffen: 6. Mai 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://ecodesignkit.de
[39] Umweltbundesamt, „Klima- und Umweltbericht-erstattung deutscher Unternehmen: Evaluierung der CSR-Berichtspflicht für die Jahre 2018 und 2019“. 2021.
[40] Umweltbundesamt, „Datenbanken“. Zugegriffen: 6. Mai 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://ecodesignkit.de
[41] G. Clark, „Secondary data“, in *Methods in Human Geography*, 2. Aufl., Routledge, 2005.
[42] „ISO 59004:2024“, ISO. Zugegriffen: 5. Januar 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.iso.org/standard/80648.html
[43] „ISO 10303-1:2024(en), Industrial automation systems and integration — Product data representation and exchange — Part 1: Overview and fundamental principles“. Zugegriffen: 6. Januar 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:10303:-1:ed-3:v1:en

8 Anhang

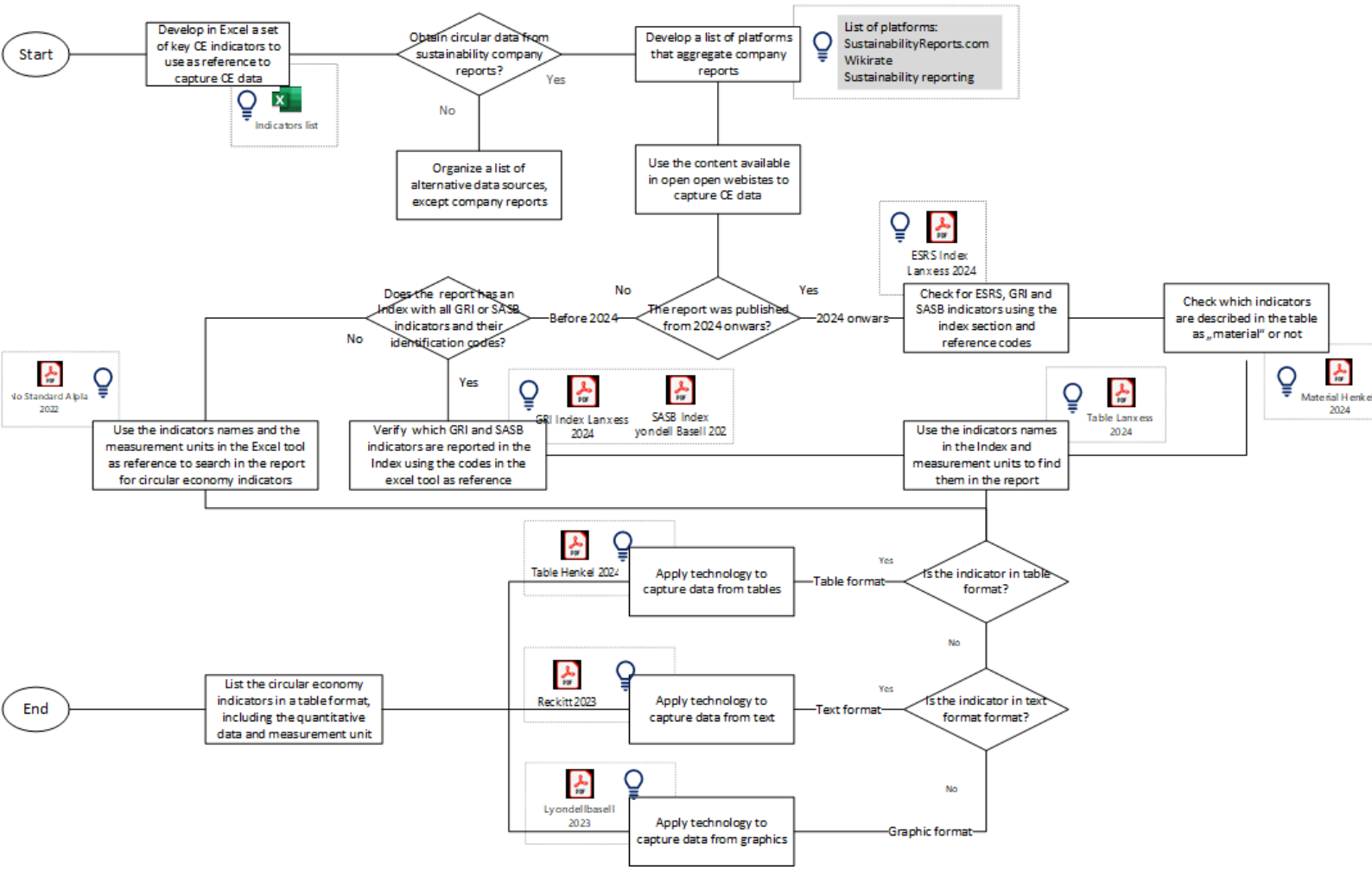
8.1 Anhang A: CE Datenpunkte für die Nano-Ebene

