

Bericht

Evaluation: Ökologische Nachhaltigkeit der Kreislaufwirtschaft mit Indikatoren wie dem Retained Environmental Value (REV) messen

Analyse der Nutzbarkeit und Eignung des REV-Indikators und anderer Indikatoren

Basel, März 2022

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

Impressum

Auftraggeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abteilung Ökonomie und Innovation, CH-3003 Bern

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Auftragnehmer

Carbotech AG, Basel

Autor*innen

Dr. Fredy Dinkel, Carbotech AG, Basel

Thomas Kägi, Carbotech AG, Zürich

Steffanie Conrad, Carbotech AG, Basel

Begleitung BAFU

Peter Gerber, Sektion Konsum und Produkte, Bern

Hinweis

Diese Studie wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Anzahl Seiten: 47

Inhaltsverzeichnis

1 Ausgangslage und Zielsetzung	4
1.1 Fragestellung	4
1.2 Begriffsklärung	5
1.2.1 Entsorgung – Verwertung – Recycling	5
1.2.2 Material – Produkt – System	6
2 Indikatoren	7
2.1 Massenflussindikatoren – Sammelquote, Recyclingquote und Recycling-Einsatz	8
2.2 Relative Umweltindikatoren - REV-Indikator	11
2.3 Absolute Umweltindikatoren – Recyclingnutzen und Systemnutzen	14
2.3.1 Recyclingnutzen (ReN)	14
2.3.2 Systemnutzen (SyN)	17
2.4 Effizienz-Indikatoren	18
2.4.1 BIP / Abfallmenge (BIP-A)	18
2.4.2 Öko-Effizienz-Indikatoren – z.B. SEBI-Indikator	20
3 Prüfkriterien	22
3.1 Definition der Prüfkriterien	22
3.2 Erklärung der Prüfkriterien	23
3.3 Gewichtung der verschiedenen Kategorien	25
4 Prüfung der Einsetzbarkeit der Indikatoren	26
4.1 Beispiele	27
4.1.1 Getränkemarkt für Süßgetränke ohne Kohlensäure	27
4.1.2 Zukunftsszenarien Swiss Recycling	28
4.2 Ebene Produkt und Strategieentwicklung	31
4.3 Ebene Unternehmen	32
4.4 Ebene Land	32
4.5 Diskussion	34
5 Berechnung des REV-Indikators und der absoluten Umweltindikatoren	35
6 Empfehlung	36
7 Beantwortung von Fragen zur Eignung des REV	37
8 Glossar	43
9 Literatur	45
A1 Anhang: Indikatoren	I

1 Ausgangslage und Zielsetzung

Am 25. September 2020 hat das Parlament das Postulat 20.3727 «Ökologische Nachhaltigkeit der Kreislaufwirtschaft mit dem Indikator 'Retained Environmental Value messen'» von Nationalrat Christophe Clivaz (Grüne Partei der Schweiz) überwiesen. Mit dem Postulat wird der Bundesrat beauftragt, einen Bericht über die Verwendung des Indikators Retained Environmental Value (REV) zur Messung der Zirkularität auf den Ebenen der einzelnen Produkte, der Unternehmen und des Landes vorzulegen. Der REV-Indikator wurde von Melanie Haupt und Stephanie Hellweg im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms "Nachhaltige Wirtschaft" (NFP 73) entwickelt. Der REV basiert auf dem LCA-Ansatz und erlaubt es, den gesamten Lebenszyklus von Produkten und deren Verwertung wie auch die Aspekte der Materialqualität zu berücksichtigen. Indikatoren wie der REV sollen es ermöglichen, den Übergang und den Beitrag zu einer Kreislaufwirtschaft aus ökologischer Sicht viel genauer und mit grösserer Aussagekraft zu analysieren als durch reine Stofffluss-Indikatoren wie z.B. Sammel- oder Recyclingraten.

Der Bundesrat hat das BAFU beauftragt, den Nutzen und die Machbarkeit von solchen Indikatoren zu prüfen und einen entsprechenden Bericht in Erfüllung des Postulats 20.3727 Clivaz zu erstellen. In seine Überlegungen zur besseren Einschätzung des Umweltnutzens von Massnahmen im Bereich der Kreislaufwirtschaft, will der Bundesrat neben dem REV noch weitere heute bereits verwendete Indikatoren einbeziehen.

1.1 Fragestellung

In der Analyse der Nutzbarkeit von Indikatoren wie dem REV-Indikator sollen folgende Fragestellungen untersucht werden:

1. Kann der REV-Indikator zur Messung der Zirkularität (Kreislaufleistung) auf den Ebenen der einzelnen Produkte, der Unternehmen und des Landes eingesetzt werden und wie kann er zu diesem Zweck angewendet werden? Dies jeweils im Vergleich mit den bisher verwendeten Indikatoren wie Sammelmenge und -quote, Recyclingquote, Verwertungsquote etc.
2. Wie aussagekräftig ist der REV-Indikator (Vor- und Nachteile) im Vergleich mit den bisher verwendeten Indikatoren bei der Messung der gesamten Umweltbelastung auf den Ebenen der Produkte und Materialien, der Unternehmen und des ganzen Landes? Welcher Indikator ist für welche Ziele und der Darstellung deren Erreichung geeignet?
3. Wie könnte die Bundesverwaltung den REV-Indikator in die Messung der Leistungsfähigkeit der Kreislaufwirtschaft einbeziehen?
4. Eignet sich der REV besonders gut oder gibt es Indikatoren die sich ebenso gut oder noch besser eignen um die Kreislauffähigkeit von Produkten zu erfassen? Zu erwähnen sind z.B. der SEBI (Specific Eco-Benefit Indicator) Indikator für die ökonomisch-ökologische Analyse von Verwertungssystemen, welcher z.B. zur Beurteilung von Kunststoffverwertungen aus Haushalten verwendet wurde¹ oder der Indikator zum Messen des ökologischen Nutzens der Verwertung von Altglas².

In den folgenden Kapiteln 1.2 bis 6 werden die Grundlagen zur Beantwortung dieser Fragen zusammengetragen, in Kapitel 7 wird auf die einzelnen Fragen eingegangen.

¹ Bericht Carbotech und UMTEC (2017), KuRve (Kunststoff Recycling und Verwertung)

² CustomLCA Carbotech (2016), Ökobilanz Verwertungen von Altglas - ökologischer Nutzen der Sammlung von Verpackungsglas

1.2 Begriffsklärung

Vor allem Begriffe aus dem Alltag werden je nach Kontext anders verstanden und verwendet. Um Missverständnisse zu vermeiden, wird in diesem Kapitel definiert, wie gewisse zentrale Begriffe dieses Berichtes verstanden werden. Es handelt sich dabei um Begriffe zu den folgenden Themenkreisen:

- Entsorgung, Verwertung und Recycling
- Materialien, Produkte und Systeme

Für die Erklärung von weiteren Begriffen und Abkürzungen wird auf das Glossar verwiesen.

1.2.1 Entsorgung – Verwertung – Recycling

Gemäss Art. 7 des Umweltschutzgesetzes (SR 814.01) umfasst die Entsorgung auch die Verwertung von Abfällen. Im vorliegenden Bericht wird der Begriff Entsorgung aber zur besseren Abgrenzung des Recyclings nur für die Verbrennung oder Deponierung verwendet. Daraus ergeben sich die folgenden Begriffsdefinitionen für diesen Bericht.

Entsorgung

Deponierung von mineralischen Abfällen oder thermische Behandlung in einer Kehrichtverbrennungsanlage (KVA) mit Energienutzung.

Beispiel: Ablagerung von mineralischen Bauabfällen in entsprechenden Deponien oder Verbrennung von Siedlungsabfällen in einer KVA und Deponierung der Schlacke.

Instandhaltung

Verlängern der Lebensdauer eines Gerätes durch Ersatz von defekten oder veralteten Teilen.

Beispiel: Reparatur von Geräten statt Erneuerung, neue Kühlschrantür statt neuer Kühlschrank.

Verwertung / Recycling

Zurückgewinnung von Produkten und Rohstoffen aus Abfällen durch einen entsprechenden Umwandlungsprozess.

Beispiel: Sortieren, Reinigung, Aufschmelzen und Regranulieren von Kunststoffabfällen zu Sekundärkunststoffgranulat, welches in dieselbe Anwendung, z.B. Bottle to Bottle Recycling von PET-Flaschen oder in andere Anwendungen, z.B. PE-Milchflaschen zu Abwasserrohren oder Aludosen-Recycling zu Aluminium-Druckgussteilen der Maschinenindustrie.

Wieder-, Weiterverwendung

Verlängerung der Lebensdauer eines Produktes oder eines Materials durch eine Weiterverwendung, ohne dass dieses einem Recyclingprozess unterworfen wurde.

Beispiel: Wiederverwendung eines Stahlträgers in einem anderen Bauwerk, ggf. durch Erneuerung oder Ausbesserung der Korrosionsschicht. Wiederverwendung eines Mehrwegbehälters nach einer Reinigung.

1.2.2 Material – Produkt – System

Die Kreislaufwirtschaft (KW) befasst sich mit Materialströmen, dabei kann es sich um Werkstoffe handeln, wie z.B. Aluminium, Polyethylen etc. oder auch um Produkte, welche aus verschiedenen Materialien bestehen. Im Folgenden wird definiert wie die Begriffe Material, Produkt und System in diesem Bericht verwendet werden.

Material

Unter dem Begriff Material werden Werkstoffe verstanden, welche aus einem Hauptgrundstoff bestehen, wie z.B. Verpackungsglas, Stahl, Aluminium oder PET. Diese enthalten typischerweise Additive, wie Farbstoffe, Stabilisatoren oder Legierungselemente. In dem Sinne sind sie nur in Ausnahmefällen reine Stoffe unterscheiden sich jedoch klar von Verbundstoffen oder Produkten, welche zu relevanten Anteilen aus verschiedenen Materialien bestehen. Materialien sind typischerweise keine Produkte für den Gebrauch.

Produkt

Unter dem Begriff Produkt werden ein Gegenstand, in diesem Bericht Gebrauchsgüter bezeichnet, welche auf dem Markt erhältlich sind, um eine bestimmte Funktion zu erfüllen. Dies kann von einer einfachen Verpackung bis zu einem komplexen Gerät wie ein Smartphon oder Auto gehen. Typischerweise bestehen Produkte aus einem oder einer Vielzahl von Materialien.

Um die Lesbarkeit zu erhöhen, wird im Bericht der Begriff Produkt teilweise als Überbegriff für Materialien und Produkte verwendet, wenn sich die Aussage auf beides bezieht und im betreffenden Kontext keine Unterscheidung notwendig ist.

System

Unter dem Begriff System wird in diesem Bericht die Summe der Materialien, Produkte und Dienstleistungen verstanden, um eine bestimmte Funktion zu erfüllen. Bei einer Systembetrachtung steht im Zentrum nicht ein Produkt, sondern die Erfüllung eines Bedürfnisses oder einer Funktion. Dazu folgende Beispiele:

- Die Erfüllung der Funktion Konsum von einem Liter Getränk kann erfolgen durch die Herstellung einer Verpackung, das Abfüllen, Transportieren, Lagern, Konsumieren, Reinigen und Wiederverwenden, Verwerten oder Entsorgen. Dabei können ganz verschiedene Getränkeverpackungen aus unterschiedlichen Materialien oder auch Leitungswasser zum Einsatz kommen.
- Die Funktion Transport von A nach B wird erfüllt durch die Herstellung der Transportmittel sowie der notwendigen Infrastruktur, der Nutzung des Transportmittels mit den dafür notwendigen Hilfsstoffen wie Treibstoffe sowie Verwertung bzw. Entsorgung der Transportmittel und Infrastruktur. Wobei die Belastungen der Fahrzeuge und Infrastruktur nur anteilmässig angerechnet wird. Auch diese Funktion kann auf ganz unterschiedlichen Arten erfolgen.

Aus ökologischer Sicht stellt sich dabei nicht die Frage, welches System die höchste Kreislaufquote hat, wie immer die auch gemessen wird, sondern wie die Funktion mit den geringsten Umweltauswirkungen erfüllt werden kann.

Im ökobilanziellen Kontext wird das betrachtete System durch die Systemgrenzen definiert, welche zu einer bestimmten funktionellen Einheit, Grösse, um die Funktion zu messen, gehören.

2 Indikatoren

Eine Messung der Kreislaufleistung in Bezug auf die nachhaltige Entwicklung sollte die verschiedenen Aspekte der ökologischen, wirtschaftlichen und sozialen Nachhaltigkeit beinhalten. Die vorliegende Evaluation soll sich gemäss Auftrag primär auf die ökologische Nachhaltigkeit beschränken. Entsprechend liegt der Fokus auf der Aussagekraft der Indikatoren bezüglich der Umweltauswirkungen. Zudem wird mit einem Öko-Effizienz Indikator (Umweltbelastung pro eingesetztem Franken) auch der ökonomischen Dimension Rechnung getragen. Die soziale Dimension ist jedoch nicht Umfang der vorliegenden Untersuchung, obwohl gerade auch Recyclingsysteme dazu einen wesentlichen Beitrag leisten können.

