



**POSITION DER RESSOURCENKOMMISSION AM
UMWELTBUNDESAMT (KRU) // AUGUST 2024 //**

Indikatoren im Themenfeld Ressourcen- schonung und Circular Economy

Grundlagen und Anforderungen für die Entwicklung konsistenter Indikatorensysteme

Impressum

Herausgeber:

Ressourcenkommission am Umweltbundesamt

Die Ressourcenkommission ist ein Gremium unabhängiger Expertinnen und Experten. Sie berät das Umweltbundesamt mit konkreten Vorschlägen zu einer nachhaltigen Ressourcenpolitik.

Co-Vorsitzende:

Prof. Dr. Martin Faulstich (Technische Universität Dortmund) und Prof. Dr. Christa Liedtke (Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie)

Autorinnen und Autoren:

Prof. Dr. Liselotte Schebek (Technische Universität Darmstadt), Klaus Dosch (Faktor X Agentur), Prof. Dr. Martin Faulstich (Technische Universität Dortmund), Dr.-Ing. Christian Hagelüken (im Ruhestand, vormals Umicore AG & Co. KG), Prof. Dr. Melanie Jaeger-Erben (Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg), Dr. Philip Nuss (Umweltbundesamt), Prof. Dr. Mario Schmidt (Hochschule Pforzheim)

weitere Autorinnen und Autoren:

Dr. Benjamin Bongardt (Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz Berlin), Prof. Dr.-Ing. Sabine Flamme (FH Münster), Prof. Mareike Gast (Burg Giebichenstein Kunsthochschule Halle), Dipl.-Ing. Sascha Hermann (VDI Technologiezentrum GmbH), Prof. Dr. Christa Liedtke (Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie), Dr. Bruno Oberle (President World Resource Forum, Mitglied IRP, International Resource Panel), Prof. Dr. Armin Reller (Emeritus, Universität Augsburg), Prof. Barbara Schmidt (Weißensee Kunsthochschule Berlin), Johanna Sydow (Heinrich-Böll Stiftung), Dr. Julia R. Tschesche (Effizienz-Agentur NRW), Dr. Hildegard Wilken (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, BGR), Herwart Wilms (REMONDIS SE & Co. KG)

Dies ist ein Positionspapier der UBA-Ressourcenkommission. Die darin enthaltenen Positionen stimmen nicht zwangsläufig mit denen des Umweltbundesamtes überein.

Redaktion:

Dr. Philip Nuss

(C) Alle Rechte vorbehalten.

Geschäftsstelle:

Umweltbundesamt
Fachgebiet I 1.1
Postfach 14 06
06813 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Ressourcenkommission@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

Satz und Layout:

Atelier Hauer+Dörfler GmbH

Publikation als pdf (Online-Version):

DOI: <https://doi.org/10.60810/openumwelt-7418>

Bildquellen:

Titel: ©BillionPhotos.com /AdobeStock
Seite 7: ©3rdtimeluckystudio/Shutterstock
Seite 12: ©FAMILY STOCK/Shutterstock
Seite 15: ©Andrey_Popov/Shutterstock
Seite 17: ©chayanuphol/Shutterstock
Seite 18: ©3rdtimeluckystudio/Shutterstock
Seite 23: ©Mr. Tempter/Shutterstock

Stand: August 2024



**POSITION DER RESSOURCENKOMMISSION AM
UMWELTBUNDESAMT (KRU) // AUGUST 2024 //**

**Indikatoren im Themenfeld Ressourcen-
schonung und Circular Economy:
Grundlagen und Anforderungen
für die Entwicklung konsistenter
Indikatorensysteme**



Abbildungen

Abbildung 1

Struktur eines konsistenten Indikatorensystems im Bereich Circular Economy mit beispielhaften Indikatoren	9
--	----------

Abbildung 2

EU Taxonomie: Einstufung der Nachhaltigkeit wirtschaftlicher Tätigkeiten an Hand von sechs Umweltzielen und vier Kriterien	21
---	-----------

Inhalt

Zusammenfassung	6
Teil I – Anforderungen: Leitlinien für Indikatorensysteme der Circular Economy (CE)	7
Teil II – Grundlagen von Indikatoren und Indikatorensystemen	12
1 Einführung	13
1.1 Motivation	13
1.2 Definitionen und Grundlagen von Indikatoren.....	14
2 Indikatoren und Indikatorsysteme im Kontext der Nachhaltigen Entwicklung – Sustainability Assessment	16
2.1 Überblick	16
2.2 Charakterisierungsmerkmale für Indikatoren	16
2.3 Systemrahmen und Methodiken zur Ableitung von Indikatoren	17
2.4 Strukturierungsansätze für Indikatorensysteme.....	19
3 Indikatoren der Circular Economy (CE)	22
3.1 Hintergrund: Circular Economy und Natürliche Ressourcen	22
3.2 Zielorientierung und Maßnahmen der Circular Economy.....	24
3.3 Übersicht über Indikatoren bzw. Indikatorensysteme der CE	26
3.4 Datengrundlagen für CE-Indikatoren	28
3.5 CE-Indikatoren in der Praxis (Stand 2024)	29
3.6 CE-Indikatoren – Quo vadis?.....	30
Literaturverzeichnis	32

Zusammenfassung

Das vorliegende Positionspapier beschäftigt sich mit Grundlagen und Anforderungen für die Entwicklung von transparenten, aussagekräftigen und konsistenten Indikatoren bzw. Indikatorensystemen im Themenfeld Ressourcenschonung mit Fokus auf die Circular Economy (CE). Damit soll insbesondere ein Beitrag dazu geleistet werden, Maßnahmen im Bereich der CE im Hinblick auf ihren tatsächlichen Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung zu bewerten: Indikatorensysteme sollen eine rationale Argumentation bieten, um (i) bei der Konzeption von Maßnahmen der CE zielführende Maßnahmen von möglicherweise kontraproduktiven bzw. mit erheblichen Zielkonflikten verbundenen Maßnahmen zu unterscheiden, und (ii) ein Monitoring der Zielerreichung von Maßnahmen zu ermöglichen.

Heute finden sich in wissenschaftlicher Literatur, Studien und praktischen Anwendungen der CE sehr viele Vorschläge für Indikatoren auf Basis unterschiedlicher konzeptioneller und methodischer Ansätze. Gerade vor dem Hintergrund der aktuellen Politik des Europäischen Green Deal wächst diese Anzahl ständig. Diese Vielfalt macht deutlich, dass bislang noch keine einheitliche Sicht dazu entwickelt werden konnte, wie ein CE-Monitoring in umfassender Weise erfolgen sollte. Darüber hinaus zeigt sich in dieser Vielfalt auch ein grundsätzlicher Trade-off von Indikatorensystemen: dieser besteht zwischen dem Wunsch nach umfassender Abbildung möglichst vieler Aspekte der Nachhaltigkeit und/oder aktueur-spezifischer Sichtweisen einerseits, und der steigenden Komplexität und abnehmenden Transparenz und Kommunizierbarkeit von Systemen mit einer Vielzahl von Indikatoren andererseits. Für eine Entscheidungsunterstützung muss ein Umgang mit solchen Trade-offs gefunden werden.

Darüber hinaus ist für jeden einzelnen Indikator Validität und Eignung zu überprüfen. Dazu ist zu berücksichtigen, dass Indikatoren im Bereich Nachhaltigkeit und CE nicht meßtechnisch erfasst, sondern durch mehr oder weniger komplexe Bilanzierungsansätze aus vorhandenen Datengrundlagen generiert werden. Validität und Eignung sind deshalb zentral von der für die Berechnung gewählten Methodik für einen

Indikator und von der Verfügbarkeit entsprechender Datengrundlagen abhängig. Dieser Zusammenhang wird oft nicht beachtet, was sowohl die Aussagekraft bzw. das Verständnis von Indikatoren stark einschränken kann, als auch dazu führt, dass viele Vorschläge für Indikatoren heute praktisch mangels der notwendigen Daten nicht realisierbar sind.

Vor diesem Hintergrund enthält das vorliegende Positionspapier zwei Teile: im **Teil I** werden *Leitlinien für Indikatoren und Indikatorensysteme* vorgestellt. Diese Leitlinien sollen sowohl die Einordnung vorhandener CE-Indikatoren im Hinblick auf ihre Funktion und Aussagekraft ermöglichen als auch die (Weiter-)Entwicklung zielorientierter und konsistenter Indikatorensysteme unterstützen. Sachlich sollen sie die Konsistenz eines Indikatorensystems für die gesamte CE „von Mikro zu Makro“ und ein einheitliches Verständnis des Charakters von Indikatoren als Basis der Kommunikation zwischen unterschiedlichen Akteuren unterstützen.

Diese Leitlinien basieren auf **Teil II** des Positionspapiers, das *Grundlagen der Indikatorik* ausführlich darstellt. Auf Basis der wissenschaftlichen Literatur werden zunächst grundsätzliche, themenunabhängige Definitionsansätze, Charakteristika und Strukturierungsansätze für Indikatoren und Indikatorensysteme zusammengefasst. Im Anschluss werden Indikatoren und Methoden der Nachhaltigkeitsbewertung (engl. Sustainability Assessment) vorgestellt. Damit soll insbesondere der Zusammenhang zwischen einem Indikator und der Methodik, die die Grundlage seiner Berechnung ist, verdeutlicht werden, u. a. im Hinblick auf die Relevanz von Systemgrenzen und des Objekts, das durch einen Indikator abgebildet wird. Abschließend werden die spezifischen Rahmenbedingungen des Themenfelds Ressourcenschonung und CE diskutiert und ein aktueller Überblick zu CE Indikatoren auf der Makro- und Mikro-Ebene gegeben, der Herausforderungen und Entwicklungsperspektiven aufzeigt.

Teil I – Anforderungen: Leitlinien für Indikatorensysteme der Circular Economy (CE)



Leitlinien für Indikatorenssysteme sollen sowohl die Einordnung vorhandener CE-Indikatoren im Hinblick auf ihre Funktion und Aussagekraft ermöglichen als auch die (Weiter-)Entwicklung zielorientierter und aussagekräftiger Indikatorenssysteme unterstützen. Sachlich sollen sie die Konsistenz eines Indikatoren-systems für die gesamte CE „von Mikro zu Makro“ und ein einheitliches Verständnis des Charakters von Indikatoren als Basis der Kommunikation zwischen unterschiedlichen Akteuren unterstützen.

Grundlage dieser Leitlinien ist das Verständnis dafür, was die CE ist. Auf politischer Ebene findet sich häufig die Beschreibung der CE als ein „...Produktions- und Konsummodell, bei dem vorhandene Materialien und Produkte so lange wie möglich gemeinsam genutzt, ge-least, wiederverwendet, repariert, aufgearbeitet und recycelt werden.“¹ Ein solches Produktions- und Kon-summodell könnte als Selbstzweck gesehen werden. Jedoch finden sich gleichzeitig klare politische Aus-sagen² dazu, dass eine CE eben kein Selbstzweck ist, sondern ein Mittel zur Erreichung von wesentlichen Zielen einer nachhaltigen Entwicklung, insbesonde-re Klimaschutz und Ressourcenschonung (s. Teil II Kapitel 3.1). Die vorliegenden Leitlinien basieren klar auf einem solchen Verständnis. Aus diesem Grund müssen Indikatorenssysteme für die gesamte CE „von Mikro zu Makro“ auf diese Ziele orientiert sein, unab-hängig davon, dass einzelne Indikatoren auf der ope-rativen Ebene spezifisch für bestimmte Maßnahmen oder Akteursgruppen sein können.

Indikatoren dienen somit vor allem zur Bewertung von Maßnahmen der CE in Bezug auf ihre Zielorien-tierung. Die Eignung eines Indikators für eine solche Bewertung hängt jedoch direkt mit der Methode zu-sammen, mit er ermittelt wird – dem Bilanzierungs-system, das vereinfacht gesagt durch Systemgrenzen, Berechnungsvorschrift und Annahmen bestimmt wird (s. z. B. Teil II Kapitel 2.3). Darüber hinaus ist die Aussagekraft des Berechnungsergebnisses naturge-mäß mit den dafür verwendeten Datengrundlagen verbunden. Auch diese Zusammenhänge gehen als Grundlage in die vorliegenden Leitlinien ein, da sie wesentlich für die praktische Anwendung von Indika-toren sind.

Abbildung 1 zeigt die allgemeine Form eines Indika-toren-systems, das in konsistenter Form einzelne In-dikatoren zusammenfasst. Ein solches System ist ge-gliedert in Zielebene und operative Ebene, die einen konzeptionellen Zusammenhang haben. Auf diesen beiden Ebenen stellen Indikatoren die quantitative Ausprägung von Leitzielen bzw. von Handlungsfeldern dar. Für die praktische Anwendung von Indikatoren zur Entscheidungsunterstützung sind entsprechende Datengrundlagen zur einfachen Berechnung nötig.

Basierend auf dieser Darstellung werden im Fol-genden *sieben Leitlinien* formuliert. Von diesen be-schreiben die ersten drei Leitlinien die allgemeinen Rahmenbedingungen, die für die Entwicklung konsistenter Indikatorenssysteme zu beachten sind, wäh-rend die weiteren Leitlinien dies für den Bereich der CE konkretisieren und die Anforderungen an Daten-grundlagen formulieren.

Leitlinie 1: Unterscheidung zwischen Indikatoren auf der Zielebene und Indikatoren auf der operativen Ebene/Maßnahmen-Ebene

Die Unterscheidung zwischen Zielebene einerseits und operativer Ebene (Maßnahmenebene) ander-erseits ist zentral für ein zielorientiertes und konsis-tentes Indikatoren-system und soll klar ausgewiesen werden (s. Teil II Kapitel 2.4). Es lassen sich folgende Anforderungen formulieren:

Zielindikatoren:

- ▶ Zielindikatoren sollen ausgewählt werden an Hand gesellschaftlich/politisch gesetzter Leitziele der Nachhaltigen Entwicklung
- ▶ Zielindikatoren sind für alle Ebenen und alle Akteursgruppen die gleichen.

Operative Indikatoren auf der Maßnahmenebene:

- ▶ Operative Indikatoren sollen praxisorientiert auf ein bestimmtes Handlungsfeld³ sein, gleichzeitig aber einen konzeptionellen Bezug zu einem oder mehreren Zielindikatoren haben.
- ▶ Die Auswahl von operativen Indikatoren erfolgt mit spezifischem Bezug auf die Anwendung im je-weiligen Handlungsfeld, d. h. auf Akteursgruppe, Objekt/Maßnahme und Entscheidungskontext.

