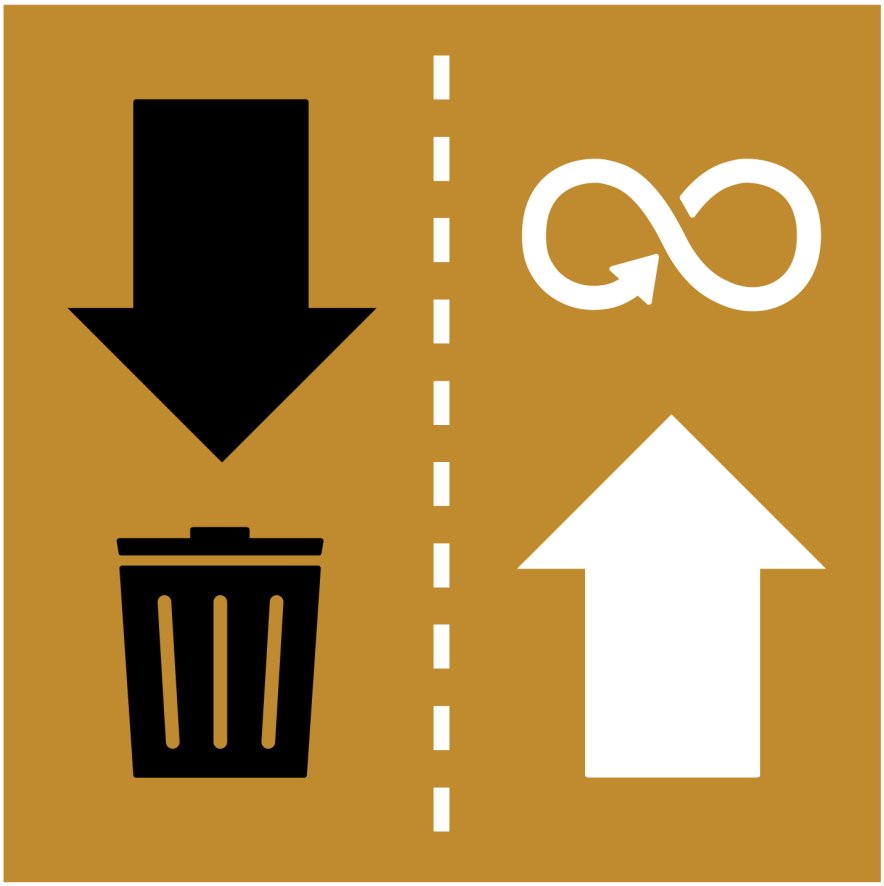
Fachhochschule Nordwestschweiz
Hochschule für Architektur, Bau und Geomatik

Zirkularität Messbar Machen

Abschlussbericht der Studie von Grundlagen für einen Zirkularitätsindex



Professorin Dr. Margarete Olender
Professor Daniel Kellenberger
Mitarbeit: Samuel Held

Muttenz, 27. November 2024

Bildquelle: UN Sustainable Development Goals. Target 12.C remove market distortions that encourage wasteful consumption (Goal 12 – Responsible Consumption and Production)

Institut Nachhaltigkeit und Energie am Bau (INEB)
Hofackerstrasse 30
4132 Muttenz
T +41 61 228 51 27
daniel.kellenberger@fhnw.ch
margarete.olender@fhnw.ch
www.fhnw.ch/habg

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 4
1.1 Gegenstand der Studie 4
1.1.1 Hintergrund 4
1.1.2 Vorarbeiten 5
1.1.3 Ziel der vorliegenden Studie 5
1.1.4 Methodische Vorgehensweise 5
1.2 Kontext Ökobilanz 6
1.2.1 Einleitung 6
1.2.2 Datenbanken 7
1.2.3 Wirkungsindikatoren 8
1.2.4 Regeln für die Ökobilanzierung von Baustoffen und Bauprodukten in der Schweiz 9
1.2.5 Regeln für Ökobilanzierung von Gebäuden 10
2 Stakeholderanalyse 11
2.1 Fragestellungen 11
2.2 Ergebnisse der Stakeholderumfrage 11
2.2.1 Angaben zu den Statistischen Werten der Umfrageteilnehmenden 11
2.2.2 Interesse und Motivation für Zirkularität / Nutzung eines Zirkularitätsindex 13
2.2.3 Motivation zur Umsetzung von Zirkularität 15
2.2.4 Einfluss auf die Umsetzung von Zirkularität 16
2.2.5 Zusammenarbeitspartner zur Umsetzung von Zirkularität 18
3 Literaturrecherche 20
3.1 Vorgehen 20
3.2 Stand in der wissenschaftlichen Literatur 20
3.3 Ergebnis der wissenschaftlichen Literaturstudien 23
3.4 Bestehende Normen 24
4 Analyse bestehender Methoden, Konzepte und Indizes 25
4.1 R-Framework 29
4.2 Circular Ecosystem Innovation 30
4.3 ISO 59020 Circular economy — Measuring and assessing circularity 33
4.4 Cradle-to-Cradle nach McDonough und Braungart 38
4.5 Material Circularity Indicator der Ellen MacArthur Foundation (EMF) 42
4.6 Europäische Union 46
4.7 Initiative Kreislaufwirtschaft Schweiz 52
4.8 Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen 55

4.8 Bewertung Leitfaden 1.0 Zirkularität messbar machen - Ein Schweizer Zirkularitäts-Indikator 59
5 R-Framework und Ökobilanz in den Green-Building-Labels 61
6 Fazit 64
6.1 Zusammenfassung der Ergebnisse 64
6.2 Auslegeordnung 65
6.3 Ausblick für ein weiteres Vorgehen 68
7 Literaturverzeichnis 69
8 Anhang 71
Fragebogen der Umfrage zur Stakeholderanalyse 71

1 Einleitung

1.1 Gegenstand der Studie

1.1.1 Hintergrund

Zirkularität wird in der Kybernetik als *Bezug auf etwas Vorhandenes* beschrieben. Auf die Bauwirtschaft angewendet bedeutet dies, dass Zirkularität in der Bauwirtschaf den Bezug auf vorhandene Ressourcen beschreibt. Die «Kreislaufwirtschaft» im Baubereich ist demnach ein Konzept, das darauf abzielt, den Ressourcenverbrauch zu minimieren und Abfall zu reduzieren, indem Materialien und Produkte im Bauwesen so lange wie möglich in einem geschlossenen Kreislauf gehalten werden. Statt die traditionelle lineare "Nehmen-Herstellen-Verwenden-Wegwerfen" Methode zu verfolgen, strebt die Kreislaufwirtschaft an, Materialien wiederzuverwenden, zu recyceln und zu regenerieren und deren Nutzungsdauer zu verlängern, um deren Lebensdauer zu erhöhen.

Durch die Implementierung der Kreislaufwirtschaft im Baubereich können mehrere Vorteile erzielt werden. Erstens wird der Bedarf an Primärressourcen wie Sand, Kies und Holz verringert, da bereits vorhandene Materialien genutzt werden. Zweitens wird weniger Abfall erzeugt, was zur Verringerung der Umweltbelastung und zur Schonung begrenzter Deponieraumkapazitäten beiträgt. Drittens ermöglicht die Kreislaufwirtschaft die Reduzierung von Treibhausgasemissionen, da weniger Energie für die Herstellung neuer Materialien benötigt wird.

Um die Kreislaufwirtschaft im Baubereich zu fördern, sind verschiedene Massnahmen erforderlich. Dazu gehören die Entwicklung von Rücknahmesystemen für Bauprodukte, die Förderung von Modul- und Komponentenbauweisen, die Verbesserung des Materialrecyclings und die Unterstützung von innovativen Konstruktions- und Produktionsprozessen, die die Wiederverwendung von Materialien erleichtern. Um die Kreislaufwirtschaft in der Baubranche voranzutreiben, ist es für alle Akteure im Planungs- und Bauprozess unabdingbar, die Zirkularität in geeigneter Form auszuweisen.

Die Messung von Zirkularität soll dabei unterstützen von der Gesellschaft gesetzte Regularien, wie z.B. das Umweltschutzgesetz insbesondere Art. 35j einzuhalten. Diese Regularien basieren auf internationalen Vereinbarungen, wie der Agenda 2030 der Vereinten Nationen und nehmen insbesondere Bezug auf Ziel 12 Nachhaltiger Konsum und nachhaltige Produktion und Ziel 13 Massnahmen zum Klimaschutz. Diese Vereinbarungen wurden getroffen um den Klimatischen Entwicklungen, die in der Wissenschaft beobachtet und z.B. anhand der Planetaren Grenzen beschrieben werden, entgegenzuwirken.

Es gilt daher die Erreichung der übergeordneten Ziele und Regularien praktisch umsetzbar zu machen. Dies kann durch die Messung von Zirkularität erfolgen, da sie verschieden Akteuren in der Baubranche ermöglicht, belastbare Entscheidungen zu treffen. Hierzu gehören insbesondere:

- **Auftraggebende** können Zielgrösse ausgeben.
- **Planende und Ausführende** können Varianten evaluieren.
- **Produktehersteller** können zirkuläre Informationen ausweisen.
- **Gesetzgeber** und **Behörden** können Vorgaben setzen.
- **Normen, Verbände, Labels, Standards, etc.** können Zirkularitätsanforderungen integrieren.

Wesentlich bei der Messung von Zirkularität ist, dass das Messsystem keine Vorgaben zu Konstruktionsweisen, Verfahren, oder Materialien macht, sondern hier lösungsoffen bleibt, um viele Lösungswege und Innovationspotenzial zu ermöglichen.

1.1.2 Vorarbeiten

Der Verein Madaster Schweiz hat das Projekt «Zirkularität im Bau messbar machen» lanciert mit dem Ziel einen Weg für die konsistente Messung der Kreislauffähigkeit eines Gebäudes aufzuzeigen. Im Dezember 2023 wurde Version 1.0 eines Leitfadens erstellt und im Februar 2024 veröffentlicht (Verein Madaster Schweiz, 2023).

Dazu hat der Verein Madaster Schweiz eine Arbeitsgruppe bestehend aus einem Team von Vertreter*innen von Eigentümerschaften (ETH Engineering and Systems, SBB, Stadt Zürich, Swiss Prime Site), von Normierungs-, Standardisierung – und Zertifizierungsorganisationen (NNBS, Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung CRB, SGNI, SIA) von Fachexperte*innen im Bereich nachhaltiges Bauen (BAFU, pom+) und Expert*innen aus der Forschung (ETH CEA Lab, FHNW) etabliert.

Der Abschluss des Projekts und die Veröffentlichung der Ergebnisse in Form eines Leitfadens für einen Zirkularitäts-Indikator ist erfolgt und erste Analysen wurden durchgeführt. Übergeordnetes Ziel war es, eine gemeinsame Herangehensweise aller Akteure im Planungs- und Bauprozess mittels einer Bewertung von Zirkularität von Gebäuden zu ermöglichen. Das Projekt gilt als Anstoss der Thematik, worauf weitere Schritte von zusätzlichen Akteuren notwendig sind.

Der als Anstoss der vorliegenden Studie stehende Zirkularitätsindikator hat zum Ziel durch eine grosse Verbreitung einen messbaren Beitrag zu einem verbesserten Design-for-Disassembly, zu längerer Lebensdauer von Baustoffen, -teilen und Gebäuden durch verbesserte Reparaturfähigkeit und zu einem vermehrten Einsatz von grösseren Mengen von ReUse-Bauteilen und Recycling-Produkten bei Neubauten zu leisten.

1.1.3 Ziel der vorliegenden Studie

In Europa existieren diverse Zirkularitäts-Indikatoren und Indexe. Unter Anderem sind dies Madaster Zirkularitätsindikator (Ursprung Niederlande, Verbreitung aktuell auch in Deutschland und Skandinavien) basierend auf MCI der EMF, Urban Mining Index (Deutschland), DGNB Zirkularitäts-Index (Deutschland) (Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen – DGNB e.V., 2024).

Der «Material Circularity Indicator» (MCI) der Ellen MacArthur Foundation (EMF) ist breit anerkannt. Der Zirkularitäts-Indikator im Projekt vom Verein Madaster Schweiz basiert auf dieser Methodik und wendet ihn für Gebäude an. Der MCI erlaubt aufgrund der zunehmenden Verbreitung in Europa (aktuell Niederlande, Schweiz, Deutschland, Belgien, Norwegen, Österreich) eine einheitliche Berechnung der Zirkularität. Dies ist insbesondere für grenzüberschreitend tätige Akteure wie Portfoliohalter, Architekturbüros, Generalunternehmungen oder Produktehersteller von Interesse.

Um eine breitere Anwendung eines Zirkularitäts-Index in der Schweiz zu erreichen, ist eine belastbare und unabhängige wissenschaftlich basierte Mess- und Bewertungsmethode aufzubauen. Eine mögliche Implementierung könnte über ein Merkblatt des SIAs erfolgen. Dadurch soll auch sichergestellt werden, dass sich nur EIN Zirkularitätsindex in der Baubranche durchsetzt.

In der vorliegenden Studie sollen die Grundlagen für einen Zirkularitätsindex analysiert und eine Auslegeordnung entwickelt werden.

1.1.4 Methodische Vorgehensweise

Die Auslegeordnung soll einerseits die Ziele der Praxis und potenziellen Anwendenden berücksichtigen und gleichzeitig die wissenschaftlichen Erkenntnisse aus dem internationalen Kontext berücksichtigen, um eine belastbare Basis für einen auf den Ergebnissen aufbauenden Zirkularitätsindex zu erhalten, siehe Abbildung 1: Methodisches Vorgehen in der Studie.

Das Arbeitsprogramm umfasst hierbei folgende zu bearbeitende Themen und Fragestellungen:

1. Umfassende **Stakeholderanalyse**: Wer könnten potenzielle Interessierte eines Zirkularitäts-Indexes sein und warum?
2. Umfassende und systematische **Literaturrecherche** mit einer strukturierten und zielgerichteten Zusammenfassung der wichtigsten Aussagen zu den Aspekten.
   - Beschreibung der betrachteten **Kreisläufe**: Bsp. Recycling-, Upcycling-, Downcycling-, ReUse-Potential, etc. inkl. Begründung.
   - Beschreibung der im Fokus stehenden **Ebenen**: Bsp. Baustoff, Baumaterial, Bauteil und Gebäude, Areale, Gemeinden, etc. inkl. Begründung.
   - Untersuchung der **Systemgrenzen** und Kriterien zur Festlegung
   - Klärung des Einbezugs und Umgangs mit **biobasierten und natürlichen Baustoffen/Baumaterialien**.

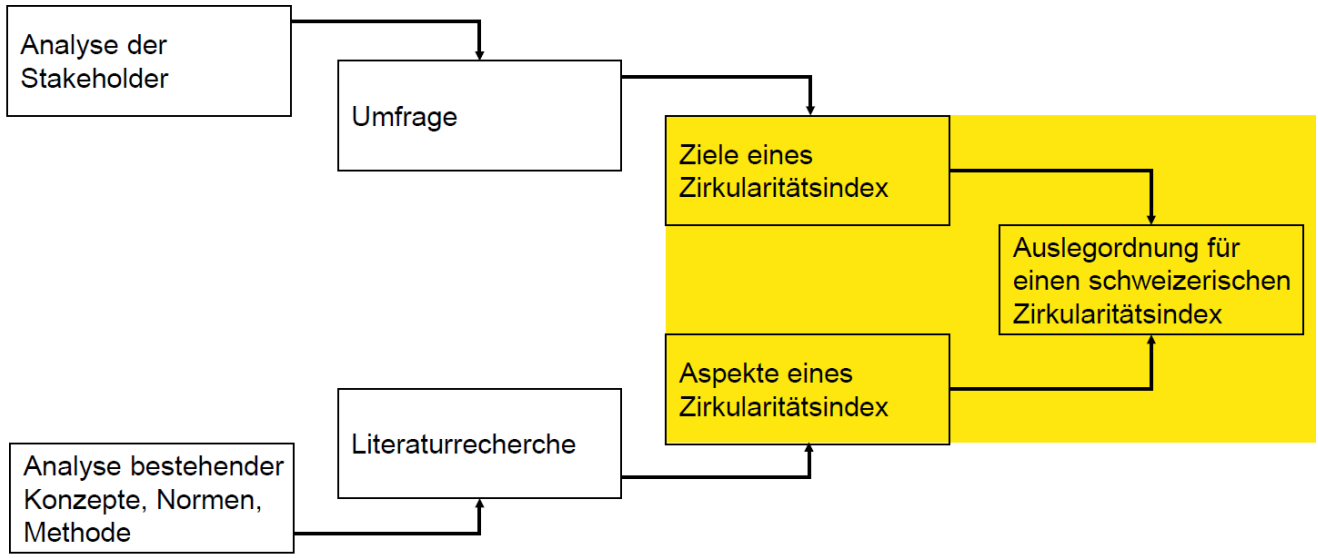


Abbildung 1: Methodisches Vorgehen in der Studie

1.2 Kontext Ökobilanz

1.2.1 Einleitung

Die Lebenszyklusanalyse (LCA) ist eine Methode zur umfassenden Bewertung der Umweltauswirkungen eines Produkts, einer Dienstleistung oder eines Systems über den gesamten Lebenszyklus. Der Lebenszyklus umfasst typischerweise die Phasen von der Rohstoffgewinnung über Produktion und Nutzung bis zur Entsorgung. Ziel der Lebenszyklusanalyse ist es, eine ganzheitliche Perspektive auf die Umweltauswirkungen zu erhalten und Ressourcenverbrauch sowie Umweltbelastungen systematisch zu erfassen und zu bewerten. Hier sind einige Schlüsselaspekte der Lebenszyklusanalyse:

- **Systemgrenzen:** Definition des räumlichen und zeitlichen Rahmens sowie den zu berücksichtigenden Prozessen und Materialflüssen. Dies ermöglicht die Festlegung, welche Aspekte in die Analyse einbezogen werden und welche nicht.
- **Funktionelle Einheit:** Festlegung einer quantitativen Grösse, die als Bezugsgrösse für die Bewertung des Systems dient. Die Funktonelle Einheit kann beispielsweise die Menge eines Produkts oder die Nutzungsdauer eines Systems sein.

- **Lebenszyklusphasen:** Unterteilung des Lebenszyklus in verschiedene Phasen, einschliesslich Rohstoffgewinnung, Produktion, Transport, Nutzung und Entsorgung.
- **Sachbilanz:** Erfassung und Quantifizierung aller relevanten Inputs (wie Ressourcen, Energie) und Outputs (wie Emissionen, Abfälle) in jeder Lebenszyklusphase. Dies wird auch als "Sachbilanz" bezeichnet.
- **Wirkungsabschätzung:** Bewertung der Umweltauswirkungen mithilfe von Wirkungskategorien resp. -indikatoren, die auf den Inventardaten basieren. Dies ermöglicht die Identifizierung von Umweltauswirkungen wie Treibhausgasemissionen, Versauerung oder Eutrophierung.
- **Interpretation:** Analyse und Interpretation der Ergebnisse, um Hotspots und kritische Phasen im Lebenszyklus zu identifizieren. Dies ist entscheidend für die Ableitung von Handlungsempfehlungen zur Umweltverbesserung.
- **Normung und Validierung:** Einhaltung von Standards und Normen, um die Qualität und Vergleichbarkeit der Ergebnisse sicherzustellen. Validierung der Daten und Methoden ist ebenfalls wichtig.
- **Kommunikation der Ergebnisse:** Bereitstellung von Informationen über die Umweltauswirkungen des betrachteten Systems für Entscheidungsträger, Verbraucher und andere Interessengruppen.

Die Lebenszyklusanalyse ist ein wichtiges Instrument in der Umweltbewertung und nachhaltigen Entwicklung und wird oft in Form von Ökobilanzen durchgeführt. Sie unterstützt Unternehmen, Regierungen und Verbraucher bei der Identifizierung von Möglichkeiten zur Reduzierung von Umweltauswirkungen und zur Förderung nachhaltigerer Alternativen.

1.2.2 Datenbanken

Ecoinvent:

Die ecoinvent-Datenbank gilt als eine der weltweit transparentesten und konsistentesten Ökoinventardatenbanken. Entwickelt und betrieben vom schweizerischen ecoinvent-Zentrum, bietet die aktuelle Version 3.10 über 20.000 Datensätze, die zahlreiche Branchen abdecken. Dazu gehören neben dem Bauwesen auch Landwirtschaft, Chemie, Energie, Metallverarbeitung, Textilien, Transport, Abfallwirtschaft und Wasserversorgung.

Ökobilanzdaten im Baubereich (KBOB-Liste):

Die „Ökobilanzdaten im Baubereich“ der Schweizer Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren (KBOB) enthalten aggregierte Umweltindikatoren wie Treibhausgasemissionen, Energieverbrauch und Umweltbelastungspunkte für diverse Bauprodukte. Sie basieren auf ecoinvent-Daten, weichen jedoch in Berechnungsregeln und Systemgrenzen teilweise davon ab. Materialflüsse sind in den frei zugänglichen Datensätzen nicht direkt enthalten. Eine 2021 durchgeführte Studie des Büros für Umweltchemie modellierte die Prozessketten in der Entsorgungsphase anhand ecoinvent-Daten („Umweltchemie-Bericht“).(Klingler et al., 2019)

GaBi:

Die deutsche GaBi-Datenbank („Ganzheitliche Bilanzierung“) zählt zu den umfangreichsten und konsistentesten Ökobilanz-Datenbanken auf dem Markt. Sie umfasst etwa 13.000 Sachbilanzdatensätze (Stand: April 2020), die zu einem grossen Teil auf qualifizierten Industrie- und Verbandsinformationen basieren.

ÖKOBAUDAT:

Diese Datenbank des deutschen Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen umfasst rund 1.400 Datensätze zu Baustoffen und bietet Lebenszyklus-Inventardaten (LCI) für die Ökobilanzierung im Bauwesen.

ProBas:

Das Webportal „Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagement-Instrumente“ (ProBas) des deutschen Umweltbundesamts und des Öko-Instituts stellt kostenlose Daten zu Umweltmanagement, Ökobilanzen und Stoffstromanalysen bereit. Es bietet insbesondere Informationen zu Energie, Materialien, Produkten, Transport und Entsorgung.

cm.chemicals:

Die von Carbon Minds entwickelte cm.chemicals-Datenbank enthält Sachbilanzdaten zur Produktion von mehr als 1.000 Chemikalien und Kunststoffen in über 190 Ländern. Ihre Grundlage wurde durch langjährige Forschungsarbeiten an der RWTH Aachen gelegt.

EPEA:

Die EPEA-Datenbank, entwickelt von der EPEA GmbH, basiert auf Umweltproduktdeklarationen (Environmental Product Declarations, EPD) gemäss EN 15804. Sie bietet normierte Ökobilanzdaten zu Materialien und Produkten, einschliesslich durchschnittlicher Materialzusammensetzungen und Entsorgungswege. Zusätzlich enthält sie Informationen zu Wiederverwendung und Recycling (Klingler et al., 2019).

1.2.3 Wirkungsindikatoren

Bei der Wirkungsabschätzung geht es darum, Informationen aus der Sachbilanz für die Kommunikation oder Entscheidungsstützung auf wenige Parameter zu verdichten. Verschiedene Wirkungsindikatoren berücksichtigen den Ressourcenverbrauch:

Abiotischer Ressourcenverbrauch (ADP): Sie beschreibt, welche nicht regenerativen abiotischen Ressourcen in welchem Mass für die Erbringung einer Dienstleistung, die Durchführung eines Prozesses oder die Herstellung eines Produkts aus der Umwelt entnommen werden. Abiotisch bedeutet dabei, dass keine Lebewesen an der Bildung der Ressourcen beteiligt sind. Zu den abiotischen Ressourcen zählen unter anderem Luft und ihre Bestandteile, Wasser, mineralische Rohstoffe, Metallerze und fossile Brennstoffe. Der Wirkungsindikator des abiotischen Ressourcenverbrauchs gewichtet diese Ressourcen unterschiedlich. So wird vermieden, dass die Entnahme seltener Rohstoffe genauso bewertet wird wie die Entnahme häufig vorkommender Rohstoffe. Beispiele hierfür sind die unterschiedliche Gewichtung von Sand und Eisenerz. Die Gewichtungsfaktoren sind gleichzeitig die Charakterisierungsfaktoren für diese Wirkungskategorie.

Kumulierter Rohstoffaufwand (KRA): Als ein Indikator zur Bewertung der Ressourceneffizienz hinsichtlich der Rohstoffressourcen kann der Kumulierte Rohstoffaufwand (KRA) genutzt werden. Der KRA wird berechnet aus der Summe aller Rohstoffe mit Ausnahme von Wasser und Luft, die in ein System, z. B. ein Produkt, eingehen, und umfasst alle Lebenswegphasen. Der Indikator wird in Gewichtseinheiten, z. B. in Tonnen, angegeben. Als Bezugsgrösse sollte eine funktionelle Einheit verwendet werden, um den Nutzen möglichst lösungsneutral vergleichen zu können.

Kumulierter Energieverbrauch (KEA): Der Energieverbrauch entspricht nach den ISO-Normen keiner Wirkungskategorie, weshalb er nach der Norm streng genommen kein Indikator sein kann. Er ist jedoch eine nützliche und mit relativ geringer Unsicherheit ermittelbare Kennzahl, die den gesamten Energieaufwand erfasst. Der KEA zeigt den direkten und indirekten Energieverbrauch über den gesamten Lebenszyklus eines Produktes. Er beinhaltet die energetischen Inputs für die Gewinnung, Herstellung und Entsorgung aller benötigten Materialien und Hilfsmaterialien. Der KEA bewertet den Bedarf primärer Energieträger, also Kohle, Öl, etc., und nicht Elektrizität (d.h. es werden die primären Energieträger bewertet, welche zur Elektrizitätserzeugung benötigt werden). Der KEA ergänzt somit in idealer Weise die in den Wirkungskategorien „Ressourcenverbrauch“ und „Klimaänderung“ enthaltenen Informationen zu den fossilen und nuklearen Energieträgern und dient vor allem der

Unterstützung und Bewertung von Energiesparmassnahmen.

Methode der ökologischen Knappheit (MöK): Die schweizerische Methode der ökologischen Knappheit berücksichtigt ein breites Spektrum von Umweltbelastungen und fasst diese durch Vollaggregation in einer Kennzahl zusammen. Das Ergebnis sind Umweltbelastungspunkte (UBP). Zentrale Grösse der Methode sind die Ökofaktoren, welche die Umweltbelastung einer Schadstoffemission resp. Ressourcenentnahme in der Einheit UBP pro Mengeneinheit angeben. Der Ökofaktor eines Stoffes leitet sich aus der Gesetzgebung oder entsprechenden politischen Zielen ab. Je mehr die aktuellen Emissionen resp. der Ressourcenverbrauch das gesetzte Umweltschutz-Ziel überschreiten, desto grösser wird der Ökofaktor, ausgedrückt in UBP.

1.2.4 Regeln für die Ökobilanzierung von Baustoffen und Bauprodukten in der Schweiz

In Bezug auf Zirkularität wurden folgende Regeln zur Aufnahme von Ökobilanzdaten in die KBOB-Liste laut (Frischknecht, 2024) festgelegt:

- Reuse-Bauteile: Bauteile, die in einem Gebäude aus- und in einem anderen wieder eingebaut werden (Reuse), werden wie folgt bilanziert:
  - Reuse-Bauteile verlassen den Perimeter des Gebäudes, aus welchem sie ausgebaut wurden, ohne Umweltbelastung.
  - Transportaufwendungen (vom Gebäude zum Zwischenlager und zur Aufbereitung) und Aufwendungen und Emissionen der Aufbereitung und Ertüchtigung der Reuse-Bauteile sind einzurechnen, ebenso die zukünftige Entsorgung nach Erreichen der Bauteillebensdauer.
- Produktions- und Baustellenabfälle sowie Verschnitt: Wird ein Teil oder 100 % der Produktions- und Baustellenabfälle und des Verschnitts eines Bauproduktes rezykliert und in der Herstellung ebendieses Bauproduktes wieder eingesetzt, so werden dem rezyklierten Anteil die Aufwendungen für das Recycling (Logistik, Reinigung und Aufbereitung) angerechnet. Bei der Bilanzierung der Herstellung ist der Rohmaterialinput um die Menge Produktionsabfall zu erhöhen. Bei der Bilanzierung von Gebäuden sind die auf die Baustelle gelieferten Mengen (verbaute Menge plus Baustellenabfälle und Verschnitt, zu bilanzieren.
- Forcierte Karbonatisierung: Betongranulat kann mit atmosphärischem oder biogenem CO_2, welches beispielsweise aus Rohbiogas gewonnen wird begast werden. Ein Teil dieses CO_2 wird im Betongranulat durch Karbonatisierung chemisch und damit permanent eingebunden. Die eingebundene Menge an biogenem beziehungsweise atmosphärischem CO_2 wird als biogener Kohlenstoff in «kg C» ausgewiesen. Der Umgang mit Negativemissionen und deren Anrechenbarkeit soll auf Gebäudeebene geregelt werden.
- Modellierung der Ressourcennutzung: Die Ökofaktoren Schweiz 2013 und 2021 der Methode der ökologischen Knappheit bewerten die verbrauchende Nutzung mineralischer Primärressourcen. Eine verbrauchende Nutzung liegt dann vor, wenn das Material in Produktionsprozessen durch Emission in Luft, Wasser oder Boden verloren geht, fein verteilt wird (z.B. Kupfer als Pflanzenschutzmittel im Weinbau), oder wenn es nach der Nutzung deponiert oder verbrannt wird. Da in den aktuell genutzten Hintergrunddaten von Entsorgungsprozessen **die auftretenden Ressourcenverluste nicht abgebildet sind**, wird die verbrauchende Nutzung mineralischer Primärressourcen mittels Ressourcenkorrekturen modelliert. Die Ressourcenkorrektur wird mit den Elementarflüssen zur Ressourcenentnahme abgebildet („Eisen, 46% in Erz, 25% in Roherz, im Boden“; „Kies, im Boden“; „Holz, im Wald“). Die verbrauchend genutzte Menge Ressource wird wie folgt bestimmt (aus (Frischknecht, 2024) Seite 14):

$$N_{R_i} = m_{R_i} \times \left(R_{O,i} - R_{I,i}\right) \times E_{R_i}$$

mit

- N_{Ri}: verbrauchende Nutzung der Ressource i;
- m_{Ri}: Menge der Ressource i im Baumaterial;
- $R_{O,i}$: Anteil des Baumaterials beziehungsweise der darin enthaltenen Ressource i, der rezykliert wird;
- $R_{I,i}$: Anteil Rezyklat korrespondierend mit Ressource i, welcher zum Herstellen des Baumaterials eingesetzt wurde;
- E_{Ri}: Elementarfluss der Ressource i;

Allokation und Recycling: Es werden keine Gutschriften gewährt, weder für gekoppelt hergestellte Produkte noch für zu rezyklierende Produktionsabfälle. Bei Prozessen, die mehrere Produkte gleichzeitig herstellen, wird ein geeigneter Allokationsschlüssel angewendet (ökonomisch oder physikalisch). Bei Stoffen, die ins Recycling gehen, wird die **Systemgrenze dort gezogen, wo der Stoff das Ende der Abfalleigenschaften erreicht hat**. Als Orientierungshilfe bei der Festlegung des Endes der Abfalleigenschaften kann der Entscheidungsbaum in Anhang B der Schweizer Norm SN EN 15804 (SIA, 2022) dienen.