Forschungsstellen, Unternehmen und Verbände haben in den vergangenen Jahren verschiedene Indikatoren entwickelt, um den Fortschritt der Kreislaufwirtschaft messen zu können. Entsprechend gibt es eine ganze Reihe von Indikatoren, die verschiedene Faktoren messen und die in verschiedenen Bereichen angewendet werden und auf spezifischen Methoden basieren. Seit Jahren werden vom Bund für ausgewählte Materialien Indikatoren wie Sammelmengen oder Recycling-Quoten sowie das BIP / Abfallmenge und seit neuerem auch eine Kreislauf-Materialnutzungsquote (Kohler, 2020) zur Messung der Kreislaufwirtschaft erhoben und kommuniziert. Der letztgenannte Indikator basiert auf einer Methode des Statistischen Amtes der Europäischen Union (Eurostat) (European Commission. Statistical Office of the European Union., 2018). Typisch für diese Indikatoren ist, dass sie auf Massenströmen basieren und keine Umweltauswirkungen direkt berücksichtigen.

Der Retained Environmental Value-Indikator (REV-Indikator) ist ein neuer Indikator, welcher von Melanie Haupt und Stephanie Hellweg im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms "Nachhaltige Wirtschaft" (NFP 73) entwickelt wurde. Der REV basiert auf dem LCA-Ansatz und berücksichtigt die Umweltauswirkungen über den gesamten Lebenszyklus von Produkten und der Verwertung an deren Lebensende wie auch die Aspekte der Materialqualität beim Einsatz nach der Verwertung. Indikatoren wie der REV sollen es ermöglichen, den Übergang und den Beitrag zu einer Kreislaufwirtschaft aus ökologischer Sicht mit höherer Aussagekraft zu analysieren als durch reine Stofffluss-Indikatoren wie z.B. Sammelmengen, Recycling- oder Verwertungsquoten. In dieser Studie wird der REV-Indikator den gängigsten Recycling-Indikatoren gegenübergestellt und mit verschiedenen Prüfkriterien bewertet.

Eine Auflistung der zu evaluierenden Indikatoren zeigt Tabelle 1.

Tabelle 1: Ausgewählte Recycling-Indikatoren, die innerhalb dieser Studie dem REV-Indikator gegenübergestellt werden.

Kategorie	Indikator	Einheit
	Sammelquote	Prozent
Relative Massenfluss-Indikatoren	Recycling-Quote (ReQ)	Prozent
	Recycling-Einsatz (ReE)	Prozent
	Kreislauf-Materialnutzungsquote	Prozent
Relative Umwelt-Indikatoren	REV-Indikator	Prozent
Absolute Umweltindikatoren	Recycling-Nutzen pro Masse oder Zeit (ReN)	UBP, kg CO ₂ -eq usw. / Mengen- oder Zeiteinheit
	Systemnutzen pro Masse oder Jahr (SyN)	UBP, kg CO ₂ -eq usw. / Mengen- oder Zeiteinheit
Effizienz Indikator	BIP / Siedlungsabfall	Index bezogen auf 1990
Ökoeffizienz Indikatoren	SEBI	UBP / CHF, kg CO ₂ -eq / CHF usw.

Auf den absoluten Massenflussindikator *Sammelmenge* wird nicht weiter eingegangen. Dieser ist als Hilfsgrösse notwendig, um zusammen mit gewissen Indikatoren aus Tabelle 1 die Effektivität eines Systems zu berechnen, jedoch hat er alleine keine ökologische Aussagekraft. Das heisst, es ist zwar sinnvoll diesen Indikator zu erheben, jedoch nur im Zusammenhang mit oder als Basis für andere Indikatoren.

2.1 Massenflussindikatoren – Sammelquote, Recyclingquote und Recycling-Einsatz

Übersicht

Die Recyclingquote, die Sammelquote und der Recycling-Einsatz werden typischerweise als relative Grösse in Prozenten dargestellt.

Die **Sammelquote** indiziert den Anteil der in den Markt gebrachten Materialien, typischerweise bezogen auf eine Anwendung, welche gesammelt wird, um einer Verwertung zugeführt zu werden. Jedoch sagt die Sammelquote nichts darüber aus, wieviel tatsächlich aufbereitet und wieder in den Markt gelangt. Bei Metallen oder Glas ist der Anteil der Sammelquote, welche wieder in den Materialkreislauf gelangt typischerweise hoch, dagegen ist der Anteil z.B. bei gemischten Kunststoffsammlungen mit etwas über 50% eher tief (Sofies-Emac AG, 2021). Entsprechend erachten wir die Sammelquote nicht als geeignet, um die Kreislaufwirtschaft zu beschreiben. Daher wird dieser Indikator im Bericht nicht weiter behandelt.

Die **Verwertungs-** oder **Recyclingquote** hat keine eindeutige Definition. Meist wird darunter eine Recyclingquote nach europäischem Vorbild verstanden, also als Inputmenge in die Aufbereitung geteilt durch die Konsummenge. In dieser Studie verwenden wir den Begriff **Recyclingquote (ReQ)** und definieren ihn als den Anteil der in den Markt gebrachten Materialien (Konsummenge), teilweise bezogen auf eine Anwendung, welche nach dem Recycling als Recyclingmaterialien derselben oder einer neuen Verwendung zugeführt wird. Diese Definition entspricht der **Kreislauf-Materialnutzungsquote**, welche von der EU entwickelt wurde (European Commission. Statistical Office of the European Union., 2018) und seit kurzer Zeit auch für die Schweiz vom BFS erhoben wird (Kohler, 2020). Als Synonym wird auch der Begriff **Industrierückführungsquote** verwendet. Wobei die Industrierückführungsquote auch verwendet wird für den Anteil der gesammelten Menge, welche rezykliert und wieder eingesetzt wird. Bei dieser Definition hat die Industrierückführungsquote keinen Bezug zur Menge, welche in den Markt gebracht wird und ist somit nicht gleichbedeutend mit der hier definierten Recyclingquote.

Ein mit dem ReQ verwandter Indikator ist der **Rezyklat-Einsatz (ReE)**. Auf Landesebene gibt er den Anteil an Rezyklat bezogen auf den gesamten Werkstoffeinsatz an und entspricht der Kreislauf-Materialnutzungsquote. Bezogen auf ein Produkt gibt dieser Indikator den Anteil an Rezyklat im Produkt bezogen auf das Gesamtgewicht an. In dem Falle wird auch oft der Begriff Recycled Content (RC) verwendet. Dabei kann es sich um das Gesamtgewicht des Produktes oder nur um den Anteil im betreffenden Material handeln.

Art der Indikatoren **ReQ** und **ReE**

Relative, quantitative Indikatoren basierend auf Massenflüssen und nicht auf ökologischen Auswirkungen.
Einheit: Prozent.

Ziel des Indikators

Mit der Recyclingquote und dem Recyclingeinsatz wird versucht, den Fortschritt bei Recycling- und Ressourceneinsparungsaktivitäten zu messen und zu überwachen. Eine hohe Rate dieser Indikatoren bedeutet in der Regel einen Fortschritt bei den Recyclingaktivitäten.

Die politischen Ziele, die mit diesen Indikatoren verbunden sind, sind im Wesentlichen folgende:

- Minimierung der Abfälle, welche der endgültigen Verwertung (Verbrennung und Deponierung) zugeführt werden.
- Erhöhung der Ressourcen-Effizienz durch Reduktion der benötigten Menge an Primärrohstoffen und Neumaterialien, indem Wertstoffe wie z. B. Glas, Kunststoff, Papier oder Metalle rezykliert oder wiederverwendet werden.

Wie viele Studien zeigen, z.B. (Gilgen et al., 2001), (Swiss Recycling, 2017), (Dinkel & Kägi, 2018) oder (Dinkel et al., 2021), führt Recycling in einer Vielzahl von Anwendungen zu einer Reduktion der Umweltauswirkungen. Es wird entsprechend bei den Anwendern dieses Indikators angenommen, dass eine Erhöhung der Recyclingquote auch zu einer Reduktion der Umweltauswirkungen führt. Dies ist in einem gewissen Bereich durchaus korrekt, jedoch kann es bei hohen Recyclingquoten sein, dass durch den überproportionalen Aufwand zur Erhöhung der Recyclingquote der Nutzen wieder sinkt. Zudem zeigt dieser Indikator nicht, wie hoch diese Reduktion ist und ob es tatsächlich zu einem ökologischen Nutzen führt. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist, dass die Kreislaufwirtschaft wesentlich mehr beinhaltet als Recycling, z.B. Reuse (Wiederverwendung) und Reduce (Reduktion). Diese Strategien der Kreislaufwirtschaft werden mit diesem Indikator nicht adressiert, siehe auch weiter unten unter Nachteile.

Die oben genannte Zielerfüllung wird in der Regel über finanzielle Mechanismen, wie vorgezogene Recyclingbeiträge oder -gebühren und institutionelle Rahmenbedingungen, unter Einbeziehung der relevanten Interessengruppen angestrebt.

Definition der ReQ

Da auf dem Weg vom Anfall des Abfalls, z.B. der Sammelstelle, bis zum rezyklierten Material Verluste auftreten, ist es wichtig zu definieren, an welchem Punkt gemessen wird. Die Definition der Recyclingquote kann je nach den Zielen der Politik unterschiedlich sein (IGES, 2014). Die Berechnung kann u.a. auf der Basis der folgenden Mengen erfolgen:

- Verkaufsmenge: Menge, die in Verkauf gebracht wird.
- Sammelmenge: Totales Gewicht des gesammelten Materials, welches auch noch Fremdstoffe wie bei Gebinden Restflüssigkeit und Etiketten oder Fehlwürfe enthalten kann.
- Sortierte Sammelmenge: Die Menge an sortenreinem Material, bevor es aufbereitet wird.
- Sekundärmaterial: Menge an produziertem Sekundärmaterial
- Industrierückführungsmenge: Die Menge an Material, welches nach dem Recyclingprozess wieder in den Markt gebracht wird und zu neuen Produkten verarbeitet werden kann.

Die Recyclingquote wird gemäss BAFU in der Schweiz folgendermassen berechnet:

$$\text{Recyclingquote} = \text{ReQ} = \frac{\text{(jährlich) Menge, die nach dem Recyclingprozess wieder in den Markt gebracht wird}}{\text{(jährliche) Menge, die in den Verkauf gebracht wird}} \quad (1)$$

Für verschiedene Materialien und Anwendungen, wie z.B. Getränkeverpackungen oder Papier, wird die Recyclingquote heute in der Schweiz und in vielen Ländern erhoben. Dabei ist zu beachten, dass diese so definierte Recyclingquote der Kreislauf-Materialnutzungsquote der EU entspricht. Der Begriff Recycling-

quote wird in der EU meist unterschiedlich verwendet, indem die Quote als Anteil an rezykliertem Siedlungsabfall am gesamten Siedlungsabfall berechnet wird. Dabei umfasst Recycling stoffliches Recycling, Kompostierung und Vergärung zu Biogas.

Zudem gibt es die Abfallumlenkungsrate; die Rate oder der Prozentsatz eines potenziell recycelbaren Materials, das aus dem Abfallentsorgungsstrom umgelenkt wurde und daher nicht auf Deponien oder in die Verbrennung gelangt. Diese berechnet sich:

$$\text{Abfallumlenkungsrate} = \frac{\text{Jährliche Gesamtabfallmenge die rezykliert wird}}{\text{Jährliche Gesamtabfallmenge}} \quad (2)$$

Im Folgenden wird nur die Recyclingquote gemäss Formel (1) weiter diskutiert.

Definition Recycling-Einsatz (ReE)

Der Recycling-Einsatz wird je nach Fragestellung folgendermassen berechnet:

Für Materialien respektive für Produkte:

$$\text{Recycling-Einsatz} = \frac{\text{Menge Rezyklat}}{\text{Gesamtmenge des Produktes}} \quad (3a)$$

Für ein Land:

$$\text{Recycling-Einsatz} = \frac{\text{Menge Rezyklat eines Materials pro Jahr}}{\text{total eingesetzte jährliche Menge des betreffenden Materials}} \quad (3b)$$

Vorteile

- Die Recyclingquote und der Recycling-Einsatz sind Indikatoren, die relativ einfach zu erheben sind, wenn die Stoffflüsse bekannt sind.
- Die Einheit Prozent ist einfach verständlich und daher gut kommunizierbar.
- Die Massenflussindikatoren von verschiedenen Materialien oder Produkte sind einfach miteinander vergleichbar.
- Diese Indikatoren werden in vielen Ländern erhoben und kommuniziert. Dabei ist zu beachten, dass die Definition der Systemgrenzen nicht immer dieselbe ist und daher die quantitativen Angaben teilweise nur scheinbar vergleichbar sind.

Nachteile

- Massenfluss-Indikatoren sagen nur etwas über die Stoffflüsse aus und nichts über andere Faktoren wie z.B. Ressourceneffizienz oder den ökologischen Nutzen des Recyclings.
- Unabhängig von der Recyclingquote kann der ökologische Nutzen je nach Material und absoluter Menge gross oder klein in speziellen Fällen sogar negativ sein.
- Teilweise können auf der Basis des Indikators (ReE) auch Fehlschlüsse gezogen werden, da eine hohe Quote beim Einsatz von Rezyklaten (ReE) nicht unbedingt die optimalste ökologische Lösung sein muss, ggf. kann durch ein anderes Material oder Gewichtsreduktionen ein grösserer ökologischer Nutzen generiert werden.
- Die Massenfluss-Indikatoren (ReQ und ReE) bewerten nur das Recycling eines Materials im Vergleich zu anderen Entsorgungsmöglichkeiten. Weitere wesentliche Strategien der Kreislaufwirtschaft (KW) werden damit nicht adressiert und können mit diesen Indikatoren weder bewertet noch abgebildet werden. Dazu zählen u.a. die Lebenszyklusverlängerung von Produkten durch Reparieren, Wiederverwertung und Aufbereitung sowie Reduktions- und Vermeidungsmassnahmen.