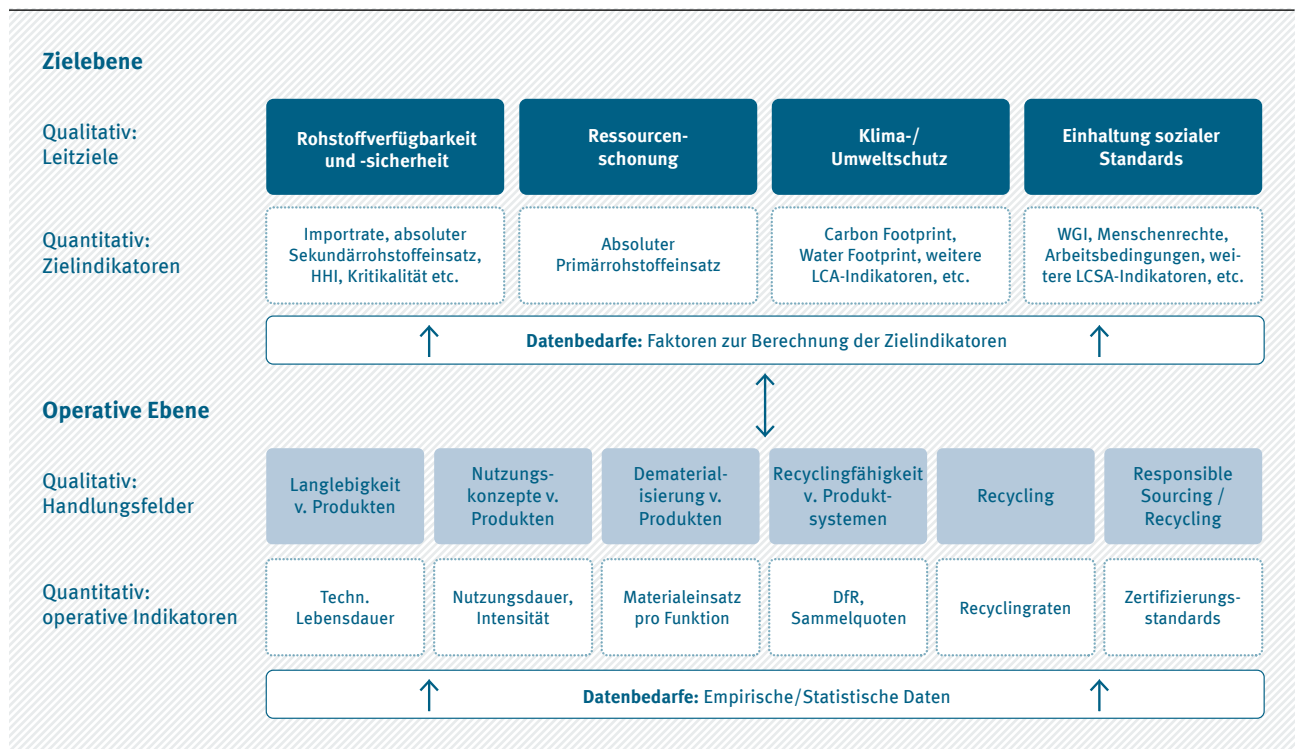
1 <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/economy/20151201ST005603/circular-economy-definition-importance-and-benefits>

2 S. z. B. die Erklärung von Exekutiv-Vizepräsident Frans Timmermans zum CE Action Plan: „Um bis 2050 Klimaneutralität zu erreichen, unsere natürliche Umwelt zu erhalten und unsere wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit zu stärken, bedarf es einer geschlossenen Kreislaufwirtschaft.“ https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/ip_20_420

3 Unter Handlungsfeld wird hier ein spezifisches Umfeld der Praxis verstanden, das durch seine Akteure und Handlungsmöglichkeiten geprägt ist, beispielsweise das Handlungsfeld „Produktdesign“ oder das Handlungsfeld „Stadtplanung“.

Abbildung 1

Struktur eines konsistenten Indikatorensystems im Bereich Circular Economy mit beispielhaften Indikatoren



Leitziel: qualitative Beschreibung eines Ziels, das auf der gesamtgesellschaftlichen/politischen Ebene formuliert wird und das für alle Akteure der Gesellschaft eine übergreifende Zielsetzung setzt/ein übergreifendes zu behandelndes Problemfeld der Nachhaltigen Entwicklung beschreibt.

Zielindikator: Quantitative Ausprägung eines Leitziels in Form eines Indikators, der berechnet werden kann und der das Leitziel repräsentiert.

Handlungsfeld: ein spezifisches Umfeld der Praxis, das durch seine Akteure und Handlungsmöglichkeiten geprägt ist.

Operative Indikatoren: Quantitative Ausprägung eines Ziels auf der operativen Ebene innerhalb eines Handlungsfelds, das spezifisch für Akteure oder Teilbereiche eines Handlungsfelds sein kann. Zwischen operativen Indikatoren und Zielindikatoren muss ein kausaler Zusammenhang bestehen.

HHI: Herfindahl-Hirschman-Index; LC(S)A: Life Cycle (Sustainability) Assessment; WF: Water Footprint; WGI: World Governance Indicator; DfR: Design for Recycling.

Quelle: eigene Abbildung der UBA-Ressourcenkommission basierend auf (UBA-Ressourcenkommission, 2023).

Leitlinie 2: Auswahl von Indikatoren auf der Zielebene

Für die Nachhaltige Entwicklung der Gesellschaft sind mehrere Leitziele relevant, was zu einer Vielzahl von Zielindikatoren führen kann. Die Auswahl von Zielindikatoren beinhaltet daher zwangsläufig einen Prozess der Abwägung zwischen Vollständigkeit und Komplexität (s. Teil II Kapitel 2.4). Hierbei soll den folgenden Überlegungen gefolgt werden:

- ▶ Während der Umgang mit einer großen Anzahl von Indikatoren im Rahmen einer analytischen oder beschreibenden Verwendung durchaus möglich ist, ist bei Heranziehung zur Entscheidungsunterstützung eine Auswahl oder Priorisierung einzelner Indikatoren bis hin zur Wahl eines einzigen (Leit-)Indikators notwendig.

- ▶ Die Auswahl eines oder weniger Zielindikatoren wird danach getroffen, auf welches Leitziel ein Themenfeld⁴ prioritär ausgerichtet ist, d. h. wie relevant der ursächliche Zusammenhang zwischen einem Themenfeld und einem bestimmten Leitziel (sowie dem dafürstehenden Indikator) ist. Andere allgemeine Ziele der nachhaltigen Entwicklung können jedoch als einzuhaltender Rahmen definiert werden⁵.
- ▶ Eine solche Auswahl oder Priorisierung zwischen den Leitzielen bzw. den korrespondierenden Zielindikatoren soll in expliziter und einfach nachvollziehbarer Weise erfolgen.

Leitlinie 3: Indikator und Zielwert

Ein Indikator ist definiert durch die Methode/Rechenvorschrift („Bilanzierungsmethode“), mit der er ermittelt wird (s. z. B. Teil II Kapitel 2.3). Das Ergebnis gilt für einen konkreten Zeitpunkt oder eine konkrete Situation und fällt daher für unterschiedliche Zeitpunkte/Situationen unterschiedlich aus. In diesem Sinne können Indikatoren für das Monitoring benutzt werden, indem der Indikatorwert beispielsweise jährlich berechnet wird. Darüber hinaus kann für einen Indikator ein Zielwert gesetzt werden, um den aktuellen Wert eines Indikators mit dem für einen bestimmten Zeitpunkt gesetzten Zielwert zu vergleichen. Dabei ist zu beachten:

- ▶ Zielwerte können sowohl auf der Zielebene gesetzt werden, beispielsweise für die Reduktion von Klimagasen auf der nationalen Ebene, aber auch auf der operativen Ebene, beispielsweise zur Effizienz von Heizungsanlagen.
- ▶ Nicht jeder Indikator ist zwangsläufig mit einem Zielwert verbunden. Gibt es aber solche Zielwerte, so ist es in der Kommunikation über Indikatoren wesentlich, den Unterschied zwischen dem Indikator selbst und seinem möglichen Zielwert zu beachten.

Leitlinie 4: Kategorisierung von Maßnahmen der CE

Im Bereich der CE finden Indikatoren vor allem zur Bewertung von Maßnahmen Anwendung, sowohl auf der Politikebene als auch in der Praxis der konkreten Kreislaufwirtschaft. Aus systemarer Sicht lassen sich Maßnahmen der CE in zwei Bereiche strukturieren⁶:

- ▶ CE im engeren Sinne: Schließung von Materialkreisläufen in der Wirtschaft durch das Recycling von Abfällen.
- ▶ CE im weiteren Sinne: Wirtschaftsform, die auf die Ressourcenschonung in allen Bereichen von Wirtschaft und Gesellschaft ausgerichtet ist und in der Maßnahmen im gesamten Lebenszyklus von Produkten ansetzen.⁷

Diese Unterscheidung macht einen wesentlichen Unterschied hinsichtlich der jeweiligen Bilanzierungsmethode und der entsprechenden Indikatoren:

- ▶ Im Fall der **CE im engeren Sinne**, d. h. der Schließung von Materialkreisläufen, setzen alle Maßnahmen am „Output“ der Wirtschaft an, d. h. an den Abfällen. Entlastungseffekte treten ausschließlich dann ein, wenn eine Substitution von Primärmaterialien erfolgt. Bilanzierungsmethoden und darauf basierende Indikatoren müssen daher diese Substitution abbilden.
- ▶ Im Fall der **CE im weiteren Sinne** setzen Maßnahmen am „Input“ der Wirtschaft an, d. h. sie richten sich darauf, die in die Wirtschaft fließenden Primärmaterialien zu verringern. Bilanzierungsmethoden und darauf basierende Indikatoren müssen daher die Verringerung der einfließenden Materialien bzw. der damit verbundenen negativen Umwelt- und sozialen Wirkungen in der Produktions- und Nutzungsphase abbilden, also beispielsweise auch Maßnahmen der Suffizienz erfassen.

4 Als Themenfeld wird im vorliegenden Positionspapier ein Politikfeld bezeichnet, das im Zusammenhang mit bestimmten Leitzielen steht, wie beispielsweise das Themenfeld Circular Economy.

5 Beispiel: Das Themenfeld „Erneuerbare Energien“ ist direkt auf das Leitziel „Verringerung des Klimawandels ein“ ausgerichtet. Aus diesem Grund wird der Zielindikator „Treibhausgasemissionen [CO₂-eq]“ gesetzt, zu dem alle Maßnahmen in diesem Themenfeld beitragen müssen. Als Rahmenbedingung kann jedoch beispielsweise gefordert werden, dass bei diesen Maßnahmen keine negativen Auswirkungen im sozialen Bereich auftreten dürfen.

6 Die hier verwendete Interpretation der Begrifflichkeiten „CE im engeren Sinne“ und „CE im weiteren Sinne“ wurde in Abgrenzung von der unscharfen Verwendung in der Literatur an Hand von zwei Kriterien definiert: der Geltungsbereich des Abfallrechts und die bilanztechnische Notwendigkeit der Berücksichtigung der Substitution. Nähere Erläuterungen hierzu finden sich in Teil II Kapitel 3.2.

7 Diese Definition der CE im weiteren Sinne entspricht inhaltlich der Beschreibung der CE in den Verlautbarungen der EU (vgl. dazu Kap. 3.1 Zeile 387 ff)

Leitlinie 5: Konkretisierung eines Indikatorensystems für die CE

Auf der Zielebene soll ein Indikatorensystem für die CE wie folgt ausgestaltet werden:

- ▶ Ein Zielindikator soll für mindestens eines der Leitziele Klimaschutz, Rohstoffverfügbarkeit und Ressourcenschonung gewählt werden, auf die die CE direkt ausgerichtet ist (s. Teil II Kapitel 3.1/3.2). Weitere Zielsetzungen der nachhaltigen Entwicklung (beispielsweise aus dem Bereich der natürlichen Ressourcen) können wie oben beschrieben als Rahmenbedingen definiert werden, die bei der Verfolgung dieser Leitziele einzuhalten sind.
- ▶ Methodisch sollen Indikatoren auf eine systemische (lebenszyklusweite) Sicht der CE ausgerichtet sein, um globale Wirkungen im Bereich Klimawandel und Rohstoffe abzubilden, unabhängig von nationalen oder wirtschaftsräumlichen Grenzen („Fußabdruck-Indikatoren“). So sind räumliche und zeitliche Verlagerungsaspekte und nach Möglichkeit auch Reboundeffekte einer Maßnahme zu berücksichtigen (s. Teil II Kapitel 2.3).

Auf der operativen Ebene können und sollen Indikatoren maßnahmen-/sektor-/akteurspezifisch konzipiert werden. Die Konzeption dieser Indikatoren soll jedoch eine Überprüfung beinhalten, inwieweit ein Indikator die gewählten Zielindikatoren unterstützt:

- ▶ Speziell für Materialkreisläufe ist der Zusammenhang zwischen der Substitution von Primärmaterialien und Indikatoren auf der Zielebene ((z. B. Treibhausgasen)) herzustellen und zu hinterfragen. Dabei ist auch die zeitliche Dynamik der Maßnahmen von Materialkreisläufen zu berücksichtigen, vor allem für Materialien in langlebigen Produkten und Infrastrukturen.
- ▶ In Bezug auf die Bilanzierungsmethodik ist allgemein auf Herstellung von Konsistenz zwischen Indikatoren/Bilanzierungsansätzen auf Makro- und Mikroebene zu achten.

Leitlinie 6: Umgang mit Zielkonflikten in der Bewertung von CE-Maßnahmen

- ▶ Für eine festzulegende Liste von Leitziele bzw. deren Zielindikatoren wird für den Umgang mit möglichen Zielkonflikten ein Vorgehen der Prioritätensetzung vorgeschlagen, wie es konzeptionell in der EU Taxonomie angewandt wird (s. Teil II Kapitel 2.4.3). Ein solches Vorgehen beinhaltet drei Elemente:

- ▶ Auswahl eines prioritären Indikators, zu dem eine Maßnahme einen signifikanten Beitrag leisten soll.
- ▶ Anforderung für alle anderen Indikatoren, dass keine Verschlechterung eintreten darf.
- ▶ Festlegung von „k. o.“-Kriterien, die eine Maßnahme ggf. ausschließen.

Leitlinie 7: Datengrundlagen

Damit Indikatorensysteme einen praktischen Einfluss auf Entscheidungen haben, müssen sie mit einfachen, aber validierten Berechnungstools und Datengrundlagen für eine schnelle und reproduzierbare Berechnung der jeweiligen Indikatoren unterlegt werden (s. Teil II Kapitel 3.4). Dazu müssen vorhandene Datenbestände hinsichtlich der folgenden Aspekte weiterentwickelt werden:

- ▶ Für die Ermittlung des Beitrags von CE-Maßnahmen zu Zielindikatoren (z. B. auf Basis der Bilanzierungsmethoden des Life Cycle Assessment (LCA) bzw. von Footprints) sind einfach zu handhabende und qualitätsgesicherte Standard-Daten (z. B. Emissionsfaktoren) sowie vereinfachte, aber zielgerichtete Berechnungsverfahren und Tools erforderlich, insbesondere für Anwendergruppen wie kleine und mittlere Unternehmen (KMU).
- ▶ Für die Bilanzierung von Materialkreisläufen sind konkrete, empirisch belegte Daten für vollständige Recyclingketten und die Analyse von Substitutionseffekten erforderlich. Hinsichtlich der langen Zeiträume von Materialkreisläufen soll zwischen ex-post und ex-ante Ansätzen unterschieden werden, die einerseits auf einem realistischen Bild des heutigen Recyclings, andererseits auf Annahmen für zukünftige Szenarien eines möglichen Recyclings basieren.
- ▶ Insgesamt stellen Datengrundlagen die „Infrastruktur“ für die Berechnung von Indikatoren und damit für die Bewertung von CE-Maßnahmen im Rahmen von Entscheidungsprozessen in Politik, Wirtschaft und Gesellschaft dar. Die kontinuierliche Weiterentwicklung und Pflege eines Kernbestands validierter Datensätze soll daher als öffentliche Aufgabe gesehen werden.

Teil II – Grundlagen von Indikatoren und Indikatorensystemen



1 Einführung

1.1 Motivation

Indikatoren und Indikatorensysteme spielen in vielen Politikfeldern eine wesentliche Rolle, auch und gerade im Kontext der nachhaltigen Entwicklung. Sie stehen an der Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Politik und dienen in politischen Strategien als Steuergröße und für das Monitoring des Erfolgs. Zudem werden sie in der Kommunikation mit der Öffentlichkeit verwendet (Lehtonen, 2015). Indikatoren sollen einerseits einfache Aussagen liefern, sie stehen andererseits aber für teilweise hochkomplexe Sachverhalte. Dieses Spannungsfeld macht die Entwicklung von transparenten, aussagekräftigen und konsistenten Indikatoren bzw. Indikatorensystemen zu einer anspruchsvollen Aufgabe. Genauso folgt daraus, dass bei der Interpretation von Indikatoren für die Entscheidungsunterstützung in Politik und anderen praktischen Anwendungen ein Verständnis für deren konzeptionelle Grundlagen und Rahmenbedingungen unabdingbar ist.

Mit dem vorliegenden Papier soll das Themengebiet der Indikatorik so aufgearbeitet werden, dass wesentliche, für die Praxis wichtige Grundlagen verständlich werden und in ihrer Relevanz für einen bestimmten Anwendungskontext beurteilt werden können. Dazu werden zunächst allgemeine Definitionen und Aussagen der wissenschaftlichen Literatur zu Indikatoren kurz zusammengefasst, danach Strukturierungssystematiken für Indikatoren bzw. Indikatorensysteme im Kontext Nachhaltigkeit vorgestellt und abschließend Indikatoren im Themenfeld Ressourcen und Circular Economy (CE) behandelt.