– Entsorgung: Die Entsorgung am Ende des Lebenswegs soll die (belegbare) heutige Entsorgungssituation widerspiegeln. Deponierung und Verbrennung in Kehrichtverbrennungsanlagen sollen produktspezifisch modelliert werden, ausser es kann gezeigt werden, dass bereits bestehende ecoinvent Entsorgungs-Datensätze das zu entsorgende Produkt angemessen genau repräsentieren. Kehrichtverbrennungsanlagen, Abwasserreinigungsanlagen, sowie Vergärungsanlagen sind Mehrproduktprozesse. Die Allokation erfolgt bei der Kehrrichtverbrennungsanlage, indem 100 % der Aufwendungen und Emissionen den zu entsorgenden Abfällen (gesetzlicher Auftrag) anzurechnen ist. Kehrichtverbrennungsanlagen: 100 % der Aufwendungen und Emissionen sind den zu entsorgenden Abfällen (gesetzlicher Auftrag) anzurechnen. Abwasserreinigungsanlagen: 100 % der Aufwendungen und Emissionen der Faulung und der Rohbiogasaufbereitung sind dem erzeugten Biogas anzurechnen. Vergärungsanlagen: 100 % der Differenz der Methan-Emissionen der Vergärung im Vergleich zur Kompostierung sind dem Rohbiogas anzurechnen. Die übrigen Aufwendungen und Emissionen sind der Entsorgungs-Dienstleistung anzurechnen. 100 % Aufwendungen und Emissionen der Rohbiogasaufbereitung sind dem erzeugten Biogas anzurechnen (Grüngut ist entweder zu kompostieren oder zu vergären).

1.2.5 Regeln für Ökobilanzierung von Gebäuden

In der Schweiz sind die einheitlichen Rechenregeln für die Ermittlung der Umweltauswirkungen eines Bauprojektes im SIA Merkblatt 2032 , «Graue Energie - Ökobilanzierung für die Erstellung von Gebäuden» (Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 2020) beschrieben. Damit kann sichergestellt werden, dass einheitliche Systemgrenzen und Datenquellen verwendet werden. Unter anderem legt das Merkblatt Standardwerte für die Amortisationszeiten von Bauteilen und einheitlichen Schichten fest. Diese entsprechen in der Regel den Nutzungsdauern der Bauteile – denn die Umweltauswirkungen eines Gebäudes umfasst nicht nur die Erstellung und den Rückbau, sondern berücksichtigt auch den Austausch einzelner Bauteile.

Zur Berechnung der Grauen Energie nach (Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 2020) werden die Daten aus der Datenbank ecoinvent (siehe Kapitel 1.2.2) herangezogen. Dort sind Angaben zum kumulierten Energieaufwand, den Treibhausgasemissionen und weiteren umweltbezogenen Kennwerten von Energieträgern, Werkstoffen, Produkten und Dienstleistungen in allen Wirtschaftszweigen hinterlegt.

2 Stakeholderanalyse

Anhand der Stakeholderanalyse soll geklärt werden, wer wie bei der Entwicklung des Zirkularitätsindex einbezogen werden soll. Ziel ist eine möglichst hohe Verbreitung des Zirkularitätsindex. Entsprechend sollen die Bedürfnisse der Stakeholder angepasst auf ihre Einflussmöglichkeit in der Definition des Zirkularitätsindex berücksichtigt werden.

2.1 Fragestellungen

Mit der Stakeholderanalyse sollen folgende Fragestellungen geklärt werden:

1) Welche Personen(-gruppen), Interessengemeinschaften oder Organisationen haben an einem Zirkularitätsindex Interesse?
2) Warum haben diese Stakeholder ein Interesse an einem Zirkularitätsindex? Welche Ziele verfolgen sie mit einem Zirkularitätsindex?
3) Welchen Einfluss haben diese Stakeholder auf die Zirkularität in einem Projekt?
4) Welchen Einfluss haben diese Stakeholder auf die Zirkularität in der Bauwirtschaft?
5) Welche Macht und Bündnisse stehen diesen Stakeholdern zur Verfügung, um Zirkularität in einem Projekt und/oder der Baubranche durch- oder umzusetzen?
6) Wie werden sich die Stakeholder voraussichtlich hinsichtlich Zirkularität verhalten, welche Aktionen sind zu erwarten?

Der gesamte Fragebogen kann dem Anhang entnommen werden.

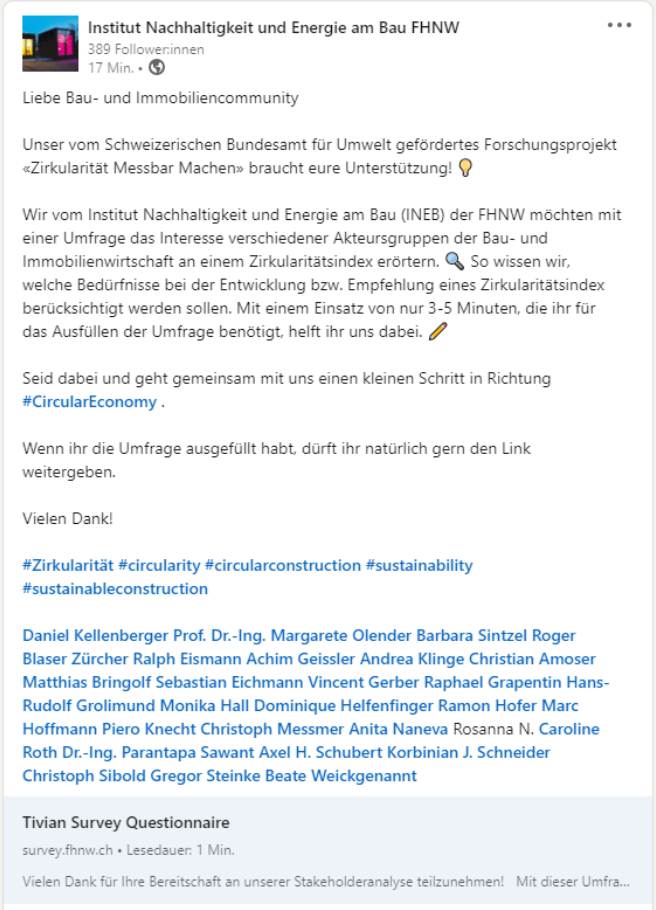


Abbildung 2 Bewerbung der Umfrage über LinkedIn

2.2 Ergebnisse der Stakeholderumfrage

2.2.1 Angaben zu den Statistischen Werten der Umfrageteilnehmenden

Die Umfrage zur Stakeholderanalyse wurde am 20.12.2023 über die Social-Media Plattform LinkedIn veröffentlicht, an der Swissbau im Januar 2024 am Stand des Instituts dafür geworben und an Kontakte des Forschungsteams sowie CircularHub versendet. Die Umfrage wurde am 16.03.2024 beendet.

Um die notwendige Stichprobengrösse für ein belastbares Umfrageergebnis zu ermitteln, wurde die Gesamtpopulationsgrösse anhand der Statistik für Vollzeitäquivalente 3.Q 2023 ermittelt (Bundesamt für Statistik, 2024):

- Baugewerbe/Bau ~346’700
- Grundstücks und Wohnungswesen ~46’400
- Architektur- und Ingenieurbüros ~121’600
- **Gesamt Populationsgrösse/Grundgesamtheit ~514’700**

Bei einem Konfidenzniveau von 95% (Die Wahrscheinlichkeit, mit der die Stichprobe die Haltung der gewählten Population wiedergibt) und einer Fehlerspanne von 8% (Mass der Genauigkeit = Der Bereich, in dem die Beantwortung der Population denen der Stichprobe abweichen kann) beträgt die Notwendige Stichprobengrösse 151 befragte Personen.

Da 158 Personen an der Umfrage teilgenommen haben, kann sie als belastbar gewertet werden.

Betrachten wir den Tätigkeitsraum der befragen Personen können wir davon ausgehen, dass die Umfrageergebnisse für die Schweizer Baubranche relevant sind. 92% der Teilnehmenden arbeiten in der Schweiz. Unter Sonstiges wurde Liechtenstein 3x, Schwellenländer, Weltweit und DACH jeweils einmal genannt.

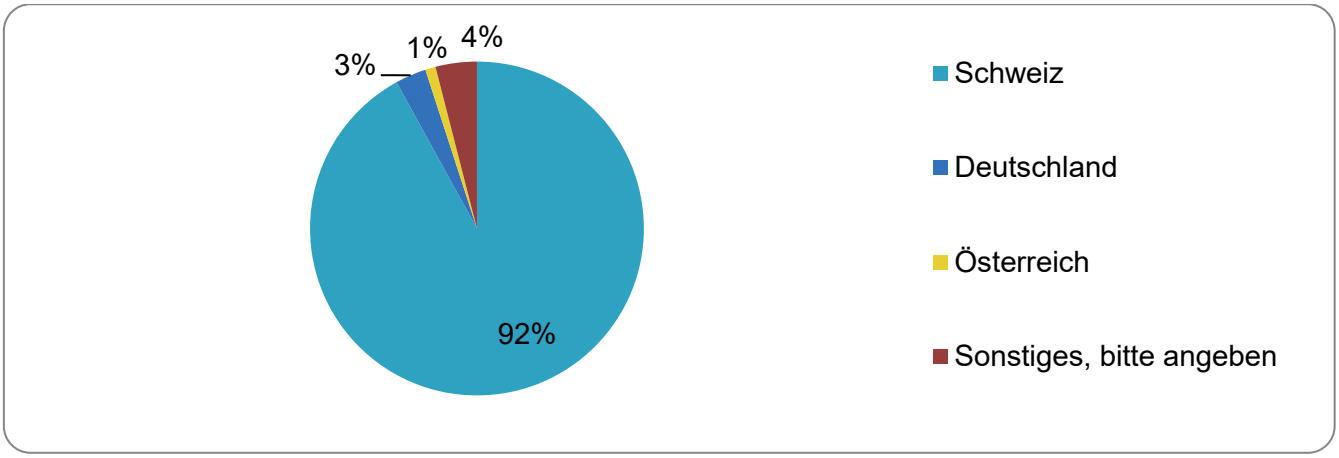


Abbildung 3: In welchem Land sind Sie hauptsächlich tätig?

Anhand der Personengruppen können wir erkennen, dass dem Bereich

- Planungs- und Ingenieurbüros ca. 53% der Umfrageteilnehmenden
- Baugewerbe/Bau ca. 14 % der Umfrageteilnehmenden
- Grundstücks- und Wohnungswesen ca. 18% der Umfrageteilnehmenden
- Sonstiges (Forschung, Normverfassende, Interessenverbände, Verwaltung, etc.) ca. 15% der Umfrageteilnehmenden

zugeordnet werden können. Hinsichtlich der Aufteilung gemessen an der Gesamtpopulation ist erkennbar, dass Planungs- und Ingenieurbüros überrepräsentiert (53% statt 23%), das Baugewerbe deutlich unterrepräsentiert (14% statt 67%) und das Grundstücks- und Wohnungswesen (18% statt 4%) deutlich überrepräsentiert sind. Hierdurch ist bei der Auswertung der Ergebnisse grundsätzlich zu beachten, dass vornehmlich die Akteursgruppe der Planenden und die Akteursgruppe der Bestellenden in der Umfrage repräsentiert werden. Weiter sind Einschränkungen dahingehend zu machen, dass die Bewerbung der Umfrage über den LinkedIn-Kanal des Instituts Nachhaltigkeit und Energie am Bau, CircularHub und weitere Kontakte der Forschungsgruppe gelaufen ist und daher tendenziell Personen, die bereits an Nachhaltigkeitsthemen interessiert sind, an der Umfrage teilgenommen haben.

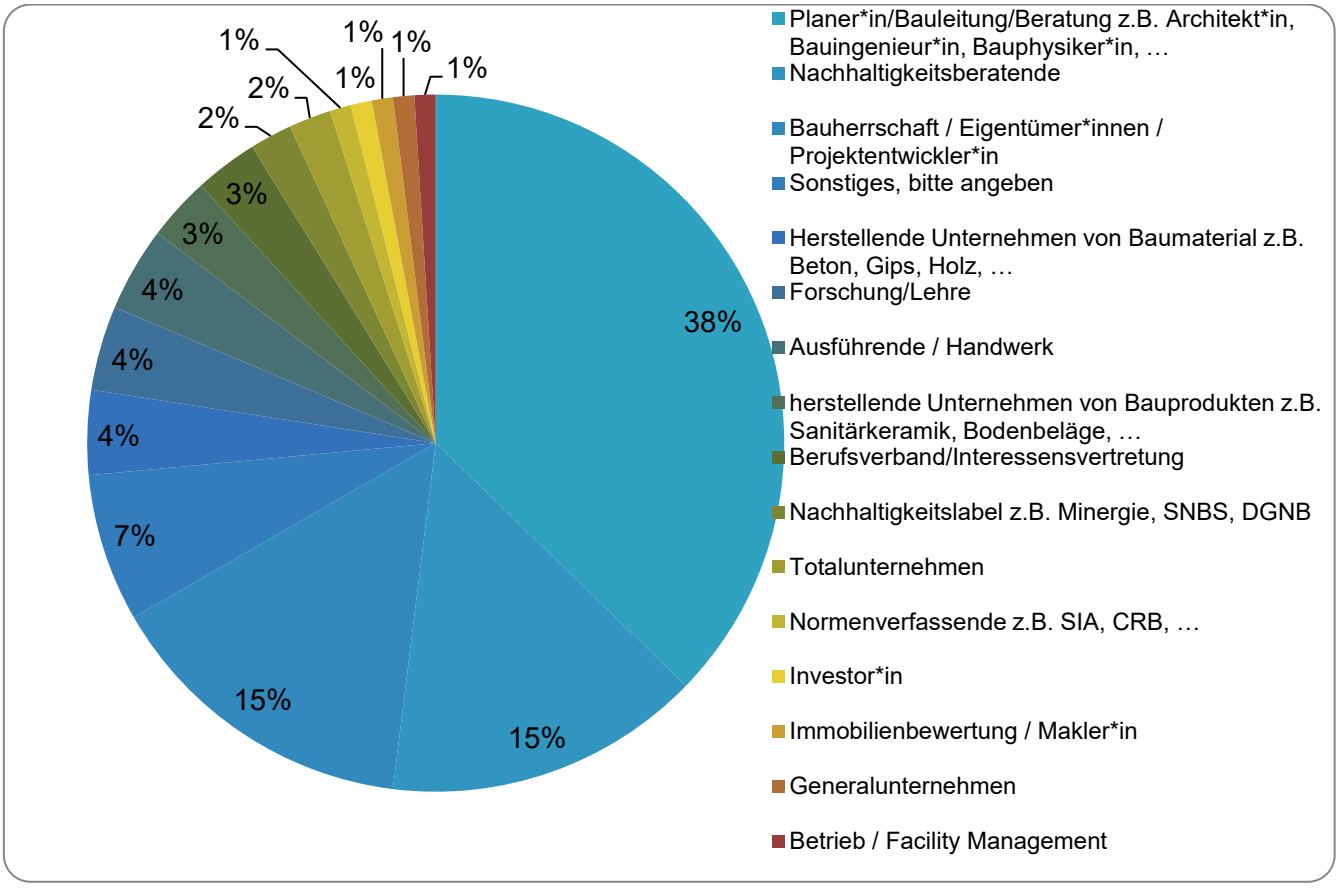


Abbildung 4: Welcher Personengruppe, Interessengemeinschaft oder Organisation sind Sie am ehesten zugehörig?

2.2.2 Interesse und Motivation für Zirkularität / Nutzung eines Zirkularitätsindex

Hinsichtlich des Interesses an einem Zirkularitätsindex wird festgestellt, dass 81% der Befragten ein sehr grosses bis aktives Interesse an der Nutzung eines Zirkularitätsindex haben. 0% der Befragten gab an «kein Interesse» zu haben. Aus diesen Zahlen kann abgeleitet werden, dass die Bereitstellung eines Zirkularitätsindex als Bedürfnis der Branche betrachtet werden kann.

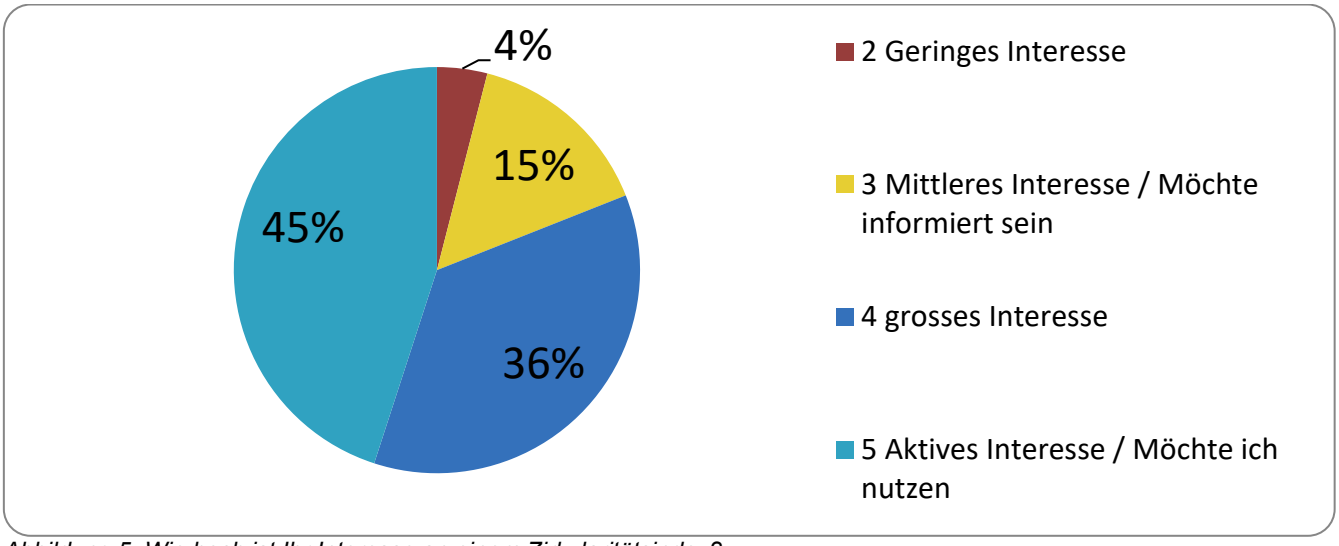


Abbildung 5: Wie hoch ist Ihr Interesse an einem Zirkularitätsindex?

Bezüglich der Ziele der Motivation zeigt sich ein vielfältiges Bild. Insgesamt wollen mit grosser oder sehr hoher Motivation über zweidrittel der Umfrageteilnehmenden Ressourcen schonen (89%), den Klimawandel bekämpfen (88%), Innovationen (78%) und Technische Kompetenz (69%) entwickeln.

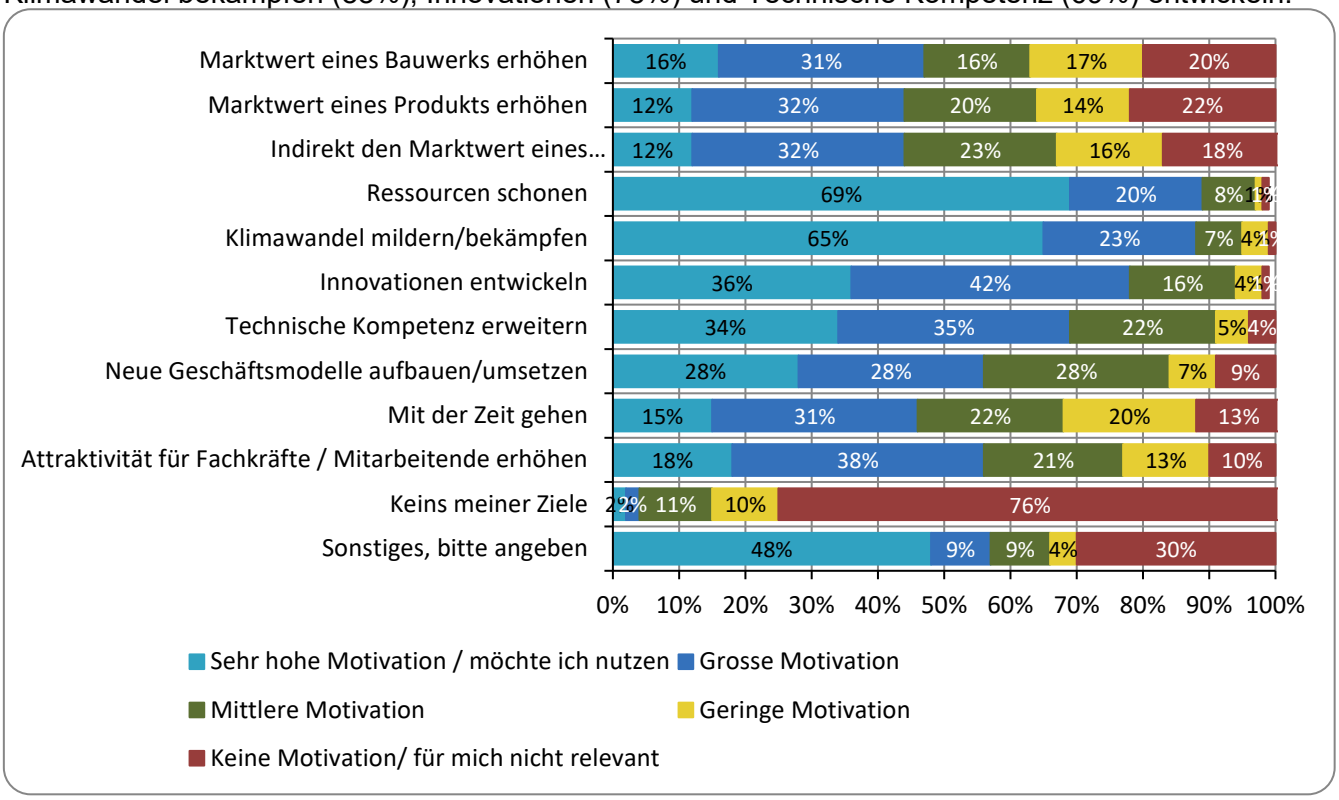


Abbildung 6: Wie hoch ist Ihre Motivation hinsichtlich folgender Punkte einen Zirkularitätsindex zu verwenden?

Da das Thema Klimawandel mit der Ökobilanzierung zusammenhängt, kann dieses Ziel durch die bereits vorhandene Methode der Ökobilanz erreicht werden. Das Ziel der Ressourcenschonung wird in der Ökobilanz nachrangig betrachtet. Entsprechend ist eine Methode gewünscht, die das Ziel der Ressourcenschonung im Fokus hat.

Die Ziele neue Geschäftsmodelle zu entwickeln, sich mit der Zeit zu entwickeln und für Fachkräfte attraktiv zu sein liegt im Mittelwert noch knapp vor dem Interesse den Marktwert von Bauwerken, Produkten oder Organisationen zu erhöhen.

Unter Sonstiges finden sich Angaben, die ideell geprägt sind «Umweltschutz /-erhalt» oder Pflichterfüllung «Regulationsauftrag wahrnehmen (Ressourcen, Klima, Energie, usw.)» darstellen. Auch die Transformation der Bauwirtschaft, wie auch neue Projektabwicklungsmodellen «Integrierte Projektabwicklung unterstützen» werden genannt, was eher überraschende Antworten sind.

Die Einschätzung, dass ein Zirkularitätsindex zu keinem der eigenen Ziele beiträgt wird unter 1.5 bewertet. Hieraus kann abgeleitet werden, dass ein Zirkularitätsindex für die individuelle Zielerreichung grundsätzlich nützlich erscheint.

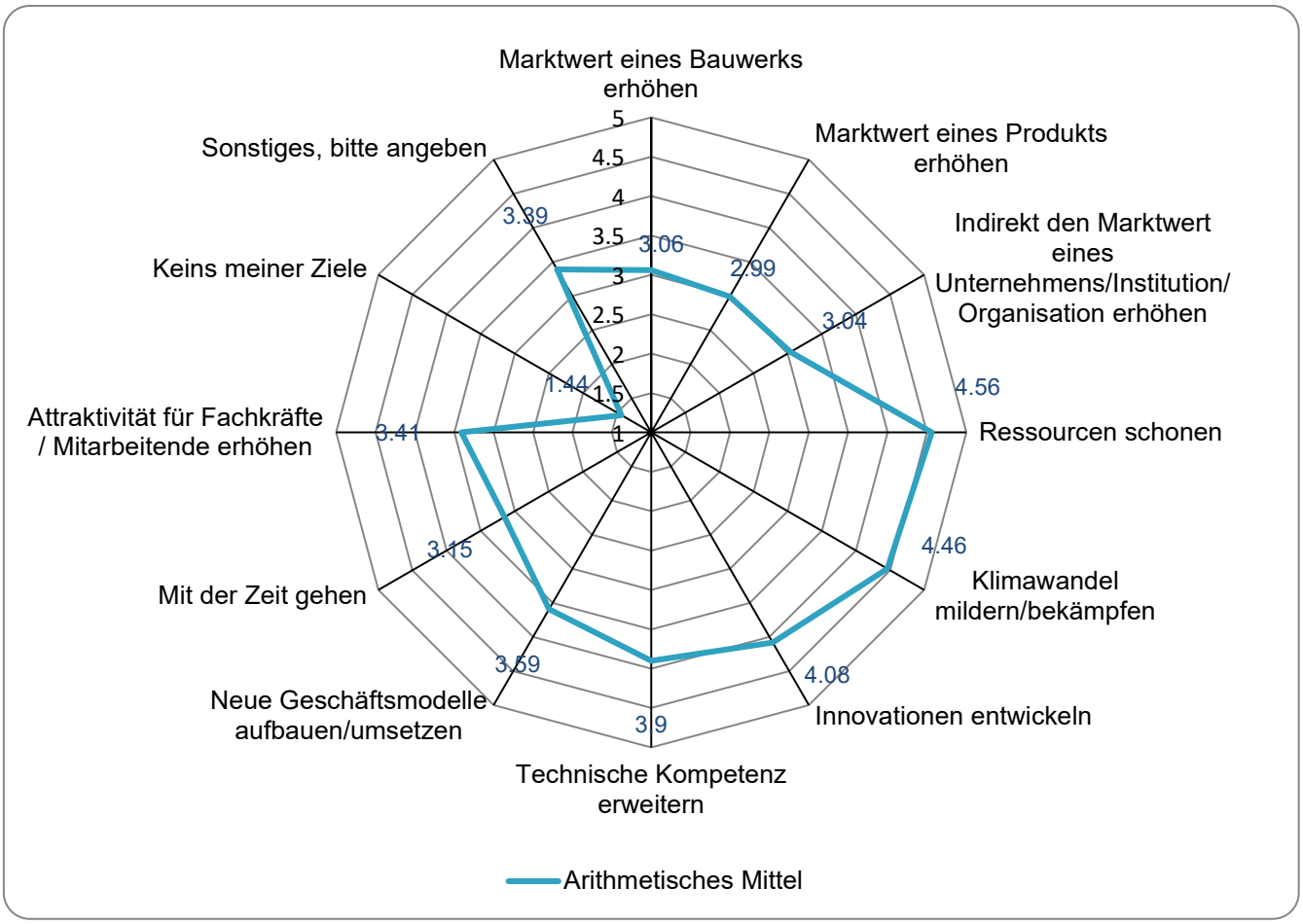


Abbildung 7:Mittelwerte zur Motivation einen Zirkularitätsindex zu nutzen.

2.2.3 Motivation zur Umsetzung von Zirkularität

Von den Umfrageteilnehmenden sind 91% motiviert Zirkularität in einem Bauprojekt und 87% motiviert Zirkularität in der Baubranche zu unterstützen und umzusetzen. Erkennbar ist, dass die Motivation sich für ein Bauprojekt einzusetzen etwas höher ist, als sich für die Bau- und Immobilienbranche einzusetzen. Nur lediglich 2% für ein Bauprojekt respektive 4% für die Bauwirtschaft sind nicht motiviert Zirkularität zu unterstützen. Hieraus ist ablesbar, dass es eine grosse Gruppe gibt, die treibende Kräfte darstellen.

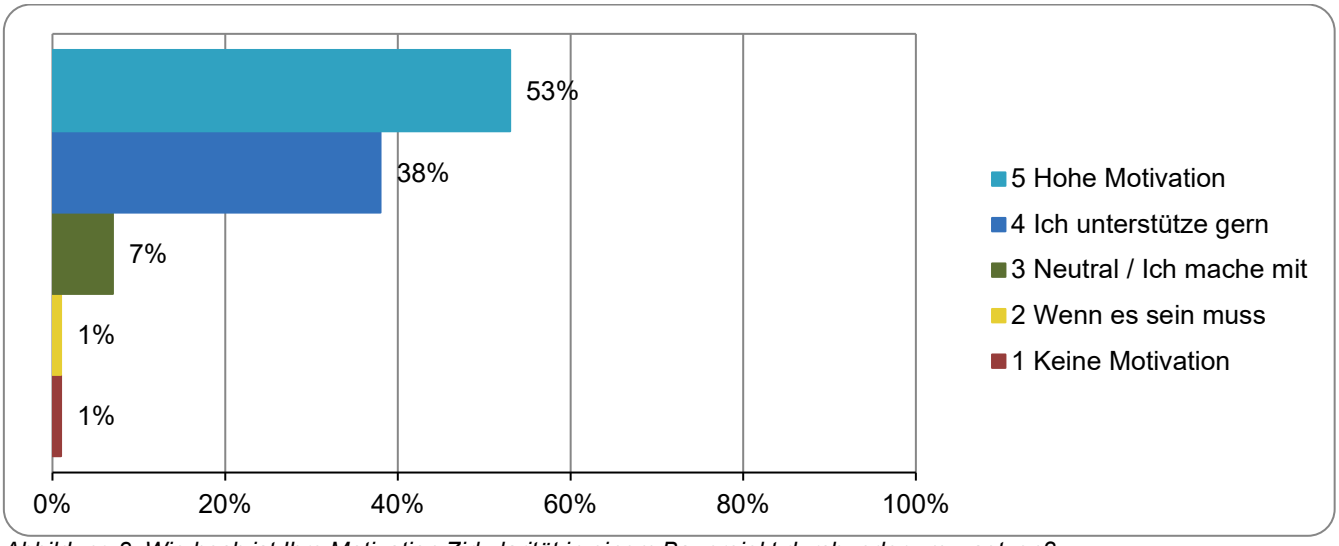


Abbildung 8: Wie hoch ist Ihre Motivation Zirkularität in einem Bauprojekt durch- oder umzusetzen?

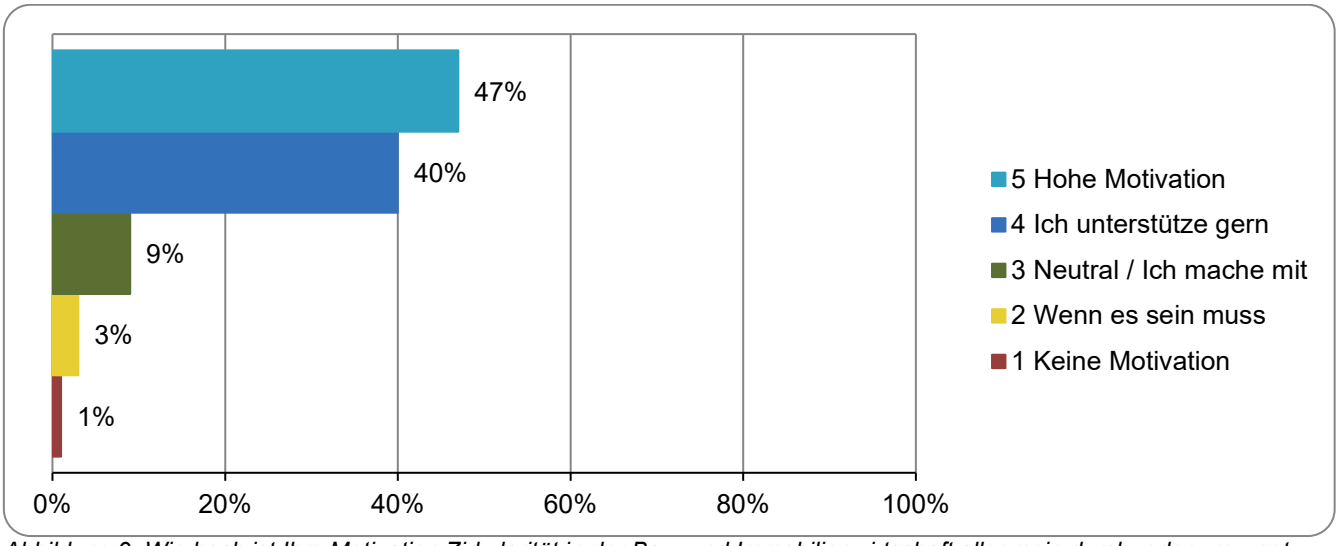


Abbildung 9: Wie hoch ist Ihre Motivation Zirkularität in der Bau- und Immobilienwirtschaft allgemein durch- oder umzusetzen?