Beurteilung

Diese beiden Indikatoren (ReQ und ReE) werden schon sehr lange erhoben und waren hilfreich zur Messung und Förderung von Recyclinganstrengungen. Trotz der einfachen Verständlichkeit und der Tatsache, dass diese Indikatoren auch in vielen anderen Ländern erhoben werden, wird empfohlen, sie durch ökologisch aussagekräftigere Indikatoren zu ersetzen oder zumindest mit solchen zu ergänzen. Dies vor allem aufgrund der Tatsachen, dass sie wesentliche Aspekte der KW nicht berücksichtigen und zu ökologischen Fehlschlüssen führen können, siehe auch Kapitel 4.1.

2.2 Relative Umweltindikatoren - REV-Indikator

Übersicht

Der REV-Indikator "Retained Environmental Value" (REV) ist ein systemischer Indikator, der die ökologische Werterhaltung durch Recycling-Prozesse oder Weiter- und Wiederverwendung von Produkten oder Materialien misst. Er basiert auf der Lebenszyklusanalyse und berücksichtigt und bewertet so die Umweltauswirkungen über den gesamten Lebensweg eines Produktes oder Materials. Dies beinhaltet die Herstellung des ursprünglichen Produktes, die Aufwendungen für die Wiederaufbereitung, die Bereitstellung des ersetzten Produktes sowie Unterschiede, welche sich in der Nutzungsphase ergeben können. Der REV-Indikator geht von einem bestehenden Produkt aus, welches das Ende der Nutzungsphase erreicht hat. Er misst den relativen Anteil der Umweltbelastung (EI³) aus der Produktion dieses Produktes, der durch Wiederverwendung, Wiederaufarbeitung oder Recycling in dem Sinne erhalten bleibt, dass diese ursprüngliche Belastung nicht mehr notwendig ist.

Während einige Werterhaltungsprozesse (z.B. Wiederverwendung, Reparatur, Aufarbeitung, Wiederaufbereitung und Umverteilung) den Wert eines Produkts im System erhalten, wird bei Recyclingprozessen nur der Wert des Materials zurückgewonnen. Diesem Umstand wird Rechnung getragen, indem der Betrachtungspunkt der Substitution beim Material oder Produkt gewählt wird, welcher sich durch den Werterhaltungsprozess ergibt. Dabei wird die Art und Menge des zu ersetzenden Primärmaterials unter Berücksichtigung der funktionalen Gleichwertigkeit und der Marktpräferenzen ermittelt.

Das Resultat wird, trotz der komplexen Berechnungen auf denen der Indikator basiert, in einer einfach verständlichen Form als Prozentzahl angegeben.

Art des Indikators

Relativer, quantitativer Indikator der auf den Umweltauswirkungen über den Lebensweg eines Materials oder Produktes basiert.

Einheit: Prozent.

Ziel des REV-Indikators

Der REV-Indikator soll die folgende Frage beantworten: «Welche Art der Wiederverwertung, wie Recycling, Reparatur, Aufarbeitung etc., führt zur höchsten Werterhaltung der ökologischen Aufwände, welche in das ursprüngliche Produkt investiert wurden?»

Zudem soll das Resultat in einer leicht verständlichen Einheit angegeben werden.

Das Ziel des REV-Indikators ist es, den Übergang zu einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft zu fördern, die Fallstricke der Abfallhierarchie aufzudecken und eine Grundlage für eine wirkungsorientierte Politikgestaltung zu schaffen.

³ EI: Environmental Impact. Der REV wurde in einer englischen Zeitschrift publiziert. Wir verwenden hier dieselben Abkürzungen wie in der Originalpublikation, um die Verständlichkeit bei einem Vergleich mit der Originalpublikation zu erleichtern.

Definition des REV-Indikators

Der Ausgangspunkt des REV-Indikators ist ein Produkt, welches am Ende seiner Nutzungsphase angekommen ist. Der REV vergleicht die Umweltauswirkungen zur Herstellung des durch einen Werterhaltungsprozess z.B. Recycling, ersetzten Produktes oder Materials (EI_{disp}), abzüglich der Belastungen des Werterhaltungsprozesses (EI_{vrp}), mit den Umweltauswirkungen, welche bei der Herstellung des ursprünglichen Produkts ($EI_{original}$) aufgetreten sind. Zudem können Unterschiede in den Umweltauswirkungen während der Nutzungsphase in den Vergleich einbezogen werden ($EI_{surplus}$), falls sich durch den Werterhaltungsprozess andere Umweltauswirkungen in der Nutzungsphase im Vergleich zum neuhergestellten Produkt ergeben. Dadurch kann die Umweltbelastung über den gesamten Lebenszyklus des ersetzten Produkts berücksichtigt werden (Haupt & Hellweg, 2019).

$$REV = \frac{\sum_{j=1}^n (EI_{disp,j} - EI_{vrp,j}) - EI_{surplus}}{\sum_{i=1}^n (EI_{original,i})} \quad (4)$$

Auf Landesebene ist es denkbar, dass der REV-Indikator für spezifische Materialströme, wie z.B. Papier, Metalle, mineralische Baustoffe oder Textilien, ggf. nach Anwendung aufgeteilt, berechnet werden kann. Damit könnte z.B. für die Materialien, für welche die Kreislauf-Materialnutzungsquote bereits ermittelt wird, eine Aussage darüber gemacht werden, welcher Anteil der Umweltbelastung, der ursprünglichen bei der Produktion entstand, zurückgewonnen wurde. Dabei wird es sich um Durchschnittswerte handeln, welche nicht die verschiedenen möglichen Verwertungsstrategien berücksichtigen können und mit entsprechenden Unsicherheiten behaftet sind. Es müsste aber noch gezeigt werden, wie das gemacht werden kann und wie aussagekräftig diese REV-Werte sind.

Vorteile

- Der REV-Indikator zeigt, wie hoch der Anteil der Umweltauswirkungen ist, welche bei der Herstellung des ursprünglichen Produktes entstanden sind, der zurückgewonnen werden kann. Damit zeigt er nicht nur wieviel Material wiederaufbereitet und eingesetzt wird, sondern welcher Anteil der Umweltbelastungen damit reduziert werden kann.
- Der REV erlaubt es zu beurteilen, welches aus Umweltsicht der optimale Werterhaltungsprozess eines Produktes ist. Dabei beschränkt er sich nicht auf den Einsatz in dieselbe Anwendung, sondern erlaubt es auch zu prüfen, ob durch den Einsatz in einer anderen Anwendung ein höherer Nutzen erzielt werden kann. Dies kann z.B. der Fall sein, wenn damit ein Material oder Produkt ersetzt wird, welches mit hohen Umweltauswirkungen in der Herstellung verbunden ist oder wenn sich dadurch ein zusätzlicher Nutzen in der Gebrauchsphase ergibt, z.B. durch Gewichtseinsparungen.
- Der REV-Indikator ist geeignet, um auf Produktebene Verwertungsstrategien auszuarbeiten, indem deren relativer Umweltnutzen beurteilt wird. Dies ist mit den Massenflussindikatoren aus Kapitel 2.1 nicht möglich.
- Der REV-Indikator kann auch auf Landesebene eingesetzt werden, um aufzuzeigen, welcher Anteil der Umweltbelastung durch das Recycling zurückgewonnen wurde, bzw. wie hoch die ökologischen Potentiale sind und damit, welche Recyclingsysteme gefördert werden sollen. Auch wenn es sich dabei um Durchschnittswerte handeln wird, ist deren ökologische Aussagekraft wesentlich höher als diejenige der ReQ.
- Die nationalen REV-Werte könnten über die Jahre dargestellt werden, wie dies heute für die ReQ der Fall ist und damit den ökologischen Fortschritt aufzeigen.
- Der REV ist einfach kommunizierbar, da er als Prozentsatz angegeben wird, je höher der Prozentsatz ist, desto besser ist es für die Umwelt.

Nachteile

- Die Berechnung des REV-Indikators erfordert ein tiefgehendes Systemverständnis, insbesondere für eine realistische Modellierung der substituierten Produkte und deren Umweltauswirkungen.
- Der Aufwand zur Berechnung des REV ist wesentlich höher als derjenige zur Berechnung der Massenfluss-Indikatoren aus Kapitel 2.1.
- Für die Berechnung des REV ist es notwendig, das Produkt, welches durch den Werterhaltungsprozess substituiert wird, zu bestimmen. Das heisst, je nach Anwendung oder Weiterverwendung, in welche ein Material bzw. Produkt nach der Aufbereitung geht, ergibt sich ein anderer Indikatorwert. Dies ist notwendig zur Beantwortung der strategischen Frage, in welche Anwendung das Material fließen soll bzw. ob eine Aufbereitung sinnvoller ist? Der REV ist damit jedoch nur beschränkt geeignet, den Nutzen bezüglich der KW eines Produktes auszuloben.
- Da der Indikator von einem bestehenden Produkt oder Material ausgeht, ist er nur begrenzt geeignet, um diejenigen Aspekte der Kreislaufwirtschaft abzubilden, welche sich auf das Produktdesign beziehen wie Reduktionsstrategien, z.B. leichtere Verpackungen oder der Einsatz von anderen Materialien, als die bisher eingesetzten. So zeigt z.B. der REV-Indikator einen sehr hohen Wert, wenn Mischglas zu Schaumglas verarbeitet und damit Kunststoff-Isolationsmaterial ersetzt wird (Haupt & Hellweg, 2019). Ob es jedoch sinnvoller wäre andere Stoffe als Isolation einzusetzen, wird damit nicht beantwortet und der hohe REV-Indikator könnte zu falschen Schlussfolgerungen führen.
- Als relativer Indikator sagt der REV auch nichts darüber aus, wie hoch der Nutzen durch die Werterhaltungsprozesse wie zum Beispiel das Recycling tatsächlich ist. So kann er z.B. nicht dazu verwendet werden zu beurteilen, ob es sinnvoller ist, eine Aluminiumdose, Glas- oder eine PET-Getränkeflasche zu verwenden. Dazu ist eine absolute Betrachtung der Umweltauswirkungen notwendig, siehe auch Kapitel 2.3.

Beurteilung

Der REV geht in mehrfacher Hinsicht wesentlich weiter als die Recycling-Indikatoren aus Kapitel 2.1, welche nur die Materialströme betrachten.

- Er umfasst neben der Herstellung, Aufbereitung und Entsorgung ebenfalls die Nutzungsphase.
- Er bewertet die Umweltauswirkungen, welche auftreten bzw. vermieden werden.
- Er kann nicht nur bei Recycling angewendet werden, sondern kann auch weitere Werterhaltungsprozesse wie Reparatur, Wiederverwendung und dergleichen bewerten.
- Er kann auf Produktebene für den ökologischen Strategieentscheid verwendet werden, in welche Anwendung ein bestimmtes Produkt oder Material am Ende der Nutzungsphase gehen soll.
- Er macht Vergleiche relativ leicht verständlich, indem er Werte als Prozentzahlen angibt.

Wir erachten den Nutzen dieser weitergehenden Aussagekraft des REV-Indikators als wesentlich höher als den zusätzlichen Aufwand, der sich für die Berechnung des REV ergibt. Entsprechend ist die Verwendung des REV-Indikators aus ökologischer Sicht den Massenfluss-Indikatoren aus Kapitel 2.1 vorzuziehen. Heute dienen Recyclingquoten als Zielwerte für Recyclingorganisation, wie PET Recycling Schweiz (PRS), Igora oder Swiss Recycling. Daher werden diese wohl auch in naher Zukunft weiter erhoben werden. Andererseits ist sich Swiss Recycling und die darin zusammengeschlossenen Recycling Organisationen schon länger bewusst, dass die Recyclingquote zu kurz greift. Entsprechend beschäftigt sich Swiss Recycling im Rahmen der Drehscheibe Kreislaufwirtschaft u.a. mit Indikatoren, welche den ökologischen Nutzen besser ausdrücken als die reinen Recyclingquoten.

Der REV-Indikator ist gut geeignet, um verschiedene Verwertungsstrategien aus ökologischer Sicht zu evaluieren und deren Nutzen darzustellen.

Die Darstellung des REV-Indikators als Prozentzahl ist für die Verständlichkeit sicher hilfreich, jedoch sagt er damit nichts über den absoluten Umweltnutzen einer Recyclingstrategie aus. Gerade im Zusammenhang

mit den notwendigen Massnahmen im Bereich Klima kann der REV-Indikator nicht verwendet werden, um den Beitrag zum Klima-Absenkepfad zu quantifizieren. Zudem beschränkt er sich darauf, die Verwertung eines Produktes, das am Ende seiner Einsatzdauer angelangt ist, ökologisch zu evaluieren, mit dem Ziel die Verwertung optimal zu gestalten. Ob es ökologisch noch bessere Lösungen als den Einsatz der Rezyklate gäbe, kann mit dem REV-Indikator nicht beurteilt werden.