Die Funktion eines Indikators liegt in der Vereinfachung, indem er als Stellvertretergröße für einen komplexen Sachverhalt oder Gegenstand dient. Daraus leitet sich direkt die Anforderung ab, dass ein kausaler Zusammenhang zwischen Indikator und dem repräsentierten Sachverhalt bzw. Gegenstand bestehen muss. Darüber hinaus werden für interessierende Sachverhalte oder Gegenstände häufig mehrere Indikatoren ausgewählt und für eine gemeinsame Anwendung zusammengestellt. Hierbei ist zu klären, in welchem kausalen oder argumentativen Verhältnis diese Indikatoren innerhalb des Sets zueinanderstehen und wie bei einer größeren Anzahl von Indikatoren deren Rolle in der Entscheidungsfindung ist.

In der wissenschaftlichen Literatur gibt es zahlreiche Arbeiten zu Indikatoren bzw. zu Indikatorensystemen, die sich mit der Methodik der Bildung von Indikatoren, mit sachlichen Anforderungen in unterschiedlichen Themengebieten und mit dem Begriff der „Qualität“ von Indikatoren beschäftigen. Speziell im Hinblick auf Indikatorensysteme wird darauf hingewiesen, dass deren Ableitung mehr als die einfache Zusammenstellung einzelner Indikatoren erfordert: *“a set of ‘valid indicators’ does not guarantee a ‘valid set’ of indicators”* (Schang et al., 2021). Viele Publikationen legen daher den Fokus auf Indikatorensysteme, entwickeln theoretische Konzepte für deren Aufbau und Validierung und beleuchten den Arbeitsprozess und die Einbindung von Akteuren. Außerdem finden sich in der Literatur zahlreiche konkrete Vorschläge für Indikatorensysteme in speziellen Anwendungsfeldern der Nachhaltigkeit (z. B. für Bioökonomie (Jander and Grundmann, 2019), Wasser (Pires et al., 2017) und Stadtplanung (Schebek and Lützkendorf, 2022)).

Trotz der umfassenden Behandlung von Indikatoren in der Literatur stellen sich Probleme in der praktischen Anwendung. So haben sowohl theoretische Konzepte als auch konkrete Indikatorensysteme eine hohe Komplexität, was entsprechendes Fachwissen voraussetzt und die Kommunikation außerhalb von Expertenkreisen erschwert. Diese Komplexität weist auf einen grundsätzlichen Trade-off hinsichtlich der Gestaltung von Indikatorensystemen hin: einerseits besteht der Wunsch, ein Objekt oder einen Sachverhalt möglichst umfassend zu charakterisieren, was zu einer großen Anzahl von Einzelindikatoren führt. Andererseits folgt daraus eine komplexe Methodik der Priorisierung, die Verständnis und Transparenz einschränkt. Darüber hinaus müssen für die ausgewählten Indikatoren die notwendigen Datengrundlagen zur Verfügung stehen, was zu einem hohen Arbeitsaufwand führen kann oder auf Grund fehlender Datenbestände die Umsetzung eines Indikatorensystems einschränken kann.

1.2 Definitionen und Grundlagen von Indikatoren

Die oben schon angesprochene **Definition von Indikatoren** als Stellvertretergrößen für komplexe Sachverhalte oder Objekte ist in der wissenschaftlichen Literatur allgemein akzeptiert, unabhängig von Kontext oder Disziplin. Im Folgenden wird auf Basis von (Schebek and Lützkendorf, 2022) ein kurzer Überblick zu allgemeinen Definitionen und Merkmalen gegeben. Eine allgemeine Definition für Indikatoren im Anwendungskontext Ökologie und Umweltplanung wird von (Heink and Kowarik, 2010) wie folgt gegeben: Indikatoren sind „ein Maß oder eine Komponente, aus dem bzw. der Rückschlüsse auf das interessierende Phänomen gezogen werden können“. Sinngemäß übereinstimmend sind Definitionen aus der Praxis, so z. B. in einem Bericht des World Resources Institute (Hammond et al., 1995)⁸, bei der EEA (Smeets and Weterings, 1999)⁹. Im Glossar der Bundeszentrale für politische Bildung (BPP, 2023) heißt es: Ein „*Indikator bezeichnet eine Messgröße, die (soziale, ökonomische, politische) Sachverhalte anzeigt, die nicht unmittelbar messbar sind (z. B. durchschnittliche Lebenserwartung als Indikator für die gesundheitliche Versorgung eines Landes)*“. Im Zusammenhang mit Indikatoren wird häufig auch der Begriff Kenngröße verwendet. Dieser steht im engeren Sinn für direkt messbare Sachverhalte; da eben diese direkt messbaren Kenngrößen aber auch die Funktion eines Indikators annehmen können, sind die Begriffe überlappend.

Aus diesen Definitionen leitet sich unmittelbar ab, dass der **Zusammenhang zwischen dem Indikator und dem abzubildenden Objekt oder Sachverhalt** durch eine Hypothese oder eine kausale Wirkungskette begründet sein muss (z. B.: (Jander and Grundmann, 2019)¹⁰).

Ein Indikator kann sowohl direkt gemessen bzw. bestimmt werden, als auch aus mehreren Größen abgeleitet („indirekt“ bestimmt) werden. Ein Beispiel für den ersten Fall sind sogenannte Bioindikatoren, d. h. Tier- oder Pflanzenarten, die den Zustand eines Ökosystems anzeigen und die durch direkte Beobachtung oder Zählung bestimmt werden (Heink and

Kowarik, 2010). Häufiger stellen Indikatoren aber abgeleitete oder „indirekte“ Größen dar, die mit teils komplexen Rechenverfahren oder Modellen ermittelt werden. So wird beispielsweise aus den Beiträgen unterschiedlicher Treibhausgase mittels modellgestützter Faktoren der Indikator Klimawandel mit der Einheit CO₂-Äquivalente berechnet. Obwohl theoretisch eine klare Unterscheidung zwischen direkten und indirekten Indikatoren möglich ist, spielt dies für die Anwendung von Indikatoren keine prinzipielle Rolle. So schreiben Heink and Kowarik „...*allerdings kann die Direktheit entlang eines Spektrums liegen und es lassen sich in der Literatur keine einheitlichen Kriterien zur Unterscheidung von direkter und indirekter Darstellung finden.*“ (Heink and Kowarik, 2010). Tatsächlich werden die meisten Indikatoren nicht im naturwissenschaftlichen Sinne gemessen oder empirisch ermittelt, sondern aus mehreren Größen durch ein Berechnungsverfahren abgeleitet. Dies weist auf die große Bedeutung der Modellbildung für die Ableitung von Indikatoren hin.

Zu unterscheiden ist der Indikator selbst von einem möglichen Zielwert. Während ein Indikator in erster Linie einen beschreibenden Charakter hat, also einen zu einem bestimmten Zeitpunkt und für bestimmte Rahmenbedingungen ermittelten Wert angibt, ist ein Zielwert ein normative gesetzter fixer Wert eines Indikators, der zu erreichen ist oder als Vergleichsmaßstab herangezogen werden kann, der also der Bewertung dient. Hier besteht ein Bezug zum Begriff des Benchmarks als einem Oberbegriff für Bewertungsmaßstäbe. Im engeren Sinn wird ein Benchmark als ein Zielwert verstanden, der die zahlenmäßige Ausprägung eines Indikators zur Darstellung von Zielen einer Entwicklung oder einer Maßnahme wiedergibt (Schebek et al., 2022a). Zielwerte können auf unterschiedlichen Ebenen und Kontexten abgeleitet werden, die von politischen Zielen bis hin zu Vorgaben in technischen Spezifikationen reichen.

⁸ “As commonly understood, an indicator is something that provides a clue to a matter of larger significance or makes perceptible a trend or phenomenon that is not immediately detectable. [...] Thus an indicator’s significance extends beyond what is actually measured to a larger phenomena of interest.”

⁹ “... environmental indicators provide information about phenomena that are regarded typical for and/or critical to environmental quality. ...Indicators always simplify a complex reality”.

¹⁰ “An observable indicator needs to be linked to an unobservable construct through a correspondence rule, meaning a hypothesis regarding the relationship between indicator and construct. The rule can be derived via a causal model that makes assumptions regarding influences on a construct’s development”

Für die **Zusammenstellung von Indikatoren** werden in der Literatur die Begriffe Indikatorset, Indikatorensystem oder Indizes verwendet, allerdings findet sich keine klare Abgrenzung zwischen diesen Begriffen. In einer Publikation zu Indikatoren für den Bereich der Ressourceneffizienz von Quartieren schlagen die Autoren die folgende Unterscheidung vor (Schebek et al., 2022a): Als „offene“ *Indikatorensets* werden einfache Sammlungen von Indikatoren bezeichnet. Ziel ist es, unterschiedliche Perspektiven auf ein Objekt abzubilden, z. B. die Perspektiven verschiedener Akteure in partizipativen Prozessen. Doppelzählungen spielen hier keine Rolle, jedoch dürfen Indikatoren hier aus methodischen Gründen nicht aggregiert werden. Im Unterschied dazu beruhen „geschlossene“ *Indikatorensysteme top-down* auf Basis eines klar ausgestalteten homogenen konzeptionellen oder modelltheoretischen Ansatzes, der Doppelzählungen ausschließt. Hier können ggf. auch Aggregationen unterschiedlicher Indikatoren vorgesehen werden, für die in der Literatur u. a. die Bezeichnungen Composite Indicator oder Single Score Indicator vorgeschlagen werden (OECD, 2005). Im vorliegenden Diskussionspapier wird der Begriff Indikatorensysteme zusammenfassend für alle Zusammenstellungen von Indikatoren verwendet; sofern erforderlich, wird für einzelne Sachverhalte auf die oben beschriebenen Unterscheidungen eingegangen.

Die **Qualität von Indikatoren** wird in der Literatur in zwei Richtungen diskutiert: zum einen die inhaltsbezogene („content-related“) Qualität: Diese hängt davon ab, ob ein Indikator bzw. Indikatorenset die Eigenschaften des zu repräsentierenden Sachverhalts wiedergibt, ob also wie oben angesprochen ein kausaler Zusammenhang dargelegt werden kann. Zum anderen wird der prozedurale Aspekt der Qualität hervorgehoben, der für Legitimität, Glaubwürdigkeit und Bedeutung (legitimacy, credibility and salience) von Indikatoren steht (Bauler, 2012). Gängig ist auch eine Beschreibung der Qualität von Indikatoren an Hand der RACER-Bewertung (relevant, akzeptiert, glaubwürdig (credible), einfach, robust, siehe z. B. (Nuss et al., 2021) currently used indicators only include a subset of natural resources and often lack an impact evaluation (e.g., considering resource scarcity or environmental relevance.



Insbesondere im prozeduralen Aspekt der Qualität – wer sind die Personen oder Gruppen, die Indikatoren und Indikatorensysteme entwickeln – spiegeln sich gesellschaftliche Einflüsse und die machtbetonte Dimension von Indikatoren. In der Literatur findet sich hierzu eine kontroverse Diskussion hinsichtlich der Entwicklung von Indikatorensystemen als Expertenaufgabe versus partizipativer Prozesse der Indikatorenentwicklung (Bauler, 2012; Fraser et al., 2006). (Heink and Kowarik, 2010) weisen darauf hin, dass Indikatoren dann, wenn das Objekt nicht ausreichend verstanden ist und daher keine kausale Korrelation begründet werden kann, auch normativ gesetzt werden, d. h. sie beziehen dann ihre Legitimation in erster Linie aus politisch gesetzten Zielen und verfahrenstechnische Rationalität. Wichtig für eine Legitimation von Indikatoren sind in jedem Fall Transparenz und Kommunikation auf Grundlage einer klaren Definition eines Indikators und einer eindeutigen Beschreibung der Methode zu seiner Ableitung (Schebek et al., 2022a).

2 Indikatoren und Indikatorensysteme im Kontext der Nachhaltigen Entwicklung – Sustainability Assessment

2.1 Überblick

Indikatoren im Kontext der Nachhaltigen Entwicklung werden in den seltensten Fällen direkt erhoben, sondern mit mehr oder weniger aufwendigen Berechnungsmethoden oder komplexen Modellen abgeleitet. Üblicherweise werden mehrere Indikatoren für unterschiedliche Aspekte der Nachhaltigen Entwicklung zusammenhängend ausgewählt. Diese Indikatorensysteme zusammen mit den Methoden/Modellen zur Ableitung der Indikatoren werden in der Literatur mit dem übergreifenden, aber gleichzeitig unscharfen Begriff „**Sustainability Assessment**“ (Nachhaltigkeitsbewertung) bezeichnet (z. B. (Andes et al., 2019; Ness et al., 2007; Singh et al., 2012; Waas et al., 2014). Das Sustainability Assessment kann für die vergleichende Bewertung von Alternativen eingesetzt werden, kann aber auch Referenz- oder Zielwerte mit einbeziehen: *“a given indicator doesn’t say anything about sustainability, unless a reference value such as thresholds is given to it”* (Lancker and Nijkamp, 2000), cited from (Singh et al., 2012).

2.2 Charakterisierungsmerkmale für Indikatoren

Allgemein können einzelne Indikatoren durch unterschiedliche Charakteristika beschrieben und ausgewählt werden, die sich teilweise auch auf vollständige Indikatorensysteme anwenden lassen: thematisch, objektbezogen oder operativ/anwendungsbezogen.

Eine **thematische Einordnung** geht aus von den inhaltlichen Aspekten einer Nachhaltigen Entwicklung. Hier werden Kriterien oder Eigenschaften von Objekten ausgewählt, an Hand derer eine Bewertung erfolgen soll. Im Bereich der Nachhaltigkeit wird häufig die Strukturierung nach den drei Dimensionen ökologisch, ökonomisch, sozial herangezogen. Es werden aber auch konkrete Themenfelder der Nachhaltigkeit ausformuliert, so bei den 17 Nachhaltigkeitszielen der Vereinten Nationen¹¹. Für konkrete Handlungsbereiche kann eine thematische

Untergliederung sehr kleinteilig werden und bis herunter zur Ebene technischer Kenngrößen reichen, beispielsweise zum Energieverbrauch von Gebäuden.

Objektbezogen¹² können Indikatoren nach den Sachverhalten oder Gegenständen gruppiert werden, für die sie als Stellvertreter stehen. Dies können Organisationen wie Unternehmen oder Kommunen sein, die Gesamtwirtschaft oder ihre Sektoren, oder einzelne Produkte. Allgemein können Objekte in bestimmten Kontexten auch individuelle ausgewählt werden. Beispielsweise werden im Rahmen von Planungsprozessen Städte, Quartiere oder urbane Infrastrukturen als Objekt für Indikatorensysteme gewählt, deren Anwendung oft verknüpft mit der Einbindung in partizipative Prozesse ist (Schebek and Lützkendorf, 2022; Schinkel et al., 2022).

Verschiedentlich werden als weitere Gruppe von Objekten Maßnahmen genannt. Synonym sind Begriffe wie „Aktivitäten“, „Strategien“ oder „Projekte“ d. h. alle zeitlich laufenden Prozesse, die auf die Veränderung eines Objekts ausgerichtet sind. In diesem Sinne können sie nicht einfach als zusätzliche Objektgruppe genannt werden, sondern haben einen eigenständigen Charakter, auf den später eingegangen wird.

Anwendungsbezogen/operativ: Als quantitative Größe wird ein Indikator zunächst durch seine Dimension bzw. Bezugsgröße beschrieben. Charakteristische Unterschiede zwischen Indikatoren beziehen sich u. a. darauf, ob sie als absolute oder relative Größen definiert sind oder ob sie eine zeitliche oder massebezogene Dimension haben. Weitere Kriterien beziehen sich v.a. auf praxisrelevante Eigenschaften von Indikatoren. So nennen beispielsweise (Niemeijer and de Groot, 2008a) systemische Kriterien (z. B. wissenschaftliche Unterlegung), intrinsische Kriterien (z. B. Unsicherheit), finanzielle Kriterien (z. B. Kosten der Datenbeschaffung) sowie strategie-/managementbezogene Kriterien (Kommunizierbarkeit).

¹¹ <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/nachhaltigkeitspolitik/die-17-globalen-nachhaltigkeitsziele-1553514>

¹² Das vorliegende Papier verwendet den Begriff „Objekt“, da dieser zum einen sprachlich den „passiven“ Charakter der Beschreibung von Sachverhalten und Gegenstände durch Indikatoren wiedergibt und zum anderen in Literatur und (Normungs- u. a.) Dokumenten gängig ist. Allerdings finden sich auch andere Bezeichnungen, so spricht die aktuelle Norm ISO 14068 – Climate Change Management vom Subjekt, beschreibt damit aber sinngemäß den Begriff Objekt, so wie er im vorliegenden Papier genutzt wird.