2.2.4 Einfluss auf die Umsetzung von Zirkularität

Der Anteil von 8% mit einer sehr hohen Entscheidungsbefugnis in Bauprojekten kann an der relativ hohen Anzahl von Vertretern des Grundstücks- und Wohnungswesens erklärt werden. Auch der 34% hohe Einfluss kann dadurch erklärt werden, dass die Teilnehmenden der Planungsbüros überproportional repräsentiert werden und durch ihre frühe Einbindung in Bauprojekte eine entsprechend hohe Einflussnahme haben.

Interessant ist, dass auch 32% und damit knapp ein Drittel der Teilnehmenden angeben, einen hohen bis sehr hohen Einfluss auf die Branche allgemein zu haben.

Interessant ist, dass knapp die Hälfte (48%) im Verbund mit anderen einen Einfluss auf die Umsetzung von Zirkularität sieht und das sowohl bezogen auf ein Bauprojekt als auch auf die Branche. Hier stellt sich die Frage, ob durch die hohe Motivation Zirkularität umzusetzen und die eigene Einschätzung gemeinsam mit anderen einen sehr hohen Einfluss zu haben, eine kritische Masse erreicht

werden kann. Mit dem Erreichen einer kritischen Masse kann ein Sozialer Kipppunkt ausgelöst werden, der durch einen gruppendynamischen sich selbst verstärkenden Prozess einen selbsttragenden Effekt anstösst, der zu einer disruptiven Veränderung führt (Otto et al., 2020). Sollte dem so sein, so wäre eine Entwicklung weg von der linearen Bauwirtschaft hin zur Zirkulären Bauwirtschaft nicht aufzuhalten.

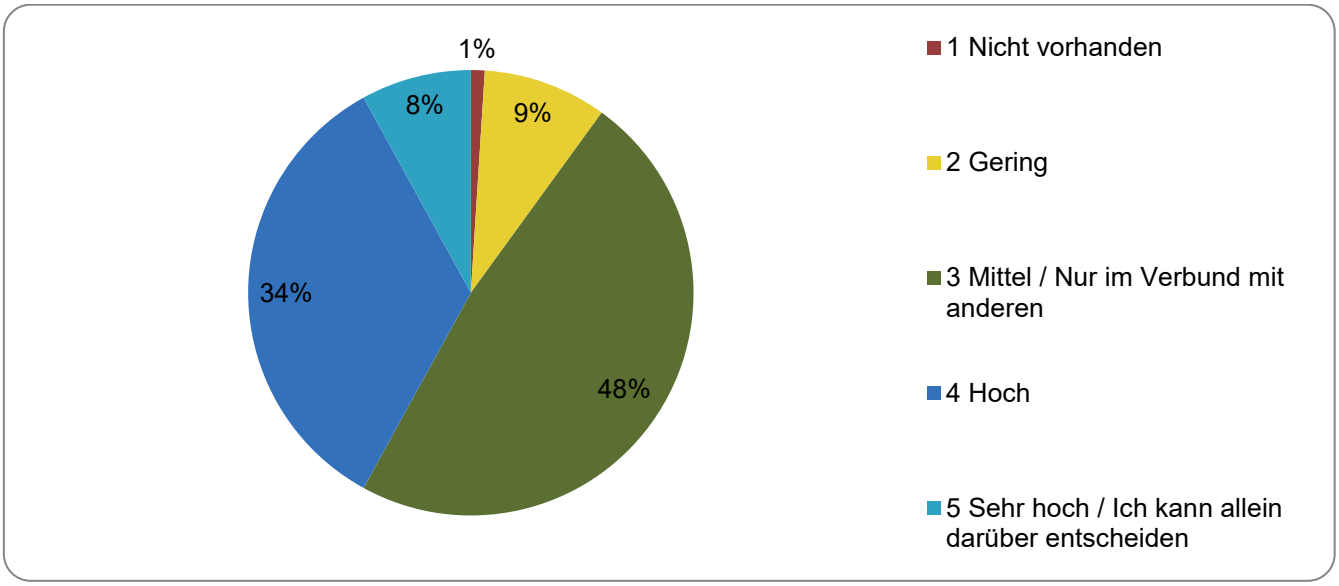


Abbildung 10: Wie schätzen Sie den direkten Einfluss Ihrer Rolle auf die Zirkularität in einem Bauprojekt ein?

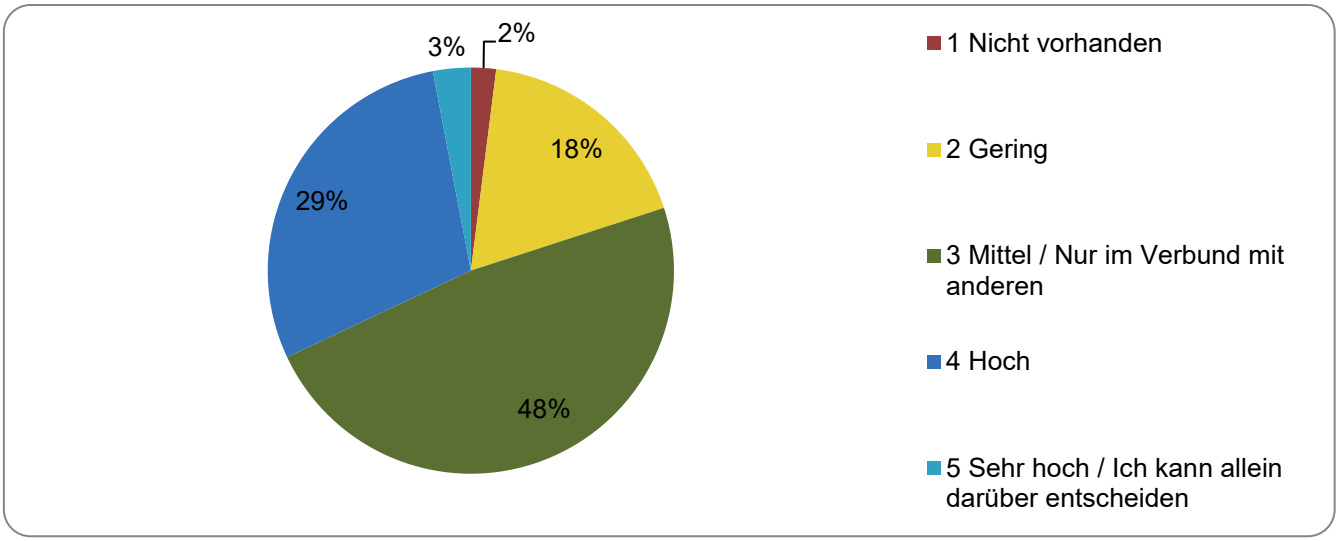


Abbildung 11: Wie schätzen Sie den direkten Einfluss Ihrer Rolle auf die Zirkularität in der Bau- und Immobilienwirtschaft allgemein ein?

2.2.5 Zusammenarbeitspartner zur Umsetzung von Zirkularität

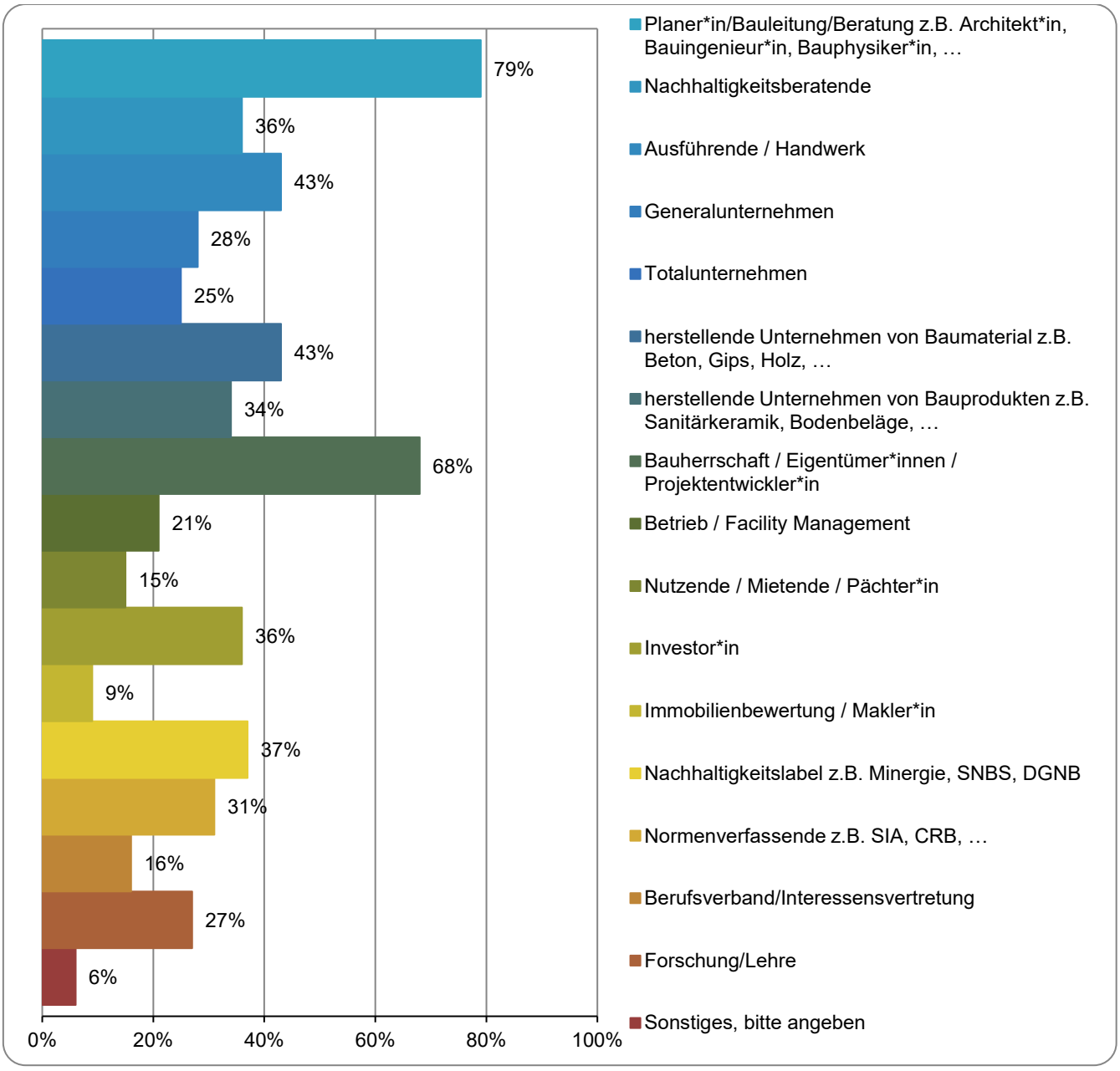


Abbildung 12: Mit welcher Personengruppe, Interessengemeinschaft oder Organisation würden Sie zusammenarbeiten, um Zirkularität in einem Bauprojekt durch- oder umzusetzen?

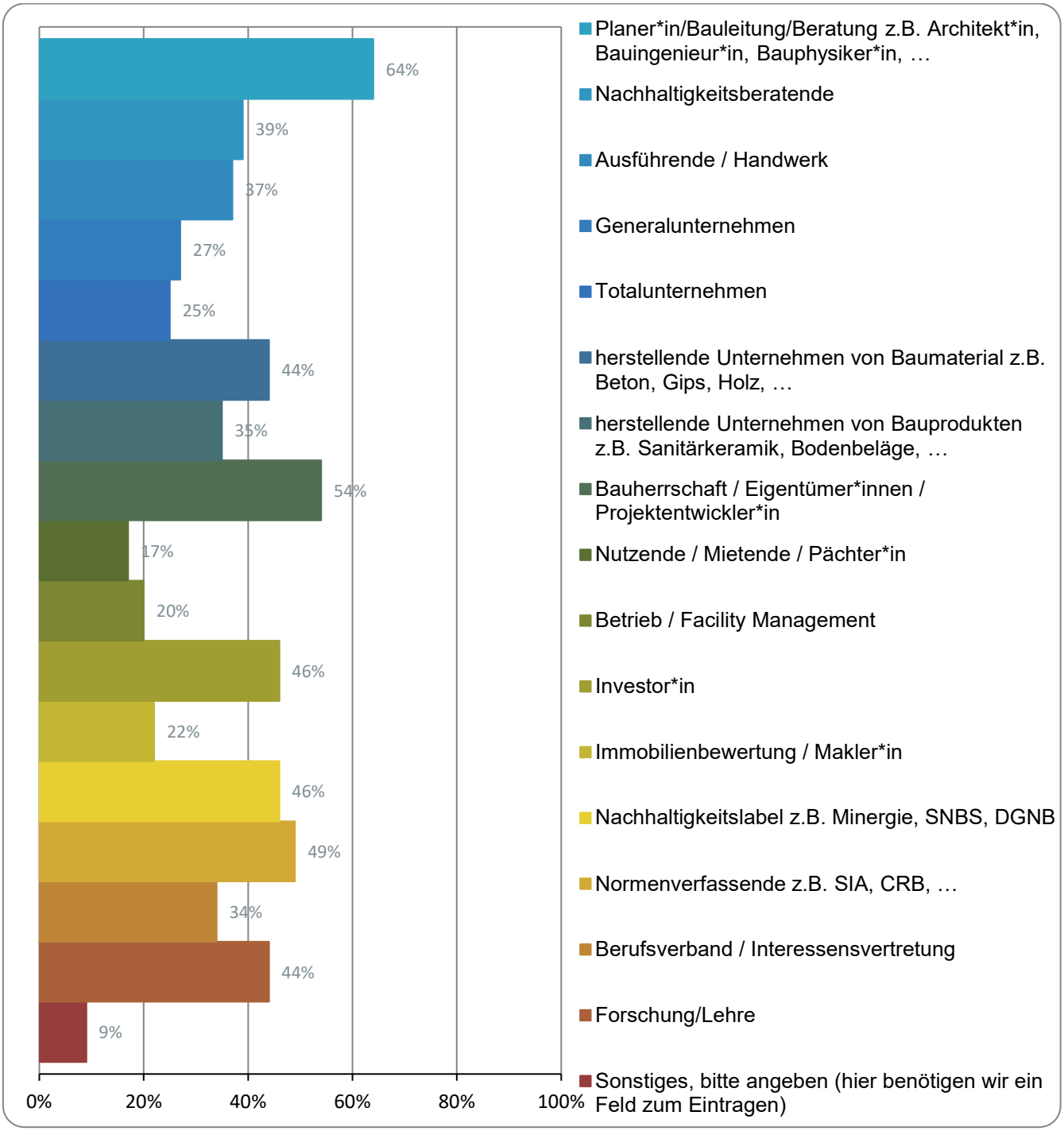


Abbildung 13: Mit welcher Personengruppe, Interessengemeinschaft oder Organisation würden Sie zusammenarbeiten, um Zirkularität in der Bau- und Immobilienwirtschaft allgemein durch- oder umzusetzen?

3 Literaturrecherche

3.1 Vorgehen

Der Stand der Wissenschaft wird anhand einer Literaturrecherche erörtert. Hierbei wurde auf den Plattformen scholar.google, web of science und researchgate nach Kombinationen der Schlagworte circularity, circular economy, construction und deren deutschsprachige Übersetzung gesucht. Weitere relevante Quellen wurden nach dem Schneeballprinzip gesucht.

Ziel der Literaturrecherche ist eine Übersicht bestehender Zirkularitätsindexe, -indikatoren und Normen zu Zirkularität zu erstellen. Hierbei sollen die betrachteten *Kreisläufe*, *Ebenen* und *Systemgrenzen* der verschiedenen Indexe identifiziert und bewertet werden.

Im Zuge der Datenerhebung werden die Ergebnisse von drei systematischen Literaturanalysen erörtert. Hierdurch sollen relevante bestehende Indexe, Methoden und Konzepte und ihre wesentlichen Merkmale identifiziert werden. Ergänzend werden Normen identifiziert, die hinsichtlich Zirkularität messbar machen relevant sind. Auf der Datenerhebung aufbauend werden die identifizierten Methoden, Konzepte und Indices inhaltlich betrachtet, um Kreisläufe, Ebenen und Systemgrenzen zu erfassen. Da im Laufe des Forschungsprojekts ein Qualitätsstandard für Zirkularitätsindexe durch den DGNB veröffentlicht wurde, wird auch diese Quelle analysiert.

3.2 Stand in der wissenschaftlichen Literatur

Anhand einer systematischen Literaturanalyse konnten Ossio et al., 2023 feststellen, dass Zirkularität in der Bauwirtschaft vornehmlich von der Material Circularity Index (MCI) Methode geprägt ist, die von der Ellen MacArthur Foundation (EMF) entwickelt wurde. Obwohl die meiste Literatur auf dieser Formel basiert, wurde in der Studie festgestellt, dass eine einheitliche Definition von Zirkulärem Bauen (Circular Construction), die eine korrekte Ausrichtung von politischen oder unternehmerischen Strategien ermöglichen würde, bislang fehlt. Hieraus wird gefolgert, dass diese Lücke die Hauptursache für Missverständnisse bildet und in unnötig viel Abfall resultiert. (Ossio et al., 2023)

In dieser Literaturanalyse nach Ossio et al. (2023) wird Zirkuläres Bauen in 5 thematische Cluster gegliedert:

R-Framework oder Strategien die sich auf die 2015 erstellte Definition des Niederländischen Council for the Environment and Infrastructure (Raad voor de leefomgeving en infrastructuur, Rli) beziehen (Rli Council for the Environment and Infrastructure, 2015). Die eindeutige Herkunft des R-Frameworks ist nicht vollständig geklärt, wird aber vom Rli auf die Erkenntnisse der Amsterdamer Forscherin Jaqueline Cramer von 2014 zurückgeführt. Das Framework ermöglicht die Betrachtung von verschiedenen Lebenszyklusphasen genauso wie mehrere Lebenszyklen, bevor Material als Abfall betrachtet wird. Das R-Framework berücksichtigt grundsätzlich den technischen Kreislauf. Sollten Materialien nicht mehr im technischen Kreislauf gehalten werden können, so sollte der biologische Kreislauf in Betracht gezogen werden, um Bauteilen die Möglichkeit zu geben in seine natürlichen Bestandteile zu zerfallen und so dem biologischen Kreislauf zurückgeführt zu werden.

Ossio et al., 2023 stellt fest, dass obwohl Recycling eine der untersten Kategorien darstellt, diese Strategie am häufigsten neben Reduce und Reuse, Inhalt der Literatur ist.

Construction Demolition Waste Management (Rückbauabfallmanagement): Hierbei wird auf das 1979 von Ad Lansink aufgestellte Behandlungshierarchie (Lansink ladder) Bezug genommen.

1. Reuse the product / Wiederverwendung des Produkts
2. Reuse the materials of the product / Wiederverwertung des Produktmaterials

3. Incineration with energy recovery / Verbrennung mit Energierückgewinnung
4. Incineration without energy recovery / Verbrennung ohne Energierückgewinnung
5. Landfill disposal / Deponierung

Building Design Approachs (Planungsansätze): Hierbei wird auf flexible Gebäudegestaltung, die eine Verlängerung der Lebensdauer ermöglicht und anpassbare und rückbaubare (dissassembly) Baukonstruktionen fokussiert. Die Prinzipien, die dahinterstehen sind regenerieren, teilen, optimieren, zirkulieren, virtualisieren, und austauschen. Hierzu werden folgende «Design for X»-Formulierungen als Beispiele vorgestellt:

- Design for Circularity
- Design for Disassembly
- Design for Maintanance
- Design for Adaptibility
- Design for Recovery
- Design for Change
- Design for Deconstruction

Als Ebenen der Anwendung der Prinzipien werden Element, Gebäude, Nachbarschaft und Städte/Regionen genannt. Auf der Gebäudeebene kann weiter differenziert werden nach Nutzung, Betrieb, Raum/Fläche, Gebäudehülle, Struktur und Grundstück. Um die verschiedenen Lebensdauern gerecht zu werden, werden Material-Passports als Möglichkeit gesehen digitalisiert Daten zu erfassen und so über verschiedene Lebenszyklusphasen nutzbar zu machen. Die bekannten Material-Passports beziehen sich auf Bauelemente.

Geschäftsmodelle oder Netzwerke (business modells or Networks), welche Bestandteil einer Circular Economy sind, basieren hauptsächlich auf der Integration von nachhaltigen Konzepten, Zielen oder Prinzipien in ein Leistungsangebot (Value Proposition). Zirkularität wird hier als Vorteil erachtet, der durch die Nutzung oder Optimierung von Kreisläufen entsteht. Das Prinzip von Lean Construction wonach unnötiger Aufwand vermieden werden soll bei gleichzeitiger Erhöhung des Kundenwerts, stellt eine mögliche Grundlage für Geschäfts- und Projektprozesse dar. Lebenszykluskosten und Ökobilanzen ermöglichen eine Messbarkeit und monetäre Darstellung von Kreislaufpotenzialen. Die Digitalisierung (BIM) lässt eine strukturierte Weitergabe von Informationen zu und wird so zu einem wichtigen Baustein der Circular Economy.

Ökobilanzierung (Life Cycle Assessment – LCA) wird in der Literatur als Baustein oder teilweise als Ausgangslage der Circular Economy betrachtet. Entsprechend beinhalten viele Konzepte die Integration einer LCA.

Die systematische Literaturanalyse von Benachio et al., 2020 gelang zu der Erkenntnis, dass das von Ellen MacArthur formulierte Konzept am häufigsten als Grundlage für Zirkularitätsindices genutzt wird. Die Analyse identifiziert folgende Lebenszyklusphasen:

1) Planung (Project Design)
2) Materialherstellung (Material Manufacture)
3) Ausführung (Construction)
4) Nutzung/Betrieb (Operation)
5) Nutzungsende (End-of-life)

Ferner wird die Literatur in 6 inhaltliche Themenfelder eingeteilt:

1) Entwicklung der Kreislaufwirtschaft in der gebauten Umwelt
2) Wiederverwendung von Materialien
3) Materialvorräte / Materiallager
4) Kreislaufwirtschaft in der Projektplanung
5) Ökobilanz
6) Material-Passports

Als Ergebnis wird eine Einteilung von Zirkularität in drei Ebenen vorgenommen: Makro (Städte und Stadtviertel), Meso (Gebäude) und Mikro (Bauteile und Komponenten). Ebenfalls wird empfohlen weitere Forschung bezüglich Building Material-Passports bzw. Buildings as Material Banks (Urbane Mine) und neue Geschäftsmodelle in der Circular Economy durchzuführen. (Benachio et al., 2020)

Khadim stellt in der Literaturanalyse von 35 Zirkularitätsindices und 51 Dokumenten auf Micro und Nano Ebene fest, dass der Material Circularity Index (MCI) von EMF die Basis von den meisten Zirklularitätsindices ist (Khadim et al., 2022).

Diese Analyse wirft eine andere Einteilung der Ebenen von Zirkularitätsindices aus:

- Nano = Material
- Micro = Gebäude
- Meso = Nachbarschaft
- Macro = Städte und Regionen

Inhaltlich wurden basierend auf der Auswertung verschiedener Indices, folgende Key Performance Indikatoren (KPI) aufgestellt:

- Technischer Zyklus
- Biologisch/Erneuerbar
- Recycling Effizenz
- Nutzungszeit (functional Lifetime)
- Disassembly / Demontierbarkeit
- Reusability Index (Beendigung eines Nutzungs-/Lebenszyklus wegen mangelnder Funktionalität, Ökonomie oder Ästhetik)
- Anpassbarkeit (Adaptability)
- Energie (Energieverbrauch und graue Energie)
- Emission
- Wasser
- Baukultur/Kulturerbe/Denkmal
- Ökonomie

Details of KPIs covered by indicators.

References	Technical Cycle	Biological/ Renewable	Recycling Efficiency	Functional Lifetime	Disassembly	Reusability Index	Adaptability	Energy	Emission	Water	Heritage	Economy
MCIC	✓		✓									✓
MCI	✓		✓									
BCI	✓				✓							
BCIDR	✓				✓							
BBCA	✓	✓		✓	✓							
MBCI	✓	✓	✓		✓							✓
PBCI	✓				✓			✓				
ACBCI	✓	✓		✓	✓	✓						
MAC	✓	✓		✓		✓	✓					
CIPB	✓				✓	✓						
Level(s)	✓				✓		✓		✓	✓		
MAD-CI	✓	✓	✓			✓						
ARCHCEIF	✓	✓				✓		✓	✓	✓	✓	
FLEX					✓		✓					
CEMS	✓							✓	✓	✓		
CBMCI	✓					✓			✓			
MCI'	✓	✓			✓	✓						
IEPC	✓				✓	✓		✓	✓			
BBWPE	✓					✓						
BCAF	✓				✓	✓	✓					
SEEI	✓		✓		✓			✓	✓			✓
GEOLMI	✓				✓	✓						✓
RIPAT 1.0											✓	
FCB	✓	✓			✓	✓	✓	✓		✓		
PCB	✓	✓	✓				✓					
CC	✓											✓
CBAP	✓				✓	✓	✓					✓
C-CALC	✓	✓					✓		✓			
Cirulytics	✓	✓								✓		
CCEF		✓			✓	✓	✓					

Abbildung 14: KPI nach Khadim (Khadim et al., 2022)

Die in der Literaturanalyse benannten KPI, vermischen Kreisläufe, Systemgrenzen und Ebenen. Die Liste kann in dieser Form als Anstosspunkt betrachtet werden Indikatoren für Kreisläufe, Systemgrenzen und Ebenen zu bilden. Inhaltlich bemerkenswert ist bei der Aufstellung, dass der MCI der EMF lediglich dem KPI Technischer Zyklus und Recyclingeffizienz zugeordnet wurde. Der Madaster-Zirkularitätsindex wurde darüber hinaus dem biologisch/erneuerbaren Indikator und einen Wiederverwendungsindex zugeordnet.

3.3 Ergebnis der wissenschaftlichen Literaturstudien

Die Auswertung von Literaturanalysen, kommt zu dem Ergebnis, dass die Methode der Ellen MacArthur Foundation (EMF), die vorrangige Basis für verschiedene Zirkularitätsindices bildet. Das EMF wiederum bezieht sich auf die Cradle-to-Cradle (C2C) Systematik von Braungart und McDonough. Madaster als Systematik für einen Material-Passport hat eine weite Verbreitung und ist eine bauwirtschaftliche Adaption der EMF-Methode.

Wesentlich ist jedoch, dass obwohl Zirkularität in der Bauwirtschaft vornehmlich von der Material Circularity Index (MCI) Methode geprägt ist und die meiste Literatur auf dieser Formel basiert, eine einheitliche Definition von Zirkulärem Bauen (Circular Construction), die eine korrekte Ausrichtung von politischen oder unternehmerischen Strategien ermöglichen würde, bislang fehlt.

Ebenfalls konnte in der Literaturrecherche festgestellt werden, dass das R-Framework mit den 3 Haupt-Zirkularitätsstrategien eine breite Verteilung aufweist. In abgewandelter Form ist es auch in den ISO DIS 59004 Entwurf aufgenommen und in der finalen Version 2024 veröffentlicht worden (ISO International Organization for Standardization), 2023a).

Weiter wurde festgestellt, dass in der Literatur ausserhalb der Normenentwürfe unterschiedliche Definitionen und Interpretationen der Begriffe Zirkularität im Bauwesen, Ebenen, Lebenszyklusphasen, Systemgrenzen vorliegen. Es ist davon auszugehen, dass sich diese Situation ändern wird, sobald die ISO Normen zu Zirkularität sich in der Anwendung etabliert habenwerden. Jedoch wird auch in einer Übergangsphase eine Notwendigkeit bestehen die Begriffe jeweils zu definieren.

Die Literaturrecherche ist dahingehend limitiert, dass in den systematischen Literaturanalysen nur englischsprachige Literatur ausgewertet wurde. Deutschsprachige Literatur zu Zirkulärem Bauen wurde von den Literaturanalysen nicht erfasst.

In der vorliegenden Arbeit werden neben den in der Literaturrecherche erfassten MCI der EMF ebenfalls deutschsprachige Ansätze untersucht, die nicht in die englischsprachigen wissenschaftlichen Literaturrecherchen eingeflossen sind.

3.4 Bestehende Normen

Es gibt drei thematische Teilgebiete in der Normung, die für das Thema Zirkularität messbar machen relevant sind. Im Bereich der Circular Economy liegt seit Mai 2024 die ISO 59000-Reihe vor, die in Abbildung 14 ISO 59000-Reihe dargestellt ist (ISO International Organization for Standardization), 2024a).

Circular Economy:

- ISO 59004 Circular Economy – Terminology, Principles and Guidance for Implementation
- ISO 59010 Circular Economy – Guidance on the transition of business models and value networks
- ISO 59020: Circular Economy – Measuring and assessing circularity
- ISO 59040: Circular Economy – Product Circularity Data Sheet
- CEN/TC 350/SC 1: Circular Economy in the Construction Sector – Vom technischen Ausschuss 350 innerhalb des Europäischen Komitees für Normung liegt bisher keine Veröffentlichung vor.
- ISO 20887:2020: Sustainability in buildings and civil engineering works — Design for disassembly and adaptability — Principles, requirements and guidance

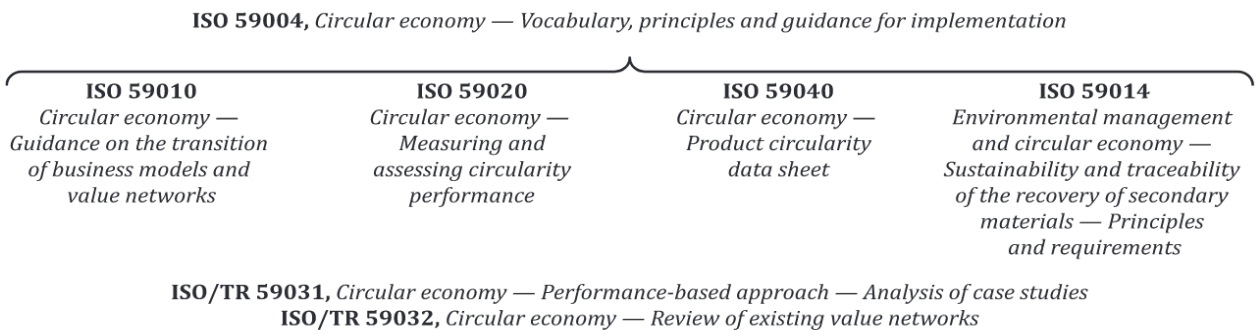


Abbildung 15: ISO 59000-Reihe

Ressourceneffizienz:

- VDI 4800 Blatt 1: Ressourceneffizienz - Methodische Grundlagen, Prinzipien und Strategien
- VDI 4800 Blatt 2: Ressourceneffizienz – Bewertung des Rohstoffaufwands

Ökobilanz:

- ISO 14009 – Umweltmanagementsysteme – Leitlinien zur Einbeziehung der Kreislaufführung von Materialien bei Design und Entwicklung
- ISO 14040 – Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen
- ISO 14044 – Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen
- ISO 14052 – Umweltmanagement – Materialflusskostenrechnung – Leitfaden zur praktischen Anwendung innerhalb der Lieferkette

4 Analyse bestehender Methoden, Konzepte und Indizes

Basierend auf dem Ergebnis der Literaturrecherche werden die Systematik des R-Frameworks, C2C von Braungart und McDonough und der MCI des EMF im Folgenden näher analysiert. Die *ISO 59004 Circular Economy – Terminology, Principles and Guidance for Implementation* entspricht in weiten Teilen dem Konzept der Circular Ecosystem Innovation (ISO International Organization for Standardization), 2024a). Entsprechend ist eine Betrachtung dieses Konzepts und insbesondere der *ISO 59020 Circular economy — Measuring and assessing circularity* ebenfalls Bestandteil der Analyse.