2.3 Absolute Umweltindikatoren – Recyclingnutzen und Systemnutzen

Übersicht

Beim **Recyclingnutzen (ReN)** geht es um die Frage, wie eine bestimmte Menge Sammelgut bzw. ein Produkt nach Ende der Nutzungsphase (post-consumer) aus ökologischer Sicht am besten verwertet wird. Zur Berechnung des Recycling-Nutzens wird wie beim REV die Methode der Lebenszyklusanalyse verwendet. Er berechnet sich aus der Differenz der Umweltwirkungen des Referenzsystems (z.B. KVA oder einem Werterhaltungsprozess) und dem betrachteten Recycling- oder anderen Werterhaltungsprozess. Es können grundsätzlich dieselben Szenarien wie beim REV analysiert werden. Im Wesentlichen unterscheidet sich dieser Indikator vom REV in den folgenden Punkten:

- Das Resultat wird als absoluter Umweltnutzen, z.B. in UBP oder CO_2_{eq} , angegeben und nicht relativ in Prozenten wie beim REV.
- Der Bezugspunkt zur Beurteilung sind die Umweltauswirkungen durch die Entsorgung oder Verwertung, falls es die untersuchte Variante nicht gäbe. Beim REV ist der Bezugspunkt die Umweltauswirkungen der Herstellung des ursprünglichen Materials oder Produktes.

Der Recyclingnutzen wurde schon für eine Vielzahl von Recyclingsystemen berechnet, sei es z.B. für die Festlegung der Höhe der Entschädigungen aus vorgezogenen Entsorgungsbeiträgen oder -gebühren, z.B. (Stettler & Dinkel, 2016) oder zur Optimierung von Recyclingsystemen und Ausweisen des Nutzens, z.B. (Dinkel & Kägi, 2018), (Swiss Recycling, 2017).

Der **Systemnutzen (SyN)** basiert ebenfalls auf der Methode der Ökobilanzierung und betrachtet die Frage, mit welchen Umweltauswirkungen die Erfüllung einer bestimmten Funktion verbunden ist (z. B. Verpackung von Produkten, Transportdienstleistung oder Wohnen). Das heisst, es wird das gesamte System betrachtet, wie diese Funktion erfüllt werden kann. Dies umfasst die Bereitstellung der Materialien, Logistik, Nutzung bis zur Verwertung und dessen Nutzen der sich aus den Werterhaltungsprozessen ergibt. Da sein Ausgangspunkt nicht ein bestehendes Material oder Produkt ist, können damit auch weitere Strategien, wie z.B. Reduce, zur Reduktion von Umweltauswirkungen analysiert werden. So gibt es Studien, welche mit der Systembetrachtung zeigen, dass bei der Funktion Nahrungsmittel zu verpacken eine flexible Leichtverpackung, welche nicht rezykliert werden kann, die geringere Umweltauswirkung hat als eine schwerere Verpackung, welche eine hohe Recyclingquote aufweist (Wellenreuther, 2019).

2.3.1 Recyclingnutzen (ReN)

Art des Indikators

Absoluter und quantitativer Indikator

Einheit: Einheiten von Ökobilanz Indikatoren wie z.B. UBP, $\text{kg CO}_2_{\text{eq}}$, ReCiPe Punkte, etc.

Ziel des Recycling-Nutzens

Der Recycling-Nutzen geht von einem Produkt oder Material aus, welches das Ende seiner Lebensdauer erreicht hat und soll die Frage beantworten, welches der optimale Werterhaltungsprozess oder die Verwertung einer bestimmten Menge Material bzw. des Produktes ist. Es muss sich dabei nicht um einen Recyclingprozess mit Materialumwandlung handeln, sondern kann sich auch um einen Instandhaltungsprozess handeln. Dabei wird einerseits berücksichtigt, welche Entsorgung damit vermieden wird und andererseits, welche Ressourcen und Materialien nach der Aufbereitung ersetzt werden und ob diese im Gebrauch, bezüglich der Umweltauswirkungen, einen Unterschied machen.

Definition des Recyclingnutzens (ReN)

Die Berechnung des Umweltnutzens für ein Produkt, welches das Ende seiner Nutzungsdauer erreicht hat, erfolgt wie beim REV, wobei nur der Zähler von Gleichung (4) berechnet wird, ohne die Division durch die Umweltauswirkungen des Originalproduktes. Zudem wird der vermiedene Entsorgungsprozess berücksichtigt. Daraus ergibt sich der absolute Nutzen des Recyclingsystems, siehe z.B. (Stettler & Dinkel, 2012), (Kägi, Zschokke, et al., 2017).

$$\text{ReN} = \sum_{i=1}^n EI_{vvp,i} - \sum_{j=1}^n EI_{ent,j} - \sum_{k=1}^n EI_{disp,k} - EI_{surplus} \quad (5)$$

Wobei:

- EI** für die Umweltauswirkungen (environmental impact) steht
- EI_{vvp}** Werterhaltungsprozess z.B. Recycling
- EI_{ent}** finale Entsorgung des Produkts im Referenzsystem
- EI_{disp}** ersetztes Produkt oder Material
- EI_{surplus}** Unterschiede in den Umweltauswirkungen während der Nutzungsphase nach dem Werterhaltungsprozess.

Vorteile

- Mit dem Recycling-Nutzen (ReN) können Aussagen gemacht werden, welche Verwertungsalternative für ein Material oder Produkt aus ökologischer Sicht am besten ist.
- Damit zeigt er nicht nur wieviel Material wiederaufbereitet und eingesetzt wird, sondern wieviel Umweltbelastungen damit reduziert werden können.
- Zudem erlaubt der ReN zu beurteilen, welches aus Umweltsicht der optimale Werterhaltungsprozess eines Produktes ist. Dabei beschränkt er sich nicht auf den Einsatz in dieselbe Anwendung, sondern erlaubt es auch zu prüfen, ob durch den Einsatz in einer anderen Anwendung ein höherer Nutzen erzielt werden kann. Dies kann der Fall sein, wenn damit ein Material oder Produkt ersetzt werden kann, welches mit hohen Umweltauswirkungen in der Herstellung verbunden ist oder wenn sich dadurch ein zusätzlicher Nutzen in der Gebrauchsphase ergibt, z.B. durch Gewichtseinsparungen.
- Damit ist der ReN geeignet, um auf Produktebene Verwertungsstrategien auszuarbeiten, indem deren absoluter Umweltnutzen beurteilt wird. Dies ist mit den Massenflussindikatoren aus Kapitel 2.1 nicht möglich.
- Der ReN gibt den absoluten Umweltnutzen an, der sich durch einen Werterhaltungsprozess ergibt. Dadurch kann beispielweise auch der Beitrag zur Reduktion der Treibhausgase ausgewiesen werden. Dies ist ein wesentlicher Mehrnutzen zum REV, der nur den relativen Nutzen angibt und damit z.B. nichts darüber aussagt, welchen Beitrag zum Klimaabsenkpfad geleistet wird.
- Auf Landesebene ist es möglich, den ReN für spezifische Materialströme zu berechnen, wie dies z.B. Swiss Recycling für ihre Mitglieder macht, indem im Leistungsbericht von Swiss Recycling

(Kägi & Dinkel, 2017; Swiss Recycling, 2017, 2019) sowie auf ihrer Homepage u.a. ausgewiesen wird, wieviel Umweltauswirkungen in UBP dank den Mitgliedern reduziert werden konnten.

Nachteile

- Die Berechnung des ReN erfordert wie der REV ein tiefgehendes Systemverständnis, insbesondere für eine realistische Modellierung der substituierten Produkte und deren Umweltauswirkungen.
- Der Aufwand zur Berechnung des ReN ist wesentlich höher als derjenige zur Berechnung der Massenfluss-Indikatoren aus Kapitel 2.1. Er ist vergleichbar mit dem Aufwand zur Bestimmung des REV.
- Für die Berechnung des ReN ist es notwendig sowohl das Referenzszenario, z.B. Entsorgung in einer KVA, Produkt, wie auch das Produkt oder Material, welches durch den Werterhaltungsprozess substituiert wird, festzulegen. Das heisst, je nach Referenzszenario und Anwendung, in welche ein Material nach der Aufbereitung fliesst oder ob das Produkt nach einer Aufbereitung weiterverwendet wird, ergibt sich ein anderer Indikator-Wert. Dies ist notwendig für die strategische Frage: «In welche Anwendung soll das Material fließen, bzw. ist eine Aufbereitung sinnvoller?» Jedoch ist der ReN damit nur beschränkt geeignet, um den Nutzen bezüglich der KW eines Produktes auszuloben.
- Der ReN benötigt einen Vergleich zu einem Referenzsystem, z.B. Entsorgung in einer KVA oder Deponierung. Dieses ist nicht immer bekannt bzw. je nach Land unterschiedlich und erschwert damit die Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Ländern.
- Da der Indikator von einem bestehenden Produkt oder Material ausgeht, ist er nur begrenzt geeignet um diejenigen Aspekte der Kreislaufwirtschaft abzubilden, welche sich auf das Produktdesign beziehen, wie z.B. Reduktionstrategien oder Einsatz von anderen Materialien als die bisher eingesetzten.

Beurteilung

Der ReN geht wie der REV-Indikator wesentlich weiter als die heute verwendeten Massenfluss-Indikatoren, siehe dazu auch Beurteilung in Kapitel 2.2. Zudem hat er den Vorteil, dass er den Umweltnutzen absolut ausdrückt. Es ist möglich, dass zwei Systeme denselben REV-Wert haben, dass einer jedoch einen viel höheren Umweltnutzen generiert und entsprechend aus ökologischer Sicht sinnvoller sein kann. Somit ermöglicht es der Indikator Entscheidungsträgerinnen, den Nutzen zur Reduktion von Treibhausgasen und anderen Umweltbelastungen zu erkennen. Auf Landesebene könnte der ReN sowohl als eingesparte Umweltbelastungen, z.B. gemessen in UBP, bzw. eingesparte Treibhausgasemissionen angegeben werden, wie dies Swiss Recycling bereits für Ihre Mitglieder in ihrem Leistungsbericht macht (Swiss Recycling, 2019). Gerade auf Landesebene ist im Kontext der Verpflichtungen die Treibhausgasemissionen senken die Information der CO_{2-eq} notwendig, um den Beitrag zur Erreichung der Klimaziele auszuweisen. In diesem Zusammenhang ist der Begriff der CO_{2-eq} heute auch weitgehend bekannt. Andere Indikatoren wie UBP haben einen geringeren Bekanntheitsgrad, auch wenn dieser in den letzten Jahren gestiegen ist. Ebenso wäre es möglich dieses Resultat als Prozentzahl anzugeben, indem die Umweltauswirkung pro Jahr auf ein Referenzjahr bezogen würde. Zum Beispiel indem der ReN für die wesentlichen Stoffströme des Jahres 2020 = 100 % gesetzt würde und die ReN-Werte anderer Jahre in Relation zum Wert 2020 gesetzt werden.

2.3.2 Systemnutzen (SyN)

Art des Indikators

Absoluter und quantitativer Indikator

Einheit: Einheiten von Ökobilanz Indikatoren wie z.B. UBP, kg CO_{2eq}, ReCiPe Punkte, etc.

Ziel des System-Nutzens (SyN)

Der Ansatzpunkt des Systemnutzens ist die Erfüllung einer bestimmten Funktion und die Frage, wie hoch die Umweltauswirkungen bei den verschiedenen Möglichkeiten sind, diesen Nutzen zu erfüllen. Damit können auch aber nicht nur Werterhaltungsprozesse untersucht werden. Ebenso können diese Indikatoren verwendet werden um zu entscheiden, ob der gewünschte Nutzen mit anderen Strategien, z.B. mit anderen Materialien, Reduktionen oder einer anderen Nutzungsart, umweltverträglicher erreicht werden kann.

Definition des Systemnutzens (SyN)

Mit dem Systemnutzen kann beurteilt werden, mit welchen Umweltauswirkungen die Erfüllung einer bestimmten Funktion verbunden sind. So können z.B. verschiedene Verpackungssysteme für ein Getränkesegment betrachtet und verglichen werden. Daraus können Strategien zur Reduktion der Umweltauswirkungen abgeleitet werden, siehe z.B. [(Swiss Recycling, 2017), (Dinkel et al., 2017)]. Im Zusammenhang mit Strategien der Kreislaufwirtschaft können die Umweltauswirkungen von verschiedenen Möglichkeiten denselben Nutzen zu generieren, miteinander verglichen werden.