Die oben beschriebenen Charakterisierungsmerkmale von Indikatoren sollen an einem eingangs genannten gängigen Indikator verdeutlicht werden.

Beispiel: *Durchschnittliche Lebenserwartung als Indikator für die gesundheitliche Versorgung eines Landes“.*

Komplexer Sachverhalt, der durch den Indikator bewertet werden soll: „gesundheitliche Versorgung“

Thematisches Kriterium, das für den Indikator ausgewählt wird: Lebenserwartung

Objekt: Land (z. B. Deutschland)

Anwendungsbezug des Indikators:

Absolute Größe, Zeitbezug. Weitere anwendungsbezogene Kriterien: die durchschnittliche Lebenserwartung ist eine einfach zugängliche und statistisch gut abgesicherte demographische Größe.

Definition des Indikators: durchschnittliche Lebenserwartung bei Geburt, getrennt ausgewiesen für Männer und für Frauen 38,5 Jahre, nach den Ergebnissen der aktuellen Sterbetafel von Deutschland¹³.

2.3 Systemrahmen und Methodiken zur Ableitung von Indikatoren

Im Themenfeld der Nachhaltigen Entwicklung haben sich aus unterschiedlichen Kontexten und dem Interesse der Entscheidungsunterstützung bzw. des Monitorings auf unterschiedlichen Ebenen bestimmte Typen von Systemrahmen entwickelt, auf denen Indikatoren üblicherweise beruhen. Diese Systemrahmen haben einerseits einen Bezug zum Objekt, der jedoch variabel ist: Indikatoren für das gleiche interessierende Objekt lassen sich in unterschiedlichem Systemrahmen bilden. Stärker als durch das Objekt selbst ist der jeweilige Systemrahmen daher durch die mit ihm verbundenen methodischen Ansätze der Ableitung von Indikatoren charakterisiert. Drei Typen lassen sich hier unterscheiden¹⁴:

Systemrahmen Nation als politische/wirtschaftliche Einheit: Dieser Systemrahmen ist die Grundlage für nationale statistische Systeme bzw. volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen auf Basis des sogenannten Territorialprinzips¹⁵. Auf dieser Methodik beruht in Deutschland die sogenannte Umweltökonomische Gesamtrechnung (UGR)¹⁶, mittels derer die Indikatoren der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie berechnet werden, z. B. Primärenergieverbrauch oder Rohstoffproduktivität, aber auch ökonomische und soziale Indikatoren. Die UGR entspricht dem internationalen System of Environmental and Economic Accounting (SEEA)¹⁷ der Vereinten Nationen. Auch die Nationalen Inventarberichte der internationale Klimaberichterstattung nach der Systematik des Common Reporting Framework (CRF) basieren auf dem Territorialprinzip.

Systemrahmen Organisation als rechtliche Einheit (insbesondere Unternehmen): Dieser Systemrahmen hat sich konzeptionell aus Managementsystemen von Organisationen (z. B. ISO 9001, EMAS, ISO 14001) entwickelt und konzentriert sich auf den direkten Handlungsbereich der rechtlich abgegrenzten Organisation, bei Unternehmen unter Berücksichtigung von Tochterunternehmen/Beteiligungen. Ein Beispiel ist der heute sehr verbreitete „GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard“,

¹³ https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Sterbepfabelle-Lebenserwartung/_inhalt.html

¹⁴ Die hier beschriebene Unterteilung entspricht auch der *Systematik des Carbon Accounting*, in eine Bilanzierung auf den Ebenen der Volkswirtschaft, der Organisation (Unternehmen) und des Produkts vorgenommen wird (Stechemesser and Guenther, 2012).

¹⁵ Territorialprinzip: Emissionen auf dem Gebiet Deutschland, das heißt einschließlich ausländischer Betriebe, die in Deutschland ansässig sind und ohne Emissionen deutscher Betriebe, die im Ausland ansässig sind. Quelle: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Glossar/treibhausgasemissionen.htm>

¹⁶ https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/UGR/_inhalt.html

¹⁷ <https://seea.un.org/>

kurz GHG Protocol genannt¹⁸. Hier werden Innerhalb der organisatorisch-rechtlichen Systemgrenze einer Organisation drei operative Systemgrenzen (Scopes) definiert, die den Handlungsbereich einer Organisation untergliedern. Scope 1 umfasst die direkt durch die operative Tätigkeit des Unternehmens an seinen Standorten entstehenden Emissionen, Scope 2 die indirekten Emissionen aus der Erzeugung von zugekaufter Energie (Strom und Wärme), Scope 3 umfasst alle sonstigen indirekten Emissionen, so in der Lieferkette und in der Nutzung und Entsorgung der hergestellten Produkte.

Systemrahmen Lebenszyklus¹⁹ von Produkten als konzeptionelle Einheit: Dieser Systemrahmen beruht im Unterschied zu den beiden vorgenannten nicht auf einer rechtlich begründeten Abgrenzung, sondern auf der Idee des physischen Lebenszyklus von Produkten von der Rohstoffentnahme bis zur Entsorgung („Life Cycle Thinking“, „cradle-to-grave“). Die entsprechende Methodik ist das Life Cycle Assessment (LCA, Ökobilanz) nach ISO 14040/44. Bilanziert wird das sogenannte Produktsystem, das alle relevanten Prozesse zur Herstellung, Nutzung und Entsorgung eines Produktes umfasst, die durch Material- bzw. Produktflüsse verbunden sind. Vor dem Hintergrund vielstufiger, global verteilter Produktions- und Konsumtionsmuster liegt dieser Systemrahmen „quer“ zu den beiden vorigen, d. h. das jeweilige Produktsystem beinhaltet Prozesse aus unterschiedlichen Nationen/Wirtschaftsräumen und Organisationen/Akteuren. Der Systemrahmen des Lebenszyklus ist auch die Grundlage sogenannter Footprints von Produkten, so der Carbon Footprint²⁰ und der Water Footprint²¹. Diese folgen mit kleineren Modifikationen der Methodik des LCA, beschränken sich aber auf eine ausgewählte Umweltwirkung.

Der Systemrahmen von Nationen bzw. Wirtschaftsräumen wird auch als *Makroebene* bezeichnet, während man in Bezug auf den organisationsbezogenen Rahmen und den Lebenszyklus von Produkten häufig von der *Mikroebene* spricht. Wie aus den obigen Ausführungen hervorgeht, ist die Motivation für die drei beschriebenen Typen die Orientierung auf eine bestimmte Entscheidungsebene und deren relevante Akteure, weshalb alle drei Ansätze ihre Berechtigung

und praktische Relevanz haben. In der Folge existieren im Themenfeld Nachhaltigkeit Indikatoren auf Basis aller drei Ansätze. Die Unterschiede zwischen den drei Ebenen sind sowohl in Bezug auf die im Systemrahmen erfassten Prozesse/Sachverhalte als auch auf die angewandte Methodik und die benötigten Datengrundlagen erheblich und prinzipieller Art. Aus diesem Grund können Indikatoren, die mit unterschiedlichen Systemrahmen/Methodiken abgeleitet wurden, nicht einfach ineinander überführt werden.

Die beschriebene Systematisierung wird komplexer durch aktuelle Ansätze für „Mischformen“, beispielsweise Footprints von Nationen und Organisationen. Diese Mischformen sind von der Methodik her eindeutig charakterisiert, nämlich durch den Lebenszyklusansatz von Produkten. Aussagen für den Systemrahmen einer Nation oder Organisation werden abgeleitet, indem die Ergebnisse aller Lebenszyklusanalysen für diejenigen Produkte addiert werden, die in einem „Warenkorb“ von der rechtlichen Einheit einer Nation oder einer Organisation konsumiert bzw. hergestellt werden. Darüber hinaus wird gelegentlich auch die Bezeichnung „Mesoebene“ verwendet für Produkt- / Produktions- / Konsum- / Bedürfnissektoren. Auch wird für eine Bilanzierung jedoch auf einen der drei oben genannten Ansätze zurückgegriffen, meist auf den Lebenszyklusansatz unter Nutzung eines „Warenkorbs“



18 <https://ghgprotocol.org/standards>

19 In DIN EN ISO 14040/44 als „Lebensweg“ bezeichnet

20 Treibhausgase – Carbon Footprint von Produkten - Anforderungen an und Leitlinien für Quantifizierung (ISO 14067:2018); Deutsche und Englische Fassung EN ISO 14067:2018

21 Umweltmanagement – Water Footprint – Beispiele zur Anwendung von ISO 14046 (ISO/TR 14073:2017); Text Deutsch und Englisch Ausgabe 2019-01

Das Problem der Kompatibilität zwischen Indikatoren der drei Systemrahmen/Methodiken ist eine große und aktuelle Herausforderung für Forschung und Praxis. Einerseits sollen Indikatorensysteme anwenderbezogen sein und daher jeweilige anwenderbezogene Systemgrenze und Methodik nutzen. Andererseits soll für das Themenfeld Nachhaltigkeit ein gemeinsames Zielsystem gelten, was notwendigerweise auf der gesellschaftlichen und damit auf der Makroebene formuliert werden muss. Als ein Lösungsansatz wird hier eine Orientierung auf globale Ziele und Zielwerte diskutiert, die einher geht mit Systematiken zur Ableitung von Zielwerten zum Benchmarking auf den jeweiligen Ebenen bzw. mit der Entwicklung von akteurspezifischen Indikatoren, die einen konzeptionellen Zusammenhang zu diesen globalen Zielen haben. Globale Ziele ausgehend von wissenschaftlich basierten Definition der Grenzen der Tragfähigkeit der natürlichen Umwelt wurden mit dem Konzept der Planetary Boundaries (Rockström et al., 2009) vorgeschlagen. Die sog. Earth Commission²² erarbeitet aktuell Updates vieler Ziel- und Grenzwerte (Rockström et al., 2021). Als politische vereinbarte Zielsetzungen sind die 17 Nachhaltigkeitsziele (engl. Sustainable Development Goals) der Vereinten Nationen²³ zu nennen, die mit insgesamt 232 Indikatoren für die nationale Ebene unterlegt sind. Systematiken zur Ableitung spezifischer Ziele für einzelne Akteure bzw. zur Bewertung von Produkten oder andern Objekten werden in der Literatur mit den Begriffen „absolute sustainability assessment bzw. „absolute environmental sustainability indicators“ bezeichnet (Bjørn et al., 2020, 2015). Auch die sogenannte Science-Based-Target Initiative²⁴ verfolgt einen top-down Ansatz, um aus dem globalen Klimaziel konkrete Zielwerte für Unternehmen abzuleiten. Insgesamt ist aber festzustellen, dass noch ein weiter Weg der Methodenentwicklung und Datenbereitstellung bis zu allgemein anerkannten und praktikablen globalen Zielwerten und Systematiken der Zurechnung zu Akteuren zu gehen ist.

2.4 Strukturierungsansätze für Indikatorensysteme

2.4.1 Allgemeine Anforderungen

Indikatorensysteme umfassen eine größere Anzahl von Indikatoren, die grundsätzlich für die gleiche Systemgrenze und für das gleiche Objekt gelten müssen. Allgemein steht die Entwicklung von Indikatorensystemen im schon angesprochenen Spannungsfeld zwischen zwei gegensätzlichen Ansprüchen: zum einem soll das jeweilige Themenfeld möglichst umfassend beschrieben werden, was bei komplexen Themenfeldern zu einer Vielzahl von Indikatoren führt. Zum anderen dienen Indikatorensysteme der Entscheidungsunterstützung, woraus die Notwendigkeit der Beschränkung auf idealerweise einen einzigen oder wenige Indikatoren resultiert. Aus diesem Spannungsfeld ergibt sich der Bedarf einer Strukturierung sowohl zur Auswahl der Indikatoren als auch zur Unterstützung der Entscheidungsfindung.

2.4.1 Auswahl von Indikatoren

Die Auswahl von Indikatoren für Indikatorensysteme hat die Ziele (i) eine adäquate Abbildung des Themenfelds für das gewählte Objekt zu erreichen, (ii) im Falle geschlossener Indikatorensysteme die inhaltliche Unabhängigkeit von Indikatoren sicherzustellen und (iii) das Indikatorensystem an den Entscheidungskontext anzupassen. (Sala et al., 2015) sprechen weisen darauf hin, dass der Entscheidungskontext zusammen mit Objekt/Ebene die Auswahl einer Methode zur Ermittlung eines Indikators bestimmt.

In diesem Zusammenhang ist insbesondere auf die **Unterscheidung zwischen den Objekten selbst und den auf sie einwirkenden Maßnahmen** zu beachten. Dies wird ausführlich beleuchtet in einer Handreichung für Indikatoren im Handlungsbereich ressourceneffizienter Quartiersentwicklung²⁵ (Schebek et al., 2022a). In Bezug auf das Objekt geht es um die Bewertung von Zustand oder Eigenschaften des Objekts zu einem bestimmten Zeitpunkt (z. B. vor oder nach einer Sanierung). Die entsprechenden Entscheidungskontexte sind entweder die Identifizierung von Handlungsbedarf oder das Monitoring im Hinblick auf einen gewünschten Zielzustand. Im Unterschied dazu wird für eine Maßnahme deren

²² <https://earthcommission.org/>

²³ <https://sdgs.un.org/goals>

²⁴ <https://sciencebasedtargets.org/>

²⁵ Als Maßnahmen werden definiert: alle technischen, gestalterischen, organisatorischen, sozialen und finanziellen Aktivitäten/Anlagen/Handlungen, die zielgerichtet auf das Quartier einwirken, und zu Veränderungen innerhalb oder außerhalb des Quartiers führen (Schebek et al., 2022a).

Leistungsfähigkeit zur Erreichung eines Ziels bewertet. Dieser Zusammenhang der Wahl von Indikatoren mit dem Entscheidungskontext wird beispielhaft für Planungsprozesse dargelegt. Als Illustration kann der Leitfaden des Umweltbundesamtes zu betrieblichen Umweltkennzahlen (UBA, 1997) dienen, der drei Klassen von Umweltkennzahlen unterscheidet: die Umweltauswirkungen (Umweltleistung), die u. a. mit Kennzahlen zu Stoff- und Energieverbräuchen bewertet wird, das Umweltmanagement, für das maßnahmenbezogene Kennzahlen wie z. B. Anzahl von Schulungen verwendet werden, und Umweltzustandskennzahlen zur Bewertung der Qualität der natürlichen Umwelt. Objekte einer Bewertung sind in diesem Fall entweder das Unternehmen selbst oder die Umwelt, auf die es einwirkt. Kennzahlen des Umweltmanagements beschreiben Maßnahmen („Aktivitäten“) des Unternehmens und sind „interne Steuerungs- und Informationsgrößen, (die) aber keine Auskunft über die tatsächliche Umweltleistung des Betriebs (geben)“ (UBA, 1997).

Inhaltlich orientierte Strukturierungsansätze greifen auf die o. g. thematischen oder objektbezogenen Kriterien zurück und zielen auf kausal geschlossene Indikatorensysteme ab. Entsprechend werden solche Indikatorensysteme meist von Expertengruppen entwickelt. Ein häufig genutzter Strukturierungsansatz sind kausale Netzwerke, die Ursachen, Folgen und Reaktionen der Umwelt auf gesellschaftliche Einflüsse in einer systemischen Weise darstellen (Niemeijer and de Groot, 2008a). Das bekannteste System ist das *Driving Forces-Pressures-States-Impacts-Responses (DPSIR) Modell*, das von OECD und EEA entwickelt wurde (Niemeijer and de Groot, 2008b). Obwohl ursprünglich für die Länderebene gedacht, kann dieses Konzept eines Kausalitätsnetzes als universelles Konzept für die Darstellung der Interaktion zwischen Umwelt und Gesellschaft und die Entwicklung entsprechender Indikatoren angesehen werden (Binder et al., 2013). Es wurde auch zur der Entscheidungsfindung auf regionaler oder lokaler Ebene eingesetzt (Tschering et al., 2012). In (Schebek et al., 2022a) wird auf das DPSIR Modell zurückgegriffen, um den Zusammenhang zwischen unterschiedlichen Typen von Indikatoren für die Zielebene und die Maßnahmenebene argumentativ zu unterlegen.