Neben den in der Literaturreche gefundenen Methoden und Konzepten sind im Laufe der Bearbeitungsphase dieses Forschungsprojekts neben der ISO 59020 ein Konzeptvorschlag der Europäischen Union und einer der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen veröffentlicht worden. Diese Methoden und Konzepte werden ebenfalls untersucht.

Ziel der vertieften Analyse ist die Beantwortung folgender Fragestellungen:

1) Welche **Kreisläufe** werden betrachtet?
   In dieser Studie werden hierunter stoffliche Kreisläufe verstanden. Stoffe werden hierbei als physikalisch vorhandene Dinge definiert. In Anlehnung an *SN EN 15804 Nachhaltigkeit von Bauwerken Umweltproduktdeklarationen - Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte* werden in dieser Studie im Wesentlichen die Kreisläufe folgender Stoffe betrachtet (SIA, 2022):
   - biologische (gewachsene / kompostierbare) Stoffe
   - abiotische fossile Stoffe (vor allem kohlenstoffbasierte Kunststoffe aus fossilen Ressourcen)
   - abiotische mineralische und metallische Stoffe (von Naturstein bis Lehm und Metall)
   - Wasser
   - Energie

2) Welche **End-of-Use-Szenarien** werden berücksichtigt?
   In dieser Studie werden mit Blick auf die Kreislauffähigkeit insbesondere End-of-*Use*-Szenarien betrachtet. End-of-Use bezeichnet gemäss *ISO 59004 Circular Economy – Terminology, Principles and Guidance for Implementation* den Zeitpunkt, bei dem Stoffe von einem Eigentümer zu einem anderen übertragen werden können (ISO International Organization for Standardization), 2024a).
   Mögliche End-of-Use-Szenarien sind beispielsweise:
   - Recycling (Wieder- / Weiterverwertung bz- Wieder-/Weiterverwendung von Stoffen, Oberbegriff, der jegliche Vermeidung von Deponierung oder Verbrennung am End-of-Use vermeidet)
   - Upcycling (Wiederverwertung mit höherwertiger Nachnutzung)
   - Downcycling (Weiterverwertung mit geringerwertiger Nachnutzung)
   - Reuse (Wiederverwendung mit gleicher Nachnutzung)
   - Refurbish (Instandsetzen, beinhaltet auch Reparieren)
   - Remanufacture (Weiterverwendung / durch industriellen Prozess in einen «so-gut-wie-neu» oder «besser-als-neu» Status versetzen hinsichtlich Funktionalität und Qualität)
   - Repurpose (Umnutzung, ohne physische, chemische oder mechanische Veränderung der Struktur)

   Mit End-of-Life wird in dieser Studie analog der *ISO 59004* verstanden, dass Stoffe einen Kreislauf verlassen und der Verbrennung oder Deponierung oder Kompostierung zugeführt werden (ISO International Organization for Standardization), 2024a). Die End-of-Life-Szenarien

- Deponierung
- Verbrennung (mit oder ohne thermische Verwertung)
- Kompostierung

sind in dieser Logik besondere Szenarien von End-of-Use.

3) Welche **Lebenszyklusphasen** werden betrachtet?

Für diese Studie werden die Lebenszyklusphasen in Anlehnung an das Circular Economy Business Modell der *ISO14009 - Umweltmanagementsysteme – Leitlinien zur Einbeziehung der Kreislaufführung von Materialien bei Design und Entwicklung* definiert (ISO International Organization for Standardization, 2020). Hierbei handelt es sich um folgende Phasen:

- Rohstoffbeschaffungsphase (Primärmaterial und Sekundärmaterial)
- Produktionsphase (inkludiert die Planung der Produktion)
- Transport-/Logistikphase
- Nutzungsphase
- End-of-Life bzw. End-of-Use-Phase

In der Schweiz wird der Lebenszyklus eines Bauwerks in der *SIA 2032 - Graue Energie - Ökobilanzierung für die Erstellung von Gebäuden* in die Phasen

- Herstellung
- Errichtung
- Nutzung
- Entsorgung

eingeteilt (Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 2020). Im Rahmen der Ökobilanzierung wird jedoch die Errichtungsphase teilweise vernachlässigt (siehe Abbildung 16: Lebenszyklusphasen aus SIA 2023:2020).

Anders als in der ISO 14009, wo die Phase Transport eine eigenständige Hauptphase darstellt, wird die Phase *Transport* in der SIA 2032 als Teilphase von sowohl Herstellungs-, als auch Errichtungs- als auch Entsorgungsphase betrachtet.

Der Bereich Erstellung gemäss diesem Merkblatt umfasst die mit einer x bezeichneten Phasen des Lebenszyklus gemäss SN EN 15804. Die mit einem (x in Klammer) bezeichneten Phasen werden in der Ökobilanz gemäss vorliegendem Merkblatt teilweise vernachlässigt.

Phasen gemäss SN EN 15804	Herstellungsphase			Errichtungsphase		Nutzungsphase							Entsorgungsphase			
	Rohstoffbereitstellung	Transport	Herstellung	Transport	Errichtung, Einbau	Nutzung	Instandhaltung	Reparatur	Ersatz	Erneuerung	Betrieblicher Energieeinsatz	Betrieblicher Wassereinsatz	Rückbau, Abriss	Transport	Abfallbehandlung	Beseitigung
	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4
Bereich Erstellung gemäss SIA 2032	x	x	x	(x)	(x)				x				x	x	x	x

Abbildung 16: Lebenszyklusphasen aus SIA 2023:2020

4) Welche **Ebenen** werden betrachtet?
In dieser Studie soll analysiert werden, welche Ebenen betrachtet werden. Da die Definitionen der Ebenen in verschiedenen Normen unterschiedlich sind, wird eine Definition für diese Studie festgelegt. Zusätzlich werden informativ die Definitionen der *SIA 112 Modell Bauplanung* und *SIA 2032:2020 - Graue Energie - Ökobilanzierung für die Erstellung von Gebäuden* angegeben.

- Rohstoffe sind die Ursprungsmaterialien (z.B. Holz, Kies, Sand)

- Baustoffe sind verarbeitete Rohstoffe (z.B. Beton, Brettschichtholz) sie werden teilweise auch als Baumaterial bezeichnet. Sie haben noch keine festgelegte Geometrie.
  «Für das Bauen bestimmtes Material, dessen Abmessungen für das daraus herzustellende Objekt (Bauhalbzeug, Bauteil, Bauwerksteil, Gebäudetechnikanlagen, Bauwerk) nicht massgebend sind. Baustoffe sind somit Zement, Sand, Kies, Wasser (auch gemischt als Frischbeton), Eisenbarren, nicht zugeschnittenes Holz und dgl.» SIA 2023

- Bauelemente oder Bauprodukte werden durch einen Produktionsprozess aus Baustoffen hergestellt und können zu Bauteilen kombiniert werden (z.B. Fenster). Sie haben eine spezifische Geometrie.

- Bauteile (Komponenten) sind physisch unterscheidbare funktionale Einheiten eines Bauwerks (z.B. Boden, Wand, Decke, Fassade)
  «Zu einer Funktionseinheit zusammengefügte Baustoffe.» SIA 2023
  «Ein Bauteil ist ein physisch unterscheidbarer Teil eines Bauwerks bzw. Tragwerks.» SIA112
- Bauwerke sind für eine Nutzung geeignete Gesamtsysteme bestehend aus Bauteilen.
  «Ein Bauwerk ist ein von Bauarbeiten herrührendes Werk, im Allgemeinen bestehend aus Tragwerk und nicht tragenden Bauteilen.» SIA 112

- Areale bestehen aus mehreren zusammenhängenden Bauwerken, die sich als eine Gesamtheit verstehen.

- Gemeinden und Städte sind legal definierte räumliche Zuordnungen.

5) Nach welchen Kriterien werden die **Systemgrenzen** gezogen?
In dieser Analyse wird untersucht, ob Systemgrenzen gezogen werden und wenn ja, welche Kriterien für die Entscheidung dieser Kriterien zu Grunde liegen. Der Grund Systemgrenzen auf diese Weise zu untersuchen liegt darin, dass der Begriff der Systemgrenze nicht einheitlich verstanden wird.
Gemäss *ISO 14044 Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines* soll die Systemgrenze einer Ökobilanz an den Kriterien Masse, Energie und Ökologische Relevanz ausgerichtet werden (ISO International Organization for Standardization), 2006).
ISO 59020 Circular economy — Measuring and assessing circularity (Punkt 6.3) beschreibt, dass die Auswahl der Kriterien für die Systemgrenzen anhand der Ressourcenflüsse, der vorhandenen Datenqualität, der verwendeten Methodologie und den zu erwartenden ökonomischen, sozialen und ökologischen Beiträgen orientiert werden sollen (ISO International Organization for Standardization), 2023b).

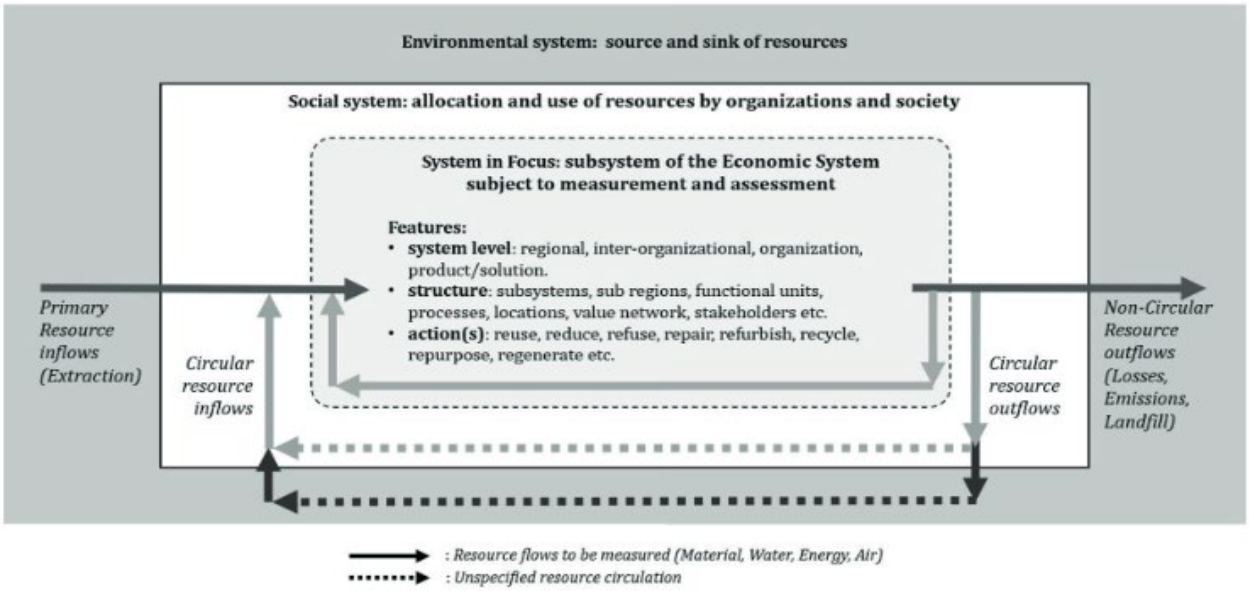


Abbildung 17: Systemgrenzen der ISO DIS 59020

6) **Messmethode**: Wie wird Zirkularität gemessen?
   Für diese Klärung soll die Methode des Messens analysiert werden. Hierzu soll der Aufbau einer evtl. vorhandenen Berechnungsformel oder eines Scoring Systems dargelegt werden. Die Klärung anhand welcher messbaren Kriterien (Metriken) die Zirkularität gemessen wird ist Teil der Untersuchung.

4.1 R-Framework

Das R-Framework beschreibt die drei Massnahmengruppen, die als Richtlinie genutzt werden können, um Zirkularität zu bewerten. R0-R2 beschreiben eine Verringerung der Kreisläufe durch eine effektivere Nutzung von Ressourcen und Produkten. R3-R7 beschreiben eine Verlangsamung von Kreisläufen, um die Lebensdauern von Produkten möglichst lang zu erhalten. R8 beschreibt das Schliessen von Kreisläufen, sodass am Ende der Nutzungsdauer Ressourcen möglichst einem weiteren Kreislauf wieder zugeführt werden. R9 stellt als energetische Verwertung das Verlassen der Kreislaufwirtschaft dar. Die energetische Verwertung ist einer Deponierung vorzuziehen, die keinerlei Wert erzeugt, sondern im Gegenteil wertvernichtend ist.

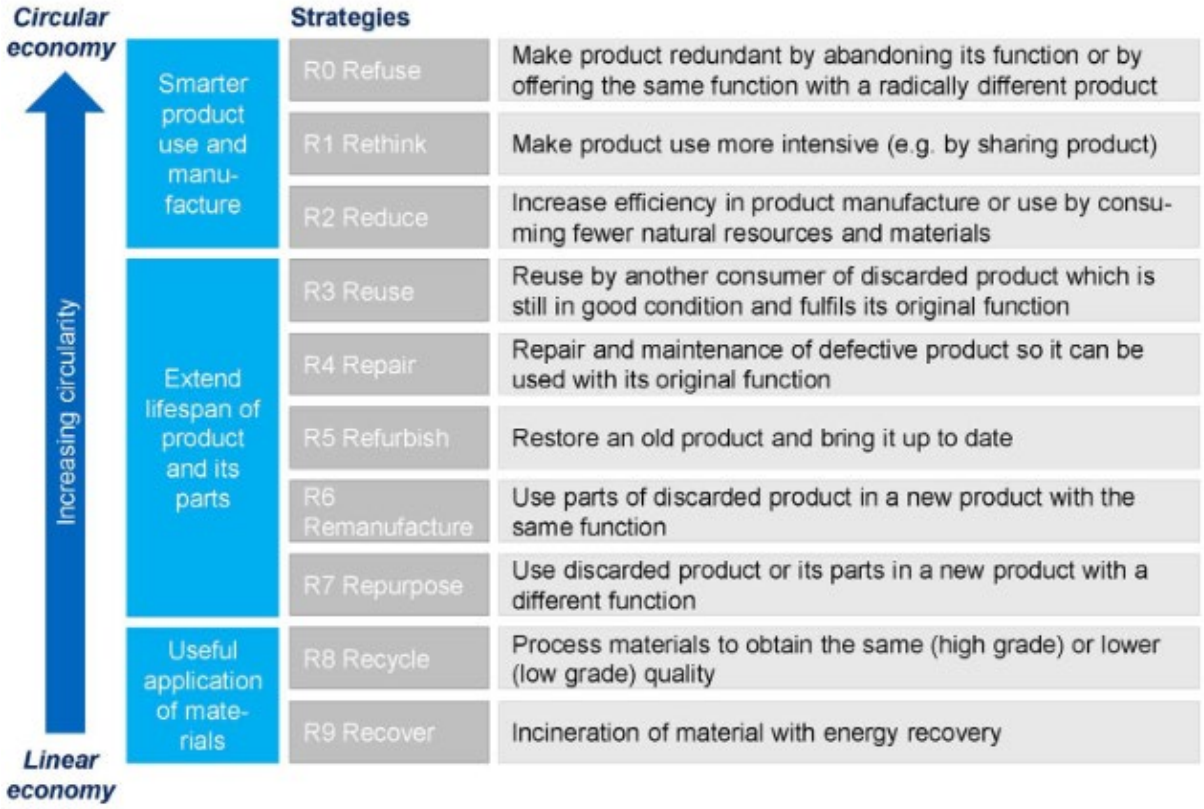


Abbildung 18: R-Framework Quelle: Kirchherr et al., 2017

1) Kreisläufe:

Da das R-Framework ein allgemeines Rahmenwerk ist, werden keine Kreisläufe differenziert.

2) End-of-Use-Szenarien:

Das R-Framework bietet mit den Strategien R3 bis R9 End-of-Use-Szenarien:

- R3 – Reuse
- R4 – Repair
- R5 – Refurbish
- R6 – remanufacture
- R7 – repurpose
- R8 – recycle
- R9 – recover

Neben den End-of-Use-Szenarien sind die R-Strategien R0- Refuse, R1 – Rethink, R2 – Reduce als Vermeidungsstrategien wesentlich, um den Ressourcenverbrauch zu reduzieren, was eins der Hauptziele von Zirkularität ist.

3) Lebenszyklusphasen:

Die R-Strategien können verschiedenen Zeitpunkten im Lebenszyklus zugeordnet werden. Beispielhaft zeigt die deutschen «Normungsroadmap Circular Economy» eine mögliche Zuordnung.

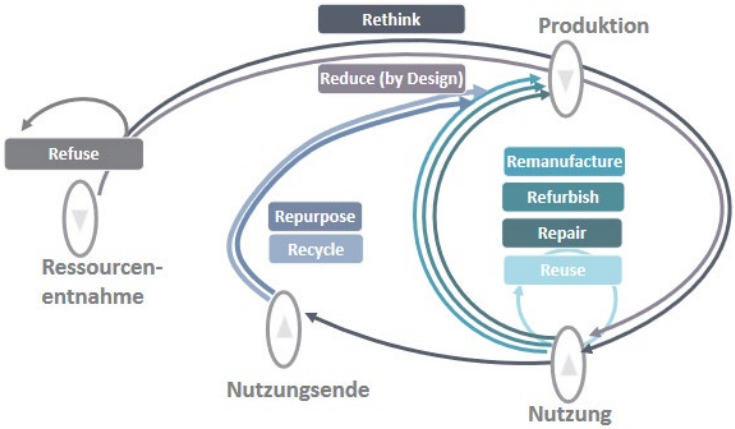


Abbildung 19 R-Strategien im Lebenszyklus gemäss DIN (DIN e.V. et al., 2023)

4) Ebenen:

Das R-Framework ist anwendbar für alle Ebenen. Es können Rohstoff, Baustoff, Baumaterial, Bauteil, Bauwerk, Areal, Städte… hierunter betrachtet werden. Die Auswahl der Ebene kann die Zuordnung der R-Strategien zu verschiedenen Zeitpunkten im Lebenszyklus beeinflussen.

5) Systemgrenzen:

Das R-Framework ist so offen gestaltet, dass es keinerlei Systemgrenzen zieht.

6) Messmethoden:

Das Framework hat keine Berechnungsformel und auch kein Scoring oder anders Bewertungssystem mit der Zirkularität gemessen werden könnte. Stattdessen werden mit den R-Strategien verschiedene Betrachtungsweisen eröffnet. Werden diesen Strategien Metriken zugeordnet, so könnten diese in eine Berechnungsformel oder Scoring oder sonstige Bewertungsmöglichkeiten einfliessen.

4.2 Circular Ecosystem Innovation

Das Konzept von (Konietzko et al., 2020) beschreibt Zirkularität als Eigenschaft eines Gesamtsystems. Ein einzelnes Produkt oder eine einzelne Dienstleistung kann nicht für sich allein zirkulär sein, sondern ist immer ein Teil eines zirkulären Systems. Mit dieser Definition wird betont, dass alle Akteure, die im Kreislauf mitwirken eine wichtige Rolle spielen. Weiter wird definiert, dass Energie benötigt wird, um diesen Kreislauf am Laufen zu halten und diese aus erneuerbaren Quellen kommen muss und keine Schadstoffe verursacht werden dürfen.

Die Struktur des Konzepts mit den 4 Massnahmen scheint der R-Strategien sehr ähnlich. Entsprechend kann es folgendermassen den R-Strategien gegenübergestellt werden:

Während «Narrow» durch die im R-Framework benannten Strategien R0 Refuse, R1 Rethink, und R2 Reduce erreicht werden kann, ist dies bei «Slow» durch R5 Refurbish und R4 Repair möglich.

«Close» kann durch die Strategien R3 Reuse, R7 Repurpose und R8 recycle erreicht werden.

«Regenerate» spiegelt das Gegenteil von R9 Recover.

Anstatt von thermischer Verwertung (= R9 recover), bei der CO2 freigesetzt wird, ist bei «Regenerate» der Einsatz von CO2-freien Energien vorgesehen.

Bei R9 Recover wird ein Kreislauf beendet und ein Material dem Zyklus *entnommen*, wodurch Energie entsteht. Anders wird bei «Regenerate» Energie *eingesetzt*, um den Kreislauf im Fluss zu halten.

1) Kreisläufe

Mit dem Circular Ecosystem wird betont, dass Zirkularität als Eigenschaft eines Systems verstanden werden soll und nicht als Eigenschaft einzelner Produkte oder Dienstleitungen. Entsprechend werden keine spezifischen Kreisläufe ausgewiesen, sondern 4 Massnahmen beschrieben, die Zirkularität ermöglichen bzw. beeinflussen. Diese sind:

Narrow = Vermindern, dies bedeutet weniger Material und/oder Energie nutzen, dieses Prinzip kann beispielsweise durch geteilte Nutzung von Produkten erreicht werden.

Slow = Verlangsamen, dieses Prinzip findet Anwendung bei längerer Nutzungsdauer von Produkten oder Produktteilen/Komponenten

Close = Schliessen, wird durch die Wiederverwendung oder Recycling von Produkten erreich

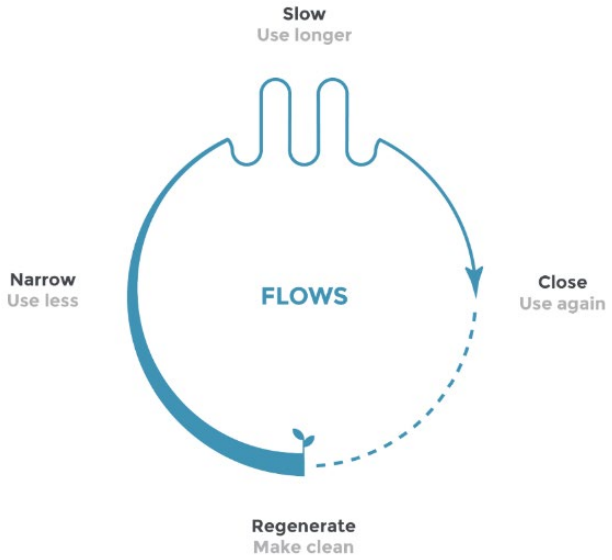


Abbildung 20 Konzept circular ecosystem innovation (Konietzko et al., 2020)

Regenerate = Erneuern, Dieses Prinzip bedingt die Nutzung ausschliesslich schadstofffreier Materialien und erneuerbarer Energien, um den zirkulären Fluss aufrecht zu erhalten.

2) End-of-Use-Szenarien

Die Massnahme *Close* kann jegliche End-Of-Use Szenarien enthalten, ausser End-of-Life.

In der Massnahme *Regenerate* kann Kompostieren ein mögliches End-of-Life-Szenario darstellen.

Die Autoren betonen, dass Unternehmen neue Geschäftsmodelle und Praktiken implementieren müssen, um Materialien und Produkte im Kreislauf zu halten. Die Autoren fordern hierbei eine systemische Betrachtung, bei der alle Akteure im Ökosystem zusammenarbeiten, um diese End-of-Use-Szenarien effektiv zu gestalten und umzusetzen.

3) Lebenszyklusphasen

Die Autoren betonen, dass für eine erfolgreiche Umsetzung von Zirkularität alle Phasen des Lebenszyklus eines Produkts berücksichtigt werden müssen. Entsprechend sind von der Rohstoffbeschaffung, Produktion, Transport, Nutzung und End-of-Use alle Phasen zu berücksichtigen.

Die Autoren argumentieren, dass es in einer zirkulären Wirtschaft erforderlich ist, dass

Unternehmen in jeder dieser Phasen innovative Ansätze verfolgen, um Material- und Energieflüsse zu optimieren und Abfall zu minimieren.

Gleichzeitig ist es notwendig an den Phasenübergängen die Informationen zum Produkt/Dienstleistung weiterzugeben. Dies soll über Plattformen ermöglicht werden.

4) Ebenen

Analog zu den Kreisläufen werden keine Ebenen im Circular Ecosystem definiert. Relevant ist eher, dass für alle Ebenen sich die 4 Massnahmen ANrrow, Use longer, Close und regenerate verwirklichen lassen.

5) Systemgrenzen

Ein wesentliches Charakteristikum des Konzepts ist die Systemische Sicht. Daher ist es essenziell, dass die Systemgrenzen so gezogen werden, dass ein vollständiger Kreislauf, der alle 4 Massnahmen umfasst möglich ist.

6) Messmethoden

Da es sich bei dem Konzept um die Beschreibung eines Systems geht, wird keine Berechnungsformel aufgestellt. Anstelle werden 3 Gruppen von Grundprinzipien aufgestellt, die auf ein funktionierendes Zirkuläres System einwirken.:

<u>Collaboration/Zusammenarbeit:</u>

- Partnerauswahlverfahren
- Integration von Akteuren aus anderen Industrien und Sektoren
- basierend auf Vertrauen
- Commitment und Buy-in
- Harmonisierung der Interessen aller
- Die Rollen und Verantwortlichkeiten der Akteure neu-definieren
- Dezentrale Zusammenarbeits- und Gouvernanzstrukturen
- Entwicklung gemeinsamer Strategien und Ziele

<u>Experimentieren</u>

- Leistungsversprechen eines zirkulären Systems
- Bedeutung von Ressource neu einordnen
- Entdecken von kleinen lokal funktionierenden Ökosystemen
- Prototypen mit zirkulärem System
- Testen von lokalen Ökosystemen
- Frühes Commitment von realen Kunden

<u>Plattformen:</u>

- Modulare Technologien mit system-offenen Schnittstellen
- Weiterentwicklungen auf der Plattform anderen Akteuren ermöglichen
- Offene Plattformgestaltung
- «Specify key boundary resources»
- Kostenstrukturen und Kontrollmechanismen der Plattformen
- Datenflüsse verwalten und managen

4.3 ISO 59020 Circular economy — Measuring and assessing circularity

Die ISO 59020 Circular economy – measuring and assessing circularity basiert auf den Prinzipien der ISO 59004 Circular Economy principles (ISO International Organization for Standardization), 2024a). Sie ist im Mai 2024 in Kraft getreten und entsprechend noch nicht etabliert, es ist jedoch davon auszugehen, dass sie mit der Verbreitung zunehmend an Bedeutung gewinnen wird. Die Taxonomie der ISO 59020 legt offen, dass neben einer Messung von Ressourcenflüssen auch eine soziale, ökologische und ökonomische Bewertung erforderlich ist, siehe Abbildung 20: Taxonomie für die Messung und Bewertung von Zirkularität nach ISO 59020

Die Grundprinzipien der ISO 59020 lauten:

- stems thinking (Systemdenken)
- value creation (Wertschöpfung)
- value sharing (Wertschöpfungsteilung)
- resource availability (Ressourcenverfügbarkeit)
- resource traceability (Ressourcenrückverfolgbarkeit)
- ecosystem resilience (Widerstandsfähigkeit des Ökosystems)

Zusätzlich werden für das Messen und Bewerten von Zirkularität noch die folgenden Prinzipien ergänzt:

- ensure appropriate boundaries (angemessene Systemgrenzen setzen)
- ensure meaningful outcomes (sinnvolle Ergebnisse sicherstellen)

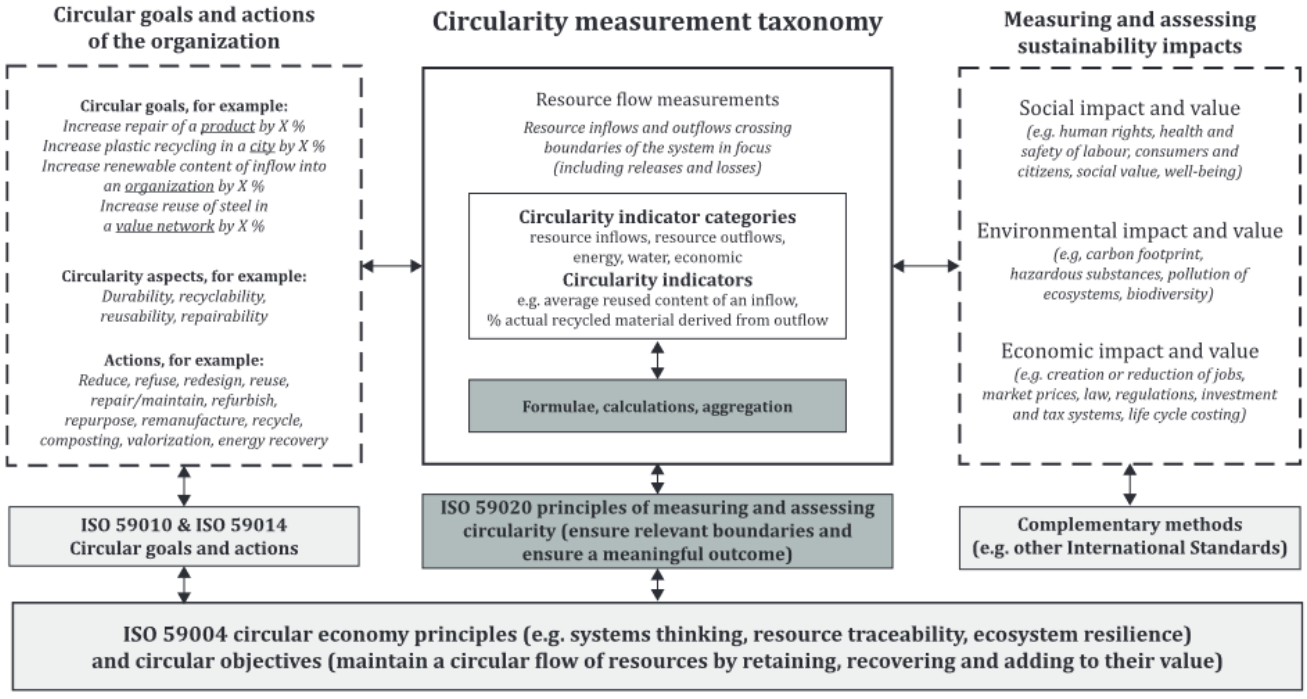


Abbildung 21: Taxonomie für die Messung und Bewertung von Zirkularität nach ISO 59020

1) Kreisläufe

Gemäss ISO 59020 sind alle Ressourcenflüsse, sofern möglich, zu quantifizieren. Hier sollen alle Phasen des technischen oder biologischen Kreislaufes berücksichtigt werden.

Entsprechend sind neben den Kreisläufen von biologischen und abiotischen Stoffen optional die Wasser- und Energiekreisläufe und auch ökonomische Komponenten im Kreislauf zu betrachten. Hinsichtlich der ökonomischen Komponente ist die Bewertung des Werts komplex, da der ökonomische Wert für ein Herstellendes Unternehmen anders sein kann als für einen Endverbraucher, die Umwelt oder die Gesellschaft.

2) End-of-Use-Szenarien

Die ISO 59020 geht explizit auf folgende End-of-Use Szenarien ein:

- Reuse
- Recycle
- Remanufacture
- Repurpose

Die beiden R-Strategien Refurbish und Repair werden als Nutzungsverlängernde Massnahmen betrachtet und sind daher nicht als End-of-Use Szenario einzuordnen.