Vorteile

- Mit dem System-Nutzen (SyN) können Aussagen gemacht werden, wie hoch die Umweltauswirkungen eines Systems sind, um eine bestimmte Funktion, z.B. Verpackung eines Gutes, Transport von A nach B oder Bau einer Infrastruktur, zu erfüllen.
- Der SyN erlaubt es mit vergleichbarem Aufwand alle Auswertungen zu machen, welche mit dem ReN oder REV möglich sind, siehe dazu Unterkapitel *Vorteil* in den Kapiteln 2.2 und 2.3.1. Diese werden hier nicht nochmals aufgeführt.
- Der SyN setzt nicht erst beim Produkt an, welches das Ende seiner Nutzungsdauer erreicht hat, sondern betrachtet das gesamte System von der Materialbereitstellung über die Produktion und Nutzung bis zur Verwertung. Damit können alle Strategien der KW adressiert werden, also auch die Strategien *Wiederverwendung* oder *Reduktion*. Letztere kann mit dem ReN und REV nur beschränkt geprüft werden.
- Der SyN gibt den absoluten Umweltnutzen an, der sich durch einen Werterhaltungsprozess ergibt. Dadurch kann beispielweise auch der Beitrag zur Reduktion der Treibhausgase und anderer Umweltbelastungen ausgewiesen werden. Damit ergibt sich eine höhere Aussagekraft als mit dem REV, der nur den relativen Nutzen angibt.
- Auf Landesebene wäre es denkbar, den SyN für spezifische Materialströme oder Sektoren zu berechnen, indem Ökobilanzinformationen zu Recycling mit Materialflüssen, wie diese teilweise von BFS erhoben werden, z.B. die Kreislauf-Materialnutzungsquoten oder die Einsatzmengen der Materialien, verknüpft werden. Es müsste aber noch gezeigt werden, wie das gemacht werden kann.

Nachteile

- Die Berechnung des SyN erfordert wie der ReN und REV ein tiefgehendes Systemverständnis, insbesondere für eine realistische Modellierung der Systeme zur Erfüllung derselben Funktion.
- Der Aufwand zur Berechnung des SyN ist wesentlich höher als derjenige zur Berechnung der Massenfluss-Indikatoren aus Kapitel 2.1. Der Aufwand ist vergleichbar, wie derjenige zur Berechnung des REV oder ReN. Tendenziell liegt er etwas höher.

- Für die Berechnung des SyN ist es notwendig ein spezifisches System zu definieren und dabei die Rahmenbedingungen festzulegen z.B. betreffend Produktion und Substitution des Produktes oder Materials, welches durch den Werterhaltungsprozess ersetzt wird. Dabei müssen entsprechende Annahmen getroffen werden. Zudem erhält das Resultat erst seine Aussagekraft im Vergleich zu einem oder mehreren Vergleichsszenarien mit demselben Nutzen, bzw. Erfüllung derselben Funktion. Das heisst, je nach Systemdefinition und Vergleichsszenario ergibt sich ein anderes Resultat. Das ist einerseits ein Vorteil, da der SyN sehr breit anwendbar ist und spezifische Fragen beantworten kann, andererseits kann dies bezüglich Interpretation und Vergleichbarkeit, z.B. mit anderen Ländern, auch einen Nachteil darstellen.

Beurteilung

Der SyN geht wie der ReN- und REV-Indikator wesentlich weiter als die heute verwendeten Massfluss-Indikatoren, siehe dazu auch Beurteilung in Kapitel 2.2 und 2.3.1. Zudem hat er den Vorteil, dass er als umfassende Systembetrachtung alle Strategien der KW adressieren kann und den Umweltnutzen absolut ausdrückt. Entsprechend ist die Aussagekraft unter den in diesem Bericht untersuchten Indikatoren am höchsten. Der Indikator ermöglicht es Entscheidungsträgerinnen, den Nutzen zur Reduktion von Treibhausgasen und anderen Umweltbelastungen zu erkennen und diesen quantitativ auszuweisen, was z.B. im Zusammenhang mit den Klimazielen sehr wichtig ist. Auf Landesebene könnte der SyN sowohl als eingesparte Treibhausgasemissionen oder als Prozentzahl angegeben werden, indem die Umweltauswirkung pro Jahr auf ein Referenzjahr bezogen würde, indem für dieses der SyN 100% gesetzt würde und die SyN-Werte anderer Jahre in Relation zum Wert des Referenzjahres gesetzt werden.

2.4 Effizienz-Indikatoren

Übersicht

Im Rahmen dieser Studie werden unter dem Begriff Effizienz-Indikatoren Kerngrössen behandelt, welche Stofffluss- oder Umweltindikatoren mit ökonomischen Grössen verbinden. Dazu zählt z.B. der vom Bundesamt für Statistik erhobene Effizienz-Indikator «BIP / Siedlungsabfall» sowie der Öko-Effizienz-Indikator SEBI (Specific-Eco-Benefit-Indicator). Letzterer wurde entwickelt, um Massnahmen im Umweltbereich bezüglich der Effizienz der eingesetzten Mittel zu beurteilen.

2.4.1 BIP / Abfallmenge (BIP-A)

Art des Indikators

Relativer quantitativer Indikator

Einheit: Prozent

Ziel des Indikators

Der Indikator soll aufzeigen, ob eine Kopplung zwischen dem BIP und den Abfallmengen besteht bzw. ob eine Entkoppelung erreicht werden kann. Dabei werden alle Abfälle, aufgeteilt in verwertete und entsorgte Abfälle, berücksichtigt.

Definition des BIP-A

Die Berechnung erfolgt für die gesamte Schweiz pro Jahr. Dabei wird nicht der absolute Wert angegeben, sondern die relative Veränderung zum Wert im Jahre 1990.

$$\text{BIP-A} = \frac{(\text{BIP} / \text{jährliche Abfallmenge}) [\text{betrachtetes Jahr}]}{(\text{BIP} / \text{jährliche Abfallmenge}) [1990]} * 100 \quad (6)$$

Ein steigender BIP-A Wert zeigt an, dass das BIP stärker wächst als die Abfallmengen und damit eine gewisse Entkopplung zwischen der Wirtschaftsleistung und den Abfallströmen besteht.

Vorteile

- Der BIP-A Indikator ist etabliert, da er seit Jahren erhoben und kommuniziert wird.
- Er ist als Index leicht verständlich.
- Der Indikator setzt eine Grösse aus dem Umweltbereich, Abfallmenge, in Beziehung zur ökonomischen Grösse BIP.

Nachteile

- Der BIP-A Indikator sagt nichts über die Umweltauswirkungen aus, sondern nur über die Abfallmengen und deren Verhältnis zum BIP.
- Entsprechend kann er nur auf der Ebene Land sinnvoll eingesetzt werden. Für die Beurteilung von Produkten oder Firmen ist er nicht geeignet.
- Der Indikator erlaubt keine Aussage zur absoluten Höhe der Umweltbelastung oder Abfallströme. Eine positive Entwicklung des Indikators kann auch durch eine Zunahme der Wirtschaftsleistung erzielt werden, ohne eine Verbesserung bei der Umwelt- oder Abfallsituation. Auch bei einer relativen Entkopplung (die Umweltbelastung nimmt weniger zu als das BIP) oder einer absoluten Entkopplung (Umweltbelastung oder Abfallmenge sinkt während das BIP steigt) ist noch nicht gewährleistet, dass umweltpolitische oder aus naturwissenschaftlicher Sicht angezeigte Ziele erreicht werden.
- In der Form wie er vom BFS publiziert wird, kann er nicht oder nur beschränkt für die Messung der Kreislaufwirtschaft eingesetzt werden. Eine Reduktion der Abfallmenge sagt wohl etwas über die Effizienz der Rohstoffnutzung und über die Kreislaufwirtschaftsstrategie *Reduktion* aus, jedoch sagt er nichts über die ökologische Nachhaltigkeit von Werterhaltungsprozessen (*Wiederverwendung, Recycling*) aus.

Beurteilung

Dieser Indikator wird schon seit einiger Zeit erhoben und war hilfreich zur Messung von Anstrengungen im Bereich Abfallvermeidung. Dennoch wird empfohlen, diesen Indikator durch ökologisch aussagekräftigere Indikatoren zu ersetzen oder zumindest mit solchen zu ergänzen. Dies vor allem aufgrund der Tatsachen, dass dieser Indikator zu ökologischen Fehlschlüssen führen kann und wesentliche Aspekte der KW nicht berücksichtigt.

2.4.2 Öko-Effizienz-Indikatoren – z.B. SEBI-Indikator

Massnahmen zum Schutze der Umwelt können bezüglich ihrer ökologischen und ökonomischen Auswirkungen (Kosten⁴) in die folgenden vier Klassen eingeteilt werden:

1. **Umweltnutzen verbunden mit Mehrkosten**
Da stellt sich die Frage, wie können die ökonomischen Mittel möglichst effizient für die Umweltentlastung eingesetzt werden.
2. **Umweltnutzen mit Kosteneinsparungen**
Diese Massnahmen werden im Allgemeinen realisiert, ohne dass eine zusätzliche Entscheidungshilfe notwendig ist.
3. **Umweltschaden mit Mehrkosten**
Diese Massnahmen werden aus ökonomischer Sicht sinnvollerweise nicht realisiert oder der Gesetzgeber setzt die Rahmenbedingungen so, dass die Umweltschäden minimiert oder verhindert werden.
4. **Umweltschaden mit Kosteneinsparungen**
Hier muss der Gesetzgeber entsprechende Rahmenbedingungen schaffen, damit die Umweltschäden minimiert oder verhindert werden.

Der Ökonutzenindikator SEBI (Specific-Eco-Benefit-Indicator) wurde entwickelt, um Massnahmen der Klasse 1 zu beurteilen. Er basiert auf dem klassischen Ansatz der Öko-Effizienz, wie dieser vom WBCSD (World Business Council of Sustainable Development) im Jahre 1991 entwickelt wurde, mit dem Ziel einen Indikator zu haben, der eine Aussage macht, wie hoch der ökologische Nutzen der eingesetzten finanziellen Mittel ist.

Art des Indikators

Absoluter und quantitativer Indikator

Einheit: vUBP⁵ / CHF, möglich wäre z.B. auch vCO_{2-eq}/CHF

Ziel des SEBI

Zielsetzung einer Ökoeffizienzanalyse ist die Schaffung von objektiven, auf Kosten/Nutzen-Betrachtungen basierenden Grundlagen für umweltpolitische Entscheidungen. Zur Beurteilung der ökologischen Aspekte werden Methoden der Ökobilanzierung benutzt, z.B. die „Methode der ökologischen Knappheit“. Auf diese Weise wird der Umweltnutzen einer Massnahme gegenüber dem Referenzszenario (z.B. Status quo: Entsorgung in KVA) durch „vermiedene Umweltbelastungspunkte (vUBP)“ quantifiziert. Der Quotient vUBP/CHF ist der „Specific-Eco-Benefit-Indicator“, kurz SEBI.

Definition des SEBI

Zur Berechnung des SEBI wird der gegenüber dem Referenzszenario ausgewiesene Umweltnutzen (in vUBP) durch die zusätzlichen Nettokosten, also Gesamtaufwände abzüglich Wertstoff- und Energieerträge dieser Massnahme, dividiert. Der SEBI ergibt sich damit in vUBP/CHF.

$$\text{SEBI} = \frac{\text{Umweltbelastung (Referenz)} - \text{Umweltbelastung (Massnahme)}}{\text{Mehrkosten der Massnahmen}} \quad (7)$$

⁴ Dabei werden unter Kosten nur die ökonomisch ausgewiesenen Kosten verstanden. Die externen Kosten, Kosten für die Gesellschaft, aufgrund von nicht eingepreisten Umweltbelastungen durch wirtschaftliche Tätigkeiten, werden über die Umweltauswirkungen berücksichtigt, auch wenn diese nicht in einer ökonomischen Einheit ausgedrückt werden.

⁵ vUBP: vermiedene Umweltbelastungspunkte (UBP)

Ein hoher SEBI steht damit für ein besonders ökoeffizientes Recyclingsystem, also einen grossen Umweltnutzen pro ausgegebenem Schweizer Franken (Pohl, 2021). Öko-Effizienz Indikatoren können dann verwendet werden, wenn es darum geht zu entscheiden, mit welchem System der grösste ökologische Nutzen pro investiertes Geld erreicht werden kann [z.B. (Dinkel et al., 2018) oder (Kägi, Schläpfer, et al., 2017)]. Zum Beispiel bei der Frage: «Soll beim Bau eines Hauses das verfügbare Budget eher in eine bessere Wärmedämmung oder in ein möglichst ökologisches Heizsystem investiert werden?»

Vorteile

- Der SEBI-Indikator basiert auf Ökobilanzdaten und bildet damit den gesamten Lebensweg eines Materials oder Produktes von der Herstellung bis zur Verwertung ab.
- Er gibt Auskunft darüber, wie effizient das Geld für eine bestimmte Massnahme eingesetzt wird.
- Der Indikator kann für strategische Entscheide verwendet werden.