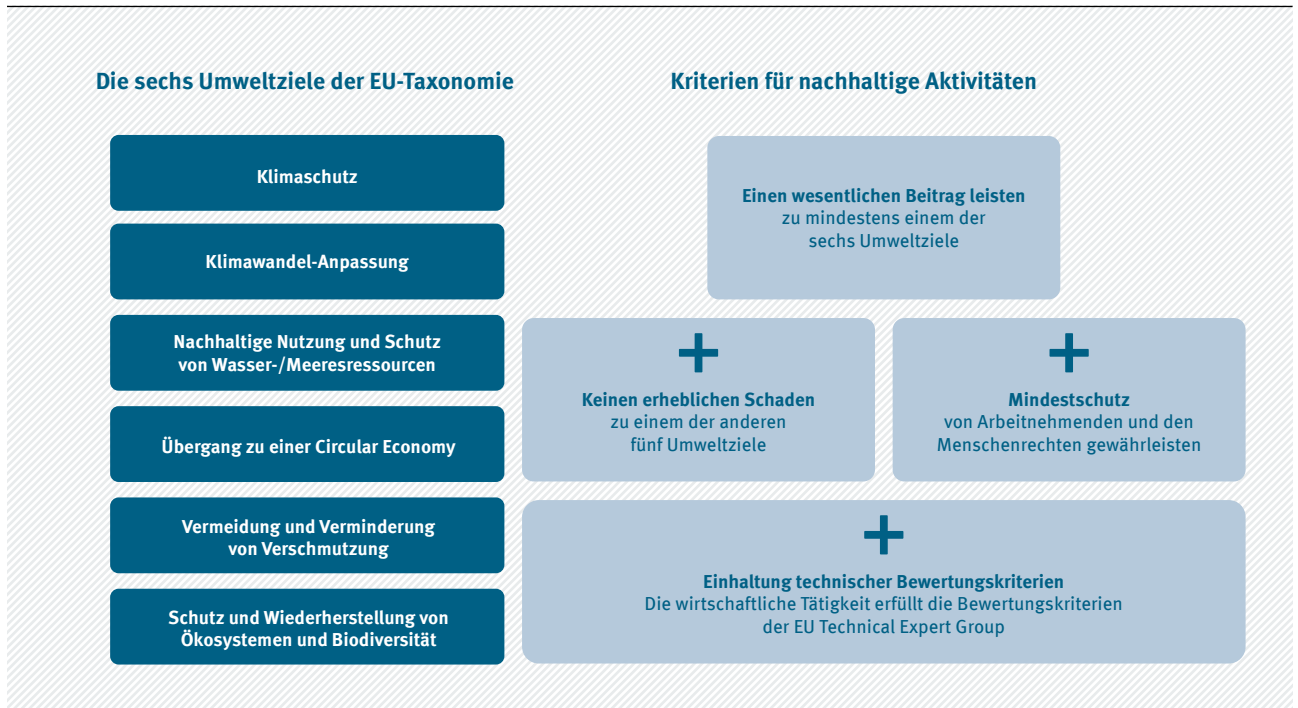
2.4.3 Priorisierung für die Entscheidungsfindung

Entscheidungsunterstützung bedeutet bei Indikatorensystemen mit einer Vielzahl von einzelnen Indikatoren die Beantwortung der Frage, welche dieser Indikatoren prioritär für die Entscheidung sind. In manchen Fällen ist es einfach ersichtlich, dass einzelne z. B. technische Indikatoren eher Hilfsgrößen sind oder eine eingeschränkte Bedeutung haben, während andere zentral für die Entscheidung sind. Oft ist dies aber nicht ohne weiteres klar, und im Sinne einer transparenten Entscheidungsunterstützung ist es grundsätzlich immer notwendig, die Priorisierung von Indikatoren explizit zu machen. Dazu bedarf es einer **hierarchischen Kategorisierung/Strukturierung** von Indikatoren nach ihrer Relevanz für eine Entscheidungsfindung. Ein wesentlicher Ansatz ist die hierarchische Kategorisierung zwischen Zielindikatoren und operativen Indikatoren. Zielindikatoren sind auf ein übergreifendes Zielsystem orientiert, das wie oben beschrieben aus gesellschaftlich/politisch definierten Zielen einer nachhaltigen Entwicklung besteht. Operative Indikatoren beschreiben im Unterschied dazu die Charakteristika eines Objekts oder einer Maßnahme, die – insbesondere aus der Akteursperspektive – Eigenschaften oder Entwicklungen darstellen, die zu den übergeordneten Zielen beitragen, beispielsweise die Effizienz der Energiewandlung. Ein Beispiel für ein solches Indikatorensystem ist das von (Sala et al., 2015) vorgeschlagene hierarchische Framework des Sustainability Assessment, in dem klar die Indikatoren auf der der Zielebene und auf der operativer/ Maßnahmenebene unterschieden werden. Auch auf Zielebene ist für eine transparente Entscheidungsfindung eine Priorisierung nötig, wenn in einem System mehrere Zielindikatoren gesetzt werden. Dies kann z. B. durch eine argumentativ begründete Festlegung einer Liste weniger „Kern-Indikatoren“ erfolgen (siehe z. B. (Lützkendorf and Balouktsi, 2017)). Zentral ist dabei der Aspekt einer Legitimation der Zielindikatoren, die idealerweise aus einem partizipativen bzw. in demokratischen Prozessen abgeleiteten Konsensprozess erfolgt.

Abbildung 2

EU Taxonomie:

Einstufung der Nachhaltigkeit wirtschaftlicher Tätigkeiten an Hand von sechs Umweltzielen und vier Kriterien.



Eigene Abbildung der UBA-Ressourcenkommission in Anlehnung an <https://eu-taxonomy.info/de/info/eu-taxonomy-grundlagen> sowie <https://www.weshyft.com/die-eu-taxonomie-fur-nachhaltiges-wirtschaften/>.

In diesem Kontext werden auch Methoden der Multi-kriteriellen Entscheidungsunterstützung (Multi Criteria Decision Analysis, MCDA) entwickelt, die prinzipiell in allen Anwendungskontexten genutzt werden können (s. z. B. (Geldermann and Lerche, 2014; Schär, 2018)). Viele dieser Methoden beruhen auf anspruchsvollen mathematischen Ansätzen, die wenig anschaulich und schwer kommunizierbar sind. Benutzerfreundlichkeit und Transparenz sind hier besonders wichtig, insbesondere im Hinblick auf die Übertragung von Werturteilen der beteiligten Gruppen und Personen in die in der MCDA eingehenden Gewichtungsfaktoren.

Ein aktuelles Beispiel für einen Priorisierungsprozess ohne Verwendung von Gewichtungsfaktoren findet sich in der EU-Taxonomie²⁶, hier auf der Ebene von Leitzielen, an Hand derer die Nachhaltigkeit einer wirtschaftlichen Tätigkeit überprüft werden soll. Dazu gibt die EU-Taxonomie sechs Umweltziele (respektive Leitziele) vor (s. Abbildung 2).

Die Einstufung der wirtschaftlichen Tätigkeit orientiert sich an vier Kriterien, die in Bezug auf diese Leitzielen gesetzt werden: (1) Die wirtschaftliche Tätigkeit leistet einen Beitrag für mindestens eines der sechs Umweltziele, (2) die wirtschaftliche Tätigkeit schadet keinem der Umweltziele signifikant (does not significant harm DNSH), (3) die wirtschaftliche Tätigkeit erfüllt ein Minimum and Sicherheitsstandards, um einen negativen sozialen Einfluss zu vermeiden und (4) die wirtschaftliche Tätigkeit erfüllt die technischen Auswahlkriterien (Screening criteria) entwickelt von der EU Technical Expert Group.

26 https://finance.ec.europa.eu/sustainable-finance/tools-and-standards/eu-taxonomy-sustainable-activities_en

3 Indikatoren der Circular Economy (CE)

3.1 Hintergrund: Circular Economy und Natürliche Ressourcen

Der Begriff der Circular Economy (CE) ist heute fester Bestandteil der Nachhaltigkeitspolitik, sowohl auf europäischer als auch auf deutscher Ebene. Obwohl der Begriff selbst auch einfach als englische Übersetzung der deutschen Bezeichnung „Kreislaufwirtschaft“ gesehen werden könnte, so wurde er in der jüngsten Zeit doch deutlich umfassender interpretiert als die klassische Kreislauf- und Abfallwirtschaft. Diese erweiterte Sicht wurde insbesondere durch den EU Green Deal (EC, 2019) in die Politik implementiert, dessen Zielstellung wie folgt formuliert ist: „Übergang der EU zu einer modernen, ressourceneffizienten und wettbewerbsfähigen Wirtschaft, die bis 2050 keine Netto-Treibhausgase mehr ausstößt“²⁷. Ein wesentliches Element des Green Deal ist die Kreislaufwirtschaft: „Bestandteil des Green Deal ist eine klimaneutrale Kreislaufwirtschaft, in der das Wirtschaftswachstum von der Ressourcennutzung entkoppelt ist.“²⁸. Die wesentliche Zielsetzung der CE innerhalb des Green Deals ist daher die Schonung natürlicher Ressourcen.

Der Begriff der natürlichen Ressourcen wurde durch verschiedene thematischen Strategien der EU in die Umwelt- und Nachhaltigkeitspolitik eingeführt, insbesondere durch die *EU Thematic strategy on the sustainable use of natural resources (2005): (COM(2005) 670 final)*²⁹ sowie die *Roadmap to a resource efficient Europe (2011) (EU Commission)*³⁰. Darauf basierend findet sich im Glossar Ressourcenschutz³¹ des Umweltbundesamts (UBA) die folgende Definition:

„Ressource, die Bestandteil der Natur ist. Hierzu zählen erneuerbare und nicht erneuerbare Primärrohstoffe, physischer Raum (Fläche), Umweltmedien (Wasser, Boden, Luft), strömende Ressourcen (z. B. Erdwärme, Wind-, Gezeiten- und Sonnenenergie) sowie die Biodiversität. Es ist hierbei unwesentlich, ob die Ressourcen als Quellen für die Herstellung von Produkten oder als Senken zur Aufnahme von Emissionen (Wasser, Boden, Luft) dienen.“

Diese Definition, die auch dem EU Green Deal zu Grunde liegt, umfasst als Ressourcen mehrere gleichrangige Schutzgüter. Sie geht damit deutlich über die umgangssprachliche Verwendung und geowissenschaftliche Definition von Ressourcen als Rohstoffe hinaus. Allerdings wird diese Unterscheidung in der Praxis nicht immer klar durchgehalten; so werden häufig erneuerbare und nicht-erneuerbare Rohstoffe als natürliche Ressourcen bezeichnet. Die letztgenannte Begriffsverwendung geht insbesondere zurück auf das 2007 durch die UNEP gegründete International Resource Panel (IRP), das Ressourcen wie folgt definiert: *“Resources – including land, water and materials – are seen as parts of the natural world that can be used in economic activities to produce goods and services. Material resources (see above) are biomass, fossil fuels, metals and non-metallic minerals”* (UNEP IRP, 2024).

Mit dieser Sicht wird in der Acatech Circular Economy (CE) Roadmap Deutschland der Zusammenhang von Circular Economy und Umweltwirkungen der Rohstoffinsprache wie folgt quantifiziert (CEID, 2021):

*“Konkret verursacht die Förderung und Veredelung natürlicher Ressourcen 50 Prozent der globalen Treibhausgasemissionen sowie 90 Prozent des landnutzungsbedingten Biodiversitätsverlusts und des Wasserstresses (UNEP IRP, 2019)“*³²: *“United Nations Environment Programme (UNEP). Die CE bietet für Deutschland in diesem Kontext ein übergeordnetes Narrativ an, das als Antwort auf diese neue Dynamik die Wirtschafts- und Umweltpolitik verbinden kann und somit wesentlich dazu beitragen wird, die Ziele des European Green Deal (EC, 2019) (insbesondere der Klimaneutralität 2050) zu erreichen.“*

Ein enger Zusammenhang zwischen den Begrifflichkeiten der natürlichen Ressourcen und der Rohstoffe ist darüber hinaus durch den Zusammenhang zwischen CE und Strategien der Rohstoffsicherung auf europäischer und deutscher Ebene gegeben.

²⁷ https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_de

²⁸ https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/ip_20_420

²⁹ COM(2005) 670 final Thematic Strategy on the sustainable use of natural resources. {SEC(2005) 1683}. {SEC(2005) 1684}

<https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2005:0670:FIN:EN:PDF>

³⁰ http://ec.europa.eu/environment/resource_efficiency/about/index_en.htm

³¹ <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/4242.pdf>



So definiert die deutsche Rohstoffstrategie drei Säulen für die Rohstoffversorgung der deutschen Wirtschaft, von denen eine der „Einsatz von Sekundärrohstoffen aus Recycling“ ist³². Die gerade verabschiedete EU Verordnung zu kritischen Rohstoffen (Critical Raw Materials Act, CRMA) beinhaltet das konkrete Ziel, jährlich 25 % des Rohstoffbedarfs aus recycelten Materialien bereit zu stellen³³.

Trotz der Relevanz von CE zur Erreichung von verschiedenen Umweltzielen und dem Ziel der Rohstoff-sicherung wurde auf der EU Ebene keine rechtlich verbindliche CE-Definition festgelegt. In Verlautbarungen der EU³⁴ und auch in der neuen Taxonomy Regulation (Art. 2)³⁵ findet sich übereinstimmend die folgende CE-Beschreibung:

„Ein Wirtschaftssystem, bei dem der Wert von Produkten, Materialien und anderen Ressourcen in der Wirtschaft so lange wie möglich erhalten bleibt und ihre effiziente Nutzung in Produktion und Verbrauch verbessert wird, wodurch die Auswirkungen ihrer Nutzung auf die Umwelt reduziert und das Abfallaufkommen sowie die Freisetzung gefährlicher Stoffe in allen Phasen ihres Lebenszyklus minimiert werden, auch durch Anwendung der Abfallhierarchie“.

Auch wenn diese Beschreibung eher operativ klingt und ein solches Produktions- und Konsummodell als Selbstzweck gesehen werden könnte, ist durch die Einbettung in den oben beschriebenen Kontext jedoch sehr klar, dass eine CE kein Selbstzweck ist, sondern ein Mittel zur Erreichung von wesentlichen Zielen einer nachhaltigen Entwicklung, insbesondere Klimaschutz und Schonung natürlicher Ressourcen. Mit dem **Circular Economy Action Plan (CEAP)**³⁶ wurde die CE insbesondere als ein integraler Bestandteil des Green Deals und damit der Klimapolitik definiert. Das Vorwort des CEAP konkretisiert den Zusammenhang zwischen Kreislaufwirtschaft und den Zielen des Green Deals³⁷ wie folgt: „Die Ausweitung der Kreislaufwirtschaft [...] wird entscheidend dazu beitragen, bis 2050 Klimaneutralität zu erreichen, das Wirtschaftswachstum von der Ressourcennutzung zu entkoppeln und zugleich die langfristige Wettbewerbsfähigkeit der EU zu sichern und niemanden zurückzulassen“. Abschnitt 6 konkretisiert dies weiter durch die Maßnahmen innerhalb des CEAP:

- ▶ Analyse der Auswirkungen der Kreislaufwirtschaft auf die Eindämmung des Klimawandels und die Anpassung an seine Folgen;

³² <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Industrie/rohstoffstrategie-bundesregierung.html>

³³ <https://www.consilium.europa.eu/de/press/press-releases/2024/03/18/strategic-autonomy-council-gives-its-final-approval-on-the-critical-raw-materials-act/>

³⁴ Siehe z. B. EU Parlament: <https://www.europarl.europa.eu/news/de/headlines/economy/20151201ST005603/kreislaufwirtschaft-definition-und-vorteile>

Eurostat: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/circular-economy>

³⁵ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R0852>

³⁶ https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan_en

³⁷ Siehe dazu auch (Schebek et al., 2022b).

- ▶ Verbesserung der Modellierungsinstrumente zur Erfassung der Vorteile der Kreislaufwirtschaft für die Verringerung der Treibhausgasemissionen auf EU-Ebene und nationaler Ebene;
- ▶ Stärkung der Rolle der Kreislaufwirtschaft bei künftigen Überarbeitungen der nationalen Energie- und Klimapläne und gegebenenfalls im Rahmen anderer klimapolitischer Maßnahmen.