Data-points	Description	Group	Static/ Dynamic	Data sources	Involved stakeholders	Gene sp
Manufacturer	A company that makes goods for sale, often in large quantities	Product information	Static	Production	Producer	G
Manufacturer contact information	Includes the details needed to communicate with a manufacturer, such as their phone number, email address, physical address, and website.	Product information	Static	Production	Producer	G
Country of origin	Refers to the country where a product was manufactured, produced, or assembled.	Product information	Static	Production	Whole supply chain	G
Recyclability	Ability to recover resources for use in a process or a product, excluding energy recovery (ISO59000) [42]	Product information	Dynamic	Whole supply chain	Whole supply chain	CE-
Repairability	The possibility to restore a defective or damaged product so that it can be used in its original function (ISO59000) [42]	Product information	Dynamic	Repair/ Reuse	Whole supply chain	CE-
Refurbishability	Ability to restore an item, during its expected service life, to a useful condition for the same purpose with at least similar quality and performance characteristics (ISO 59000, 2024) [42]	Product information	Dynamic	Production	Producer	CE-
Upgradability	The ability to enhance or improve a product's functionality, performance, or features by adding or replacing components or software, extending its usability and lifespan.	Product information	Dynamic	Production	Producer	CE-
Traceability	The ability to trace the history, application and location of that which is under consideration, i.e., product, services, process, and resources (ISO 59000, 2024) [42]	Supply chain	Dynamic	Whole supply chain	Whole supply chain	CE-
Longevity	Duration of time a product is designed to function effectively, highlighting its durability and expected lifespan.	Supply chain	Dynamic	Consumption	Whole supply chain	CE-
Warranty	A guarantee provided by a manufacturer or seller, assuring that a product will function as promised for a specific period, with repair or replacement offered if defects occur.	Product information	Dynamic	Production	Whole supply chain	G
nique product identifier	A distinct code assigned to a product used to distinguish it	Product information	Static	Production	Whole supply chain	G
Product name	A specific title or label given to a product, used to identify it in the market	Product information	Static	Production	Producer	G
Product type	Referring to the category or classification of a product	Product information	Static	Production	Producer	G
Product model	A specific version or variation of a product	Product information	Static	Production	Producer	G
Product size	Refers to the physical dimensions or volume of a product, indicating its length, width, height, weight, or capacity. (units: m, Kg/m^3)	Product information	Static	Production	Producer	G
Product color	Refers to the specific color or shade of a product	Product information	Static	Production	Producer	G
Product mass	Refers to the mass of a product (unit: Kg)	Product information	Static	Production	Producer	G
Product serial number	Is a unique identifier assigned to an individual product, used for tracking, warranty, and identification purposes.	Product information	Static	Production	Producer	G
Bill of materials	List of components, materials, and parts needed to build a product, including their quantities and relationships. It aids in design, manufacturing, and maintenance processes. (ISO 10303, 1994)[43]	Product information	Static	Production	Whole supply chain	G
Spare parts	Name and number of spare parts which are included or buyable in addition	Supply chain	Dynamic	Distributation	Distributer	G
of hazardous substances	Names and mass-shares of hazardous substances included in the product (should maybe be linked to specific H&P phrases)	Product information	Static	Raw-Material	Whole supply chain	G
Applied standards	Any applied standards (e.g. standardized materials / products / testing methods).	Documentation	Static	Production	Whole supply chain	G
Production method	All methods used during production (e.g. extrusion of plastics).	Documentation	Static	Production	Producer	G
Product design	This should include a large amount of data points e. g.: size, depth, width, materials used (e.g. order of multilayer plastic films) and how they are connected (e.g. which adhesive was used on which surface), which colors are used etc.	Documentation	Static	Production	Producer	G
ergy consumption during production	The amount of energy used in the manufacturing process of a product. (unit: kWh)	Documentation	Static	Production	Producer	G
User manuals	Instructional documents that provide guidance (e.g. how to use and operate)	Documentation	Static	Whole supply chain	Whole supply chain	G
Installation manuals	Detailed guides that provide step-by-step instructions for setting up, assembling, or installing a product or system correctly and safely.	Documentation	Static	Whole supply chain	Whole supply chain	G
Disassembly manuals	Instructional guides that outline the steps and procedures for safely taking apart a product or system	Documentation	Static	Whole supply chain	Whole supply chain	G
Safety manuals	Provide essential information on how to safely operate, handle, or maintain a product or system	Documentation	Static	Whole supply chain	Whole supply chain	G