Nachteile

- Der SEBI ist eine Kennzahl für die Effizienz von Umweltmassnahmen, mit dem sich nur Massnahmen, die Kosten verursachen und einen Nutzen generieren, bezüglich ihrer Effizienz vergleichen lassen. Alle anderen Massnahmen, Klassen 2 bis 4, siehe Seite 20, lassen sich mit dem SEBI nicht beurteilen. Der SEBI ist für diese Klassen aus den folgenden Gründen nicht definiert: Die Klassen 2 und 3 führen zu einem negativen SEBI, obwohl bei der Klasse 2 ein positiver Umweltnutzen auftritt. Dagegen führt Klasse 4 zu einem positiven Umweltnutzen, der bei gleichen Kosten umso grösser ist, je höher der Umweltschaden ist.
- Die sinnvolle Anwendung des SEBI setzt jeweils voraus, dass eine «entweder oder» Situation besteht, in dem Sinne, dass es eine «Ist-Situation» gibt und die ökologischen und ökonomischen Unterschiede dazu berechnet werden. Grundsätzlich benötigen auch die ökologischen oder Stofffluss-Indikatoren ein Vergleichszustand. Ein Unterschied bzw. eine zusätzliche Schwierigkeit kann sich bei den ökonomischen Indikatoren vor allem im öffentlichen Bereich ergeben, wenn die Kosten von unterschiedlichen Stellen getragen werden. Z.B. liegen die Kosten beim Kunststoffrecycling (momentan) beim Haushalt und können daher nur mit Vorbehalt mit den Ausgaben der Gemeinden beim Bau von KVAs verglichen werden. Dazu müssten dann volkswirtschaftliche Kosten betrachtet werden, was bezüglich Systemgrenzen Verständnis schwierig ist.

Beurteilung

Der SEBI kann sehr wertvoll sein, um verschiedenen Strategien, u.a. auch Strategien einer Kreislaufwirtschaft aus ökologischer und ökonomischer Sicht zu beurteilen. Er kann insbesondere auch Entscheidungsträger dabei unterstützen, ein begrenztes Budget so einzusetzen, dass damit ein hoher Umweltnutzen erreicht wird. Da sich jedoch nicht alle möglichen Recyclingsysteme beurteilen lassen, z.B. ergeben sich bei Recyclingpapier je nach Marktsituation keine Mehrkosten und entsprechend ist der SEBI nicht definiert, siehe Formel in der Definition des SEBI, ist er für die Fragestellung in diesem Projekt nur beschränkt geeignet und wird nicht weiter in die Evaluation einbezogen.

3 Prüfkriterien

Die Eignung der ausgewählten, im vorherigen Kapitel beschriebenen Indikatoren erfolgte, indem deren Aussagekraft bezüglich der folgenden vier Aspekte geprüft wird:

- Strategien der Kreislaufwirtschaft
- Ökologische Aussagekraft
- Praktikabilität
- Kommunizierbarkeit

Für jeden Aspekt wurden entsprechende Prüfkriterien erarbeitet bzw. bestehende ausgewählt.

3.1 Definition der Prüfkriterien

Die Prüfkriterien dienen dazu die Eignung der Indikatoren zu testen zur Messung des Standes und des Nutzens der Kreislaufwirtschaft sowie zur Entwicklung von zirkulären Strategien. Dabei wird unterschieden zwischen den folgenden Ebenen:

- Produkte
- Firmen
- Land

Die Kategorien und deren Prüfkriterien um die Zirkularität auf Landesebenen zu messen sind in Tabelle 2, diejenigen für Produkte und Strategien in Tabelle 3 dargestellt. Erklärungen dazu werden in Kapitel 3.2 gegeben.

Tabelle 2: Prüfkriterien um die Eignung der Indikatoren für die Messung der Zirkularität auf Landesebene zu messen

Kategorie	Prüfkriterien
Strategien der Kreislaufwirtschaft	Zirkuläre Beschaffung (circular sourcing)
	Recycling aus dem Verbrauch (recycling from consumption)
Ökologische Aussagekraft	Zeigt ein hoher Indikatorwert auch einen hohen ökologischen Nutzen an?
	Zeigt der Indikator den absoluten ökologischen Nutzen an, z.B. pro Jahr und Region?
	Kann der Nutzen des Gesamtsystems, bzw. jeder der drei KW-Strategien (Reuse – Reduce – Recycle) erfasst und abgebildet werden?
Praktikabilität	Skalierbarkeit, Datenverfügbarkeit, Machbarkeit
	Reproduzierbarkeit (Datenbanken und Bewertungsmethoden)
	Aufwand (Erhebung, Auswertung, Kostenaufwand)
Kommunizierbarkeit	Verständlichkeit
	Internationale Vergleichbarkeit: Europa

Tabelle 3: Prüfkriterien zum Testen der Eignung der Indikatoren für die Messung der Zirkularität von Produkten

Kategorie	Prüfkriterien
Strategien der Kreislaufwirtschaft ⁶	Zirkuläre Beschaffung (circular sourcing)
	Nachhaltiges Design (sustainable design)
	Ressourceneffizienz (resource efficiency)
	Produkt als Dienstleistung (product as a service)
	Sharing/Virtualisierung (sharing/virtualising)
	Einsatzoptimierung/Wartung (usage optimisation/maintenance)
	Wiederverwendung/Umverteilung (reuse/redistribution)
	Aufarbeitung/Wiederaufbereitung (refurbishing/remanufacture)
	Industrielle Symbiose / Recycling aus der Produktion (industrial symbiosis / recycling from manufacturing)
Recycling aus dem Verbrauch (recycling from consumption)	
Ökologische Aussagekraft	Zeigt ein hoher Indikatorwert auch einen hohen ökologischen Nutzen an?
	Zeigt der Indikator den absoluten ökologischen Nutzen an, z.B. pro Jahr oder Produktmenge?
	Kann der Nutzen des Gesamtsystems, bzw. jeder der drei KW Strategien (Reuse – Reduce – Recycle) erfasst und abgebildet werden?
Praktikabilität	Skalierbarkeit, Datenverfügbarkeit, Machbarkeit
	Reproduzierbarkeit (Datenbanken und Bewertungsmethoden)
	Aufwand (Erhebung, Auswertung, Kostenaufwand)
Kommunizierbarkeit	Verständlichkeit
	Internationale Vergleichbarkeit: Europa

Für die Gewichtung der vier Kategorien wurden zwei verschiedene Ansätze verwendet. Diese sind in Kapitel 3.3 beschrieben.

3.2 Erklärung der Prüfkriterien

Strategien der Kreislaufwirtschaft

Die Kreislaufwirtschaft kann in drei Phasen unterteilt werden, welche jeweils einem Prinzip der Kreislaufwirtschaft folgt. Das Unternehmen Price Waterhouse Coopers (PwC) hat zu jeder dieser drei Phasen und Prinzipien entsprechende Strategien benannt, welche eine Kreislaufwirtschaft fördern (PwC, 2019).

1. Die Kreislaufwirtschaft in der Produktions-/Distributionsphase ist in drei Strategien verankert, die darauf abzielen, die Nutzung erneuerbarer Energien zu maximieren und Wertverluste in der gesamten Wertschöpfungskette zu minimieren.
2. Die Kreislaufwirtschaft in der Nutzungsphase umfasst vier Strategien, die Wertverluste reduzieren, indem Produkte und Materialien mit ihrem höchsten Nutzen durch gemeinsame Nutzung, Wiederverwendung, Reparatur, Wiederaufbereitung und Recycling in Umlauf gebracht werden.
3. Die Kreislaufwirtschaft bezüglich End-of-Life umfasst drei Strategien, welche darauf abzielen, Downcycling zu vermeiden und Abfälle als Wertstoffe in anderen Systemen wieder einzusetzen.

⁶ Die Prüfkriterien entsprechen den 10 Strategien der Kreislaufwirtschaft, welche von der PwC erarbeitet wurden (PwC, 2019)

Die zehn Strategien der Kreislaufwirtschaft, siehe Tabelle 3, können von Unternehmen für ihre Tätigkeiten angewendet werden, um einen Beitrag zur Kreislaufwirtschaft zu leisten.

Ökologische Aussagekraft

In dieser Kategorie sind Kriterien aufgeführt, die prüfen, wie hoch die Aussagekraft der Indikatoren bezüglich des ökologischen Nutzens ist. Dazu wurden die folgenden Kriterien ausgewählt:

- Zeigt ein hoher Indikatorwert auch einen hohen ökologischen Nutzen an?
Den höchsten Wert erhält ein Indikator, wenn er die Umweltauswirkungen des gesamten Systems misst.
Falls er diese nur indirekt misst und die Beispiele zeigen, dass der Zusammenhang zwischen Indikator und Umweltauswirkungen nicht immer erfüllt ist, so wird der Wert halbiert.
Falls nur ein Teil der KW-Strategien damit erfasst wird und somit die Aussagekraft auf einen Aspekt, z.B. Recycling, beschränkt ist, so wird der Wert nochmals halbiert.
Einen Abzug von 25 % ergibt sich, falls ein höherer ökologischer Nutzen mit einer Strategie möglich ist, welche durch den Indikator nicht adressiert wird.
10 % Abzug gibt es, falls der Indikator die vermiedenen Auswirkungen der Entsorgung nicht berücksichtigt. Da die Vermeidung von Abfällen neben der Ressourcenschonung dem Zweck der VVEA entspricht.
- Zeigt der Indikator den absoluten ökologischen Nutzen an, z.B. pro Jahr und Region?
Dieses Kriterium wurde aufgenommen, da ein relativer Indikator nichts darüber aussagt, wie hoch der Umweltnutzen ist, und daher zu Fehlschlüssen führen kann, wenn zwei Systeme denselben relativen Indikatorwert aufweisen, jedoch der eine einen viel höheren Umweltnutzen generiert.
Indikatoren, welche den absoluten Umweltnutzen zeigen, basieren auf Ökobilanzen und geben die Resultate z.B. als kg CO₂-eq/t oder UBP/t an. Relative Indikatoren geben den Nutzen in Prozenten an.
- Kann der Nutzen des Gesamtsystems bzw. jeder der drei KW-Strategien (Reuse – Reduce – Recycle) erfasst und abgebildet werden?
Verschiedene Indikatoren fokussieren nur auf das Recycling, jedoch können ggf. die Umweltauswirkungen mit anderen KW-Strategien höher sein.

Praktikabilität

In der Kategorie Praktikabilität geht es darum einzuschätzen, wie einfach die Indikatoren in der Praxis anzuwenden sind. Die Kriterien Skalierbarkeit, Datenverfügbarkeit und Machbarkeit sagen etwas darüber aus wie einfach ein Indikator auf verschiedene Systeme und Ebenen anwendbar ist.

Das Kriterium Reproduzierbarkeit prüft, ob die Ergebnisse eines Indikators wiederholbar sind oder wiederholend berechnet werden können. Bei Indikatoren, welche auf Ökobilanzen beruhen, können sich Unterschiede aufgrund von neueren Hintergrunddaten ergeben, obwohl sich beim untersuchten System keine Veränderung ergeben hat. Dies hat den Vorteil, dass neue Erkenntnisse in die Bewertung einfließen und den Nachteil, dass die Reproduzierbarkeit eingeschränkt und die Kommunikation erschwert wird.

Das Kriterium Aufwand soll einschätzen, wie gross der Aufwand für die Erhebung und die Auswertung der Ergebnisse ist.

Kommunizierbarkeit

Das Kriterium Kommunizierbarkeit prüft, ob der Indikator einfach verständlich und damit auch kommunizierbar ist.

Mit dem Kriterium internationale Vergleichbarkeit wird geprüft, ob der Indikator mit anderen bestehenden internationalen Indikatoren vergleichbar ist oder nicht bzw. ob dieser Indikator heute international bekannt ist und angewendet wird.

3.3 Gewichtung der verschiedenen Kategorien

Allen Indikatoren wurden für jedes Prüfkriterium Punkte vergeben und anschliessend wurde für jede Kategorie der Mittelwert gebildet. Das heisst, dass in einem ersten Schritt eine Beurteilung der folgenden vier Kategorien erfolgt:

- Strategien der Kreislaufwirtschaft
- ökologische Aussagekraft
- Praktikabilität
- Kommunizierbarkeit

Für die Gewichtung der Kategorien wurden verschiedene Möglichkeiten verwendet:

- 1) Gewichtung der Kategorien, wobei die folgenden Gewichtungen vorgeschlagen werden:
 - Strategien der Kreislaufwirtschaft 2 da Kreislaufwirtschaft heute eine wichtige Strategie ist
 - Ökologische Aussagekraft 4 da das Hauptziel eine Reduktion der Umweltbelastung ist
 - Praktikabilität 1 Aufwand soll nicht bessere Lösungen verhindern
 - Kommunizierbarkeit 1 Kommunizierbarkeit soll nicht bessere Lösungen verhindern
- 2) Multiplikation der Mittelwerte. Damit fallen tiefe Bewertungen stärker ins Gewicht und die gesamte Bewertung wird mehr gespreizt.

Die Autoren dieser Studie empfehlen die erste Art der Gewichtung, bei der die ökologische Aussagekraft am höchsten gewichtet wird, weil diese dem eigentlichen Ziel entspricht. Die Messung der Strategie der Kreislaufwirtschaft wird etwas weniger, aber immer noch stärker als die Praktikabilität und Kommunizierbarkeit gewichtet. Diese beiden Aspekte haben natürlich eine gewisse Wichtigkeit, jedoch dürfen sie nicht zu stark gewichtet werden, um Weiterentwicklungen nicht zu verhindern. Die bestehenden Indikatoren werden in diesen beiden Kategorien am besten abschneiden, da sie einerseits bereits erhoben werden und damit sicher praktikabel und andererseits bekannt und damit gut kommunizierbar sind, da sie schon seit Jahren publiziert werden.

Zudem wird eine Gleichgewichtung der Kategorien gemacht, um zu erkennen, ob sich durch die Gewichtung eine andere Rangfolge ergibt.