In der Acatech Roadmap CE wird dieser Zusammenhang klar formuliert (CEID, 2021): *„Somit ist die erfolgreiche Umsetzung einer Circular Economy kein Selbstzweck, sondern verbindet Klima- und Ressourcenschutz mit kulturellem Wandel, der Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit und Rohstoffunabhängigkeit sowie der Schaffung von Arbeitsplätzen und lokaler Wertschöpfung im Sinne nachhaltiger Win-win-Lösungen.“*

Die o. g. Beschreibung der CE als ein Wirtschaftssystem zeigt auf, wie breit eine solche Umgestaltung angegangen werden muss: *„Der Übergang zu einer Circular Economy stellt einen fundamentalen, gesamtgesellschaftlichen Transformationsprozess dar, der nur durch die Beteiligung und Kooperation aller Akteurinnen und Akteure gelingen kann.“* (CEID, 2021). In diesem Kontext haben Indikatoren und Indikatorensysteme eine wesentliche Rolle sowohl bei der Gestaltung von Strategien als auch beim Monitoring der Umsetzung. Dazu heißt es im Positionspapier der Ressourcenkommission zur Substitutionsquote (UBA-Ressourcenkommission, 2019): *„Indikatoren sind ein wesentlicher Bestandteil politischen Handelns. Sie dienen dazu, Maßnahmen oder Aktivitäten wie zum Beispiel politische Programme und Strategien zu überprüfen und deren Erfolg oder Misserfolg zu bewerten. Um den Erfolg eines Abfallmanagementsystems bzw. einer Kreislaufwirtschaft zu messen, ist ein wirksames Indikatorensystem notwendig.“*

3.2 Zielorientierung und Maßnahmen der Circular Economy

Wie der vorangehende Abschnitt zeigt, ist das Konzept der CE **zielorientiert**, d. h. es fungiert als eine wesentliche Strategie zur Erreichung der Ziele der Ressourcenschonung im Allgemeinen und des Klimaschutzes im Speziellen. Daraus folgt, dass ein Indikatorensystem für die CE grundsätzlich auf die Leitziele der CE ausgerichtet und damit hierarchisch aufgebaut sein muss. Diese Leitziele sind für alle Ebenen und alle Akteure die gleichen. Unterschiedlich bzw. akteursspezifisch sind dagegen (i) Zielwerte, die die Ausprägung der Leitziele auf bestimmten Ebenen bzw. für bestimmte Akteure beschreiben, z. B. Sektorziele im Klimaschutz, (ii) operative Indikatoren, die in spezifischen Handlungsfeldern und für bestimmte Gruppen von Akteuren eine Steuerung bzw. ein Monitoring des Erfolgs von Maßnahmen unterstützen, z. B. Recyclingquoten als Vorgabe für Akteure der Entsorgungswirtschaft.

CE-Maßnahmen stellen daher ein wichtiges Strukturierungsmerkmal von CE-Indikatoren auf der operativen Ebene dar. Häufig wird die CE selbst als Kombination von Maßnahmen im Sinne von Strategien oder Handlungsfeldern beschrieben. Gängig ist die Terminologie sogenannter „R-Strategien“, zunächst als 3R-Strategien (*reduce, reuse, recycle*) formuliert (Kirchherr et al., 2017), später weiter aufgegliedert zu einem 9R bzw. 10R Schema (Potting et al., 2017). (Moraga et al., 2019) sprechen von einer CE im engeren Sinne, die sich auf (*“...the technological cycle of resources”*) bezieht, während die CE im weiteren Sinn die gesamte Wirtschaft umfasst (*“...an economic model wherein planning, resourcing, procurement, production and reprocessing are designed and managed, as both process and output, to maximise ecosystem functioning and human well-being.”*) (Moraga et al., 2019). Im Rückblick auf die historische Entwicklung kann man die CE im engeren Sinne als die Weiterentwicklung der Abfall-/Entsorgungswirtschaft zur „Kreislaufwirtschaft“ mit dem Fokus Schwerpunkt auf Recycling und Schließung von Materialkreisläufen sehen, während die CE im weiteren Sinne das neue Konzept einer CE als Wirtschaftsform bezeichnet, wie es der aktuellen Politik der EU im Rahmen des Green Deal und CE Action Plan zu Grunde liegt.

Einse solche Verortung der R-Strategien findet sich in ähnlicher Weise sowohl in anderen wissenschaftlichen Publikationen als auch in politischen Dokumenten. Beispielsweise unterscheiden (Kristensen and Mosgaard, 2020) increase resource-efficiency, and achieve a better balance between economy, environment and society. Ensuring a successful transition to a circular economy requires the ability to measure and report on progress. Currently, there are three levels of indicators for measuring circular economy: macro (global, national, regional, city einen inneren und einen äußeren Kreis der CE. Dem inneren Kreis ordnen sie die Maßnahmen (reuse, repair or maintenance) zu, während der äußere Zirkel Recycling/Materialkreisläufe umfasst und damit der CE im engeren Sinne entspricht. Im politischen Bereich beschrieb zuerst die Abfallhierarchie, die im Rahmen der EU Abfallrichtlinie 2008³⁸ eingeführt und ins deutsche Abfallrecht übernommen wurde, eine Differenzierung und Rangfolge zwischen unterschiedlichen Maßnahmen der Kreislaufwirtschaft. in der aktuellen der EU Politik beschreibt die Technical Working Group der Platform on Sustainable Finance vier sogenannte “high-level categories of substantial contributions to CE (along the circular economy loop)”: Circular design & production; Circular use; Circular value recovery, und Circular support. Während sich drei dieser Kategorien auf die Wirtschaft insgesamt beziehen, ist die Kategorie des Circular value recovery auf die Kreislaufführung von Abfällen ausgerichtet und entspricht damit dem klassischen Feld der -/Kreislaufwirtschaft. Insofern ist das **Recycling**, d. h. die stoffliche Verwertung von Abfällen mit dem Ziel der Rückgewinnung von Materialien und Rohstoffen, weiterhin ein unverzichtbarer Bestandteil der CE, der aber innerhalb der sonstigen Strategien der CE im weiteren Sinn verortet werden muss³⁹.

Wie oben beschrieben, ist eine Unterscheidung in eine CE im engeren und im weiteren Sinne gängig, jedoch besteht in der Literatur eine Unschärfe hinsichtlich der Zurodnung einzelner Maßnahmen. Eine eindeutige Strukturierung in **Maßnahmen der CE im engeren und im weiteren Sinn** ist aber unter zwei Gesichtspunkten wesentlich:

- i. die Unterscheidung zwischen Vermeidung einerseits und Recycling, energetischer Verwertung sowie Beseitigung andererseits, ist unmittelbar mit dem **rechtlichen Begriff des Abfalls** verknüpft: alle Maßnahmen der Vermeidung greifen dort, wo noch kein Abfall im rechtlichen Sinne existiert, d. h. in der gesamten Wirtschaft, während die anderen Maßnahmen – sowohl stoffliche und energetische Verwertung als auch Beseitigung - an den rechtlichen Abfallbegriff geknüpft sind. Innerhalb der für den Abfallbegriff geltenden Maßnahmen liegt, wie die Abfallhierarchie ausführt die oberste Priorität beim Recycling, d. h. der stofflichen Nutzung, was der CE im engeren Sinne entspricht.
- ii. Die Unterscheidung zwischen Recycling und anderen Maßnahmen der CE im weiteren Sinn ist zentralwesentlich für die **Methodik der Bilanzierung** von Einsparungen an Ressourcen und Treibhausgasen (siehe dazu (VDI, 2022)). Während Maßnahmen der Vermeidung (z. B. Verminderung des Materialeinsatzes oder längere Nutzung von Produkten) direkt zur Einsparung von Rohstoffen, ist der Effekt des Recyclings indirekt: die stoffliche Verwertung von Abfällen, führt zur Bereitstellung von Sekundärmaterialien, was zunächst mit Aufwendungen für Sammlung, Transport und Aufbereitung verbunden ist. Eine Verringerung des Verbrauchs von Rohstoffen und Umweltwirkungen erfolgt erst dann, wenn diese Sekundärmaterialien tatsächlich Primärmaterialien ersetzen. Für die Bilanzierung bedeutet das, die technisch erreichbaren Substitutionsquoten zu berücksichtigen, ebenso wie eine volkswirtschaftliche Betrachtung zu den absoluten Mengen eines Sekundärrohstoffs, die zu einem bestimmten Zeitpunkt zur Verfügung stehen.

³⁸ Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien (Text von Bedeutung für den EWR).

³⁹ Dieses Verständnis von Recycling liegt auch dem Papier der UBA-Ressourcenkommission „Chancen und Grenzen des Recyclings im Kontext der Circular Economy: Rahmenbedingungen, Anforderungen und Handlungsempfehlungen“ zu Grunde (UBA-Ressourcenkommission, 2023).

3.3 Übersicht über Indikatoren bzw. Indikatorensysteme der CE

Die Dynamik und der Einführung des CE-Konzepts in politische Strategien hat in den letzten Jahren zu zahlreichen Vorschlägen für Indikatoren und Indikatorensystemen der CE geführt, deren vollständige Aufarbeitung den Rahmen des vorliegenden Papiers überschreiten würde. Im Folgenden werden daher zunächst Review-Artikel der wissenschaftlichen Literatur für eine allgemeine Übersicht herangezogen, bevor im nächsten Abschnitt die aktuell für die Praxis relevanten Indikatoren und Entwicklungen dargestellt werden.

Die Literatur zeigt die **große Vielfalt von CE-Indikatoren und -Indikatorensysteme**, die für unterschiedliche Ebenen und unter Spezifikation zahlreicher operativer Indikatoren für unterschiedliche Maßnahmen und unterschiedliche Akteure mit unterschiedlichen Terminologien entwickelt wurde. Moraga unterscheidet CE-Indikatoren in indirekte und direkte CE-Indikatoren (Moraga et al., 2019), wobei die ersteren Zielindikatoren darstellen, während direkten Indikatoren auf der operativen Ebene definiert sind. (Pacurariu et al., 2021) weisen darauf hin, dass CE-Indikatorensysteme in sehr kurzer Zeit konzeptualisiert, klassifiziert und analysiert wurden und sich daher noch keine allgemein akzeptierten Begrifflichkeiten gebildet haben. Übersichten zu Indikatorensystemen der CE mit Strukturierungsansätzen in Ebenen oder Maßnahmen finden sich u. a. bei (Corona et al., 2019; Helander et al., 2019; Moraga et al., 2019; Saidani et al., 2019) decision-makers and policy-makers towards more CE practices, as well as to monitor the effects of CE adoption. Worldwide, academics, industrialists and politicians all agree on the need to use CE-related measuring instruments to manage this transition at different systemic levels. In this context, a wide range of circularity indicators (C-indicators). Hinsichtlich der **thematischen Einordnung** von CE-Indikatoren kann allgemein gesagt werden, dass diese auf der operativen Ebene sowohl mengenbezogene auf Stoff- und Materialverbräuche ausgerichtet Indikatoren als auch ökonomische oder managementbezogene Indikatoren umfassen einbezogen werden. Auf der **Objektebene** folgt die Acatech-Roadmap (CEID, 2021) in einer Zusammenstellung sogenannter „Metriken für Zirkularität“ den weiter oben beschriebenen drei Ebenen Nation (hier bezeichnet als Makroebene), Organisation (bezeichnet als Mikroebene) und Produkt. Die Begriffe Mikro und Makro werden

in der Literatur allerdings unterschiedlich verwendet. In (Ghisellini et al., 2016; Kirchherr et al., 2017; Saidani et al., 2019) with special focus on urban and industrial waste, to achieve a better balance and harmony between economy, environment and society. This study provides an extensive review of the literature of last two decades, with the purpose of grasping the main CE features and perspectives: origins, basic principles, advantages and disadvantages, modeling and implementation of CE at the different levels (micro, meso and macro findet sich die folgende Interpretation:

- ▶ Makro: Nationen, Regionen, Städte
- ▶ Meso: Geschäftsfelder, Industrielle Symbiose/”eco-industrial parks”
- ▶ Mikro: Unternehmen, Produkte, Komponenten, Materialien, Konsumenten

Diese Interpretation ist weniger an Methodiken orientiert, sondern eher an (volkswirtschaftlichen) **Akteuren**. Aus dieser Sicht steht die Ebene Makro für den staatlichen Akteur, während die Bezeichnung Mikro Unternehmen und Konsumenten als Akteure im Fokus hat. Der Begriff Meso ist demgegenüber offensichtlich unscharf definiert, was sich daran zeigt, dass kaum Indikatoren spezifisch für diese Ebene vorgeschlagen werden.

Im Weiteren werden die Begriffe Makro- und Mikroebene in ihrer akteursbezogenen Bedeutung verwendet und auf der Mikroebene Organisations-/Unternehmensbezogene und Produktbezogene Indikatoren zusammengefasst. Für die **Makro-Ebene** weisen (Pacurariu et al., 2021) auf einen Bericht der OECD hin, in dem mehrere hundert CE-Indikatoren aus 29 Quellen zusammengetragen sind (Stand 2014); ein aktueller Bericht der OECD umfasst 474 CE-Indikatoren, auf der nationalen, regionalen oder kommunalen Ebene, darunter auch Indikatoren für Unternehmen und Geschäftsmodelle (OECD, 2021). Der Stand der Indikatoren auf nationaler Ebene wird in der Acatec Roadmap CE wie folgt beurteilt (CEID, 2021): *„Die Analyse zeigt jedoch, dass derzeit nur wenige Metriken, hauptsächlich für Recycling und Verwertung, für eine Bewertung auf nationaler Ebene vorgeschlagen werden – und auch diese in den meisten Fällen für die Bewertung der tatsächlichen physischen Zirkularität nur wenig geeignet sind. Darüber hinaus fehlen aktuell sowohl Berechnungsmethoden als auch Daten für die meisten vorgeschlagenen Metriken im Zusammenhang mit den*

übrigen zirkulären Strategien wie *Rethink/Redesign, Repair, Re-Use und Remanufacturing*. Zudem werden in der Literatur nur wenige Metriken zur Bewertung der ökologischen, ökonomischen und sozialen Auswirkungen einer Circular Economy vorgeschlagen. Auch ist fraglich, ob die vorgeschlagenen Metriken in der Lage sind, den Beitrag von Circular Economy-Aktivitäten zur Verringerung der Auswirkungen auf nationaler Ebene zu messen.“

Überblicke zu Indikatoren auf der **Mikro-Ebene** finden sich u. a. bei (Kristensen and Mosgaard, 2020; Moraga et al., 2019) especially in the European Union, that promotes the responsible and cyclical use of resources possibly contributing to sustainable development. CE is an umbrella concept incorporating different meanings. Despite the unclear concept, CE is turned into defined action plans supported by specific indicators. To understand what indicators used in CE measure specifically, we propose a classification framework to categorise indicators according to reasoning on what (CE strategies; diese umfassen sowohl Indikatoren auf der Organisationsebene als auch auf der Produktebene. Eine aktuelle Zusammenstellung von CE-Indikatoren und Tools findet sich auf einer Webseite der französischen Ingenieurschule CentraleSupélec⁴⁰. (Ibáñez- Forés et al., 2022) stellen fest, dass es in den letzten zehn Jahren einen erheblichen Anstieg der Publikationen zu Indikatoren auf der Organisationsebene sowohl in der wissenschaftlichen Literatur als auch in öffentlichen und privaten Initiativen gab. Als Strukturierungsmerkmal auf der Mikro-Ebene werden u. a. CE-Strategien vorgeschlagen (Kristensen and Mosgaard, 2020) increase resource-efficiency, and achieve a better balance between economy, environment and society. Ensuring a successful transition to a circular economy requires the ability to measure and report on progress. Currently, there are three levels of indicators for measuring circular economy: macro (global, national, regional, city und die Autoren ziehen aus einer ausführlichen Literaturanalyse die Schlussfolgerung, dass es keine einheitliche Methode zur Messung von CE auf der Mikroebene gibt. (Kristensen and Mosgaard, 2020) increase resource-efficiency, and achieve a better balance between economy, environment and society. Ensuring a

successful transition to a circular economy requires the ability to measure and report on progress. Currently, there are three levels of indicators for measuring circular economy: macro (global, national, regional, city stellen auch für die Mikroebene fest, dass Recyclingindikatoren eine längere Tradition in der Abfallwirtschaft haben, wohingegen die Betrachtung von CE-Maßnahmen im weiteren Sinne Entwicklung ist. (Pacurariu et al., 2021) schreiben, dass die große Vielfalt von Arten, Dimensionen und Nachhaltigkeitaspekten das Zurechtfinden für Firmen im Indikatordschungel erschweren kann. (Kristensen and Mosgaard, 2020) betonen, dass Vielfalt und Fehlen bestimmter Indikatoren „...ein Hindernis für die weitere Verbreitung und Umsetzung von CE ist, da es schwierig ist, den Fortschritt in Richtung CE-Ziele in Organisationen zu messen.“

Sowohl auf Makro- als auch auf Mikroebene zeigt sich, dass Indikatoren vor allem für den Bereich des Recyclings vorgeschlagen werden. Diese Indikatoren sind als absolute oder relative Größen für Stoffströme, im rechtlichen Sinn meist Abfälle, bezogen. Auf der Makroebene sind Indikatoren zur politischen Steuerung häufig mit normativ gesetzten Zielwerten verbunden, sogenannten Quoten⁴¹. Ein Vorteil einer stoffstrombezogenen Betrachtung ist es, dass Materialkreisläufe in der Volkswirtschaft alle Akteure umfassen und damit Mikro- mit Makroebene verbinden. Als wissenschaftliche Methode zur Bilanzierung von Stoffkreisläufen ist die Stoffstromanalyse (Materialflussanalyse, MFA) geeignet. Für praktische Festlegung von Stoffstrombezogener Indikatoren und normativer Quoten bestehen aber eine Reihe methodischer Probleme, die u. a. in (UBA-Ressourcenkommission, 2023, 2019) und DGAW 2024⁴² behandelt werden.