3) Lebenszyklusphasen

Nach ISO 59020 sind alle Lebenszyklusphasen aller Lebenszyklen für die Messung und Bewertung von Zirkularität zu berücksichtigen. Inwieweit die Lebenszyklen in die Messung und Bewertung einspielen hängt unter anderem auch von den gesetzten Systemgrenzen ab.

4) Ebenen

Das Rahmenwerk der ISO 59020 ist auf alle Ebenen von Rohstoffen über Produkte, Bauwerke, Areale und Städte anwendbar, da es Wirtschaftssysteme betrachtet, die regional, interorganisational, organisational oder auf Produktebene liegen können.

5) Systemgrenzen

Systemgrenzen sind definiert als «boundary representing physical, process, temporal and geographical limits of what is included and what is not included in an assessment» (ISO International Organization for Standardization), 2024b).

Für die Bewertung der Zirkularität soll zum Setzen von Systemgrenzen eine Lebenszyklusperspektive eingenommen werden und nach den Kriterien räumliche und zeitliche Systemgrenzen gezogen werden. Hinsichtlich der räumlichen Systemgrenze bedeutet dies, dass durch die Verarbeitung von Produkten an verschiedenen Standorten sollen alle Orte, die für die Wertschöpfungskette relevant sind, einbezogen werden. Die zeitliche Systemgrenze soll von der Planung bis zum finalen End-of-Life eines Produkts gezogen werden. Bei sehr langen Zeiträumen kann es angemessen sein periodische Bewertungen zu machen, die an Änderungszeitpunkte des Produkts oder relevante Rahmenbedingungen geknüpft sind. Hierbei kann die Systemgrenze mehrere Lebenszyklen umfassen.

Das setzten der Systemgrenzen umfasst demnach:

- Interaktion des Systems (z.B. Produkt etc.) mit weiteren ökonomischen, sozialen und ökologischen Systemen
- Welche Wertschöpfungspartner oder andere interessierte Akteure sind Teil des Systems und wie sollen Informationen geteilt werden
- Anforderungen an die Datenqualität.

Zum Setzen der ökologischen Systemgrenze sollen folgende Kriterien beachtet werden:

- Forst- und Bodenschätze
- Freisetzungen von Systemen als Emissionen in Luft, Wasser und Boden
- Unkontrollierte Abflüsse von Ressourcen wie z.B. Mikroplastik

Für die soziale Systemgrenze sollen folgende Kriterien genutzt werden:

- Gesundheit
- Lebensqualität
- Wohlstand von Gesellschaften

Die wirtschaftliche Systemgrenze soll entlang folgender Kriterien gezogen werden:

- Einfluss des ökonomischen Systems auf Material-inflow und Material-outflow
- Sozioökonomische Aspekte wie Arbeitsplätze in Reparatur, Renovierung, Rücknahme, Recycling oder Kreislaufdesign

Um Greenwashing zu vermeiden, soll die zeitliche Systemgrenze von der Ressourcenentnahme bis zum finalen End-of-Life gezogen werden, auch wenn hierin verschiedene Nutzungszyklen einbezogen werden.

6) Messmethode

Die Messung von Zirkularität wird in der ISO 59020 in die 2 Bewertungskategorien Messung und Bewertung unterschieden (ISO International Organization for Standardization), 2024b, p. 7).

- Messung der Zirkularität: Verfahren zur Bestimmung der Kreislaufleistung durch Sammlung, Berechnung oder Zusammenstellung von Daten oder Informationen.
- Bewertung der Zirkularität: Bewertung und Interpretation der Ergebnisse und Auswirkungen einer Kreislaufwirtschaftsmessung. Hinweis: Die Bewertung umfasst die Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten und kann ergänzende Methoden wie die Ökobilanzierung anwenden.

Für diese beiden Bewertungskategorien werden 5 Indikatorgruppen vorgeschlagen:

- Ressourcenfluss inflow gemessen in Masse-%
- Ressourcenfluss outflow gemessen in Masse-%
- Energie gemessen in % Anteil erneuerbarer Energie
- Wasser gemessen als Anteil Wasserverbrauch/Wasserentnahme
- Ökonomie gemessen am Verhältnis von Kosten und Nutzen/Vorteil (benefit)

Die Kern-Indikatoren der der Bewertungskategorien können Abbildung 21 Kern-Zirkularitäts-Indikatoren aus ISO 59020 entnommen werden.

Die Kombination der Indikatorgruppen erfolgt anhand der dargestellten Abbildung 20: Taxonomie für die Messung und Bewertung von Zirkularität nach ISO 59020 (ISO International Organization for Standardization), 2024b). Basis der Taxonomie ist das in ISO 59004 zugrundeliegende Verständnis von Zirkularität als Gesamtsystem. Entsprechend sind neben den Ressourcenflüssen der Soziale und Ökonomische Wert Teil der Betrachtung.

Hinsichtlich des Ressourcenflusses inflow werden 4 Typen unterschieden: reused, recycled, Primärmaterial erneuerbar und Primärmaterial nicht-erneuerbar. Die drei erstgenannten werden als zirkulärer Anteil betrachtet. Es wird in der ISO jedoch nicht vorgegeben, wie Materialien eingeteilt werden, wenn sie zwei Typen zugehörig sein können. Es ist jedoch vorgegeben, dass sie nur einem Typus zugeordnet werden dürfen.

Hinsichtlich des Ressourcen outflow wird der perspektivische reuse und recycle und der aktuelle reuse und recycle Anteil betrachtet. Die Betrachtung des aktuellen Anteils eröffnet die Möglichkeit beispielsweise bei Bestandsumbauten die Teile zu berücksichtigen, die im Rahmen des Umbaus das System (das Gebäude) verlassen, da sie ausgebaut werden. Die Betrachtung der Lebensdauer eines Produkts oder Materials geht in die outflow Betrachtung ein und hiermit das Zirkularitätsprinzip «use longer» bedient. Ebenfalls geht in die outflow-Betrachtung der End-of-Life mit den Optionen zurückführen in den Biologischen Kreislauf ein. Ein besonders hoher Ressourcenfluss outflow bedeutet, dass wenig Material am Ende des Nutzungszyklus deponiert wird, da es entweder wiederverwendet oder recycelt oder dem biologischen Kreislauf zurückgeführt wird.

Zum Wasserverbrauch gehört jegliches Wasser, welches durch die Nutzung eine minderwertigere Qualität erhält. Die Wasserentnahme spiegelt jegliches Wasser wider, welches von Quellen innerhalb oder ausserhalb des Systems für das System entnommen wird.

Die ökonomische Bewertung bezieht sich auf Faktoren, die in einer Circular Economy relevant sind. Hierzu zählen Nettowertschöpfung, Wert pro Masse, Ressourcenproduktivität und echter Fortschrittsindikator. Die ökonomischen Indikatoren ermöglichen die Chance auch Nicht-Bauen abzubilden, was bei den Materialflüssen nicht abbildbar ist, da bei den Materialflüssen Materialien in irgendeiner Weise verändert werden, was bei Nicht-Bauen nicht der Fall ist.

Indicator category	Mandatory/ optional	Circularity indicator	Summary description (see Annex A for technical specifications)	Additional information
Resource Inflows	Mandatory	A.2.2 Average reused content of an inflow (X)	Fraction of input material resources that are reused components and products	Retaining resource value
	Mandatory	A.2.3 Average recycled content of an inflow (X)	Fraction of input material resources that is recycled material	Add resource value
	Mandatory	A.2.4 Average renewable content of an inflow (X)	Fraction of material resources inflow (X) that is sustainably produced renewable material	Add resource value
Resource outflows	Optional	A.3.2 Average lifetime of product or material relative to industry average	Indicator of time that an output resource (e.g. product) will remain in use compared to an industry average for the resource	Retaining resource value
	Mandatory	A.3.3 Per cent actual reused products and components derived from outflow (X)	Fraction of outflow that is reused	Retaining resource value
	Mandatory	A.3.4 Per cent actual recycled material derived from outflow (X)	Fraction of outflow that becomes recycled material	Recovering resource value
	Mandatory	A.3.5 Per cent actual recirculation of outflow in the biological cycle	Fraction of outflow content that is recirculated at end of life for safe return to the biosphere and meets the qualifying conditions for recirculation	Recovers resource value
Energy	Optional	A.4.2 Average per cent of energy consumed that is renewable energy	Fraction of net consumed energy that qualifies as renewable energy, taking into account both energy inflows and energy outflows	Recovering resource value
Water	Optional	A.5.2 Per cent water withdrawal from inflow circular sources	Per cent of annual water demand that is derived from circular sources	Maintains a circular flow of resources
	Optional	A.5.3 Per cent water discharged in accordance with quality requirements	Per cent (by volume) of total water withdrawn that is discharged in accordance with circularity principles	Maintains a circular flow of resources
	Optional	A.5.4 Ratio (on-site or internal) water reuse or recirculation	Reuse cycles of on-site water	Maintains a circular flow of resources
Economic	Optional	A.6.2 Material productivity	Ratio of revenue generated by total mass of all linear resource inflows	Indicates resource reduction
	Optional	A.6.3 Resource intensity index	Quantitative measure of economic growth versus total resource use	Indicates resource reduction

Abbildung 22 Kern-Zirkularitäts-Indikatoren aus ISO 59020

4.4 Cradle-to-Cradle nach McDonough und Braungart

Die drei Grundsätze des Cradle-to-Cradle (C2C) Prinzips lauten:

1) Abfall ist Nahrung – Dieser Grundsatz ist im Biologischen Kreislauf leicht nachvollziehbar. Als Beispiel kann Kompostierung betrachtet werden, in der Abfall von Organismen z.B. verblühte Blüten als Nahrung für Mikroorganismen dienen, die wiederum Humus als Abfallprodukt herstellen, der für Pflanzen neue Nahrung darstellt.
2) Nutzung von erneuerbarer Energie – Um Kreisläufe in Bewegung zu halten ist es erforderlich, dass Energie hinzugefügt wird. Hierbei ist zu beachten, dass diese Energie aus erneuerbaren Quellen stammt.
3) Diversität – Ganzheitlich betrachtet sind Ökosysteme dann gesund, wenn sie eine möglichst grosse Diversität ausweisen. Jedoch ist unbedingt die Maxime «Nachhaltigkeit ist lokal» zu beachten. Denn, invasive Pflanzenarten können ein Ökosystem stören oder gar zerstören.

Der C2C Planungsprozess besteht aus 3 Phasen:

1) Bestandsaufnahme
2) Bewertung und
3) Optimierung.

Ziel des Planungsprozesses ist negative Auswirkungen zu identifizieren, um diese zu reduzieren und ökopositive respektive öko-effektive Potenziale zu erkennen und zu stärken und optimieren.

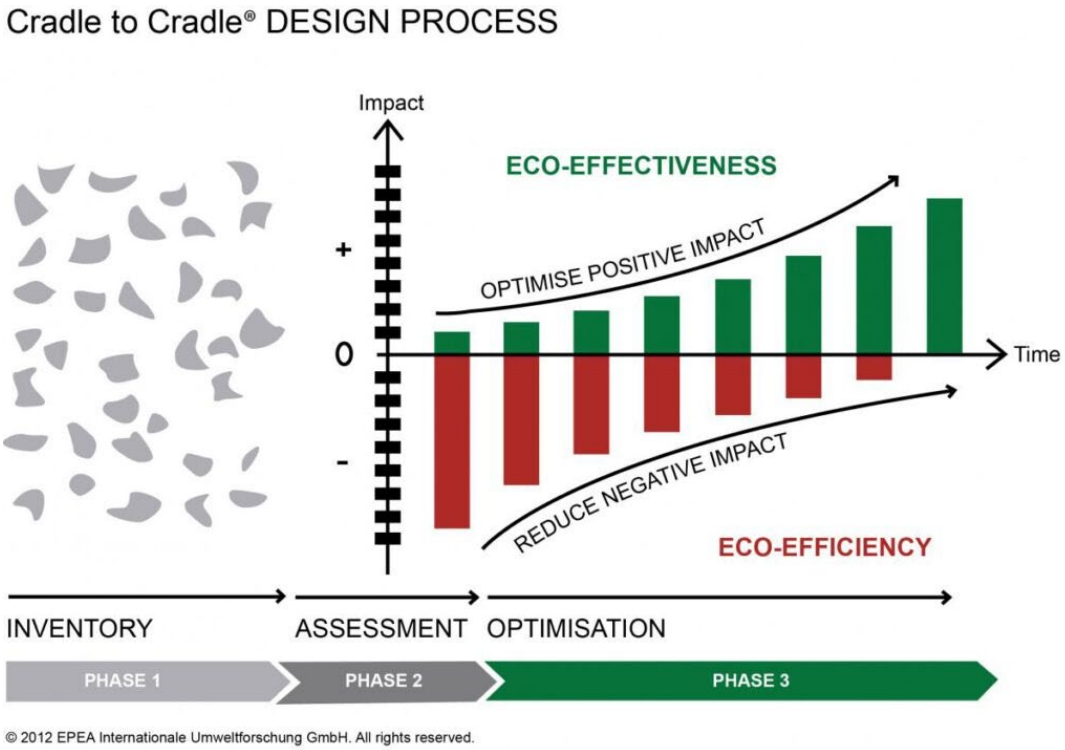


Abbildung 23: Phasen der öko-effektiven Planung (Braungart, Michael, 2022)

Um das C2C-Konzept in der Wirtschaft zu etablieren, wurde die Environmental Protection Encouragement Agency (EPEA) 1987 von Michael Braungart gegründet. Es fokussiert hierbei auf Cradle-to-Cradle- Lösungen für Industrieprodukte und zertifiziert diese mit einem *Cradle to Cradle Certified*® -Zertifikat. Da das EPEA seither einige Umstrukturierungen erfahren hat finden sich aktuell unterschiedliche Eigentümer von unterschiedlichen EPEA Firmen, die alle C2C-Zertifizierungen durchführen. Die Zertifizierungen erfolgen nach dem Standard des Cradle to Cradle Products Innovation Institute, welches 2010 von William McDonough and Michael Braungart gegründet wurde, um C2C zu skalieren.

1) Kreisläufe

Im C2C-Konzept werden Güter als der Biosphäre entnommene Rohstoffe betrachtet. Diese Güter werden zwei Kreisläufen zugeordnet: *Ver*brauchsgüter dem biologischen, *Ge*brauchsgüter dem technischen Kreislauf. Laut Braungart und McDonough kennt die Natur ausschliesslich den biologischen Kreislauf, in welchem Abfall neue Nahrung darstellt. Dieser wird im C2C durch den technischen Kreislauf ergänzt. In diesem geschlossenen Kreislauf zirkulieren unschädliche, wertvolle Hightech-Kunststoffe und mineralische Ressourcen in Zyklen von Produktion, Verwendung, Rückgewinnung und Wiederaufbereitung. Es wird kein energetischer Kreislauf betrachtet, da Energie eine Verbrauchsgrösse darstellt, die die Kreisläufe in Bewegung und damit «am Laufen» hält. Da Energie vollständig von den Kreisläufen absorbiert wird, ist Energie aus erneuerbaren Quellen zu verwenden, um eine Vernichtung von Ressourcen zu verhindern. (McDonough et al., 2003). Dieses Verständnis wurde von der EllenMacArthurFoundation im sogenannten Butterfly-Diagramm grafisch dargelegt siehe Abbildung 23 Kreislaufwirtschaftssystem-Diagramm (Ellen MacArthur Foundation et al., 2019, p. 8).

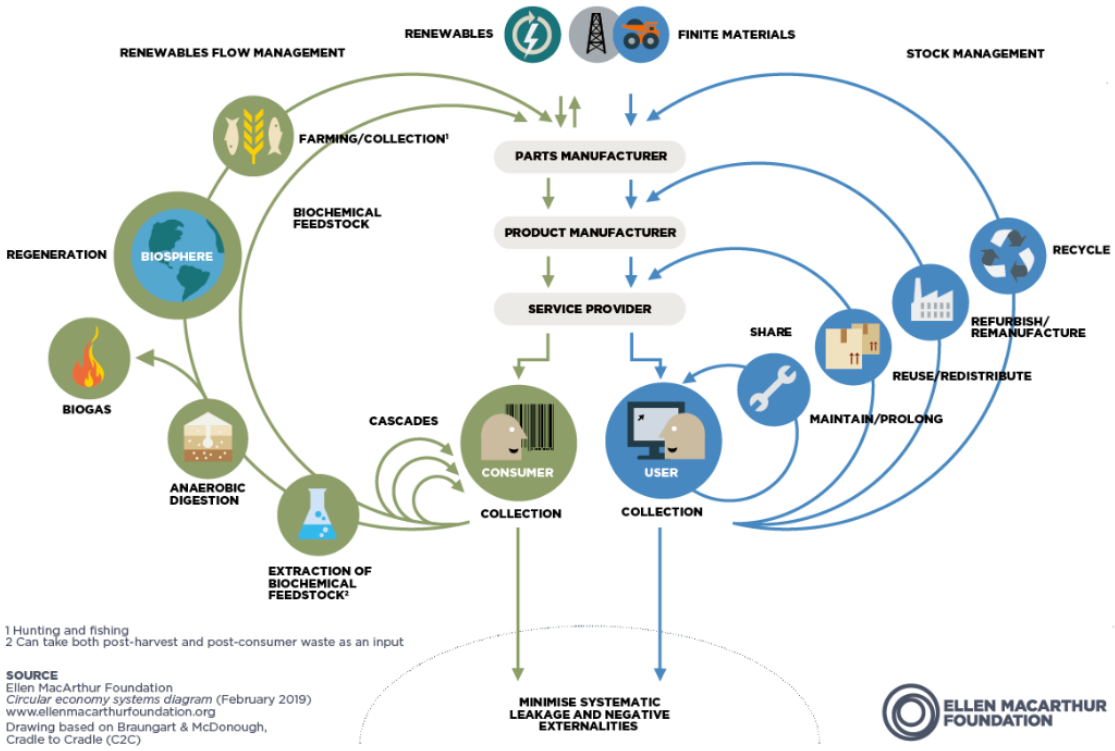


Abbildung 24: Kreislaufwirtschaftssystem-Diagramm der Ellen MacArthur Foundation

Die Begriffe *biologischer Kreislauf* und *technischer Kreislauf* haben sich in der Zirkularitätsbeschreibung verbreitet und durchgesetzt. So werden diese beiden Begriffe ebenfalls in der *ISO DIS 59040 Circular Economy – Product Circularity Data Sheet* verwendet (ISO International Organization for Standardization), 2023c).

2) End-of-Use-Szenarien

Es werden getrennte End-of-Use-Szenarien für den biologischen und den technischen Kreislauf angegeben (Cradle to Cradle Products Innovation Institute, 2024a, p. 96).

Um Produkte nach C2C-Beurteilen zu können, sind für den Technischen Kreislauf Konzepte für

- Reuse
- Repair
- Refurbish
- Remanufacture
- Repurpose
- Recycling (mechanical or chemical)

anzugeben. Hierbei ist unbedingt ein Konzept für Recycling darzulegen, da ein unendliches reuse, repair, refurbish, remanufacture und/oder repurpose nicht möglich ist. Hierbei wird Verbrennung mit Energiegewinnung wird nicht als Recyclingszenario akzeptiert.

Sollen Produkte dem Biologischen Kreislauf zugeführt werden und so das End-of-Life Szenario eintreten, so sind Konzepte für

- Nährstoffgewinnung
- Anaerobe Vergärung
- Kompostierung (Heim)
- Kompostierung (Industrie)
- Biologischer Abbau (Boden)
- Biologischer Abbau (Wasser)
- Biologischer Abbau (anaerob)

vorzulegen. Die Funktionsfähigkeit der Konzepte sind mindestens durch Pilotversuche nachzuweisen. Ebenfalls ist in den Konzepten darzulegen welche Akteure für die Durchführung der Konzepte verantwortlich sind.

3) Lebenszyklusphasen

Das C2C System betrachtet alle Phasen eines Lebenszyklus, von der Rohstoffherstellung bis zum End-of-Life. Hinsichtlich eines Lebenszyklus werden die Kriterien jedoch auch auf das Design der Zirkularität angewendet. Hier werden ähnliche Ziele nachverfolgt, wie beim Circular Ecosystem Innovation:

« 1. Erhöhte Wiederverwendung am Ende der Nutzungsdauer.

2. Stärkere Einbindung der Nutzer in die Wiederverwendung am Ende der Nutzungsdauer.

3. Längere Nutzung des Produkts.

4. Geringerer Bedarf an der Gewinnung und Herstellung von Neumaterialien.» (Cradle to Cradle Products Innovation Institute, 2024a, p. 142)

Um diese Ziele zu erreichen, werden verschiedene Massnahmen für die Lebenszyklusphasen vorgeschlagen:

- Designed to Minimize Material Weight
- Design Strategy for Prolonging the Use Phase of the Product
- Designed for Product as a Service
- Designed for Modularity or Upgradability
- Designed for Maintenance, Repair, or Refurbishment Services
- Designed for Manufacturer Recovery and Reuse
- Designed for Product Compatibility
- Designed for Remanufacturing
- Designed for Industrial Symbiosis
- Designed for Extending Resource Value
- Designed for Other Innovation

4) Ebenen

Mit C2C betrachtet Rohstoffe, Baustoffe, Bauelemente und Bauteile entsprechend der gezogenen Systemgrenze.

5) Systemgrenzen

Für eine C2C-Zertifizierung kommen zunächst jegliche Materialen, Stoffe und Produkte, die regelmässig oder auf individuelle Anfrage erworben werden können infrage. Die Systemgrenze wird jedoch dort gezogen, wo Materialien oder Produkte die grundlegenden Prinzipien von C2C verletzen oder wo die Kriterien dies Zertifizierungssystems nicht darauf ausgelegt sind. Als Ausschlusskriterien, die Materialen oder Produkte von einer Zertifizierung fallen (Cradle to Cradle Products Innovation Institute, 2024a):

1) Produkte die den grundlegenden Prinzipien widersprechen:
a) Waffen
b) Tabak
c) Produkte, die ausschliesslich der nicht-erneuerbaren Energieerzeugung dienen (inkl. nuklearer und fossiler Energieträger)
d) Produkte die nicht-erneuerbare Energie nutzen z.B. Kraftfahrzeuge mit Verbrennungsmotor (inkl. nuklearer und fossiler Energieträger)
e) Produkte, die von gefährdeten oder vom Aussterben bedrohte Arten kommen (z.B. seltene Hölzer)
f) Produkte, die das Tierwohl gefährden
g) Produkte, die Schadstoffe enthalten (z.B. cancerogen, reproduktions-toxisch)
h) Produkte, mit der Intention toxisch zu sein, bzw. toxische Materialien zu beinhalten (z.B. Pestizide, Herbizide)
i) Desinfektionsmittel
j) Produkte, mit der Intention nicht-zirkulär zu sein (z.B. Einweg-Artikel, Mikroplastik und Artikel hieraus, Landwirtschaftlicher Mulch)
k) Verpackungen von Produkten, die den C2C-Prinzipien widersprechen

2) Produkte, auf die die Kriterien des Anforderungsprogramms nicht ausgelegt ist:
a) Lebensmittel
b) Pharmazeutika/Medikamente
c) Medizinische Geräte und Produkte, die spezielle Biokompatibilitätstest erfordern (z.B. Spritzen, Herzschrittmacher)
d) Produkte mit Mehrzellorganismen
e) Verbrennungsstoffe oder Produkte, die für die Verbrennung bestimmt sind (z.B. Kerzen)
f) Gebäude
g) Bodenverbesserungsmittel
h) Nanomaterial
3) Jegliche Produkte, die nicht den gesetzlichen Anforderungen entsprechen.

Für den Baubereich wird die Systemgrenze klar beim Gebäude gezogen. Entsprechend können Baumaterialien, Baustoffe und Bauelemente bzw. Bauprodukte zertifiziert werden, Gebäude, Areale oder Städte nicht (Cradle to Cradle Products Innovation Institute, 2024b).

6) Messmethode

Die Messung der Zirkularität erfolgt mit einer Scoring System. Das Zertifizierungssystem beinhaltet fünf Kategorien, die als Standardanforderungen erfüllt werden müssen. Der Grad der Erfüllung ergibt das Level der Zertifizierung von Basic, Bronze, Silber, Gold bis Platin. Die fünf Kategorien sind (“Cradle to Cradle Certified® Certification,” n.d.):

1) **Materialgesundheit**: Sicherstellen, dass Materialien für Mensch und Umwelt sicher sind
2) **Produktzirkularität**: Ermöglichung einer Kreislaufwirtschaft durch regenerative Produkte und Prozessdesign
3) **Saubere Luft & Klimaschutz:** Schutz sauberer Luft, Förderung erneuerbarer Energien und Reduzierung schädlicher Emissionen
4) **Wasser- und Bodenverantwortung:** Sicherstellung von sauberem Wasser und gesunden Böden
5) **Soziale Fairness:** Achtung der Menschenrechte und Beitrag zu einer fairen und gerechten Gesellschaft

4.5 Material Circularity Indicator der Ellen MacArthur Foundation (EMF)

Aus Sicht der Ellen MacArthur Foundation ist eine kreislauffähige Wirtschaft ist ein globales Wirtschaftsmodell, das darauf abzielt, Wirtschaftswachstum und Entwicklung vom Verbrauch endlicher Ressourcen zu entkoppeln. Unternehmen sehen in diesem Modell zunehmend Chancen, da es ihnen nicht nur ermöglicht, einen zusätzlichen Wert aus ihren Produkten und Materialien zu ziehen, sondern auch Risiken aus Materialpreisschwankungen und Materialangebot zu mindern.

Ziel des MCI ist zirkularitätsorientierte Entscheidungen bei der Produktentwicklung treffen zu können. Entsprechend wird mit dem «Material Circularity Indicator» (MCI) für ein Produkt oder ein Unternehmen gemessen, in welchem Ausmass der lineare Fluss minimiert und der zirkuläre Fluss für seine Bestandteile maximiert wurde und wie lange und intensiv er im Vergleich zu einem ähnlichen Produkt im Branchendurchschnitt verwendet wird. Der MCI für Produkte setzt sich im Wesentlichen aus einer Kombination von drei Produktmerkmalen zusammen: Der Masse V des bei der Herstellung

verwendeten Primärrohmaterials, der Masse W des nicht verwertbaren Abfalls, die dem Produkt zugeschrieben wird, und einem Nutzfaktor X, der die Dauer und Intensität der Nutzung des Produkts berücksichtigt. Die Materialflüsse sind in der folgenden Abbildung 24 Materialflüsse im MCI der EMF schematisch dargestellt (Ellen MacArthur Foundation et al., 2019, p. 22).

Die gestrichelten Linien in Abbildung 24 Materialflüsse im MCI der EMF zeigen, dass die Methodik keinen geschlossenen Regelkreis erfordert. Das bedeutet beispielsweise, dass recycelte Rohstoffe nicht aus demselben Produkt stammen müssen, sondern auf dem freien Markt beschafft werden können. Dies ist ein bewusstes Merkmal und spiegelt die Grundlage der Methodik für den Massenstrom innerhalb des Produktsystems wider, dessen Berechnung unabhängig davon, ob es sich um einen offenen oder geschlossenen Kreislauf handelt, gleich ist.

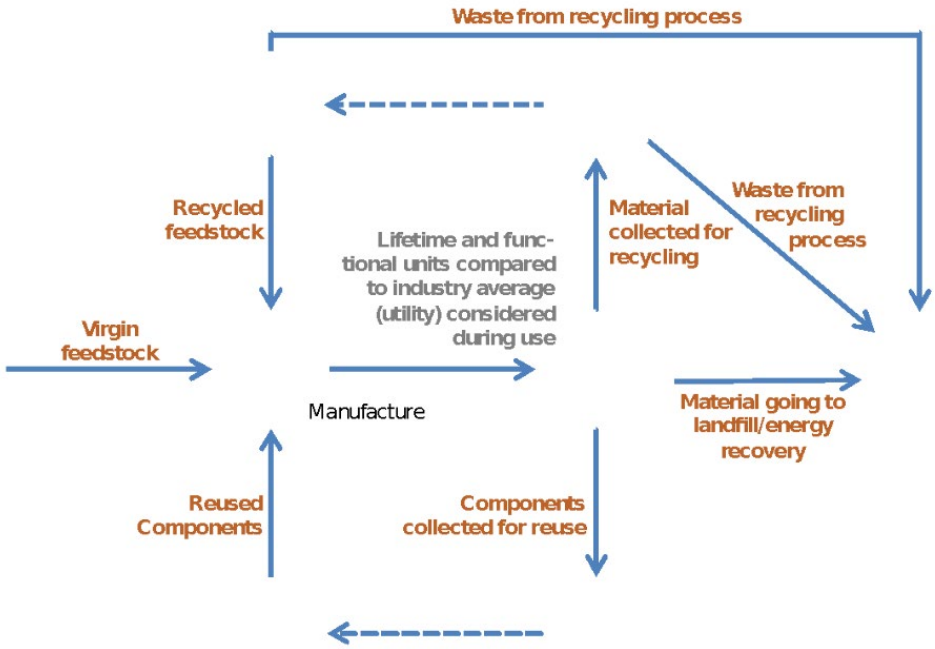


Abbildung 25 Materialflüsse im MCI der EMF

1) Kreisläufe

Der MCI bezieht sich auf die Cradle-to-Cradle Grundlage von Braungart & McDonough und umfasst den biologischen und technischen Kreislauf.

Angelehnt an diese Kreisläufe basiert der MCI auf folgenden Prinzipien:

- Beschaffung biologischer Materialien aus nachhaltigen Quellen
- Verwendung von Rohstoffen aus wiederverwendeten oder recycelten Quellen
- Längere Nutzungsdauer von Produkten (z. B. durch Wiederverwendung/Weiterverteilung/Verbesserung der Haltbarkeit)
- Wiederverwendung von Bestandteilen oder Recycling von Materialien nach dem Gebrauch des Produkts
- Intensivere Nutzung von Produkten (z. B. über Dienstleistungs-, Sharing- oder Leistungsmodelle)
- Gewährleistung, dass biologische Materialien nicht kontaminiert werden und biologisch zugänglich bleiben

(Ellen MacArthur Foundation et al., 2019, p. 10).

2) End-of-Use-Szenarien

Im MCI werden die End-of-Use-Szenarien Recycling und Reuse berücksichtigt. Reuse wird eine Effizienz von 100% und Recycling eine Reduzierte, der Effizienz des Recyclingprozesses abhängige Effizienz zugewiesen. Standardmässig liegt dieser bei 75%, kann aber händisch an die realen Gegebenheiten angepasst werden. Die Reduktion auf zwei End-of-Use Szenarien wurde bei EMF erkannt und als weitere Empfehlung die Integration der Szenarien Remanufacture (Weiterverwenden) und Refurbish (Sanieren) vorgeschlagen.

Als End-of-Life-Szenarien werden Kompostierung, Energetische Verwertung und Deponierung im MCI berücksichtigt.

3) Lebenszyklusphasen

Im MCI werden alle Lebenszyklusphasen möglichst über alle Nutzungszyklen betrachtet.

4) Ebenen

Der MCI wurde für die Produktebene und für die Unternehmensebene aufgestellt. Für ein Bauwerk bedeutet dies, dass einzelne Bauprodukte sehr gut mit dem MCI ermittelt werden können. Da die Fügung verschiedener Bauprodukte zu einem Bauteil nicht erfasst werden kann, können Die Bauteile selbst nicht mit dem MCI bewertet werden. Soll für ein Bauwerk also der MCI angewendet werden, so ist von den Anwendenden selbst zu bestimmen, für welche Produkte sich die Bewertung nach MCI eignet, da sie entsprechend lösbar von anderen Produkten sein müssen.