4 Prüfung der Einsetzbarkeit der Indikatoren

Die Indikatoren wurden anhand der oben beschriebenen Prüfkriterien auf ihre Tauglichkeit zur Messung der Kreislaufwirtschaft geprüft. Diese Prüfung erfolgte aus theoretischer Sicht, anhand von Erfahrungen und mit Fallbeispielen auf drei Ebenen:

- Produkt
- Unternehmen
Bei Unternehmen, welche nur ein oder wenige Produkte herstellen, z.B. Zementwerk, ist die Anwendung der Indikatoren vergleichbar mit derjenigen für Produkte.
Bei Unternehmen mit sehr vielen Produkten, wie z.B. Detailhändler, ist die Anwendung der Indikatoren vergleichbar mit derjenigen auf Landesebene
- Land
Bei einem so komplexen System ist die Berücksichtigung aller möglichen Einsatzgebiete für die unterschiedlichen Materialien nicht möglich, oder nur mit einem unverhältnismässigen Aufwand machbar. Daher werden als Vereinfachung nur die relevantesten Materialien betrachtet. Zu beachten ist, dass sich dies nicht auf die Abfallströme beschränkt, sondern bei der Herstellung der Werkstoffe ansetzt, damit alle Chancen der KW genutzt werden können.

Zudem werden die Indikatoren bezüglich ihrer Eignung für die Strategieentwicklung, Steuerung und Kommunikation geprüft. Die Prüfung der Eignung der Indikatoren zur **Strategieentwicklung** ist wichtig um zu erkennen, ob andere Strategien der Kreislaufwirtschaft aus ökologischer Sicht sinnvoller sind als das Recycling der Materialien oder um zu erkennen, welche Art des Recyclings den höchsten Umweltnutzen hat. Dabei können sich z.B. Fragen stellen wie:

- Ist es sinnvoller ein bestimmtes Material in einem geschlossenen Kreislauf wieder derselben Anwendung zuzuführen, z.B. PRS System, oder ist es sinnvoller das aufbereitete Material in einer anderen Anwendung einzusetzen, z.B. Verpackungsglas als Wärmedämmstoff?
- Soll ein Material, welches rezyklierfähig ist, eingesetzt werden oder ist es aus ökologischer Sicht sinnvoller ein anderes leichteres Material mit geringeren Umweltbelastungen einzusetzen, auch wenn dieses vielleicht (noch) nicht rezykliert werden kann?

Zudem wird die Eignung der Indikatoren geprüft für die **Steuerung und Kommunikation** des Erreichten. Für komplexe Systeme können mit vertretbarem Aufwand nicht alle möglichen Szenarien berücksichtigt werden. Entsprechend wird angenommen, dass die Indikatoren auf Landesebene nur die grossen Stoffströme oder Marktsegmente berücksichtigen, wie dies heute gemacht wird z.B. für die Mitglieder von Swiss Recycling. Damit ergeben sich für die komplexeren Indikatoren, REV, ReN und SyN, eine vereinfachte Berechnung:

- Der Indikator erfolgt auf der Annahme, dass dasselbe Material ersetzt wird, ggf. in einer anderen Anwendung und damit Neumaterial oder der aktuelle Markt-Mix ersetzt wird.
- Eine Aggregation zu einer Kennzahl, welche Auskunft gibt über die gesamten Recycling Aktivitäten, ist möglich durch eine Gewichtung mit den entsprechenden Massenströmen.

Für die Prüfung der Einsetzbarkeit der Indikatoren wurde für jede Ebene eine Bewertungsmatrix erstellt, worin die Indikatoren den genannten Prüfkriterien gegenübergestellt wurden.

4.1 Beispiele

Als Basis für die Bewertung wurden verschiedene Beispiele aus der Literatur betrachtet sowie spezifische Berechnungen durchgeführt.

4.1.1 Getränkemarkt für Süssgetränke ohne Kohlensäure

Basierend auf Angaben aus der Studie Ökobilanz von Getränkeverpackungen (Dinkel & Kägi, 2014) sowie aktuellen Zahlen zu den Recyclingsystemen von PRS, Glas und Igora (Alu-Dosen) sowie Studien zum Recycling von Getränkekarton (GK) (Dinkel & Kägi, 2016), wurden die verschiedenen Indikatoren berechnet. Als Hintergrunddaten für die Berechnung wurde ecoinvent 3.7 verwendet.

Untersucht wurden die folgenden Verpackungsvarianten und Recyclingsysteme, jeweils für die Verpackung mit einem Liter Inhalt:

- PET-Getränkeflaschen mit dem Recyclingsystem der PRS
- Glasflaschen mit dem Recyclingsystem von Vetroswiss
- Alu-Getränkedosen mit dem Recyclingsystem der Igora
- Standbeutel, welche in der KVA entsorgt werden
- Getränkekarton, zwei Varianten, da sich das Recycling-System noch im Aufbau befindet:
 - Entsorgung in der KVA, ReQ = 0
 - Ziel: 75% Sammelquote, Recycling der Papierfasern (70%), Reject 30% (Fasern, Aluminium und Kunststoff) in KVA bzw. Zementwerk.

Tabelle 4: Indikatoren, der verschiedenen Getränkeverpackungen für 1 Liter Inhalt und deren Verwertungs- bzw. Entsorgungssysteme

	Recyclingquote (ReQ)	Recyclingeinsatz	REV-Indikator mit UBP	Recycling-Nutzen in UBP (ReN)	Umweltauswirkungen System in UBP (SyN)
PET-Getränkeflasche im PRS System	80 %	35 %	60 %	33	60
Glas	94 %	80 %	61 %	180	340
Alu Dose	91 %	0 %	82 %	400	90
Standbeutel	0 %	0 %	0 %	0	45
Getränkekarton	0 %	0 %	0 %	0	60
	56 % ⁷	0 %	48 %	16 - 23 ⁸	37 - 44
Interpretation der Resultate		Ein hoher Wert ist das Ziel			Ein tiefer Wert ist das Ziel

Die Resultate in Tabelle 4 zeigen Folgendes:

- Das System mit den geringsten Umweltauswirkungen (SyN) ist in diesen Beispielen heute ein System, bei welchem die Materialien nicht rezykliert werden (Standbeutel). Der Standbeutel entspricht der Kreislaufwirtschaftsstrategie *Reduce*, da er mit sehr geringem Materialeinsatz die gewünschte Funktion erfüllt. Dieses System wird von allen Indikatoren, ausser dem Indikator Systemnutzen, als das schlechteste bewertet.

⁷ Das Getränkekarton-Recycling ist in der Schweiz noch im Aufbau. Bei der Recyclingquote von 75% handelt es sich um ein Ziel, welches in Zukunft erreicht werden soll.

⁸ Je nach Verwertung des Rejects (Aluminium und Kunststoff) variiert der Wert.

- Der Getränkekarton (GK) hat selbst ohne Recycling eine tiefe Umweltbelastung, welche derjenigen von PET-Getränkeflaschen mit einer Recyclingquote von 80% und einem Recyclingeinsatz von 35% entspricht. Falls das selbstgesteckte Ziel von 75% Sammelquote der GK erreicht wird, hat der Getränkekarton die geringsten Umweltauswirkungen, welche je nach Verwertung des Rejects gleich oder tiefer sind als diejenigen des Standbeutels.
- Eine hohe Recycling-Rate indiziert nicht zwingend eine geringe Umweltauswirkung des Systems. Glas mit der höchsten Recycling-Rate hat die höchsten Umweltauswirkungen.
- Ein hoher Recycling-Einsatz indiziert nicht zwingend eine geringe Umweltauswirkung des Systems. Glas mit dem höchsten Recycling-Einsatz hat die höchsten Umweltauswirkungen.
- Ein hoher REV-Indikator kann auch einen hohen absoluten Recycling-Nutzen indizieren, wie das Beispiel Alu-Dose zeigt. Wie die Beispiele PET-Getränkeflasche im PRS System und Glas zeigen, muss dies jedoch nicht so sein. Diese beiden Systeme haben bei gleichem REV-Indikator einen sehr unterschiedlichen Recycling-Nutzen, da der Recyclingnutzen davon abhängt, wie hoch die Umweltbelastung der Primärproduktion ist, wieviel vom Material notwendig ist, um den gewünschten Nutzen zu erfüllen sowie vom Aufwand und der Qualität des Rezyklates. Der REV-Indikator berücksichtigt auch all diese Elemente, gibt jedoch das Ergebnis relativ an.

Die Erkenntnisse fließen in die Bewertung in Kapitel 4.2 und 4.4 ein.

4.1.2 Zukunftsszenarien Swiss Recycling

Im Jahre 2017 wurden für Swiss Recycling verschiedene Zukunftsszenarien berechnet, mit dem Ziel zu erkennen, welche Strategien zu einer hohen Reduktion der Umweltauswirkungen führen. Als Nutzen von Swiss Recycling wurde der Recycling-Nutzen (ReN) für alle unter dem Dach von Swiss Recycling zusammengefassten Recycling-Organisationen berechnet. Die folgenden Resultate stammen aus der Präsentation des Leistungsberichtes von Swiss Recycling (Swiss Recycling, 2017) und (Kägi & Dinkel, 2017). Die dabei untersuchten Recyclingszenarien für das Jahr 2042 zeigt Tabelle 5.

Tabelle 5: Zukunftsszenarien 2042 Swiss Recycling im Jahre 2017

Szenario	Materialmengen	Sammelquote	Qualitäten
Referenz: «weiter wie bisher»	Linear wachsend	Gleichbleibend	Gleichbleibend
Potential ausschöpfen	Linear wachsend	Total 70 %	Gleichbleibend
verbesserte Qualität	Linear wachsend	Gleichbleibend	Höhere Recyclingeffizienz, mehr Material in höchster Wertstoffqualität
Materialvermeidung	15 % weniger anfallende Materialmengen, infolge Leichtverpackungen	Gleichbleibend	Gleichbleibend

Die dabei zu erwartenden Veränderungen sind in Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6: Zu erwartende Veränderungen im Jahre 2042 bezüglich Swiss Recycling

Veränderungen:	Einfluss auf den Nutzen von Swiss Recycling		Einfluss auf die Umweltauswirkungen	
Weniger Schadstoffe in Geräten	Negativ		Positiv	
Steigerung des Konsums	Positiv		Negativ	
Höhere Energienutzung der KVA	Negativ		Positiv	
Energiestrategie: Strom und Wärme ist umweltfreundlicher	Positiv		Positiv	
Verpackungen werden leichter	Negativ		Positiv	
Erhöhung der Recyclingquoten in gewissen Bereichen	Positiv		Positiv	

Mit der Methode der Ökobilanzierung wurde der Recyclingnutzen für die Jahre 1992 (Gründung Swiss Recycling) und 2017 (25 Jahre Swiss Recycling) sowie die verschiedenen Szenarien für das Jahr 2042 (50 Jahre Swiss Recycling) auf der Basis der zu erwartenden Veränderungen berechnet. Als Bewertungsmethode wurde die Methode der ökologischen Knappheit aus dem Jahre 2013 (Frischknecht & Büsler Knöpfel, 2013) verwendet. Wie Abbildung 1 zeigt, ergibt sich der höchste Recycling Nutzen (ReN) beim Szenario *Potential ausschöpfen*. Also bei einer Steigerung der Recyclingquoten. Zu beachten ist jedoch, dass die anderen Szenarien *weiter wie bisher*, *verbesserte Qualität* und *Energie* im Rahmen der Unsicherheiten einen vergleichbaren Nutzen ergeben. Einen tieferen Recycling-Nutzen ergibt das Szenario *Vermeiden*, da bei diesem weniger Material zum Rezyklieren anfällt.

In der Systembetrachtung (SyN), d.h. wenn die gesamte Umweltbelastung durch den Gebrauch der Produkte, welche auch die Herstellung der Materialien mitberücksichtigt, betrachtet wird, zeigt das Szenario *Vermeidung* mit Abstand den höchsten Nutzen. Dies bedeutet, dass sich die geringsten Umweltbelastungen nicht durch eine höhere Recycling Rate, sondern durch Reduktion des Materialeinsatzes ergeben. Dies ist in Übereinstimmung mit anderen Studien, wie z.B. der Ökobilanz von flexiblen Verpackungen des ifeu in Heidelberg (Wellenreuther, 2019), welche auch zeigt, dass durch Leichtverpackungen eine hohe Reduktion der Umweltauswirkungen erreicht werden kann. Diese Beispiele zeigen, wie wichtig es ist, die gesamten Auswirkungen eines Systems zu betrachten und nicht nur auf die Recyclinganstrengungen zu fokussieren. In gewissen Fällen können andere Strategien der Kreislaufwirtschaft, wie in diesen Beispielen *Reduktion*, zu einem höheren Umweltnutzen führen. Entsprechend wird bei der Evaluation der Indikatoren geprüft, ob sie die verschiedenen Strategien der Kreislaufwirtschaft sinnvoll abbilden.