Repair manuals	Provide detailed instructions for diagnosing, troubleshooting, and fixing issues with a product or system	Documentation	Static	Whole supply chain	Whole supply chain	G
aterials and component suppliers	A company that provides individual parts or materials used in the manufacturing or assembly of a final product.	Supply chain	Dynamic	Raw-Material, Production, Repair	Whole supply chain	G
Recycled content	Refers to the proportion of materials used in a product that have been recovered, processed, and reused from previous products or waste, contributing to sustainability efforts.	Supply chain	Dynamic	Recycling	Whole supply chain	CE
Remanufacturing, urbishment and Recycling partners	Organizations or companies that have collaboration to collect, process, and recycle products or materials.	Supply chain	Dynamic	Recycling	Recycler	CE
Product importer	An individual or entity responsible for bringing a product into a country from another for distribution, sale, or use, adhering to local regulations and standards.	Documentation	Static	Distributation	Distributer	CE
Purchase data	Information related to the buying transaction of a product, including details such as the buyer, price, date of purchase, and quantity.	Supply chain	Dynamic	Distributation	User	G
Performance history	A record of a product's operational efficiency, reliability, and functionality over time	Supply chain	Dynamic	Whole supply chain	Whole supply chain	CE
Application logs	Records generated by software or systems that document events, operations, or errors during usage, providing insights into performance, security, and troubleshooting.	Supply chain	Dynamic	Whole supply chain	Whole supply chain	CE
Operating hours	Generally, the total amount of time a device or equipment has been in use (unit: hour)	Supply chain	Dynamic	Consumption	Whole supply chain	CE
ergy consumption during usage	Refers to the amount of energy a device or equipment consumes while it is actively being used. (unit: kWh)	Supply chain	Dynamic	Consumption	Whole supply chain	CE
Environmental impacts	Provides information on the product's impacts on the broader environment, assessed e.g. through Environmental Life Cycle Assessment (ELCA), including resource consumption, emissions to air, water, and soil, and waste generation across all lifecycle stages.	Supply chain	Static	Whole supply chain	Whole supply chain	CE
Social impacts	Overview of the product's social and sociological impacts, including working conditions, health and safety, cultural heritage, socio-economic repercussions, corruption, human rights, diversity policies, and impacts on vulnerable groups throughout the life cycle.	Supply chain	Static	Whole supply chain	Whole supply chain	CE
Ecological impacts	Focuses on the product's effects on ecosystems and biodiversity, including impacts on species populations, habitat loss, ecological balance, and land use changes throughout the lifecycle,	Supply chain	Static	Whole supply chain	Whole supply chain	CE
ollection, Transport, and Sorting information	Provides details on the processes and requirements for the return of products at the end of their lifecycle.	Supply chain	Static	Collection	Collector	CE
mpliance with regulations, rtification, governance, ...	Documents adherence to legal and voluntary frameworks, standards, and governance policies, including certifications and regulatory requirements such as RoHS, REACH, and CE Mark, or ISO, ITU.	Documentation	Static	Whole supply chain	Whole supply chain	CE
Storage and transport	Covers guidelines and data on the safe and efficient storage and transportation of products.	Supply chain	Dynamic	Distributation	Distributer	CE
Dedicated waste stream	Refers to the specific disposal or recycling path designated for a product or its components, ensuring proper resource recovery and compliance with waste management regulations.	Supply chain	Dynamic	Whole supply chain	Whole supply chain	CE
Product location	The physical or geographic place where a product is stored, sold, or used	Supply chain	Dynamic	Whole supply chain	Whole supply chain	G
sage (feedback, insights)	Information or data gathered from users about how they interact with a product, including their experiences, preferences, and suggestions for improvement.	Supply chain	Dynamic	Consumption	Whole supply chain	G
Cost structure	Refers to the breakdown of the costs associated with producing, delivering, and maintaining a product or service, including fixed and variable expenses.	Documentation	Dynamic	Production	Producer	CE
Electrical Specifications	This includes details about a product's nominal power, voltage, and current requirements or ratings, which indicate its standard operating electrical characteristics.	Product information	Static	Production	Whole supply chain	G

- Product information: includes all general information about a product, such as its features, specifications (e.g. size, serial number, type, ...)
- Documentation: collection of written or digital materials that provide detailed information about a product, process, or system, including manuals, instructions, specifications, and other supporting documents.

8.2 Anhang B: Skript zur Erfassung von CE-Daten aus Unternehmensberichten



auf Mikroeben