5) Systemgrenzen

Zu beachten ist, dass die in Abbildung 24 Materialflüsse im MCI der EMF dargestellten Materialflüsse ausschliesslich mit den Materialien verbunden sind, die im Endprodukt landen (Systemgrenze). Es wird weitere Materialflüsse geben, wie z.B. Abfallströme, die während des Herstellungsprozesses entstehen.

Als «Entsorgungswege» wird die thermische Verwertung, die Kompostierung und zuletzt die Deponierung berücksichtigt. Da auch Primärmaterialien in der Bewertung berücksichtigt werden umfasst der Lebenszyklus «von der Wiege bis zum Grab». Die Nutzungsdauer der Materialien wird in Relation zu einer branchenüblichen Nutzungsdauer in der Bewertung berücksichtigt.

Die Mikroebene wird nach dem Cradle-to-Cradle Prinzip von Braungardt betrachtet. Es geht bei dem Prinzip nicht darum Öko-Effizient sondern Öko-Effektiv zu sein. Das bedeutet nicht die Materialen so wenig schlecht wie möglich machen, sondern möglichst gute Materialien herstellen, die der Erde als ökologisches System einen Mehrwert bringen. Diese Betrachtung stellt anstelle von konstruktiven oder technischen Kreisläufen die stofflichen Kreisläufe in den Mittelpunkt (Braungart et al., 2007).

6) Messmethode

Jedes Produkt, das nur aus neuen Rohstoffen hergestellt wird und am Ende seiner Nutzungsphase auf der Mülldeponie landet, kann als vollständig "lineares" Produkt betrachtet werden. Auf der anderen Seite kann jedes Produkt, das keine neuen Rohstoffe enthält, vollständig für das Recycling oder die Wiederverwendung von Komponenten gesammelt wird und bei dem die Recyclingeffizienz 100 % beträgt, als vollständig "zirkuläres" Produkt betrachtet werden. In der Praxis

liegen die Produkte irgendwo zwischen diesen beiden Extremen, und der MCI misst den Grad der Zirkularität im Bereich von 0 bis 1 (Ellen MacArthur Foundation et al., 2019).

Der Zirkularitätsindikator wird unter Berücksichtigung der Stoffströme und des Nutzenfaktors berechnet. Zur Berechnung des Zirkularitätsindikators (ZI) wird die **folgende Formel** verwendet:

$$CI = 1 - LFI \cdot F(X)$$

Der Linear Flow Index (LFI) wird verwendet, um den linearen Teil des Materialflusses zu berechnen, ausgehend von 100 % Neumaterialien, wobei 100 % in einer Verbrennungsanlage oder auf einer Deponie enden. Der LFI hat einen Bereich von 0 (vollständig kreisförmig) bis 1 (vollständig linear). Die Formel für den LFI lautet wie folgt:

$$LFI = \frac{V + W}{2M + \frac{W_F - W_C}{2}}$$

Sie besteht aus den folgenden Teilformeln:

$$V = M\ (1 - F_R - F_{RR} - F_u)$$

M Produktmasse (kg)

V Masse des für die Herstellung eines Produkts verwendeten Neumaterials (kg)

F_R Anteil der recycelten Materialien (in % der Produktmasse)

F_{RR} Anteil an schnell erneuerbaren Materialien (in % der Produktmasse)

F_U Anteil der wiederverwendeten Produkte und/oder Komponenten (in % der Produktmasse);

$$W = W_0 + \frac{W_F + W_C}{2}$$

W Masse des Abfalls (kg)

W_O Masse des Abfalls (kg), der nach der Nutzungsdauer eines Produkts auf einer Deponie oder in einer Verbrennungsanlage landet

W_F Masse des Abfalls (kg), der durch den Recyclingprozess entsteht, der die Materialien für die Herstellung eines Produkts liefert

W_C Masse des Abfalls (kg), der durch den Recyclingprozess nach der Nutzungsdauer des Produkts entsteht.

$$W_0 = M(1 - C_R - C_U)$$

C_R Anteil der Materialien mit einem Abfall-Recycling-Szenario (in % der Produktmasse)

C_U Anteil der Materialien mit einem Abfallwiederverwendungsszenario (in % der Produktmasse);

$$W_F = M\ \frac{(1 - E_F)F_R}{E_F}$$

E_F Wirkungsgrad des Recyclingprozesses (%), der die Materialien zur Herstellung eines Produkts liefert. Der Standardwert von 75 % kann manuell geändert werden, da die erforderlichen Daten nicht verfügbar sind.

$$W_C = M\,(1 - E_C) \cdot C_R$$

E_C Effizienz des Recyclingprozesses (%) für ein Produkt mit einem Abfallrecyclingszenario. Der Standardwert von 75 % kann manuell geändert werden, da die erforderlichen Daten nicht verfügbar sind.

Der F(X)-Nutzungsfaktor berechnet die Auswirkung der Länge der Nutzungsdauer eines Produkts. Dieser Einfluss verringert sich durch Verbesserungen in der Konstruktion, Reparaturen, Upgrades und vorbeugende Wartung. Die Formel für den Nutzenfaktor lautet:

$$F(X) = \frac{0{,}9}{X} \qquad X = \left(\frac{L}{L_{av}}\right) \cdot \left(\frac{U}{U_{av}}\right).$$

0,9 Nutzungskonstante: Die Nutzenkonstante stellt sicher, dass vollständig lineare Produkte, deren potenzieller funktionaler Lebenszyklus gleich dem durchschnittlichen Lebenszyklus der Branche ist, eine Punktzahl von 0,1 - 1 erhalten. Produkte, die vollständig linear sind, deren potenzieller funktionaler Lebenszyklus niedriger ist als der durchschnittliche Lebenszyklus der Branche, erhalten einen Wert < 0,1

L Potenzielle Lebensdauer des Produkts (Jahre)

L_{av} Industriedurchschnittlicher Lebensdauer des Produkts (Jahre)

U Potenzieller funktionaler Lebenszyklus

U_{av} Industriedurchschnittlicher funktionaler Lebenszyklus des Produkts

4.6 Europäische Union

In einer umfangreichen Studie zur Messung der Anwendung von Kreislaufindikatoren in der Bauwirtschaft empfiehlt die Europäische Kommission ein Messystem für Zirkularität aufzustellen. Als Grundlage hierfür empfiehlt die Kommission 21 Schlüsselindikatoren, wovon 11 Indikatoren masseorientiert sind. Die Schlüsselindikatoren wurden aus Resultaten einer vorher geführten Umfrage mit Bauunternehmungen in der EU abgeleitet. Die Indikatoren wurden auf thematischen Ebenen gegliedert: Produkt- oder Materialebene (P1 – P8), Gebäude- oder Infrastrukturebene (B2 – B16), Organisations- und Prozessebene (O2 – O7) und Städtische Ebene (U1 – U2). Dies Einteilung soll eine Vereinheitlichung der Datengrundlage zur Beurteilung der Zirkularität im Bauwesen innerhalb der Europäischen Union ermöglichen (European Commission et al., 2023). Die Liste der Indikatoren kann Abbildung 25: Indikatoren zur Messung von Zirkularität gem. EU (European Commission et al., 2023, p. 8) entnommen werden.

1) Kreisläufe

Alle 21 Indikatoren zur Messung der Kreislauffähigkeit beziehen sich auf den biotischen, den abiotisch-fossilen und den abiotisch-mineralischen Kreislauf. 11 der Indikatoren berücksichtigen auch den Wasserkreislauf, und nur einer bezieht sich auf den Energiekreislauf. In einem Indikator sind in der Regel mehrere Kreisläufe enthalten, da Baumaterialien meist aus Stoffen bestehen, die aus mehreren dieser Kreisläufe stammen. Die Kreisläufe wurden in den Beschreibungen der Indikatoren nicht namentlich erwähnt; jeder Indikator wurde einzeln geprüft, um festzustellen, welche der fünf Kreisläufe, die in Kapitel 4 beschrieben wurden, jeweils enthalten sein könnten. Dabei wurden die einzelnen Indikatoren auf jeden Kreislauf angewendet und es wurde die

Überlegung angestellt, ob sich der Kreislauf damit messen, beurteilen oder abbilden lässt. Indikator «P1» beispielsweise beschreibt den Anteil an Baumaterialien und -produkten in einem Gebäude, die durch Rückbau wiedergewonnen wurden. Der Wasser- und Energiekreislauf lässt sind weder auf Baumaterialien noch -produkte anwenden, daraus wurde geschlossen, dass diese Kreisläufe in diesem Indikator nicht abgebildet wurden.

Obwohl der Wasserkreislauf ebenfalls nicht explizit genannt wurde, können entsprechende Indikatoren so interpretiert werden, dass sie den Wasserkreislauf einbeziehen. So misst beispielsweise der Indikator «P7» die Menge an toxischen Abfällen, die während der Produktion, des Baus und am Ende der Lebensdauer entstehen. Hierbei wird davon ausgegangen, dass nicht nur die Vermeidung von schädlichen festen Materialien, sondern auch von schädlichen Flüssigkeiten berücksichtigt. Der Indikator «B2» ist der Einzige, der alle Stoffkreisläufe abdeckt. Für diesen Indikator wird bereits in der Planungsphase eine Lebenszyklusanalyse (LCA) durchgeführt, um die Umweltauswirkungen eines Gebäudes oder einer Infrastruktur zu quantifizieren. In der LCA können der biotische, die abiotischen Kreisläufe fossil, mineralisch und metallisch sowie der Wasser- und Energiekreislauf analysiert und ausgewertet werden. (European Commission et al., 2023)

		Indikatoren																			
		P1	P3	P6	P7	P8	B2	B3	B4	B5	B7	B8	B10	B14	B16	O2	O3	O4	O5	O7	U1	U2
Kreisläufe	Biotisch	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Abiotisch fossil	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Abiotisch mineralisch	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Wasser				x	x	x			x		x	x	x	x				x	x	x	
	Energie						x															

Tabelle 1: Auflistung der betrachteten Kreisläufe

2) End-of-Use Szenarien

Von den 21 Indikatoren beschreiben sechs keine End-of-Use (EoU)-Szenarien. Sie sind quantitative Indikatoren, die beispielsweise die Abfallmengen erfassen. Die anderen Indikatoren beinhalten oft mehrere EoU-Szenarien. Das Recycling (inklusive Up- und Downcycling) ist das EoU-Szenario, das am häufigsten genannt wurde – insgesamt zwölfmal. Beim EoU-Recycling wurden stets Up- und Downcycling als Optionen angegeben, da das Recycling je nach Material hochwertiger oder minderwertiger ausfallen kann.

Das thermische Verwerten, Kompostieren und Deponieren wurden in sieben Indikatoren erwähnt. Diese End-of-Life-Szenarien werden auch im Zusammenhang mit "Design for Disassembly" genannt, da durch gewöhnliche Abnutzung oder Alterungsprozesse, wie beispielsweise bei Dichtungen, regelmässig nicht 100 % der verbauten Produkte oder Bauteile in einen weiteren Nutzungszyklus überführt werden können. Auch werden Bauelemente und Bauteile, die sich nicht recyceln lassen, entweder thermisch verwertet oder kompostiert oder deponiert.

Reuse wurde in elf Indikatoren genannt, jedoch nur in sieben Indikatoren als EoU-Szenario klassifiziert. In vier Indikatoren wurde von der Wiederverwendung von Abfällen (engl. "waste reuse") gesprochen, was ohne aufwändige Aufbereitung nicht möglich ist. Refurbish wurde in den Indikatoren nie direkt erwähnt; jedoch liess sich aus den Beschreibungen der Indikatoren fünfmal ableiten, dass wiederaufbereitete Materialien ebenfalls berücksichtigt werden. So wurde, wenn in einem Indikator «post-consumer material», das aufbereitet und wieder in das Gebäude eingebaut wird, erwähnt wurde davon ausgegangen, dass Refurbish, Remanufacture oder Repurpose auf dieses «post-consumer» Material angewendet werden kann.

Bei Remanufacture und Repurpose handelt es sich um Verfahren, bei denen Bauteile oder Elemente mit grösserem Aufwand aufbereitet werden. Insgesamt wurden diese beiden EoU-Szenarien in drei Indikatoren aufgeführt. Da die EoU-Szenarien nicht namentlich benannt wurden, wurden Szenarien wie Refurbish, Remanufacture und Repurpose als gleichwertig eingestuft, da diese Szenarien eine Aufarbeitung und/oder Umgestaltung eines Bauproduktes voraussetzen. Im "9-R"-Rahmen werden sie aufgrund des unterschiedlichen Aufwands unterschieden, da die Indikatoren jedoch Interpretationsspielraum lassen, konnte bei der Kategorisierung keine Unterscheidung auf Rahmenebene vorgenommen werden. Die Ausnahme wurde bei «P1» und «P6» gemacht, wo Refurbish im Sinne von Reparatur genannt wurde. Deponierung, thermische Verwertung und Kompostierung wurden in sieben Indikatoren genannt. (European Commission et al., 2023).

		Indikatoren																			
		P1	P3	P6	P7	P8	B2	B3	B4	B5	B7	B8	B10	B14	B16	O2	O3	O4	O5	O7	U1	U2
End of Use Szenarien	Recycle		x			x		x		x	x		x	x	x		x	x		x		x
	Upcycling		x			x		x		x	x		x	x	x		x	x		x		x
	Downcycling		x			x		x		x	x		x	x	x		x	x		x		x
	Reuse	x				x		x	x		x						x	x				
	Refurbish	x		x		x												x				
	Remanufacture					x				x								x				
	Repurpose					x				x								x				
End of Life Szenarien	Deponieren					x					x		x	x	x					x		x
	Thermische Verwertung					x					x		x	x	x					x		x
	Kompostieren					x					x		x	x	x					x		x

Tabelle 2: Auflistung der betrachteten End-of-Use und End-of-Life Szenarien

3) Lebenszyklusphasen

Alle Indikatoren weisen unterschiedliche Lebenszyklusphasen auf, die sie betrachten, daher wurde jeder Indikator einzeln betrachtet, beschrieben und aufgelistet. Dabei wurden die End-of-Use/End-of-Life Szenarien unterschieden. End-of-Life wenn das Lebensende mittels Deponierung, thermischer Verwertung oder Kompost in den Indikatoren bewertet wurde und End-of-Use wenn ein Recycling, Aufbereitung oder Wiederverwendung in den Indikatoren bewertet wurde.

P1: Rohstoffbeschaffungsphase (Herstellung), Produktionsphase (Bau) und End-of-Use
P3: Rohstoffbeschaffungsphase (Herstellung), Produktionsphase (Bau) und End-of-Use
P6: Rohstoffbeschaffungsphase (Herstellung)
P7: Rohstoffbeschaffungsphase (Herstellung), Produktionsphase (Bau) und End-of-Life
P8: Rohstoffbeschaffungsphase (Herstellung), Produktionsphase (Bau) und End-of-Use/Life

B2: Produktionsphase (Planung)
B3: Produktionsphase (Produktdesign)
B4: Produktionsphase (Planung und Design)
B5: Rohstoffbeschaffungsphase (Herstellung), Produktionsphase (Design und Bau)
B7: Produktionsphase (Design)
B8: Produktionsphase (Bau)
B10: Produktionsphase (Bau)
B14: End-of-Life
B16: End-of-Life

O2: Produktionsphase (Design) und Nutzungsphase
O3: Rohstoffbeschaffungsphase (Herstellung), und Produktionsphase (Bau und Design)
O4: Rohstoffbeschaffungsphase (Herstellung)
O5: Produktionsphase (Bau), Nutzungsphase (Renovation) und End-of-Life
O7: Produktionsphase (Bau), Nutzungsphase (Renovation) End-of-Life (Rückbau)

U1: Produktionsphase (Bau und Planung), und End-of-Life (Rückbauplanung)
U2: Produktionsphase (Planung und Bau) und End-of-Life (Rückbau)
(European Commission et al., 2023)

Zusammenfassend wird die Rohstoffbeschaffungsphase achtmal, die Produktionsphase 14-mal, die Nutzungsphase dreimal und die End-of-Life-Phase zehnmal beschrieben. Die Transport- und Logistikphase wird hingegen nicht erwähnt. In den Beschreibungen der Zirkularitätsindikatoren wird die Planungs- und Designphase von Gebäuden als eine separate Phase aufgeführt. Diese wurde jedoch der Produktionsphase zugeordnet, da ohne Planung und Design weder die Rohstoffe noch die Bauteile und letztlich das gesamte Gebäude hergestellt respektive errichtet werden können.

4) Ebenen

In der Studie wurden die Indikatoren für die Anwendung auf Produkt- und Materialebene, Gebäude- und Infrastrukturebene, Organisationsebene und städtischer Ebene entwickelt (European Commission et al., 2023). Auf städtischer Ebene sind jedoch nur zwei Indikatoren vorhanden, während auf Gebäude- und Infrastrukturebene neun Indikatoren zur Bewertung der Zirkularität definiert sind.

5) Systemgrenzen

Es wurden keine Systemgrenzen definiert. Es bleibt den Anwendenden offen, wie das System der Bewertung definiert werden soll.

6) Messmethoden

Die Indikatoren werden nicht durch Formeln berechnet; stattdessen erfolgt die Bewertung anhand eines Scoring-Systems. Dieses wurde entwickelt, um Entscheidungsträger*innen eine qualitative Datengrundlage zur Einschätzung von Bauprojekten bereitzustellen. Die 21 Indikatoren werden in unterschiedlichen Messgrössen gemessen, die teils stark variieren und in der folgenden Tabelle mit Beschreibung aufgeführt sind.

.

Messgrösse	**Aussage der Messgrösse**
Ja/Nein	• Wurden wiederverwendetet Bauteile eingebaut? • Wurden realistische End-of-Life Szenarien geplant?
%-Massenanteil	• recyclierter Baustoffe • giftiger Abfallmaterialien • wiederverwendeter, recyclierter, thermisch verwerteten oder deponierter Baustellenabfällen • wiederverwendeter, recyclierter, thermisch verwerteten oder deponierter Rückbauabfällen • Wiederverwendet oder dem sekundären Kreislauf beigefügt • wiederverwendeter Bauteile • recyclierter Bauteile • Anteil der Desing for Disassembly Bauteile • durchschnittlicher Anteil von Recyclierten oder widerverwendeten Bauteilen/ Recycling- und Verwertungsquote von Bau- und Abbruchabfällen
Durchschnittliche Anzahl Jahre	• der vorhergesehenen Lebensdauer von Bauelementen und -teilen • der vorhergesehenen Lebensdauer von Gebäuden und Infrastruktur
Kg CO_2-eq/m^2/a	• Vergleich der Lebenszyklusbewertung von Bauteilen/ -elementen, Gebäuden, Infrastrukturen oder Städten
Kg/m^2/a	• Grad der Materialdicht und der Reduktion der Materialdichte
%- Wiederverwendungspotential	• Prozentualer Anteil der Bauteile/-elemente die zur Wiederverwendung designt wurden.
t/100'000 Euro (Projektwert)	• Menge an giftigen Abfällen pro 100'000 Euro Projektwert
Tonnen	• Rückbauabfall der generiert wurde
% nach Masse/Jahr	• Wege der Abfallwirtschaft
Tonnen pro Kopf	• Bau- und Abbruchabfälle, die in einem bestimmten Stadtgebiet anfallen

Core indicators (units)
Product or material level
P1: Reused product (yes/no)
P3: Recycled/secondary content (% by mass)
P6: Predicted service life (years)
P7: Hazardous waste (% by mass)
P8: Realistic end-of-life scenarios developed (yes/no)
Building or infrastructure level
B2: At concept stage: comparison of asset life cycle assessment (Depends on impact categories, e.g. $kgCO_2$ eq/ m^2/yr)
B3: At design stage: Material intensity/ dematerialisation (kg/m^2/yr)
B4: At design stage: reused content (% by mass)
B5: At design stage: recycled content (% by mass)
B7: Designed for disassembly/ deconstruction (% reuse potential by mass)
B8: Construction waste generated on and off site (tonnes/100k EUR)
B10: Construction waste reused, recycled, recovered, landfilled (% by mass)
B14 : Demolition waste generated (tonnes)
B16: Demolition waste reused, recycled, recovered, landfilled (% by mass)
Organisation or process level
O2: Predicted service life of buildings/infrastructure portfolio (average number of years)
O3: Average reused and recycled content in new buildings/infrastructure (circular inputs) (% by mass)
O4: Reused and secondary content input (% by mass)
O5: Non-hazardous waste arisings (tonnes/100k EUR)
O7 : Waste management routes (% by mass/year)
Urban level
U1: Construction and Demolition waste generated in a defined urban area (tonnes per capita)
U2: Recycling/recovery rate of construction and demolition waste (% by mass)

Abbildung 26: Indikatoren zur Messung von Zirkularität gem. EU (European Commission et al., 2023, p. 8)

4.7 Initiative Kreislaufwirtschaft Schweiz

Im März 2024 wurde eine Änderung des Umweltschutzgesetztes (USG) beschlossen mit dem Ziel eine neue Rechtsgrundlage zu schaffen, um die Kreislaufwirtschaft zu stärken, die Umweltbelastung zu reduzieren sowie die Leistungsfähigkeit und Versorgungssicherheit der Schweizer Wirtschaft zu erhöhen. Angestossen wurde diese Gesetzesänderung durch eine Vielzahl von politischen Vorstössen, aus denen ein Konsortium, die parlamentarische Initiative 20.433 «Schweizerische Kreislaufwirtschaft stärken» gebildet wurde. Im Rahmen der Gesetzesänderung wurden viele Massnahmen vorgesehen. Hinsichtlich Zirkularität im Bauwesen ist der Artikel 35j Abs. 1 -2 wesentlich und wird hier entsprechend untersucht (“BBl 2023 13 - Parlamentarische Initiative. Schwe... | Fedlex,” 2022), (“20.433 | Schweizer Kreislaufwirtschaft stärken | Geschäft | Das Schweizer Parlament,” 2020).

Die Vorlage wurde vom National- und Ständerat am 15. März 2024 angenommen und anschliessend im Bundesblatt veröffentlicht. Auf Anfrage beim Eidgenössischen Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, wurde bestätig, dass am 6. November 2024 über das Datum des Inkrafttretens entschieden werden soll. Dies verzögerte sich um eine Woche. Ab dem 13. November stand fest, dass die Gesetzesänderung ab dem ersten Januar 2025 in Kraft treten wird (“Gesetzesänderungen zur Stärkung der Schweizer Kreislaufwirtschaft treten mehrheitlich ab 2025 in Kraft,” 2024) (Budensamt für Umwelt, 2022; *Bundesgesetz über den Umweltschutz*, 2022), (“20.433 | Schweizer Kreislaufwirtschaft stärken | Geschäft | Das Schweizer Parlament,” 2020), (Das Schweizer Parlament - Umwelt, Raumplanung und Energie Kommission, n.d.).

Umweltschutzgesetz Art. 35j Ressourcenschonendes Bauen

Gliederungstitel vor Artikel 35j

4. Abschnitt: Ressourcenschonendes Bauen

Art. 35j

[1] Der Bundesrat kann im Rahmen einer gesamthaften, bauwerk- und lebenszyklusbasierten Nachhaltigkeitsbetrachtung nach Massgabe der durch Bauwerke verursachten Umweltbelastung und unter Beachtung der internationalen Verpflichtungen der Schweiz Anforderungen festlegen über:

a. die Verwendung umweltschonender Baustoffe und Bauteile;

b. die Verwendung von Baustoffen, die aus der stofflichen Verwertung von Bauabfällen stammen;

c. die Rückbaubarkeit von Bauwerken; und

d. die Wiederverwendung von Bauteilen in Bauwerken.

[2] Der Bund nimmt bei der Planung, der Errichtung, dem Betrieb, der Erneuerung und dem Rückbau eigener Bauwerke eine Vorbildfunktion wahr. Er berücksichtigt dazu erhöhte Anforderungen an das ressourcenschonende Bauen und innovative Lösungen.

Abbildung 27: Auszug aus dem neuen USG, Art. 35j (Umweltschutzgesetz, USG, 2024)

1) Kreisläufe

Der Art. 35j Abs. 1a bestimmt «die Verwendung umweltschonender Baustoffe und Bauteile», im Vernehmlassungsbericht werden hierunter Bauteile wie nachhaltiges Schweizer Holz oder CO_2-reduzierter Beton genannt (Das Schweizer Parlament - Umwelt, Raumplanung und Energie Kommission, n.d.). Weiter wird keine eindeutige Definition für umweltschonende Baustoffe und -teile gegeben. Es kann hieraus abgeleitet werden, dass Baustoffe und Bauteile, die eine bessere CO_2-Bilanz vorweisen als gleichwertig einsetzbare Baustoffe und Bauteile, als nachhaltig beurteilt werden könnten. Hieraus lässt sich auf keine spezifischen Kreisläufe schliessen.

Abs. 1b «Verwendung von Baustoffen aus der stofflichen Verwertung von Bauabfällen» Hier geht es um feste Stoffe, die aus dem abiotischen fossilen, abiotischen mineralischen und biologischen Kreislauf stammen können.
Der Abs. 1c «die Rückbaubarkeit von Bauwerken und» Abs. 1d «die Wiederverwendung von Bauteilen in Bauwerken» beschreiben keine Kreisläufe. (*Bundesgesetz über den Umweltschutz*, 2022)

Der Abs. 2 lässt durch folgenden Satz «… Er berücksichtigt dazu erhöhte Anforderungen and das ressourcenschonende Bauen und innovative Lösungen.» darauf schliessen, dass alle genannten Kreisläufe ausser dem energetischen Kreislauf einbezogen sind. (*Bundesgesetz über den Umweltschutz*, 2022). Im Bericht der Kommission für Umwelt, Raumplanung und Energie des Nationalrats wurde der Begriff der Ressourcenschonung definiert. Die Definition besagt, dass der Begriff breit zu verstehen ist und er schliesst sowohl Rohstoffe wie auch das Klima, den Boden, sauberes Wasser, sauberer Luft und die Biodiversität ein. Unter Rohstoffe versteht man Mineralien, fossile Rohstoffe und Metalle sowie Erzeugnisse aus der Forst- und Agrarwirtschaft. Ressourcenschonung bedeutet somit, natürliche Ressourcen zu nutzen, ohne sie zu destabilisieren (Das Schweizer Parlament - Umwelt, Raumplanung und Energie Kommission, n.d.).

2) End-of-Use-Szenarien

Den Sätzen in Absatz 1 können verschiedene End-of-Use-Szenarien, entsprechend Tabelle 3: Zusammenfassung der End-of-Use Szenarien im USG Art 35j, Abs. 1 zugeordnet werden.

Artikel und Absatz im USG	(*Umweltschutzgesetz, USG*, 2024).	**End-of-Use Szenarien**
Art. 35j Abs. 1	«Der Bundesrat kann nach Massgabe der durch Bauwerke verursachten Umweltbelastung und unter Beachtung der internationalen Verpflichtungen der Schweiz Anforderungen stellen über:»	Recycling und Wiederverwendung
Abs. 1b	«die Verwendung von Baustoffen, die aus stofflicher Verwertung von Bauabfällen stammen»	Recycling
Abs. 1c	«die Rückbaubarkeit von Bauwerken und;»	Wiederverwendung
Abs. 1d	«die Wiederverwendung von Bauteilen in Bauwerken»	Wiederverwendung

Tabelle 3: Zusammenfassung der End-of-Use Szenarien im USG Art 35j, Abs. 1

In Abs. 2 wird dem Bund freigestellt welche End-of-Use Szenarien angewendet werde sollen. Im Faktenblatt wird der Vorschlag näher beschrieben: «Der zweite Absatz von Artikel 35j sieht vor, dass der Bund bezüglich der Verwendung von Baumaterialien, Trennbarkeit und Wiederverwendung erhöhte Anforderungen berücksichtigt und so seine Vorbildrolle wahrnimmt.» Weiter wird ausgeführt, wie dies in der Umsetzung aussehen könnte: «… dass die verbauten Materialien sowie die Bauteile trennbar sind und systematisch erfasst werden …» oder «… dass die graue Umweltbelastung über den Einsatz umweltschonenden, erneuerbaren, rezyklierten und

wiederverwendeten Materialien und Bauteilen minimiert wird.». Auch hier wird Recycling und Re-Use betrachtet. Refurbish, Remanufacture und Repurpose wurden dabei nicht erwähnt. (“BBl 2023 13 - Parlamentarische Initiative. Schwe... | Fedlex,” 2022), (Das Schweizer Parlament - Umwelt, Raumplanung und Energie Kommission, n.d.)

3) Lebenszyklusphasen

In Art 35j Abs. 1 wird der gesamte Lebenszyklus definiert: «Der Bundesrat kann im Rahmen einer gesamthaften, bauwerk- und lebenszyklusbasierten Nachhaltigkeitsbetrachtung nach Massgabe der durch Bauwerke verursachten Umweltbelastung und unter der Beachtung der internationalen Verpflichtungen der Schweiz Anforderungen festlegen über:»(*Umweltschutzgesetz, USG*, 2024)

- In Abs. 1a wird die Rohstoffbeschaffungsphase genannt «… die Verwendung umweltschonender Baustoffe und Bauteile» (*Umweltschutzgesetz, USG*, 2024).
- Der Abs. 1b «die Verwendung von Baustoffen, die aus der stofflichen Verwertung von Bauabfällen stammen;» beschreibt einerseits die stoffliche Verwertung, die am End-of-Life, der Entsorgungsphase, ansteht und andererseits die Verwendung von Baustoffen, die aus der stofflichen Verwertung stammen, womit auch die Produktionsphase genannt ist (*Umweltschutzgesetz, USG*, 2024).
- Abs. 1c beschreibt ebenfalls das End-of-Life und damit die Entsorgungsphase und Abs. 1d beschreibt mit der Wiederverwendung die erneute Nutzungsphase(*Umweltschutzgesetz, USG*, 2024).

Art. 35j Abs. 2 ist sehr allgemein formuliert und daher auf alle Lebenszyklusphasen von Bauwerken anwendbar (*Umweltschutzgesetz, USG*, 2024). In den Erläuterungen zum Vorschlag wird die Reduktion der grauen Energie genannt, diese Reduktion kann auf dem gesamten Lebenszyklus der Bundesbauten erfolgen. Von der Lieferkette der Baustoffe im In- und Ausland und deren Handhabung, inklusive Abbau, Aufbereitung, Transport, Erstellung, Rückbau und Entsorgung. (“BBl 2023 13 - Parlamentarische Initiative. Schwe... | Fedlex,” 2022); (Das Schweizer Parlament - Umwelt, Raumplanung und Energie Kommission, n.d.),

4) Ebenen

In Art. 35j Abs. 1a-d, werden die Ebenen der Baustoffe, Bauelemente und -produkte und der Bauwerke betrachtet. Im Abs. 2 werden Bauwerke betrachtet. Wobei der Begriff «Bauwerke» eine grosszügige Definition erhält (siehe Systemgrenzen) (*Umweltschutzgesetz, USG*, 2024). In der Erläuterung zur Abs. 2 wird beschrieben, wie die Umsetzung des Gesetzes aussehen kann. Dabei wird beschrieben, dass das Gesetzt auch auf Baumaterial- und Bauteilebene angewendet werden kann. Durch die gesamte Lieferkettenbetrachtung im In- und Ausland wird bereits die Rohstoffebene berücksichtigt (“BBl 2023 13 - Parlamentarische Initiative. Schwe... | Fedlex,” 2022).