Zum einen stellt sich die Frage, an welcher Stelle Indikatoren gesetzt werden. Dazu gibt es zwei unterschiedliche Ansätze: Recyclingquoten sind innerhalb des rechtlichen Rahmens der Abfallwirtschaft definiert und bezeichnen den Anteil eines Abfallstroms, der nach Aufbereitung einer stofflichen Verwertung zugeführt wird. Im Unterschied dazu beschreiben Substitutionsquoten, wie sie in

⁴⁰ <https://circulareconomyindicators.com/advisor.php>

⁴¹ Obwohl der Begriff der Quote im eigentlichen Sinne den Zielwert bezeichnet, wird er sowohl in der wissenschaftlichen Literatur als auch im politischen Umfeld meist gleichgesetzt mit dem Indikator. Beispiel: die XXX-Verordnung fordert als normativen Zielwert eine Recycling-Quote von 50%. Der aktuelle Indikator-Wert wird in jedem Jahr ermittelt mit der Aussage: „Jahr 202X wurde eine Recycling-Quote von 47% erreicht“.

⁴² <https://dgaw.de/de/akademie-der-kreislaufwirtschaft/veroeffentlichungen>

(UBA-Ressourcenkommission, 2019) vorgeschlagen werden, das Verhältnis von eingesetzten Sekundärrohstoffen zum insgesamt genutzten Materialaufwand in der Wirtschaft. Damit geben sie daher im Unterschied zu Recyclingquoten Aufschluss über die tatsächlich substituierte Menge an Primärrohstoffen. Eine weitere Frage ist, ob Quoten sich auf die Gesamtmasse von Abfällen beziehen sollten oder auf die in Abfällen enthaltenen interessierenden Substanzen, v. a. kritische Rohstoffe. Mit den Indikatoren verknüpft ist die Systemgrenze, in der sie ermittelt werden sollen. Üblicherweise basieren die Daten auf der nationalen Statistik. Damit werden aber Problemverschiebungen auf der internationalen Ebene ausgeblendet. Aus diesem Grund hat bereits 2011 das vom Resource Panel der UN gefordert, einen globalen bzw. lebenszyklusbasierte Ansatz für CE-Indikatoren zu etablieren (UNEP IRP, 2011). Aktuell wurde von (Nuss et al., 2021) currently used indicators only include a subset of natural resources and often lack an impact evaluation (e.g., considering resource scarcity or environmental relevance ein Monitoringsystem für Deutschland für natürliche Ressourcen auf Basis des Lebenszyklusansatzes vorgeschlagen, das mögliche Trade-offs zwischen verschiedenen Ressourcenkategorien, Regionen oder Umweltauswirkungen erkennen soll.

Allgemein findet sich in der wissenschaftlichen Literatur der Kritikpunkt, dass der Zusammenhang operativer CE-Indikatoren zu Zielsetzungen der Nachhaltigkeit nicht ausreichend belegt wird. So bemängeln u. a. (Haupt and Hellweg, 2019), dass sich bei stoffstrom- bzw. mengenbasierten Zielsetzungen des Recyclings ein Bezug zur Entlastung der Umwelt bislang nicht gezeigt wird und fordern dazu die Bilanzierung von CE-Maßnahmen auf Basis des Life Cycle Assessment (LCA). (Panchal et al., 2021) schlussfolgern aus einem Review der Literatur, dass ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen CE-Indikatoren und einer Verringerung von Umweltwirkungen bislang nicht gezeigt wurde. Die Anwendung des LCA für die Evaluierung von CE-Indikatoren ist daher ein sehr aktuelles Thema, zu dem sich aber noch eine ganze Reihe methodischer Herausforderungen stellen (Saidani et al., 2022).

3.4 Datengrundlagen für CE-Indikatoren

Die vorangehenden Darstellungen zu Indikatoren im Allgemeinen und für die CE im Speziellen machen deutlich, dass zur Berechnung eines Indikators meist eine Vielzahl unterschiedlicher Datengrundlagen erforderlich sind. In wissenschaftlichen Studien stellt häufig die Recherche von Daten den umfangreichsten und sehr arbeitsaufwendigen Teil dar, auch wenn heute viele wissenschaftliche Datenbanken genutzt werden können. Wenn Indikatoren- und Indikatorensysteme einen praktischen Einfluss haben sollen, dann ist jedoch der Zeit- und Arbeitsaufwand wissenschaftlicher Studien nicht möglich. Vielmehr muss gewährleistet sein, dass Indikatoren zur Entscheidungsunterstützung mit einfachen, aber validierten Berechnungstools und auf Basis validierter, einfach zugänglicher Datengrundlagen berechnet werden können. Dazu ist die Frage entscheidend, welche Typen/Arten von Daten/Datensätzen benötigt werden und wo Möglichkeiten bestehen, diese in der Praxis einfach zu beziehen.

Auch für die Frage, welche Arten von Daten nötig sind, ist die Unterscheidung in Zielebene und operative Ebene von Indikatoren wichtig. Für die Berechnung von Indikatoren für die Leitziele, die wie dargestellt für alle Akteure die Gleichen sind, können Faktoren in der Einheit des Indikators bereitgestellt werden. Ein bekanntes Beispiel sind Emissionsfaktoren für Treibhausgase. Diese können in Datenbanken bereitgestellt werden, die zwar eine regelmäßige Überprüfung der Aktualität der Daten benötigen, auf dieser Basis aber eine gewisse universelle und über einen bestimmten Zeitraum bestehende Nutzbarkeit haben. Gerade hier kann die kontinuierliche Weiterentwicklung und Pflege eines Kernbestands validierter Datensätze daher als öffentliche Aufgabe gesehen werden.

Auf der operativen Ebene ist eine größere Vielfalt von Daten vorhanden, die spezifisch für Handlungsfelder sind (z. B. auf der Grundlage von spezifischen Statistiken (z. B. im Bereich Abfallwirtschaft)). Dazu können auch jedoch auch unternehmensinterne Daten zählen, deren Zugänglichkeit eingeschränkt ist. Gerade die Zusammenführung von Daten unter Berücksichtigung der Eigentümerschaft bzw. der Sicherstellung von Vertraulichkeit ist aber ein aktueller Gegenstand der Forschung zur Digitalisierung, so dass hier zukünftig praktikable Lösungsansätze erwartet werden können.

Insgesamt lässt sich sagen, dass Datengrundlagen die „Infrastruktur“ für die Bewertung von CE-Maßnahmen im Rahmen von Entscheidungsprozessen in Politik, Wirtschaft und Gesellschaft darstellen. Dies ist im Moment äußerst aktuell, auch deshalb, weil in der EU vermehrt Berichtspflichten bestehen (z. B. EU-Taxonomie, Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD), etc.). Dadurch steigt einerseits der Bedarf an Daten (z. B. Emissionsfaktoren), andererseits werden durch die Berichtspflichten zukünftig auch mehr Daten öffentlich gemacht, welche die Grundlage für Datenbanken sein können.

3.5 CE-Indikatoren in der Praxis (Stand 2024)

Die folgende Darstellung legt den Fokus auf die Situation in der EU, die derzeit vor allem von den Aktivitäten der EU Kommission im Rahmen des European Green Deal und CE Action Plans (CEAP) in Verbindung mit den Zielsetzungen der Politik zu (kritischen) Rohstoffen geprägt wird.

Auf der Makroebene hat die EU als Bestandteil des Green Deal eine Liste von 10 Indikatoren als sogenanntes „Monitoring Framework“ vorgelegt (EC, 2018). Dieses umfasst sowohl mengen-/stoffstrombezogene als auch ökonomische und managementbezogene Indikatoren. In der EU Statistik wird dieses Monitoring-Framework stärker in einzelne Indikatoren untergliedert⁴³. Im Bereich der stoffstrombezogenen Indikatoren definiert die „Nutzungsrate wiederverwendbarer Stoffe“ (Circular Material Use Rate, CMUR) und die „Recycling-Rate am Ende des Lebens (EOL-RIR)“ (für einzelne Rohstoffe) den Beitrag der recycelten Materialien zur Rohstoffnachfrage. Beide werden ermittelt auf Basis von Materialflussanalysen für die EU Materialsystemanalyse. Grundsätzlich basiert die Ermittlung dieser Indikatoren auf dem Territorialprinzip. In 2023 wurden jedoch im überarbeiteten CE-Überwachungsrahmen u. a. zwei weitere Indikatoren auf Basis des Lebenszyklusprinzips aufgenommen, der *Material Footprint* und der *Consumption Footprint*.

Die Indikatoren des EU Monitoring Frameworks sollen als „Hebel“ innerhalb der unterschiedlichen Gesetzgebungsvorgaben der EU umgesetzt werden, was

im Einzelfall entweder als normative Vorgabe oder als Monitoring-/Reporting-Anforderung erfolgen kann. Entsprechend stellt das Monitoring Framework der EU den Hintergrund für zahlreiche Einzelvorgaben für unterschiedliche Stoffströme und Wirtschaftssektoren dar, insbesondere für die im CEAP genannten sechs prioritären Wirtschaftsbereiche (Schlüsselindustrien). In der Batterierichtlinie wurden erstmals Quoten für einzelne Rohstoffe gesetzt sowie die Spezifikation einzelner Indikatoren konkretisiert (UBA-Ressourcenkommission, 2023). Eine spezielle Problematik stellt der Rohstoffverbrauch dar: dieser wird einerseits unmittelbar als Leitziel gesehen und mit dem Zielindikator des (abiotischen) Rohstoffverbrauchs dargestellt. Andererseits wird argumentiert, dass die eigentlichen Leitziele einerseits die Rohstoffverfügbarkeit, andererseits die Umweltwirkungen bzw. der Verbrauch natürlicher Ressourcen sind und hierfür geeigneten Indikatoren zu wählen sind.

Auf der Mikroebene erfolgte die Verwendung von Indikatoren und Indikatorensysteme von Unternehmen bislang auf freiwilliger Basis, vor allem im Rahmen von Umwelt- oder Nachhaltigkeits-Reporting. Die Relevanz entsprechender Indikatorensysteme ergab sich vor diesem Hintergrund vor allem durch die Verbreitung bzw. Akzeptanz von Indikatoren und der Organisationen, die diese entwickelten bzw. Tools anboten. Erwähnt werden können hier z. B. die Ellen MacArthur Foundation (EMF) mit dem „Material Circularity Indicator“⁴⁴ und der World Business Council for Sustainable Development (WBSD) mit den Circular Transition Indicators⁴⁵. Die Politik des Green Deal verändert diese Situation, da sie verpflichtende Anforderungen eines Nachhaltigkeits-Reporting setzt, die auch Informationen bzw. Indikatoren der CE umfasst. Die beiden wesentlichen Instrumente sind die CSRD und die EU Taxonomie.

Die CSRD-Richtlinie ersetzt die seit 2014 geltende Non-Financial Reporting Directive (NFRD) und soll Stakeholdern Informationen zur Beurteilung des Beitrags eines Unternehmens zur Nachhaltigkeit verfügbar machen. Sie gilt für alle Unternehmen mit Ausnahme von Kleinstunternehmen. Die Ziele werden von den Unternehmen selbst gesetzt. Die Inhalte des

⁴³ <https://ec.europa.eu/eurostat/web/circular-economy/monitoring-framework>

⁴⁴ <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circulytics-esrs>

⁴⁵ <https://www.wbcsd.org/Programs/Circular-Economy/Metrics-Measurement/Resources/Circular-Transition-Indicators-v4.0-Metrics-for-business-by-business>

Reportings werden jedoch durch 12 sogenannte European Sustainability Reporting Standards (ESRS) entwickelt, darunter der *Standard ESRS E5 (resource use and circular economy)*⁴⁶. Dieser ist Bestandteil des ersten Sets der Standards, die ab dem 1. Januar 2024 anzuwenden sind. Bezüglich Stoffströmen schreibt der Standard vor, dass die absoluten Mengen von Materialien und Abfällen zusammen mit deren Zuordnung zu bestimmten CE-Strategien angegeben werden müssen. Wie diese Zuordnung erfolgt, ist nicht weiter spezifiziert, so dass hierzu ggf. vorhandene Indikatorensysteme genutzt/angepasst werden können. Diesbezüglich sind die Auswirkungen der CSRD jetzt schon international an den o. g. Organisationen zu sehen, die nun das Reporting nach ESRS unterstützen⁴⁷.

Das zweite wichtige Instrument des Green Deal ist die Taxonomie, die auf wirtschaftliche Aktivitäten von Unternehmen ausgerichtet ist und Finanzströme in nachhaltige Investitionen lenken soll. Dazu werden sechs Umweltziele genannt, darunter der Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft. Für jedes dieser Ziele werden in einem delegierten Rechtsakt technische Bewertungskriterien normativ festgelegt. Für den Bereich der Kreislaufwirtschaft wurde der Entwurf im April 2023 zur Kommentierung vorgelegt⁴⁸.

CSRD und Taxonomie werden daher absehbar in den nächsten Jahren stark die Berichterstattung von Unternehmen auch zu Sachverhalten der CE prägen. Darüber hinaus wird die Entwicklung konkreter Vorgaben zum Digitalen Produktpass (UBA-Ressourcenkommission, 2017) für unterschiedliche Sektoren bzw. Produkte voraussichtlich die Bereitstellung von Daten zum gesamten Lebenszyklus von Produkten befördern, die als Grundlage für die Bilanzierung von CE-Indikatoren herangezogen werden könnten.

3.6 CE-Indikatoren – Quo vadis?

Mit Blick insbesondere auf die EU zeigt sich, dass aktuell eine große Dynamik hinsichtlich der Entwicklung und Implementierung von Indikatoren der CE gegeben ist. Dabei überschneidet sich ein Trend zur Harmonisierung, der durch das EU Monitoring Framework und durch CSRD und Taxonomie bewirkt wird, mit einem Trend der weiteren Diversifizierung, der durch die laufende umfangreiche Entwicklung sektor- und stoffstromspezifischer Vorgaben und Indikatoren gegeben ist.

Auf der Zielebene kann gesagt werden, dass sich die Zielindikatoren, die in jedem Fall für die Bewertung von Maßnahmen der CE anzuwendenden sind, aus den Leitziele der CE selbst ergeben: Klimaschutz, Rohstoffverfügbarkeit und Ressourcenschonung. Jede Maßnahme oder Strategie einer CE muss daher darauf geprüft werden, ob sie mindestens zu einem dieser Leitziele einen wesentlichen Beitrag leistet. Weitere Zielsetzungen der nachhaltigen Entwicklung (beispielsweise aus dem Bereich der natürlichen Ressourcen) können wie oben beschrieben als Rahmenbedingen definiert werden, die bei der Verfolgung dieser Leitziele einzuhalten sind; bei diesen geht es aber vor allem darum, eine Verschlechterung in anderen Bereichen auszuschließen. Auf der Zielebene sind daher prinzipiell die für die jeweiligen Leitziele existierenden Zielindikatoren anwendbar, also beispielsweise für das Leitziel Klimaschutz der Leitindikator der Treibhausgasemissionen in CO₂-eq). Dieser gängige Leitindikator ist in den vorliegenden Ansätzen für Indikatorensysteme auf der EU-Ebene auch berücksichtigt. Für die Leitziele der Rohstoffverfügbarkeit und der Ressourcenschonung gibt es jedoch bislang keinen allgemeinen Konsens zu einem generell zu verwendenden Indikator. Darüber hinaus fehlen bislang allgemeine Rahmensetzungen für eine Priorisierung zwischen mehreren Leitziele bzw. Zielindikatoren, insbesondere im Fall von Zielkonflikten.