5) Systemgrenzen

Bauwerke wurden als Systemgrenze definiert. Unter den Begriff Bauwerke fallen alle Bauten, sowohl Hoch- als auch Tiefbau und Infrastruktur (Ver- und Entsorgungsleitungen und Verkehrswege) mit Ausnahme von Staudämmen und deren Baumaterialien, die verwendet werden, um das Bauwerk zu errichten (Das Schweizer Parlament - Umwelt, Raumplanung und Energie Kommission, n.d.) Es wurde auch die Sanierung von Bauwerken und die Herstellung der Baustoffe miteingeschlossen. (“BBl 2023 13 - Parlamentarische Initiative. Schwe... | Fedlex,” 2022), (Das Schweizer Parlament - Umwelt, Raumplanung und Energie Kommission, n.d.)

6) Messmethode

Das Umweltschutzgesetzt Art. 35j gibt keine Formel zur Berechnung und oder Bewertung der Kreislauffähigkeit von Bauwerken vor.

4.8 Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen

Im Laufe des Forschungsprojekts wurde im Mai 2024 von der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) ein Qualitätsstandard für einen baubezogenen Zirkularitätsindex herausgegeben (Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen – DGNB e.V., 2024). Aufgrund seiner Aktualität und Relevanz wurde der Qualitätsstandard enthaltene Zirkularitätsindex in den Analyseumfang aufgenommen.

Die Definition des Begriffs Zirkuläres Bauen gemäss DGNB lautet: «Im Sinne des zirkulären Bauens setzen sich die Akteurinnen und Akteure der Bau- und Immobilienwirtschaft mit dem Erhalt, der Aufwertung und der Aktivierung des Gebäudebestands auseinander und nehmen diesen als wertvolle Materialquelle und -lager wahr. Sie nutzen heute vorhandene Materialströme und geschaffene Werte intensiv. Darüber hinaus ermöglichen sie eine langfristige Nutzung und zukünftige Verwendung in geschlossenen Kreisläufen, so dass über den gesamten Lebenszyklus kein Abfall entsteht. Unter Berücksichtigung von ökologischen und gesundheitlichen Aspekten fördern sie somit den Erhalt oder eine Steigerung der Qualitäten und der ökonomischen Werte von Quartieren, Gebäuden, Bauprodukten und Materialien. Als Akteurinnen und Akteure einer zirkulären Gesellschaft leisten sie durch ihr zirkuläres Denken und Handeln wichtige und positive Beiträge zu diversen Nachhaltigkeitszielen. Sie agieren konsistent mit Naturkreisläufen und entkoppeln ihre wirtschaftliche Aktivität vom Konsum nicht erneuerbarer Ressourcen.» Die Entwicklung des DGNB ist bei seiner Definition und seinen Zielen abgestimmt auf die deutschen Normierungsroadmap für Circular Ecomomy. (DIN e.V. et al., 2023)

Obwohl im DGNB-Label in nahezu allen Kriterien R-Strategien zu finden sind, sieht der DGNB eine Notwendigkeit für einen Zirkularitätsindex (siehe Kapitel 5 R-Framework, Zirkularität und Ökobilanz in den Green-Building-Labels). Laut DGNB soll ein Zirkularitätsindex «primär die Erreichbarkeit von übergeordneten Zirkularitätszielen unterstützen. Der Qualitätsstandard soll sicherstellen, dass die Bewertung von Zirkularitätsquoten bei konkreten Bauvorhaben und im Zuge von Zertifizierungen oder als Element kommunaler oder übergeordneter Regelwerke als Rahmen für ein gemeinsames Verständnis dient und damit Transparenz schafft + Mehrwerte bietet + Glaubwürdigkeit erhält» (Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen – DGNB e.V., 2024). Neben ihrem Green-Building-Label sieht die DGNB zusätzlich zum Zirkularitätsindex einen Materialpass als erforderlich, um Zirkularität im Bauwesen umsetzen zu können.

Beim DGNB-Index ist es nicht entscheidend, ob gewisse Redundanzen zu anderen Bewertungen/Messungen vorkommen, wie z.B.: bei der Abfalldeklaration. Es wird eher als Vorteil betrachtet, da dies ohnehin aufgrund der gesetzlichen Bestimmungen aufgestellt werden muss und so keinen zusätzlichen Aufwand erfordert.

Der DGNB-Zirkularitäts-Index unterscheidet für die Bemessung zwei wesentliche Betrachtungszeiträume:

1. pre-use = umgesetzte Kreislauffähigkeit = Kreislaufführung und
2. post-use = potenzielle Kreislauffähigkeit = Kreislauffähigkeit.

1) Kreisläufe

Hier lehnt sich die DGNB an die Normierungsroadmap an, die folgende Kreisläufe benennt:(DIN e.V. et al., 2023, p. 154)

- Synthetischer Kreislauf
- Metallischer Kreislauf
- Technischer Kreislauf
- Mineralischer Kreislauf
- Biotischer Kreislauf

1) End-of-Use-Szenarien

Orientiert am R-Framework werden für ein Material, Bauteil oder Bauwerk Zirkularitätsklassen zugeordnet (Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen – DGNB e.V., 2024, p. 15).
Bei den Zirkularitätsklassen wird für das End-of-Use-Szenario einmal die Perspektive der Rohstoffherkunft (pre-use) und einmal die Perspektive des Rohstoffverbleibs (post-use) eingenommen. Durch die differenzierte Betrachtung können für dasselbe Material, Bauteil oder Bauwerk verschiedene, als Nachnutzungswege bezeichneten, End-of-Use-Szenarien zugeordnet werden.

MATERIAL-HERKUNFT (H)

BESTAND + NEUEINGEBRACHTES [MASSE-%]

Zirkularitätsklasse		Erläuterung	DGNB TEC1.6*	Bewertungs-faktor $f_{ZK(H)}$	Toleranz-bereich
sekundär	Wiederverwendet	(Reuse), Bestandssubstanz = 100%	ZE10 (1)	**1,00**	± 0,15
	Weiterverwendet	(Remanufacture/Repurpose)	ZE10 (1)	**1,00**	± 0,15
	Wiederverwertet	(Recycling) = post-consumer Rezyklatanteil, gleichbleibendes Qualitätsniveau, in geschl. Kreisläufen (Closed-Loop-Recycling)	ZE02 (1)	**0,75**	± 0,15
	(Weiter-)Verwertet	(Recycling) = post-consumer Rezyklatanteil, reduziertes Qualitätsniveau, in offenen Kreisläufen (Open-Loop-Recycling)	ZE02 (1)	**0,50**	± 0,15
primär	Primärrohstoff, erneuerbar	(Renewable) zertifiziert (hochwertig, mit Nachforstung) oder vergleichbar (z. B. schnell nachwachsend)**	ZE04 (1)	**0,75**	± 0,15
		(Renewable)	ZE04 (1)	**0,50**	± 0,15
	Zirkularitätsklassen oberhalb 0,50 sind für einen positiven Beitrag zur Kreislaufwirtschaft anzustreben				0,50
	Primärrohstoff, nicht erneuerbar	(Not renewable)		**0,00**	± 0,15

Tabelle 3: Klassifizierte Bewertungsfaktoren und Zirkularitätsklassen des Teilindikators Materialherkunft (H)

Abbildung 28: End-of-Use-Szenarien / Zirkularitätsklassen pre-use im DGNB-Index

MATERIAL-VERWERTUNG (Z)

BESTAND + NEUEINGEBRACHTES [MASSE-%]

Zirkularitätsklasse	Erläuterung	DGNB TEC1.6*	Einordnung: Entwurf Zirkularitäts-Index (BBSR) EoL-Klasse	Potenzial	Index	Bewertungsfaktor $f_{ZK(Z)}$**	Toleranzbereich
Wiederverwendung	inklusive Vorbereitung zur Wiederverwendung	ZE09(1) ***	A	WV	140	**1,00**	± 0,15
Werkstoffl. Qualitat. Wiederverwertung	hochwertig, inklusive Aufwertung, Closed-Loop-Recycling	ZE07(2)	B	CL	100	**0,80**	± 0,15
Stoffliche Verwertung	Recycling ohne Aufwand, Closed-Loop-Recycling mit Aufwand	ZE07(2)	C	RC*/CL (mit Aufwand)	80	0,70	± 0,15
	Recycling mit Aufbereitungsaufwand, Open-Loop-Recycling	ZE07(2)	D	RC (mit Aufwand)	60	**0,60**	± 0,15
	Zirkularitätsklassen oberhalb 0,50 sind für einen positiven Beitrag zur Kreislaufwirtschaft anzustreben						0,50
	Recycling mit minderer Qualität, sonstige stoffliche Verwertung	ZE07(2)	E	SV	20	0,40	± 0,15
Thermische Verwertung	erneuerbar/biogen zertifiziert und nachweislich schadstoffarm	ZE04(1)	E	EV+	20	0,40	± 0,15
	nicht erneuerbar/biogen, erneuerbar/biogen nicht zertifiziert	ZE04(1)	F	EV-	-20	**0,20**	± 0,15
	energetische Beseitigung		G	EB	-60	0,00	± 0,15
Verfüllung	von nicht gefährlichem Material		F	Dep+	-20	**0,20**	± 0,15
Deponierung	nicht gefährlicher Abfall (DK 0-II), inkl. Deponierung von Inertabfällen		F	Dep+	-20	**0,20**	± 0,15
Entsorgung	als gefährlicher Abfall (DK III-IV), Deponierung nach Aufbereitung	ZE01	G	Dep-	-60	**0,00**	± 0,15

Tabelle 9: Klassifizierte Bewertungsfaktoren und Zirkularitätsklassen des Teilindikators Materialverwertung (Z)

Abbildung 29: End-of-Use-Szenarien / Zirkularitätsklassen post-use im DGNB-Index

Kompostierung wird nicht als post-use End-of-Life Szenario betrachtet. Gründe hierfür werden nicht genannt. Vermutlich liegt dies jedoch daran, dass Kompostierung aktuell in der Praxis noch kein relevantes Szenario darstellt. Eine Zuordnung bei der stofflichen Verwertung ist jedoch denkbar.

2) Lebenszyklusphasen

Die 7 Teilindikatoren können unterschiedlichen Lebenszyklusphasen zugeordnet werden:

- Rohstoffbeschaffung: Materialherkunft
- Produktionsphase (Planung und Ausführung): Bau-/Abbruchabfälle
- End-of-Use: Demontagefähigkeit, Werkstoffliche Trennbarkeit, Materialverwertung(-spotenzial)
- Die Nutzungsphase wird dahin gehend beachtet, dass für die Wahl des Bewertungsrasters in eine langlebige und eine kurzlebige Nutzung differenziert wird.

3) Ebenen

Der DGNB-Zirkularitätsindex ist für die Ebene eines Gebäudes konzipiert.

4) Systemgrenzen

Der Zirkularitätsindex ist bisher nur für die beiden Anwendungsfälle Neubau kurzlebig und Neubau langlebig aufgebaut worden. Die Anwendungsfälle Bestand, Sanierung langlebig und

Sanierung kurzlebig sind bereits angedacht, jedoch noch nicht miterfasst. Ursächlich hierfür ist, dass für die 7 Teilindikatoren Gewichtungsfaktoren bestimmt wurden, die das Gesamtergebnis des Zirkularitätsindex beeinflussen und diese Gewichtung für Bestand und Sanierungen noch nicht bestimmt wurden.

5) Messmethode

Der DGNB-Zirkularitätsindex wird aus 7 Teilindikatoren gebildet:

- Materialherkunft
- Bau- und Abbruchabfälle
- Schadstoffbelastung
- Materialverträglichkeit
- Demontagefähigkeit
- Werkstoffliche Trennbarkeit
- Materialverwertung

Alle Teilindikatoren, ausser Schadstoffbelastung und Materialverträglichkeit sind massebezogen und bewerten auf der Basis die Zirkularität in einem Bereich von 0 (geringe Zirkularität) bis 1 (hohe Zirkularität). Die jeweiligen Ergebnisse der Teilindikatoren werden untereinander gewichtet und hieraus der Zirkularitätsindex, der insgesamt zwischen 0 und 1 liegt gebildet siehe Abbildung 29 Grafische Darstellung des DGNB zur Berechnungsformel des Zirkularitätsindex (Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen – DGNB e.V., 2024, p. 13).

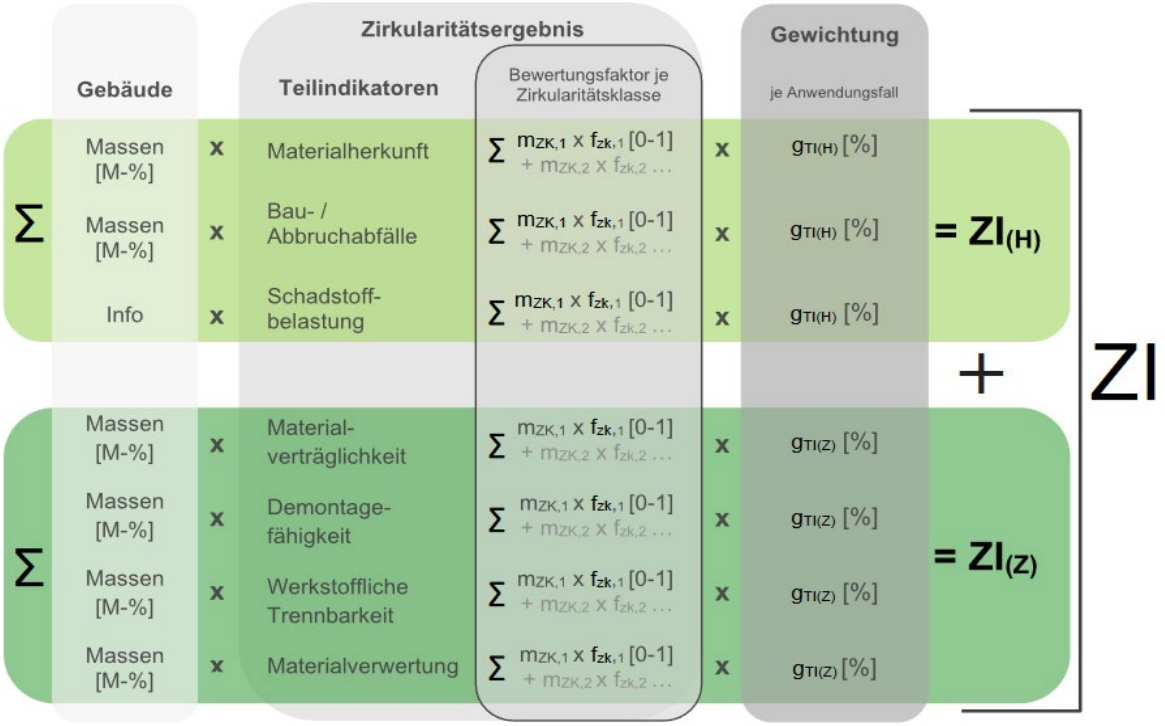


Abbildung 30: Grafische Darstellung des DGNB zur Berechnungsformel des Zirkularitätsindex

4.8 Bewertung Leitfaden 1.0 Zirkularität messbar machen - Ein Schweizer Zirkularitäts-Indikator

Der veröffentlichte Leitfaden zum Zirkularitätsindikator 1.0 des Vereins Madaster Schweiz wurde analog der Analyse bestehender Methoden, Konzepte, Indizes analysiert.

1) Kreisläufe

Im Leitfaden werden keine expliziten Kreisläufe genannt, auf die Bezug genommen wird. Da sich jedoch auf Produkte gestützt wird, ist davon auszugehen, dass die Kreisläufe jeglicher biologischer, abiotisch fossiler und mineralischer Stoffe betrachtet werden können. Der Wasserkreislauf und der Energiekreislauf werden entsprechend nicht betrachtet.

2) End-of-Use-Szenarien

Im Leitfaden werden die End-of-Use-Szenarien Recycling (Weiterverwertung) und Reuse (Wiederverwendung) in der Berechnungsformel eingesetzt. Der Begriffsdefinition im vorliegenden Bericht würden diese beiden Szenarien der Kategorie End-of-Use zugeordnet werden.

3) Lebenszyklusphasen

Als Lebenszyklusphasen werden die Bauphase, die Nutzungsphase und die End-of-Life-Phase genannt. Wie bereits bei den Szenarien beschrieben, handelt es sich bei der End-of-Life-Phase um End-of-Use. Die Rohstoffbeschaffungsphase wird in der Bauphase bei der Bewertung von recycelten Materialien, nachwachsenden Rohstoffen und wiederverwendeten Produkten berücksichtigt. Die Transportphase wird nicht explizit genannt.

4) Ebenen

Der Leitfaden basiert auf der Formel der Ellen MacArthur Foundation. Im Leitfaden wird beschrieben, dass dort von Produkten ausgegangen wird und dies der Ebene der Baustoffe und Bauprodukte entspricht. Ferner wird angegeben, dass der Leitfaden, bzw. das Messverfahren auch auf ganze Bauteile oder Bauwerke angewendet werden kann (Verein Madaster Schweiz, 2023, p. 4).

5) Systemgrenzen

Als Kriterium für das Setzen der Systemgrenze ist angeführt, dass die Werte der Recyclingeffizienz und der Lebensdauer helvetischen Grundlagendaten entnommen sind und daher die Messung auf Bauwerke und Bauprodukte, Bauteile in der Schweiz anwendbar ist.

6) Messmethode

Die einzige Berechnung, die Bestandteil des ZI ist, kann Abbildung 30 Berechnungsformel des veröffentlichten Leitfadens V 1.0 entnommen werden. Als vollständig linear wird ein Gebäude definiert, wenn es einen Wert zwischen 0-10% erreicht. Ein vollständig zirkuläres Gebäude liegt vor, wenn für den gesamten Lebenszyklus ein Wert von 100% erreicht wird. Der Gesamte Lebenszyklus umfasst die Bauphase, Nutzungsphase und End-of-Life-Phase. Eine rechnerische Formel zur Verknüpfung dieser drei Teil-Ergebnisse ist nicht Bestandteil des Leitfadens. Entsprechend ist

derzeit unklar, wie ein Wert zwischen 0-100% gebildet werden kann. Für die Nutzungsphase kann der Wert auch über 100% liegen, hier ist nun unklar, ob dies zur Kompensation von geringeren Werten in der Bauphase oder End-of-Life-Phase genutzt werden kann.

Für die Effizienz des Recyclingprozesses und den Anteil der recyclebaren Materialien ist im Leitfaden eine Tabelle enthalten, wo diese Werte entnommen werden können. Im Leitfaden ist beschrieben, dass als Grundlage der Tabelle die KBOB- und EPEA-Datenbanken genutzt wurden. Weitere Informationen zur Quelle werden nicht angegeben. Hinsichtlich der Wiederverwendung wird kein Wert für die Wiederverwendungseffizienz hinterlegt. Entsprechend wird nicht bewertet, ob durch ein Design-for-Disassembly die Komponenten, wirklich wiederverwendet werden können. Bei einer nicht zerstörungsfrei lösbaren Fügung kann eine Komponente – selbst wenn diese selbst 100% Wiederverwendbar wäre – nach der Nutzung nicht oder nur eingeschränkt wiederverwendet werden.

Die Berechnungsformel ist daher in ihrer aktuellen Fassung unter anderem aufgrund der dargelegten Fragestellungen noch unklar.

Bauphase (inflow)

$$CI_{Construction} = F_R + F_{RR} + F_U$$

F_R	Anteil an recycelten Materialien (in % der Produktmasse)
F_{RR}	Anteil nachwachsender Rohstoffe (in % der Produktmasse)
F_U	Anteil wiederverwendeter Produkte und/oder Komponenten (in % der Produktmasse)

Nutzungsphase (use)

$$CI_{Use} = \frac{L}{L_{av}}$$

L	Lebensdauer des Produkts
L_{av}	Lebensdauer eines branchenüblichen Produkts

End-of-Life-Phase (outflow)

$$CI_{End\text{-}of\text{-}Life} = C_R \cdot E_C + C_U$$

C_R	Anteil der Materialien, die am Ende ihrer Nutzungsdauer recycelt werden können (in % der Produktmasse)
E_C	Effizienz des Recyclingprozesses in der End-of-Life-Phase (%)
C_U	Anteil der Komponenten und/oder Produkte, die am Ende ihrer Nutzung wiederverwendet werden können

Abbildung 31: Berechnungsformel des veröffentlichten Leitfadens V 1.0

5 R-Framework und Ökobilanz in den Green-Building-Labels

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden drei in der Schweiz und in Deutschland anerkannte Green-Building-Labels inhaltlich analysiert, um festzustellen, inwiefern sie die Zirkularität in der Gebäudeerstellung beurteilen. Es wurden die Bewertungskriterien des "Standard Nachhaltiges Bauen Schweiz - Hochbau" (SNBS, 2023), "Minergie ECO" (Minergie, 2024) sowie von der "Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen» (DGNB) deren «Kriterienkatalog Gebäude Neubau» (DGNB, 2023) einer detaillierten Analyse unterzogen.

Die Analyse wurde unter Zuhilfenahme des R-Frameworks durchgeführt und fokussierte sich auf den Materialkreislauf, insbesondere auf die im Bauwerk verwendeten Ressourcen. Eine Zuweisung von CO2-Emissionen gemäss R-Framework wurde nicht vorgenommen, da eine Bewertung dieser Emissionen im Rahmen der Ökobilanzierung erfolgt. Dieselbe Vorgehensweise wurde für den Energiekreislauf gewählt, welcher ebenfalls der Ökobilanzierung zugeordnet wurde. Eine Betrachtung des Wasserkreislaufs erfolgte nicht. Die Systemgrenze der Analyse umfasste das Gebäude, die Baustelle, die verwendeten Baumaterialien sowie den Garten. Im Rahmen der Ökobilanzierung wurden die CO2-Emissionen sowie die Primärenergie, nicht erneuerbar, ebenfalls innerhalb der zuvor definierten Systemgrenze berücksichtigt.

Es wurden die einzelnen Label anhand eines systematischen Vorgehens hinsichtlich der in den jeweiligen Kriterien enthaltenen Ansätze zu den 10-R's sowie der Ökobilanzierung analysiert. Zur übersichtlichen Darstellung der Ergebnisse wurde eine tabellarische Zusammenfassung erstellt.

SNBS

SNBS Kriterien	Nummer	2	1	3	2	2	4	1	1	2	1	7
		Refuse	Rethink	Reduce	Reuse	Repair	Refurbish	Remanufacture	Repurpose	Recycle	Recover	Ökobilanzierung
Räume sozialer Interaktion	131								x			
Raumluftqualität	141					x						
Schadstoffe und Strahlung	142	x										
Mikroklima	143	x										
Bewirtschaftungsgerechte Planung und Realisierung	212			x								
Wiederverwendung und Systemtrennung	213				x	x	x	x				
Nutzungsdichte	222			x								x
Nutzungsflexibilität und -variabilität	223		x									
Treibhausgasemissionen Erstellung	311						x					x
Treibhausgasemissionen Betrieb	312											x
Treibhausgasemissionen Mobilität	313											x
Energiebedarf Erstellung	321						x					x
Energiebedarf Betrieb	322											x
Baustelle	331			x	x					x	x	
Ökologische Baustoffe	332									x		
Energiemonitoring	334											x
Haushälterische Bodennutzung	343						x					
									Total der Angewendeten R's			
									19			

Die R-Strategien waren im Label SNBS – Hochbau gleichmässig verteilt und wurden über den gesamten Kriterienkatalog hinweg insgesamt 19-mal angewendet. Die Thematik der Ökobilanzierung wurde siebenmal in Kombination mit entweder der Reduktion von CO_2-Emissionen oder der Reduktion von Primärenergie erwähnt. Es lässt sich eine Zunahme der Thematisierung von lebensverlängernden Massnahmen im Kriterienkatalog beobachten. Dies wird ersichtlich anhand der Praktiken von Re-Use bis hin zu Repurpose (R3-R7). Die Strategie Refurbish (R5), wurde im SNBS-Kriterienkatalog als diejenige identifiziert, die die meisten Nennungen aufweist. Das Kapitel mit der höchsten Anzahl an R-Strategien ist "Wiederverwendung und Systemtrennung" mit vier R-Strategien. In diesem Kontext wird eine positive Bewertung hinsichtlich der Wiederverwendung, Reparatur, Sanierung und Wiederaufbereitung vorgenommen. Die vier Strategien lassen sich allesamt dem mittleren Drittel des R-Frameworks, "Expand lifespan of product and its parts", zuordnen. In Bezug auf die 19 identifizierten R-Strategien im Kontext des SNBS-Labels lässt sich festhalten, dass das obere Drittel des R-Frameworks (R0-R5) abgedeckt ist und somit eine zirkuläre Richtung impliziert.

Minergie ECO

Minergie Kriterien	Nummer	Refuse	Rethink	Reduce	Reuse	Repair	Refurbish	Remanufacture	Repurpose	Recycle	Recover	Ökobilanzierung
		13	0		4	1	1	0	2	5	2	4
Ermittlung Gebäudeschadstoffe (A)	120-01										x	
Formaldehyd: Emissionen aus Baumaterialien (A)	120-02	x										
Lösemittel: Emissionen aus Baumaterialien (A)	120-04	x										
Dämmstoffe ohne gesundheits- und umweltrelevante Bestandteile	120-06	x										
PVC- Bauprodukte ohne gesundheits- und umweltrelevante Bestandteile	120-07	x										
Halogenfreie Installationsmaterialien	120-09	x										
Graue Energie Erstellung (A)	210-01											x
Treibhausgasemissionene Erstellung (A)	210-02											x
Ökologischer Restwert rückzubauender Bestandsbauten (Neubau)	210-03											x
Zementarten für normal beanspruchte Betone	210-04											x
Nachweis für Holz und Holzprodukte europäischer Herkunft	210-06	x										
Erweiterungsmöglichkeiten	220-01								x			
Nutzungsflexibilität	220-02								x			
Zugänglichkeit von gebäudetechnischen Installationen, Maschienen und Grossgeräten	220-03				x	x	x					
Zirkularität	220-04				x					x		
Montage- und Abdichtungsarbeiten (A)	220-05	x										
Rückbaufähigkeit	220-06				x							
Schwer trennbare Kunststoffbeläge und -abdichtungen	220-07	x										
Organische-mineralische Verbundsmaterialien	220-08	x									x	
Recyclingbeton: Mindestanforderung (Erneuerung) (A)	220-09									x		
Recyclingbeton: Konstrukitonsbeton mit erhöhtem Gehalt an RC-Material	220-10									x		
Recyclingbeton: Füll-, Hüll- und Unterlagsboden mit erhöhtem Gehalt an RC-Material	220-11									x		
Recyclingbeton: Mindestanforderung (Erneuerung)	220-50									x		
Umgebungsgestaltung	230-01	x										
Schwermetallhaltige bewitterte Bauteile: Bedachungs-, Fassaden- und Abschlussmaterialien (A)	230-04	x										
Schwermetallhaltige bewitterte Bauteile: Ausserhalb der Gebäudehülle	230-05	x										
Biozidfreie Gebäudehülle	230-06	x										
										Total der Angewendeten R's		
										27		

Im Label «Minergie ECO» liegt grosse Aufmerksamkeit auf dem Vermeiden von Bauteilen und Materialien. Entsprechend wurde die Strategie Refuse (R0) in 13 Kriterien gefunden. Dies geschieht vor allem im Hinblick auf das Vermeiden von Schadstoffen in Bauteilen, die negative Auswirkungen auf den Menschen haben können. Lebenszyklusverlängernde Massnahmen werden wenige genannt. Die End-of-Use Massnahmen werden hingegen wieder mehr beleuchtet. Besonders Recycling (R8), da bei Minergie ECO der Einsatz von Recyclertem Beton ein wichtiges Kriterium ist. Die Ökobilanzierung wird im Kriterienkatalog vier Mal genannt. Im Kriterium «Zugänglichkeit von gebäudetechnischen Installationen, Maschinen und Grossgeräten» werden drei R-Strategien genannt. Dies lässt darauf schliessen, dass bei der Gebäudetechnik die Wiederverwendung, Reparieren und Sanierung ein wichtiger Bestandteil des Konzepts ist. Insgesamt liegt der Schwerpunkt des Minergie ECO Labels auf der Vermeidung von Baustoffen, wodurch es die Zirkularität im Bezug auf das R-Framework gut abdeckt, da 13 der 27 gefundenen R-Strategien Refuse (R0) abbilden.

DGNB

DGNB Kriterium	Nummer	Refuse	Rethink	Reduce	Reuse	Repair	Refurbish	Remanufacture	Repurpose	Recycle	Recover	Ökobilanzierung
		4	0	3	6	3	1	0	4	5	1	10
Klimaschutz und Energie	ENV1.1			x	x							x
Risiken für die lokale Umwelt	ENV1.2	x		x								
Verantwortungsvolle Ressourcengewinnung	ENV1.3									x		
Flächeninanspruchnahme	ENV2.3											
Biodiversität am Standort	ENV2.4	x										
Gebäudebezogene Kosten im Lebenszyklus	ECO1.1				x							
Wertstabilität und Anpassungsfähigkeit	ECO2.4			x	x				x			
Dokumentation	ECO2.7				x	x			x	x		x
Thermischer Komfort	SOC1.1								x			
Aufenthaltsqualitäten Innen und Aussen	SOC1.6											x
Qualität der Gebäudehülle	TEC1.3				x	x						x
Einsatz und Integration von Gebäudetechnik	TEC1.4					x	x					x
Zirkuläres Bauen	TEC1.6	x		x	x				x	x	x	x
Qualität der Projektverbereitung	PRO1.1											x
Sicherung der Nachhaltigkeitsaspekten in Ausschreibung und Vergabe	PRO1.4									x		x
Baustelle/ Bauprozess	PRO2.1	x								x		x
Geordnete Inbetriebnahme	PRO2.3											x
										Total Angewendete R's		
										27		

Eine Analyse des DGNB-Labels zeigt, dass dort die meisten R-Strategien zu finden sind. In Bezug auf das DGNB-Label ist eine hohe Frequenz der Erwähnung des Kriteriums Reuse (R3), welches die Wiederverwendung von Bauteilen thematisiert, festzustellen. Dies erfolgt insbesondere im Kontext der Errichtung neuer Bauwerke. Aspekte der Wiederverwendbarkeit werden dabei positiv bewertet. Die zweithäufigste Nennung innerhalb der R-Strategien ist mit fünf Nennungen das Recycling (R8). Das Kapitel "Zirkuläres Bauen" umfasst sechs R-Strategien und deckt somit den R-Framework umfassend ab. In Bezug auf die Einordnung der Strategien in die drei Drittel lässt sich festhalten, dass im oberen Drittel "Smarter product use and manufacture" zwei Strategien (Refuse R0 und Reduce R2) zu finden ist, im mittleren Drittel "Extend lifespan of products and its parts" zwei Strategien

(Reuse R3 und Repurpose R7), und im letzten Drittel "Useful application of materials" zwei Strategien (Recylce R8 und Recover R9). Es werden sowohl der zirkuläre Kreislauf als auch der lineare Kreislauf als positiv bewertet. Die Ökobilanzierung ist, losgelöst von der Zirkularitätsbetrachtung, das Thema, das im Kriterienkatalog die meisten Nennungen aufweist. Die Reduktion der CO2-Emissionen und des Primärenergieverbrauchs spielen eine entscheidende Rolle, um nachhaltiges Bauen zu fördern. Insgesamt sind im Kriterienkatalog der DGNB aus den 27 gefundenen R-Strategien der schwerpunkt in der oberen «zirkulären» Hälfte des R-Frameworks anzusiedeln (R0-R4), die Zirkularität wird in diesem Label nicht schlecht abgedeckt.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Green-Building-Labels SNBS, Minergie ECO und DGNB Aspekte des R-Frameworks und der Ökobilanz berücksichtigen.

Im Kriterienkatalog SNBS gibt es insgesamt 35 Kriterien, die das Bauwerk bewerten. In diesen Kriterien sind 19-mal R-Strategien enthalten und 7 Ökobilanzierungsaspekte.

Im Vorgabenkatalog für Minergie ECO sind es insgesamt 59 Kriterien, die das Bauwerk bewerten. In diesen Kriterien sind 28-mal R-Strategien enthalten und 4 Ökobilanzierungsaspekte.

Im Kriterienkatalog des DNGB sind 28 Kriterien enthalten, die das Bauwerk bewerten. In diesen Kriterien sind 27-mal R-Strategien enthalten und 10 Ökobilanzierungsaspekte.

Insgesamt konnte bei dieser Untersuchung festgestellt werden, dass alle Labels unterschiedliche R-Strategien von Zirkularität beinhalten, jedoch ein Zirkularitätswert nicht entnommen werden kann. Die Labels ermöglichen in ihren Kriterien festzuhalten, dass Zirkularitätsprinzipien in einem Projekt angewendet wurden. Sie bieten jedoch keine Plattform für die Eigenschaften der verwendeten Materialien, Bauteile oder Produkte. Daher können die Bewertungen in den Labels nicht als Bestandteil eines zirkulären Gesamtsystems dienen.

6 Fazit

6.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Mit der vorliegenden Studie wird die Frage beantwortet, warum Zirkularität in der Baubranche mittels eines Zirkularitätsindex überhaupt gemessen und bewertet werden sollte und welche Ziele mit einer solchen Messung und Bewertung erreicht werden sollen. Kernaussagen hierzu können aus der Stakeholderanalyse und der Analyse das Umweltschutzgesetz Artikel 35j entnommen werden, deren Kernpunkte hier kurz zusammengefasst sind.

Als erstes liefern die Ergebnisse der Stakeholderanalyse eine Antwort auf die Ziele der Messung von Zirkularität. Betrachten wir die Gründe, bei denen über 50% der Teilnehmenden der Umfrage, eine hohe oder sehr hohe Motivation für die Verwendung eines Zirkularitätsindex aufweisen, erhalten wir folgendes Bild:

- Ressourcen schonen (89%)
- den Klimawandel bekämpfen (88%)
- Innovationen (78%)
- Technische Kompetenz (69%)
- attraktiv für Fachkräfte (56%)
- Neue Geschäftsmodelle aufbauen/umsetzen (56%)

Die Ergebnisse zeigen zwei Seiten: Einerseits Ressourcen- und Klimaschutzziele und andererseits wirtschaftliche Ziele.

Der Schutz von Ressourcen und der Kampf gegen den Klimawandel stehen an oberster Stelle. Dies legt das Bewusstsein für die Begrenztheit der Erdkruste und somit für den für Menschen nutzbaren und bewohnbaren Raum offen. Das betrifft nicht nur den Abbau von Rohstoffen, sondern auch die Entsorgung von Materialien. Ein weiterer Aspekt der Ressourcenschonung ist der Umgang mit Wasser und die Eingriffe in den Wasserkreislauf.

Gleichzeitig wird die Bedeutung von Klimaschutzmassnahmen hervorgehoben, insbesondere die Notwendigkeit einer umweltfreundlichen Energieerzeugung. Im Mittelpunkt steht dabei der Erhalt eines für Menschen gesunden Klimas und die damit einhergehende mögliche Landnutzung.

Die Endlichkeit der Erdkruste zeigt sich besonders deutlich in Flächenkonflikten. Diese Konflikte betreffen nicht nur dicht besiedelte städtische Gebiete, sondern auch ländliche Regionen. Hier stehen landwirtschaftliche Nutzflächen, Wälder (hohe Klimarelevanz) und Erholungsgebiete in Konkurrenz mit Deponien, Abbauflächen für Mineralien und Metalle sowie Naturschutz- und Freizeiträumen.

Hinsichtlich der wirtschaftlichen Ziele spielt Innovation eine zentrale Rolle. Dies gilt insbesondere, wenn die Ergebnisse und Erkenntnisse eines Zirkularitätsindex aktiv in das wirtschaftliche Ökosystem einfliessen können. Dadurch entstehen neue wirtschaftliche Chancen, insbesondere in der Circular Economy, die langfristig die lineare Wirtschaftsweise ablöst. Entscheidend ist dabei, dass Innovation nur dann als solche gilt, wenn jemand bereit ist, für deren Umsetzung oder Nutzen zu zahlen – andernfalls bleibt es bei einer blossen Idee.

Ein Zirkularitätsindex schafft die Grundlage für fundierte Entscheidungen, indem er die Messbarkeit von Varianten ermöglicht und so Vergleiche unterstützt. Diese Messbarkeit fördert nicht nur die Entwicklung von Innovationen, sondern auch deren Einordnung und Bewertung. So können Potenziale klar aufgezeigt und technische Kompetenz aufgebaut werden. Diese Kompetenz stärkt Unternehmen dabei, sich als Marktführer zu etablieren, Fortschritte voranzutreiben und ihre Wettbewerbsfähigkeit zu sichern. Letztlich ist es der Fortschritt, der Unternehmen befähigt, sich auch durch neue Geschäftsmodelle erfolgreich am Markt zu behaupten und attraktiv für Fachkräfte zu sein.

Ziele resultierend aus dem Schweizerischen Umweltschutzgesetz:

Laut dem Schweizerischen Umweltschutzgesetz soll der Bund eine Vorbildrolle bei der Planung, Errichtung, dem Betrieb, der Erneuerung und dem Rückbau von Bauwerken einnehmen. Um diese Rolle auszufüllen, sind messbare Ergebnisse notwendig. Aktuelle Messmethoden reichen jedoch nicht aus, um ressourcenschonendes Bauen umfassend darzustellen. Daher besteht ein dringender Bedarf an einer anerkannten und geeigneten Methode.

Der Bund verfolgt mit Artikel 35j des Umweltschutzgesetzes dieselben Ziele wie die Agenda 2030 der Vereinten Nationen. Zirkularität leistet dabei einen wichtigen Beitrag zur Erreichung der globalen Ziele für nachhaltige Entwicklung, insbesondere:

- Ziel 8: Menschenwürdige Arbeit und Wirtschaftswachstum,
- Ziel 9: Industrie, Innovation und Infrastruktur,
- Ziel 11: Nachhaltige Städte und Gebäude,
- Ziel 12: Nachhaltiger Konsum und nachhaltige Produktion,
- Ziel 13: Massnahmen zum Klimaschutz

Durch die Förderung der Zirkularität stärkt der Bund nicht nur den Wirtschaftsstandort Schweiz, sondern trägt auch zur Erfüllung internationaler Abkommen bei. Dies unterstreicht die Bedeutung einer messbar zirkulären Bauwirtschaft als Beitrag zu den globalen Klimaschutz- und Nachhaltigkeitszielen.

6.2 Auslegeordnung

Um ein geeignetes Messverfahren zu bestimmen wurden 8 Methoden/Konzepte/Indizes ausgewertet. Basierend auf den Analyseergebnissen können folgende Inhalte und Aspekte (Abbildung 32: Übersicht über die Inhalte und Aspekte eines Zirkularitätsindex) und folgende Mess- und Bewertungskonzept (Abbildung 33: Übersicht der Auslegeordnung zum Mess- und Bewertungssystem) bei einem Zirkularitätsindex als sinnvoll bewertet werden:

Inhalte und Aspekte:

1) **Kreisläufe**
   In die Bewertung sollten die Kreisläufe aller Ressourcen betrachtet werden:
   - Biogene nachwachsende Rohstoffe,
   - Abiotische fossile Stoffe,
   - Abiotische mineralische Stoffe und
   - Abiotische metallische Stoffe.

   Zusätzlich sollte Wasserkreislauf und Energetischer Kreislauf berücksichtigt werden. Wichtig ist beim energetischen Kreislauf die Schnittstelle zur Ökobilanz zu berücksichtigen.

2) **End-of-Use**
   Insgesamt sollten jegliche End-of-Use-Szenarien, die das R-Framework bietet, berücksichtigt werden können. Ebenfalls sollten, die im R-Framework genannten End-of-Life Szenarien inkl. Verbrennung mit und ohne Energetischer Verwertung und Kompostierung gem. Cradle-to-Cradle berücksichtigt werden. Auch Deponierung sollte insbesondere mit Blick auf Schadstoffe und deren Unschädlichmachung berücksichtigt werden.

3) Lebenszyklusphasen
Die Lebenszyklusphasen sollten von der Rohstoffbeschaffung über alle Herstellungs-, Transport- und Nutzungsphasen bis zum End-of-Life umfassen. Hierdurch sollte über den aktuellen Nutzungszyklus hinaus bewertet werden.

4) Ebenen
Hierbei sollten alle Ebenen vom Rohstoff über Bauelement, Bauteil bis zum Bauwerk betrachtet werden. Wesentlich ist bei der Betrachtung der Ebenen, dass keine doppelte Betrachtung innerhalb einer Zirkularitätsbewertung stattfindet. Der Begriff des Bauwerks sollte hierbei möglichst weit gefasst werden, um Ingenieurbauwerke ebenso wie Landschaftsarchitektonische Bauwerke einzuschliessen.

5) Systemgrenzen
Die Systemgrenzen sollten so gezogen werden, dass zeitlich von der Rohstoffbeschaffung, unabhängig ob primärmaterial oder Sekundärmaterial genutzt wird, begonnen wird und dies dann den aktuellen Nutzungszyklus und für nachfolgende Nutzungszyklen bis zum End-of-Life umfasst. Hierbei soll auch die Dauer des Nutzungszyklus und seine Verlängerung eine Rolle spielen, um das Gesamtsystem des Zirkulären Ökosystems zu berücksichtigen.
Räumlich sollte die Systemgrenze so gezogen werden, dass ein logischer Gesamtkontext betrachtet wird. In einem Bauwerk lediglich ein Bauteil zu betrachten kann nur dann zielführend sein, wenn es vollständig autark funktionieren kann und für das Bauwerk und das Bauteil zerstörungsfrei gelöst werden kann.
Ausserdem sollten neben zeitlichen und räumlichen Systemgrenzen auch soziale und ökonomische Systemgrenzen analog der ISO 59020 gezogen werden. Hierbei sind Gesundheit und Lebensqualität für die soziale und sozioökonomische Faktoren wie Arbeitsplätze durch Kreislaufwirtschaft und ökonomische wie Wertsteigerungen innerhalb der Systemgrenze zu erfassen.
Weiter sollte innerhalb der Systemgrenze die Energie umfasst sein, die notwendig ist, um den Kreislauf in Bewegung zu halten, bzw. einen neuen Nutzungszyklus zu ermöglichen.

Abbildung 32: Übersicht über die Inhalte und Aspekte eines Zirkularitätsindex

Messmethode:

Als wesentlich ist zuerst festzuhalten, dass das Ergebnis der Messung von Zirkularität grundsätzlich kein Selbstzweck sein darf, sondern das Wirtschaften in einer Circular Economy ermöglichen soll. Denn, würde das Messen ein Selbstzweck sein, so wäre das Messen Bestandteil einer Linear Economy. Hätte das Ergebnis nämlich keinen Nachnutzungswert, so würde am Ende der Nutzung kein weiterer Nutzungszyklus der Daten und Informationen erfolgen und die Daten und Informationen nur noch für das End-of-Life-Szenarien wie Löschen (digitale Daten) oder Deponie oder Verbrennung mit/ohne Energiegewinnung (analoge Daten) in Frage kommen.

Die Messmethode sollte daher neben der quantitativen Bewertung von pre-use Sekundärmaterial und post-use Sekundärmaterialpotenzial in Masse-% des Ressourcenflusses auch eine qualitative Bewertung der Fähigkeit ein Bestandteil der Circular Economy zu sein beinhalten.

Hierzu gehört, dass neben der Bewertung der verbauten Masse-% auch «Nicht-Bauen» berücksichtigt und bewertet werden soll. Dies würde auch den R-Strategien Refuse und Rethink gerecht. Wie diese Bewertung genau erfolgen sollte, ist noch zu klären. Ein guter Ansatz lässt sich in der ökonomischen Bewertung gem. ISO 59020 finden, die den ökonomischen Mehrwert nach dem Projekt unabhängig von verbauter Masse beurteilt.

Bei dem Kriterium ein Bestandteil der Circular Economy zu sein, ist erforderlich zu bewerten bzw. festzulegen in welcher Form Daten und Informationen über Bauwerke und seine Bauteile erhoben und festgeschrieben werden sollen. So liegen in nachfolgenden Nutzungszyklen die Daten in einer brauchbaren Form vor und ermöglichen den nächsten Nutzungszyklus.

Entsprechend der Systemgrenzen ist eine soziale und ökonomische Bewertung erforderlich. Dies kann durch eine Verlängerung der durchschnittlichen Nutzungsdauer gemessen werden und integriert so die R-Strategien Refurbish und Repair,

Insgesamt bleibt festzuhalten, dass die Messmethode alle R-Strategien und die Prinzipien der Circular Ecosystem Innovation berücksichtigen soll.

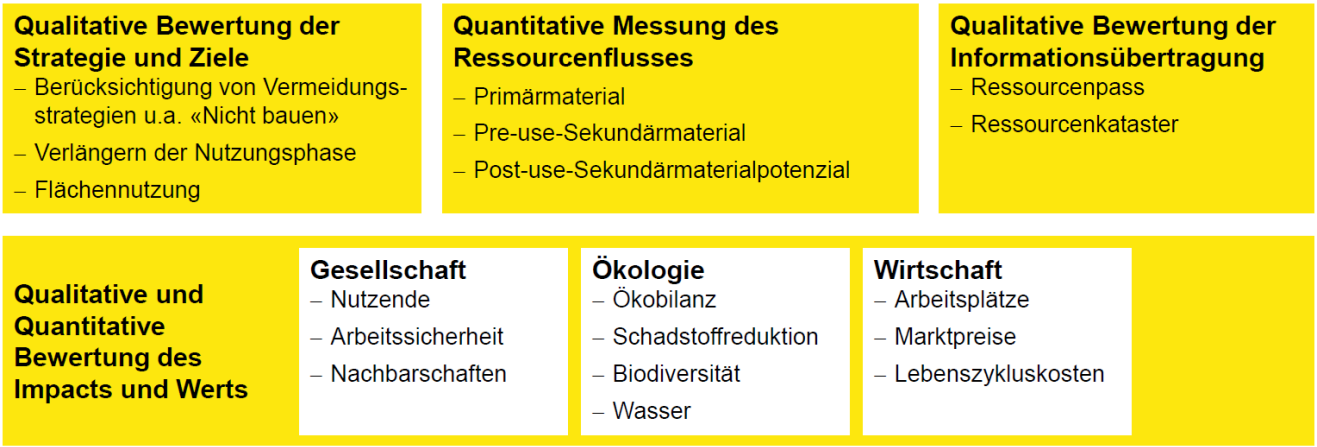


Abbildung 33: Übersicht der Auslegeordnung eines Mess- und Bewertungssystems

6.3 Ausblick für ein weiteres Vorgehen

Basierend auf den Erkenntnissen empfehlen wir einen Zirkularitätsindex, der eine Zirkularitätsmessung und -bewertung umfasst, für die Schweizer Bauwirtschaft aufzubauen und so eine Swiss Circular Construction Economy (Schweizerische Zirkuläre Bauwirtschaft) zu fördern.

Für die Entwicklung eines Zirkularitätsindex sind verschiedene Fragestellungen und Themen zu klären. Dies beinhaltet unter anderem:

- Klärung wie Zirkularität in der Schweiz quantitativ gemessen und qualitativ bewertet werden kann.
- Klärung der erforderlichen Datenaufbereitung (Zirkularitätsdaten im Sinne der Circular Ecosystem Innovation) zur Weitergabe, um weitere Nutzungszyklen zu ermöglichen (evtl. Integration in einen Materialpass).
- Klärung der Hoheit zur Datenaufbewahrung (evtl. Materialkataster, Staatsarchiv).
- Klärung der Anforderungen an eine neutrale, öffentliche Stelle für die Betreuung des Mess- und Bewertungsverfahrens zur Sicherung der Qualität des Zirkularitätsindex.
- Klärung der nationalen Anschlussfähigkeit an Ökobilanz und Labels SNBS und Minergie.
- Klärung der internationale Anschlussfähigkeit an ISO 59000-Reihe und DGNB.

Unsere aktuellen Empfehlungen für ein Mess- und Bewertungskonzept für Zirkuläres Bauen lauten:

- Für das Mess- und Bewertungsverfahren auf ISO 59020 stützen und hierbei die Erkenntnisse des DGNB nutzen, die Zirkularität bereits auf die Bauwerksebene adaptiert haben.
- Die Bewertung der sozialen Aspekte und Wirtschaftlichkeit nach ISO 59020 integrieren.
- Betrachtung der gesamten Lebensdauer nicht nur des nächsten Nutzungszyklus.

7 Literaturverzeichnis

20.433 | Schweizer Kreislaufwirtschaft stärken | Geschäft | Das Schweizer Parlament [WWW Document], 2020. URL https://www.parlament.ch/de/ratsbetrieb/suche-curia-vista/geschaeft?AffairId=20200433 (accessed 11.21.24).

BBl 2023 13 - Parlamentarische Initiative. Schwe... | Fedlex [WWW Document], 2022. URL https://www.fedlex.admin.ch/eli/fga/2023/13/de (accessed 11.21.24).

Benachio, G.L.F., Freitas, M.D.C.D., Tavares, S.F., 2020. Circular economy in the construction industry: A systematic literature review. Journal of Cleaner Production 260, 121046. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121046

Braungart, M., McDonough, W., Bollinger, A., 2007. Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions – a strategy for eco-effective product and system design. Journal of Cleaner Production 15, 1337–1348. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.08.003

Braungart, Michael, 2022. Cradle to Cradle. Michael Braungart. URL https://michaelbraungart.com/cradle-to-cradle/ (accessed 12.20.23).

Budensamt für Umwelt, 2022. Parlamentarische Initiative «Schweizer Kreislaufwirtschaft stärken».

Bundesamt für Statistik, 2024. Beschäftigte nach Vollzeitäquivalente und Wirtschaftsabteilungen - 1.7.1991-31.12.2023 | Tabelle [WWW Document]. Bundesamt für Statistik. URL https://www.bfs.admin.ch/asset/de/30405162 (accessed 5.21.24).

Bundesgesetz über den Umweltschutz, 2022.

Cradle to Cradle Certified® Certification [WWW Document], n.d. URL https://www.epeaswitzerland.com/de/cradle-to-cradle-certified-certification/ (accessed 10.29.24).

Cradle to Cradle Products Innovation Institute, 2024a. Cradle to Cradle Certified® Product Standard, Version 4.1 User Guidance.

Cradle to Cradle Products Innovation Institute, 2024b. Cradle to Cradle Certified® Product Standard, Version 4.1.

Das Schweizer Parlament - Umwelt, Raumplanung und Energie Kommission, n.d. 20.433 Pa. Iv. Schweizer Kreislaufwirtschaft stärken. [WWW Document]. URL https://www.parlament.ch/de/organe/kommissionen/sachbereichskommissionen/kommissionen-urek/vernehmlassung-urek-20-433 (accessed 8.14.24).

Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen – DGNB e.V., 2024. DGNB Qualitätsstandard für Zirkularitätsindizes für Bauwerke - Grundlegendes Qualitätsverständnis und DGNB Zirkularitätsindex Version 1.0.

DGNB, D., 2023. DGNB System - Kriterienkatalog Gebäude Neubau.

DIN e.V., DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik und Informationstechnik, VDI Verein Deutscher Ingenieure e. V. (Eds.), 2023. Deutsche Normungsroadmap Circular Economy.

Ellen MacArthur Foundation, Goddin, J., Marshall, K., Pereira, A., Herrmann, S., 2019. Circularity Indicators: An Approach to Measuring Circularity - Methodology.

European Commission, Council, E.I., Agency, Sme.E., Brincat, C., Graaf, I., León Vargas, C., Mitsios, A., Neubauer, N., Adams, K., Hobbs, G., 2023. Study on measuring the application of circular approaches in the construction industry ecosystem – Final study. https://doi.org/doi/10.2826/488711

Frischknecht, R., 2024. Regeln für die Ökobilanzierung von Baustoffen und Bauprodukten in der Schweiz V7.1.

Gesetzesänderungen zur Stärkung der Schweizer Kreislaufwirtschaft treten mehrheitlich ab 2025 in Kraft [WWW Document], 2024. URL https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-103116.html (accessed 11.21.24).

ISO International Organization for Standardization), 2024a. ISO 59004 - Circular economy - Vocabulary, principles and guidance for implementation.

ISO International Organization for Standardization), 2024b. ISO 59020 - Circular economy - Measuring and assessing circularity performance.

ISO International Organization for Standardization), 2023a. ISO DIS 59004 Circular Economy - Terminology, Principles and Guidance for Implementation.
ISO International Organization for Standardization), 2023b. ISO DIS 59020 Circular economy - Measuring and assessing circularity.
ISO International Organization for Standardization), 2023c. ISO DIS 59040 Circular Economy – Product Circularity Data Sheet.
ISO International Organization for Standardization), 2020. ISO 14009 – Umweltmanagementsysteme – Leitlinien zur Einbeziehung der Kreislaufführung von Materialien bei Design und Entwicklung.
ISO International Organization for Standardization), 2006. ISO 14044 – Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen.
Khadim, N., Agliata, R., Marino, A., Thaheem, M.J., Mollo, L., 2022. Critical review of nano and micro-level building circularity indicators and frameworks. Journal of Cleaner Production 357, 131859. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131859
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
Klingler, M., Savi, D., Doka, G., 2019. Harmonisierte Ökobilanzen der Entsorgung von Baustoffen - Für die Liste der Ökobilanzdaten im Baubereich.
Konietzko, J., Bocken, N., Hultink, E.J., 2020. Circular ecosystem innovation: An initial set of principles. Journal of Cleaner Production 253, 119942. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119942
McDonough, W., Braungart, M., Anastas, P.T., Zimmerman, J.B., 2003. Applying the Principles of Green Engineering to Cradle-to-Cradle Design. Environmental Science & Technology 37, 434A-441A. https://doi.org/10.1021/es0326322
Minergie, M., 2024. Vorgabenkatalog Zusatzprodukt ECO.
Ossio, F., Salinas, C., Hernández, H., 2023. Circular economy in the built environment: A systematic literature review and definition of the circular construction concept. Journal of Cleaner Production 414, 137738. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137738
Otto, I.M., Donges, J.F., Cremades, R., Bhowmik, A., Hewitt, R.J., Lucht, W., Rockström, J., Allerberger, F., McCaffrey, M., Doe, S.S.P., Lenferna, A., Morán, N., Van Vuuren, D.P., Schellnhuber, H.J., 2020. Social tipping dynamics for stabilizing Earth's climate by 2050. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 117, 2354–2365. https://doi.org/10.1073/pnas.1900577117
Rli Council for the Environment and Infrastructure, 2015. Circular Economy - From Wish to Practice.
Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 2020. SIA 2032:2020 - Graue Energie - Ökobilanzierung für die Erstellung von Gebäuden.
SIA, 2022. SN EN 15804+A2:2019 Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen - Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte, SN EN 15804+A2:2019.
SNBS, S., 2023. SNBS-Hochbau - Kriterienbeschrieb.
Umweltschutzgesetz, USG, 2024.
Verein Madaster Schweiz (Ed.), 2023. Leitfaden 1.0 - Zirkularität messbar machen Ein Schweizer Zirkularitäts-Indikator.

8 Anhang

Fragebogen der Umfrage zur Stakeholderanalyse

Vielen Dank für Ihre Bereitschaft an unserer Stakeholderanalyse teilzunehmen!

Mit dieser Umfrage möchten wir das Interesse verschiedener Akteursgruppen der Bau- und Immobilienwirtschaft an einem Zirkularitätsindex erörtern. Hierzu haben wir 10 Fragen vorbereitet, die wir Ihnen gern stellen möchten. Keine Sorge, sie brauchen keinen Text schreiben. Die Antwortmöglichkeiten sind einfache Auswahlfelder. **Das Ausfüllen wird ca. 3-5 Minuten beanspruchen.**

In unserer Umfrage definieren wir einen Zirkularitätsindex so: Mit einem Zirkularitätsindex kann anhand einer Kennzahl als quantitativer Wert die Zirkularität eines Bauteils-/Bauprojektes beschrieben werden. Dabei wird der Anteil ReUse/Recycling, die Lebensdauer und das ReUse/Recycling-Potential (Design for Disassembly) der Baustoffe/Bauteile nach Ende eines Nutzungszyklus des Bauwerks berücksichtigt.

Mit dem Ausfüllen der Umfrage helfen Sie uns herauszufinden, wer welches Interesse an einem Zirkularitätsindex hat. So wissen wir, welche Bedürfnisse bei der Entwicklung bzw. Empfehlung eines Zirkularitätsindex berücksichtigt werden sollen.

1. Welcher Personengruppe, Interessengemeinschaft oder Organisation sind Sie am ehesten zugehörig?

   Wenn mehr als eine Auswahlmöglichkeit auf Sie zutrifft, so wählen Sie eine Rolle und füllen den Bogen aus dieser Perspektive aus. Gern dürfen Sie den Fragebogen für jede Ihrer Rollen separat ausfüllen.

   Auswahlmöglichkeit:
   - Planer*in/Bauleitung/Beratung z.B. Architekt*in, Bauingenieur*in, Bauphysiker*in, …
   - Ausführende / Handwerk
   - Generalunternehmen
   - Totalunternehmen
   - herstellende Unternehmen von Baumaterial z.B. Beton, Gips, Holz, …
   - herstellende Unternehmen von Bauprodukten z.B. Sanitärkeramik, Bodenbeläge, …
   - Betrieb / Facility Management
   - Bauherrschaft / Eigentümer*innen / Projektentwickler*in
   - Investor*in
   - Immobilienbewertung / Makler*in
   - Nutzende / Mietende / Pächter*in
   - Nachhaltigkeitslabel z.B. Minergie, SNBS, DGNB
   - Nachhaltigkeitsberatende
   - Normenverfassende z.B. SIA, CRB, …
   - Berufsverband/Interessensvertretung
   - Forschung/Lehre
   - Sonstiges, bitte angeben (hier benötigen wir ein Feld zum Eintragen)

2. In welchem Land sind Sie hauptsächlich tätig?

   Auswahlmöglichkeit:
   - Schweiz
   - Deutschland
   - Österreich
   - Sonstiges, bitte angeben (hier benötigen wir ein Feld zum Eintragen)

3. Wie hoch ist Ihr Interesse an einem Zirkularitätsindex?

   Auswahlmöglichkeit von
   1 kein Interesse / für mich nicht relevant
   2 geringes Interesse
   3 mittleres Interesse / möchte informiert sein
   4 grosses Interesse
   5 aktives Interesse / möchte ich nutzen

4. Wie hoch ist Ihre Motivation hinsichtlich folgender Punke einen Zirkularitätsindex zu verwenden?

   Auswahlmöglichkeit jeweils von
   1 keine Motivation/ für mich nicht relevant
   2 geringe Motivation
   3 mittlere Motivation
   4 grosse Motivation
   5 sehr hohe Motivation / möchte ich nutzen

   - Marktwert eines Bauwerks erhöhen
   - Marktwert eines Produkts erhöhen
   - Indirekt den Marktwert eines Unternehmens/Institution/Organisation erhöhen
   - Ressourcen schonen
   - Klimawandel mildern/bekämpfen
   - Innovationen entwickeln
   - Technische Kompetenz erweitern
   - Neue Geschäftsmodelle aufbauen/umsetzen
   - Mit der Zeit gehen
   - Attraktivität für Fachkräfte / Mitarbeitende erhöhen
   - Keins meiner Ziele
   - Sonstiges, bitte angeben (hier benötigen wir ein Feld zum Eintragen)

5. Wie schätzen Sie den direkten Einfluss Ihrer Rolle auf die Zirkularität in einem **Bauprojekt** ein?

   Auswahlmöglichkeit von
   1 nicht vorhanden
   2 gering

3 mittel / nur im Verbund mit anderen
4 hoch
5 sehr hoch / ich kann allein darüber entscheiden

6. Wie schätzen Sie den direkten Einfluss Ihrer Rolle auf die Zirkularität in der **Bau- und Immobilienwirtschaft** allgemein ein?

   Auswahlmöglichkeit von
   1 nicht vorhanden
   2 gering
   3 mittel / nur im Verbund mit anderen
   4 hoch
   5 sehr hoch / ich kann allein darüber entscheiden

7. Mit welcher Personengruppe, Interessengemeinschaft oder Organisation würden Sie zusammenarbeiten, um Zirkularität in einem **Bauprojekt** durch- oder umzusetzen?

   Mehrfachankreuzen möglich:
   - Planer*in/Bauleitung/Beratung z.B. Architekt*in, Bauingenieur*in, Bauphysiker*in, …
   - Ausführende / Handwerk
   - Generalunternehmen
   - Totalunternehmen
   - herstellende Unternehmen von Baumaterial z.B. Beton, Gips, Holz, …
   - herstellende Unternehmen von Bauprodukten z.B. Sanitärkeramik, Bodenbeläge, …
   - Betrieb / Facility Management
   - Bauherrschaft / Eigentümer*innen / Projektentwickler*in
   - Investor*in
   - Immobilienbewertung / Makler*in
   - Nutzende / Mietende / Pächter*in
   - Nachhaltigkeitslabel z.B. Minergie, SNBS, DGNB
   - Nachhaltigkeitsberatende
   - Normenverfassende z.B. SIA, CRB, …
   - Berufsverband/Interessensvertretung
   - Forschung/Lehre
   - Sonstiges, bitte angeben (hier benötigen wir ein Feld zum Eintragen)

8. Mit welcher Personengruppe, Interessengemeinschaft oder Organisation würden Sie zusammenarbeiten, um Zirkularität in der **Bau- und Immobilienwirtschaft** allgemein durch- oder umzusetzen?

   Mehrfachankreuzen möglich:
   - Planer*in/Bauleitung/Beratung z.B. Architekt*in, Bauingenieur*in, Bauphysiker*in, …
   - Ausführende / Handwerk
   - Generalunternehmen
   - Totalunternehmen
   - herstellende Unternehmen von Baumaterial z.B. Beton, Gips, Holz, …
   - herstellende Unternehmen von Bauprodukten z.B. Sanitärkeramik, Bodenbeläge, …

- Betrieb / Facility Management
- Bauherrschaft / Eigentümer*innen / Projektentwickler*in
- Investor*in
- Immobilienbewertung / Makler*in
- Nutzende / Mietende / Pächter*in
- Nachhaltigkeitslabel z.B. Minergie, SNBS, DGNB
- Nachhaltigkeitsberatende
- Normenverfassende z.B. SIA, CRB, …
- Berufsverband/Interessensvertretung
- Forschung/Lehre
- Sonstiges, bitte angeben (hier benötigen wir ein Feld zum Eintragen)

9. Wie hoch ist Ihre Motivation Zirkularität in einem **Bauprojekt** durch- oder umzusetzen?

   Auswahlmöglichkeit von
   1 keine Motivation
   2 wenn es sein muss
   3 neutral/ich mache mit
   4 ich unterstütze gern
   5 hohe Motivation

10. Wie hoch ist Ihre Motivation Zirkularität in der **Bau- und Immobilienwirtschaft** allgemein- durch- oder umzusetzen?

Auswahlmöglichkeit von
1 keine Motivation
2 wenn es sein muss
3 neutral/ich mache mit
4 ich unterstütze gern
5 hohe Motivation

Vielen Dank für Ihre Teilnahme!

Wenn Sie uns etwas mitgeben möchten, was nicht im Fragebogen erfasst wurde, steht Ihnen das folgende Textfeld zur Verfügung.
Falls wir Sie für Rückfragen Kontaktieren dürfen, können Sie gern im Feld Ihre E-Mail-Adresse hinterlassen. Wir werden Ihre E-Mail-Adresse separat von den Umfragedaten speichern.
Sie können das Feld auch frei lassen.

Textfeld: Frei für Hinweise

Wir wünschen Ihnen einen schönen Tag!