46 <https://www.efrag.org/Assets/Download?assetUrl=%2Fsites%2Fwebpublishing%2FsiteAssets%2F12%2520Draft%2520ESRS%2520E5%2520Resource%2520use%2520and%2520Circular%2520economy.pdf>

47 <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circulytics-esrs>; <https://www.wbcsd.org/contentwbc/download/16815/238391/1>

48 https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/13237-Sustainable-investment-EU-environmental-taxonomy_en

Weiterhin ist festzustellen, dass es selbst im Falle des Leitziels Klimaschutz bislang keine speziell für die CE definierten Zielwerte gibt. Einzige Ausnahme war bislang das deutsche Klimaschutzgesetz, in dem Sektorziele der THG-Reduzierung für die Kreislaufwirtschaft formuliert sind, die allerdings auf Basis der internationalen Systems der nationalen Inventare nur die klassische Entsorgungswirtschaft umfasst.

Die Ebene der operativen Indikatoren ist, wie beschrieben, von einer ganz besonders großen Vielfalt von Vorschlägen geprägt. Die größte Herausforderung besteht derzeit darin, den Zusammenhang zwischen operativen Indikatoren (und ggf. gesetzten Zielwerten) und der Zielerreichung der CE zu quantifizieren. Eine lebenszyklusorientierte Betrachtung ist hier unabdingbar, für die Konkretisierung gibt es aber noch erheblichen Handlungsbedarf zu verschiedenen Aspekten: zum einen methodischen Entwicklungsbedarf, beispielsweise wenn es um die Einordnung der Beiträge unterschiedlicher Akteure zu Maßnahmen der CE geht, zum anderen die Notwendigkeit der Bereitstellung valider und aktueller Daten insbesondere für die Bilanzierung der Zielindikatoren.

Darüber hinaus ist vor allem wichtig, dass die Notwendigkeit der Überprüfung des Beitrags operativer Indikatoren zur Zielebene sowohl bei der Entwicklung politischer Konzepte, Strategien und Maßnahmen als auch in den unterschiedlichen Anwendungsbereichen gestärkt wird. Die Integration existierende Bilanzierungsmethoden und gezielter Screeningtools für Anwendungsbereiche wie das Produktdesign (UBA-Ressourcenkommission, 2024) sollte zukünftig ein genereller Bestandteil entsprechender organisatorischer Prozesse werden.

Literaturverzeichnis

- Andes, L., Lützkendorf, T., Ströbele, B., Kopfmüller, J., Rösch, C., 2019. Methodensammlung zur Nachhaltigkeitsbewertung Grundlagen, Indikatoren, Hilfsmittel.
- Bauler, T., 2012. An analytical framework to discuss the usability of (environmental) indicators for policy. *Ecological Indicators, Indicators of environmental sustainability: From concept to applications* 17, 38–45. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.05.013>
- Binder, C.R., Hinkel, J., Bots, P.W.G., Pahl-Wostl, C., 2013. Comparison of Frameworks for Analyzing Social-ecological Systems. *Ecology and Society* 18.
- Bjørn, A., Chandrakumar, C., Boulay, A.-M., Doka, G., Fang, K., Gondran, N., Hauschild, M.Z., Kerkhof, A., King, H., Margni, M., McLaren, S., Mueller, C., Owsianiak, M., Peters, G., Roos, S., Sala, S., Sandin, G., Sim, S., Vargas-Gonzalez, M., Ryberg, M., 2020. Review of life-cycle based methods for absolute environmental sustainability assessment and their applications. *Environ. Res. Lett.* 15, 083001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab89d7>
- Bjørn, A., Diamond, M., Owsianiak, M., Verzat, B., Hauschild, M.Z., 2015. Strengthening the Link between Life Cycle Assessment and Indicators for Absolute Sustainability To Support Development within Planetary Boundaries. *Environ. Sci. Technol.* 49, 6370–6371. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b02106>
- BPP, 2023. Bundeszentrale für Politische Bildung (BPP) Politiklexikon "Indikator" [WWW Document]. www.bpb.de/kurz-knapp/lexika/politiklexikon/17626/indikator/ (accessed 3.14.23).
- CEID, 2021. Circular Economy Roadmap for Germany. acatech, Circular Economy Initiative Deutschland, SYSTEMIQ - Circular Economy Initiative Deutschland (CEID).
- 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>
- EC, 2019. The European Green Deal (No. COM/2019/640 final). European Commission (EC), Brussels.
- EC, 2018. Monitoring framework for the circular economy (No. SWD(2018) 17 final). European Commission (EC), Strasbourg.
- Fraser, E.D.G., Dougill, A.J., Mabee, W.E., Reed, M., McAlpine, P., 2006. Bottom up and top down: Analysis of participatory processes for sustainability indicator identification as a pathway to community empowerment and sustainable environmental management. *Journal of Environmental Management* 78, 114–127. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.04.009>
- Geldermann, J., Lerche, N., 2014. Leitfaden zur Anwendung von Methoden der multikriteriellen Entscheidungsunterstützung, Methode: PROMETHEE. Georg-August Universität Göttingen, Göttingen.
- 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, Towards Post Fossil Carbon Societies: Regenerative and Preventative Eco-Industrial Development* 114, 11–32. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>
- Hammond, A., Adriaanse, A., Rodenburg, E., Bryant, D., Woodward, R., 1995. Environmental Indicators: A Systematic Approach to Measuring and Reporting on Environmental Policy Performance in the Context of Sustainable Development. World Resources Institute, Washington DC.
- Haupt, M., Hellweg, S., 2019. Measuring the environmental sustainability of a circular economy. *Environmental and Sustainability Indicators* 1–2, 100005. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2019.100005>
- Heink, U., Kowarik, I., 2010. What are indicators? On the definition of indicators in ecology and environmental planning. *Ecological Indicators* 10, 584–593. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.09.009>
- Helander, H., Petit-Boix, A., Leipold, S., Bringezu, S., 2019. How to monitor environmental pressures of a circular economy: An assessment of indicators. *Journal of Industrial Ecology* 23, 1278–1291. <https://doi.org/10.1111/jiec.12924>
- Ibáñez-Forés, V., Martínez-Sánchez, V., Valls-Val, K., Bovea, M.D., 2022. Sustainability reports as a tool for measuring and monitoring the transition towards the circular economy of organisations: Proposal of indicators and metrics. *Journal of Environmental Management* 320, 115784. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115784>
- Jander, W., Grundmann, P., 2019. Monitoring the transition towards a bioeconomy: A general framework and a specific indicator. *Journal of Cleaner Production* 236, 117564. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.07.039>
- 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>
- 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>
- Lancker, E., Nijkamp, P., 2000. A policy scenario analysis of sustainable agricultural development options: a case study for Nepal. *Impact Assessment and Project Appraisal* 18, 111–124. <https://doi.org/10.3152/147154600781767493>
- Lehtonen, M., 2015. Indicators: tools for informing, monitoring or controlling?, in: *The Tools of Policy Formulation*. Edward Elgar Publishing, pp. 76–99.
- Lützkendorf, T., Balouktsi, M., 2017. Assessing a Sustainable Urban Development: Typology of Indicators and Sources of Information. *Procedia Environmental Sciences, Sustainable synergies from Buildings to the Urban Scale* 38, 546–553. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.122>

- Moraga, G., Huysveld, S., Mathieux, F., Blengini, G.A., Alaerts, L., Van Acker, K., de Meester, S., Dewulf, J., 2019. Circular economy indicators: What do they measure? *Resources, Conservation and Recycling* 146, 452–461. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.03.045>
- Ness, B., Urbel-Piirsalu, E., Anderberg, S., Olsson, L., 2007. Categorising tools for sustainability assessment. *Ecological Economics* 60, 498–508. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.07.023>
- Niemeijer, D., de Groot, R.S., 2008a. A conceptual framework for selecting environmental indicator sets. *Ecological Indicators* 8, 14–25. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2006.11.012>
- Niemeijer, D., de Groot, R.S., 2008b. Framing environmental indicators: moving from causal chains to causal networks. *Environ Dev Sustain* 10, 89–106. <https://doi.org/10.1007/s10668-006-9040-9>
- Nuss, P., Günther, J., Kosmol, J., Golde, M., Müller, F., Frerk, M., 2021. Monitoring framework for the use of natural resources in Germany. *Resources, Conservation and Recycling* 175, 105858. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105858>
- OECD, 2021. The OECD Inventory of Circular Economy indicators. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), Paris.
- OECD, 2005. Handbook on Constructing Composite Indicators Methodology and User Guide. Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD), Paris.
- Pacurariu, R.L., Vatca, S.D., Lakatos, E.S., Bacali, L., Vlad, M., 2021. A Critical Review of EU Key Indicators for the Transition to the Circular Economy. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18, 8840. <https://doi.org/10.3390/ijerph18168840>
- Panchal, R., Singh, A., Diwan, H., 2021. Does circular economy performance lead to sustainable development? – A systematic literature review. *Journal of Environmental Management* 293, 112811. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112811>
- Pires, A., Morato, J., Peixoto, H., Botero, V., Zuluaga, L., Figueroa, A., 2017. Sustainability Assessment of indicators for integrated water resources management. *Science of The Total Environment* 578, 139–147. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.217>
- Potting, J., Hekkert, M.P., Worrell, E., Hanemaaijer, A., 2017. Circular economy: measuring innovation in the product chain. Planbureau voor de Leefomgeving.
- Rockström, J., Gupta, J., Lenton, T.M., Qin, D., Lade, S.J., Abrams, J.F., Jacobson, L., Rocha, J.C., Zimm, C., Bai, X., Bala, G., Bringezu, S., Broadgate, W., Bunn, S.E., DeClerck, F., Ebi, K.L., Gong, P., Gordon, C., Kanie, N., Liverman, D.M., Nakicenovic, N., Obura, D., Ramanathan, V., Verburg, P.H., van Vuuren, D.P., Winkelmann, R., 2021. Identifying a Safe and Just Corridor for People and the Planet. *Earth's Future* 9, e2020EF001866. <https://doi.org/10.1029/2020EF001866>
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F.S., Lambin, E.F., Lenton, T.M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H.J., Nykvist, B., de Wit, C.A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P.K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R.W., Fabry, V.J., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P., Foley, J.A., 2009. A safe operating space for humanity. *Nature* 461, 472–475. <https://doi.org/10.1038/461472a>
- Saidani, M., Kreuder, A., Babilonia, G., Benavides, P.T., Blume, N., Jackson, S., Koffler, C., Kumar, M., Minke, C., Richkus, J., Smith, C., Wallace, M., 2022. Clarify the nexus between life cycle assessment and circularity indicators: a SETAC/ACCLA interest group. *Int J Life Cycle Assess* 27, 916–925. <https://doi.org/10.1007/s11367-022-02061-w>
- 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>
- Sala, S., Ciuffo, B., Nijkamp, P., 2015. A systemic framework for sustainability assessment. *Ecological Economics* 119, 314–325. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.09.015>
- Schang, L., Blotenberg, I., Boywitt, D., 2021. What makes a good quality indicator set? A systematic review of criteria. *International Journal for Quality in Health Care* 33, mzab107. <https://doi.org/10.1093/intqhc/mzab107>
- Schär, S., 2018. State-of-the-Art dynamischer Methoden zur multikriteriellen Entscheidungsunterstützung. *Junior Management Science* 3, 146–165. <https://doi.org/10.5282/jums/v3i3pp146-165>
- Schebek, L., Lützkendorf, T., 2022. Assessing Resource Efficiency of City Neighbourhoods: A Methodological Framework for Structuring and Practical Application of Indicators in Urban Planning. *Sustainability* 14, 7951. <https://doi.org/10.3390/su14137951>
- Schebek, L., Lützkendorf, T., Uhl, M., 2022a. Handreichung zur Typologie von Indikatoren sowie ihrer Anwendung in Planungsprozessen und Projekten zur nachhaltigen Quartiersentwicklung. TU Darmstadt, 10.26083/tuprints-00020935.
- Schebek, L., Zeller, V., Baehr, J., Hagedorn, T., Carmo Precci Lopes, A. do, 2022b. Vorstudie zur Klimaneutralität der Entsorgungswirtschaft (Report). Universitäts- und Landesbibliothek Darmstadt, Darmstadt. <https://doi.org/10.26083/tuprints-00021616>
- Schinkel, U., Becker, N., Trapp, M., Speck, M., 2022. Assessing the Contribution of Innovative Technologies to Sustainable Development for Planning and Decision-Making Processes: A Set of Indicators to Describe the Performance of Sustainable Urban Infrastructures (ISI). *Sustainability* 14, 1966. <https://doi.org/10.3390/su14041966>
- Singh, R.K., Murty, H.R., Gupta, S.K., Dikshit, A.K., 2012. An overview of sustainability assessment methodologies. *Ecological Indicators* 15, 281–299. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.01.007>
- Smeets, E., Weterings, R., 1999. Environmental indicators: Typology and overview (No. Technical Report No 25). European Environment Agency (EEA), Copenhagen.
- Stechemesser, K., Guenther, E., 2012. Carbon accounting: a systematic literature review. *Journal of Cleaner Production, Climate Accounting and Sustainability Management* 36, 17–38. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.02.021>
- Tscherning, K., Helming, K., Krippner, B., Sieber, S., Paloma, S.G. y, 2012. Does research applying the DPSIR framework support decision making? *Land Use Policy* 29, 102–110. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2011.05.009>
- UBA, 1997. Betriebliche Umweltkennzahlen Leitfadens. Bundesumweltministerium / Umweltbundesamt (Hrsg.), Berlin.

UBA-Ressourcenkommission, 2024. Design als Gestaltungsagent einer sozial-ökologischen Transformation: Stellschrauben für eine ressourcenleichte Zukunft ((In Bearbeitung)). Ressourcenkommission am Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.

UBA-Ressourcenkommission, 2023. Chancen und Grenzen des Recyclings im Kontext der Circular Economy: Rahmenbedingungen, Anforderungen und Handlungsempfehlungen. Ressourcenkommission am Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.

UBA-Ressourcenkommission, 2019. Substitutionsquote: Ein realistischer Erfolgsmaßstab für die Kreislaufwirtschaft, Ressourcenkommission am Umweltbundesamt. Ressourcenkommission am Umweltbundesamt.

UBA-Ressourcenkommission, 2017. Produktkennzeichnungsstelle zur Förderung der Ressourceneffizienz und Kreislauffähigkeit von Produkten. Ressourcenkommission am Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.

UNEP IRP, 2024. Global Resources Outlook 2024: Bend the trend – pathways to a liveable planet as resource use spikes (A Report of the International Resource Panel). United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya.

UNEP IRP, 2019. Global Resources Outlook 2019. United Nations Environment Programme (UNEP) International Resource Panel (IRP), Nairobi.

UNEP IRP, 2011. Recycling Rates of Metals – A Status Report, A Report of the Working Group on the Global Metal Flows to the International Resource Panel. United Nations Environment Programme (UNEP), Paris.

VDI, 2022. ESTEM-Abschlussbericht: Einfache standardisierte Vorgehensweise zur Ermittlung eingesparter Treibhausgas-Emissionen von Projekten zur Materialeffizienz (ESTEM). VDI Zentrum Ressourceneffizienz, Berlin.

Waas, T., Hugé, J., Block, T., Wright, T., Benitez-Capistros, F., Verbruggen, A., 2014. Sustainability Assessment and Indicators: Tools in a Decision-Making Strategy for Sustainable Development. Sustainability 6, 5512–5534. <https://doi.org/10.3390/su6095512>



► **Unsere Broschüren als Download**
Kurzlink: bit.ly/2dowYYI