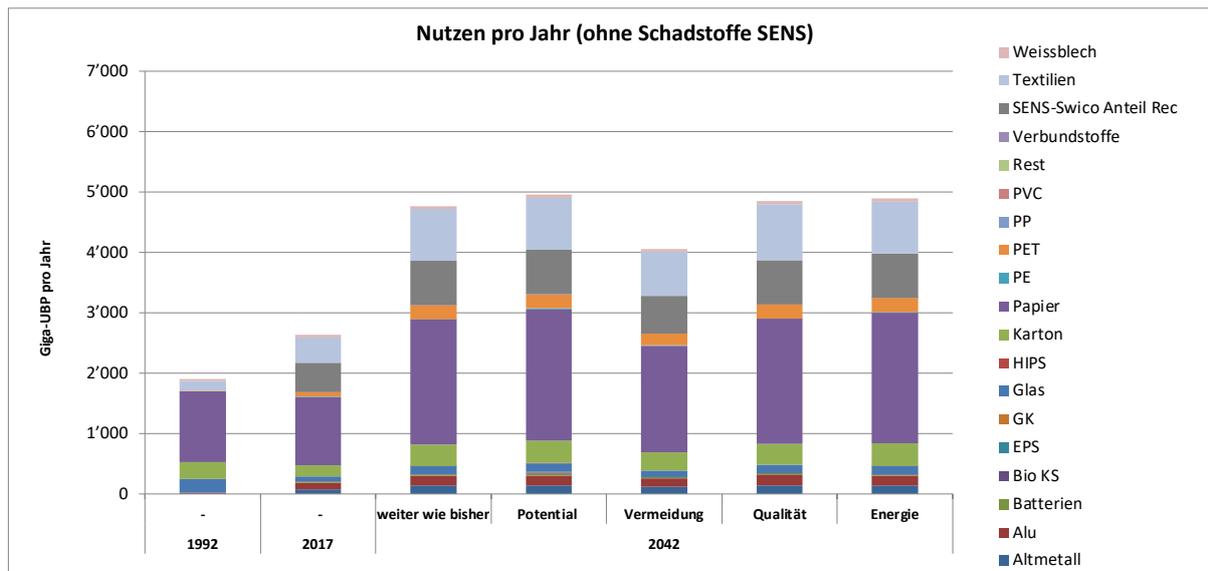


Abbildung 1 Zukunftsszenarien 2042 Swiss Recycling im Jahre 2017

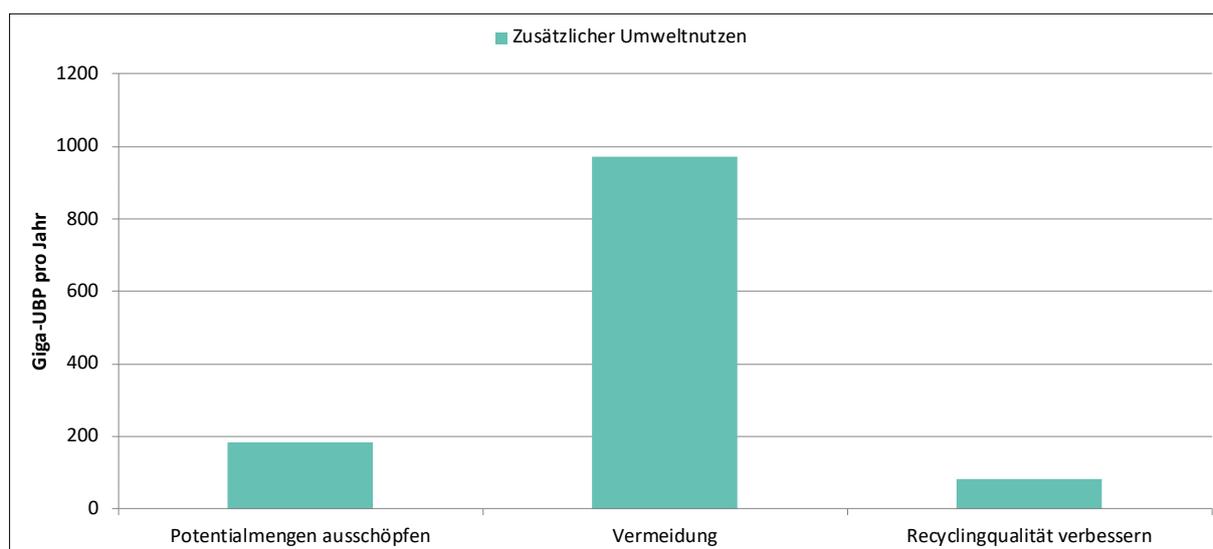


Abbildung 2 Zusätzlicher Umweltnutzen im Jahre 2042 der verschiedenen Szenarien

4.2 Ebene Produkt und Strategieentwicklung

Tabelle 7: Bewertung der Indikatoren für Produkte und Strategieentwicklung.

Berechnung der Resultate:

Gewichteten Summe: Die Mittelwerte der vier Kategorien werden mit dem jeweiligen Gewichtungsfaktor multipliziert. Der Mittelwert dieser vier Zahlen ergibt die gewichtete Summe.

Multiplikation: Multiplikation der vier Mittelwerte der Kategorien.

Produkt-Materialebene	Kategorie	Kriterium	Massenfluss-Indikatoren		Relativer Umweltindikator	Absolute Umweltindikatoren		Effizienz-Indikator
			Recycling- quote	Recycling- einsatz	REV-Indikator	Recycling Nutzen ReN	Systemnutzen SyN	BIP / Abfall
Messung CE Strategien (Pwc)		Zirkuläre Beschaffung (circular sourcing)	0	1	0.5	0.5	1	0
		Nachhaltiges Design (sustainable design)	0	0	1	1	1	0
		Ressourceneffizienz (resource efficiency)	0	0	0	0	1	0
		Produkt als Dienstleistung (product as a service)	0	0	1	1	1	0.1
		Sharing/Virtualisierung (sharing/virtualising)	0	0	0.5	0.5	1	0.1
		Einsatzoptimierung/Wartung (usage optimisation/maintenance)	0	0	1	1	1	0.1
		Wiederverwendung/Umverteilung (reuse/redistribution)	0	0	1	1	1	0.1
		Aufarbeitung/Wiederaufbereitung (refurbishing/remanufacture)	0	0	1	1	1	0.1
		Industrielle Symbiose / Recycling aus der Produktion (industrial symbiosis / recycling from manufacturing)	0.5	0.5	1	1	1	0.1
		Recycling aus dem Verbrauch (recycling from consumption)	1	0	1	1	1	0.5
Gewichtung: 2		Mittelwert	0.15	0.15	0.8	0.8	1	0.11
Ökologische Aussagekraft		Hoher Indikatorwert zeigt einen hohen Umweltnutzen an	0.15	0.15	0.65	0.75	1	0.1
		Absoluter Umweltnutzen	0	0	0	1	1	0
		Nutzen Gesamtsystem (Reduce – Reuse – Recycle)	0.125	0.125	0.75	0.75	1	0.2
Gewichtung: 4		Mittelwert	0.09	0.09	0.47	0.83	1.00	0.10
Praktikabilität		Skalierbarkeit, Datenverfügbarkeit, Machbarkeit	1	1	0.5	0.5	0.5	0.25
		Reproduzierbarkeit (Datenbanken und Bewertungsmethoden)	1	1	0.75	0.75	0.75	0.5
		Aufwand (Erhebung, Auswertung, Kostenaufwand): 1 klein - 0: hoch	1	1	0.25	0.25	0.25	0.25
Gewichtung: 1		Mittelwert	1.00	1.00	0.50	0.50	0.50	0.33
Kommunizierbarkeit		Verständlichkeit	1	1	0.75	0.75	0.75	0.5
		Internationale Vergleichbarkeit: Europa	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5
Gewichtung: 1		Mittelwert	1	1	0.625	0.625	0.625	0.5

Gewichtete Summe	0.67	0.67	1.15	1.51	1.78	0.36
- auf 1 Normiert	37%	37%	64%	85%	100%	20%
Multiplikation	0.01	0.01	0.12	0.21	0.31	0.00
- auf 1 Normiert	4%	4%	37%	67%	100%	1%
Gleichgewichtete Summe:	2.2	2.2	2.4	2.8	3.1	1.0
- auf 1 Normiert	72%	72%	77%	88%	100%	33%
	Recycling- quote	Recycling- einsatz	REV-Indikator	Recycling Nutzen ReN	Systemnutzen SyN	BIP / Abfall

4.3 Ebene Unternehmen

Auf der Ebene Unternehmen können die Indikatoren verwendet werden, um einzelne Produkte zu optimieren und das Erreichte auszuweisen. Dazu können die Indikatoren für Produkte verwendet werden und entsprechend gilt dafür die Bewertung in Tabelle 7. Zudem können sie auch für die Beurteilung der gesamten Firma eingesetzt werden. Falls das Sortiment der Produkte beschränkt ist, z.B. Betonwerk, so können ebenfalls die Indikatoren für Produkte angewendet werden. Je nach Komplexität der Firma, bzw. der Vielzahl ihrer Produkte wird sich die Beurteilung der Firma aus Machbarkeitsgründen auf die grossen Materialströme beschränken und die Beurteilung der Indikatoren entspricht derjenigen für das Land, siehe Kapitel 4.4. Daher wird diese Bewertung nicht explizit aufgeführt.

4.4 Ebene Land

Auf der Ebene Land können die Indikatoren mit vertretbarem Aufwand nur eingesetzt werden, um die grossen Materialströme, wie z.B. Glas, Papier, Baumaterialien etc. zu beurteilen. So wurde z.B. von Swiss Recycling für die Materialien ihrer Mitglieder der ReN der Schweiz berechnet, indem der ReN, der sich durch das Recycling pro Tonne Material ergibt, mit dem jährlichen Stofffluss dieses Materials in der entsprechenden Anwendung multipliziert wurde. Aus dieser Information kann auch der REV berechnet werden. Ebenso wurde der SyN berechnet, siehe dazu Kapitel 4.1.2. Im Projekt «Ökologische Beurteilung der Verwertung von Bauabfällen» (Dinkel et al., 2021) wurde der ReN für die grossen Abfallströme der Schweizer Bauwirtschaft auf dieselbe Weise berechnet. Möglicherweise können diese Indikatoren auch für weitere Sektoren ermittelt werden, indem die bereits vom BFS erhobene Kreislauf-Materialnutzungsquote mit Ökobilanzdaten verknüpft wird. Jedoch wird es nicht möglich sein, alle möglichen Produkte und Anwendungen zu berücksichtigen. Damit alle drei Strategien der KW beurteilt werden können, darf sich die Betrachtung nicht auf die Abfallströme beschränken, sondern muss den gesamten Lebensweg inklusive Herstellung und Gebrauch mitberücksichtigen. Zudem sollen die Indikatoren verwendet werden können, um Strategien für verschiedene Herstellung-, Nutzungs- und Recyclingverfahren zu beurteilen.

Tabelle 8: Bewertung der Indikatoren auf Landesebene

Berechnung der Resultate:

Gewichteten Summe: Die Mittelwerte der vier Kategorien werden mit dem jeweiligen Gewichtungsfaktor multipliziert. Der Mittelwert dieser vier Zahlen ergibt die gewichtete Summe.

Multiplikation: Multiplikation der vier Mittelwerte der Kategorien.

Landesebene		Massenfluss-Indikatoren		Relativer Umweltindikator	Absolute Umweltindikatoren		Effizienz-Indikatoren
Kategorie	Kriterium	Recycling- quote	Recycling- einsatz	REV-Indikator	Recycling Nutzen ReN	Systemnutzen SyN	BIP / Abfall
Messung CE Strategien (PwC)	Zirkuläre Beschaffung (circular sourcing)	0	1	0.5	0.5	1	0
	Recycling aus dem Verbrauch (recycling from consumption)	1	0	1	1	1	0.5
Gewichtung: 2	Mittelwert	0.50	0.50	0.75	0.75	1.00	0.25
Ökologische Aussagekraft	Hoher Indikatorwert zeigt einen hohen Umweltnutzen an	0.25	0.25	0.65	0.75	1	0.1
	Absoluter Umweltnutzen	0	0	0	1	1	0
	Nutzen Gesamtsystem (Reduce – Reuse – Recycle)	0.17	0.17	0.75	0.75	1	0.1
Gewichtung: 4	Mittelwert	0.14	0.14	0.47	0.83	1.00	0.07
Praktikabilität	Skalierbarkeit, Datenverfügbarkeit, Machbarkeit	1	1	0.5	0.5	0.5	1
	Reproduzierbarkeit (Datenbanken und Bewertungsmethoden)	1	1	0.75	0.75	0.75	1
	Aufwand (Erhebung, Auswertung, Kostenaufwand): 1 klein - 0: hoch	1	1	0.25	0.25	0.25	1
Gewichtung: 1	Mittelwert	1.00	1.00	0.50	0.50	0.50	1.00
Kommunizierbarkeit	Verständlichkeit	1	1	0.75	0.75	0.75	1
	Internationale Vergleichbarkeit: Europa	1	1	0.5	0.5	0.5	1
Gewichtung: 1	Mittelwert	1	1	0.625	0.625	0.625	1

Gewichtete Summe	0.89	0.89	1.12	1.49	1.78	0.69
- auf 1 Normiert	50%	50%	63%	84%	100%	39%
Multiplikation	0.07	0.07	0.11	0.20	0.31	0.02
- auf 1 Normiert	22%	22%	35%	63%	100%	5%
Ungewichtete Summe:	2.6	2.6	2.3	2.7	3.1	2.3
- auf 1 Normiert	84%	84%	75%	87%	100%	74%
	Recycling- quote	Recycling- einsatz	REV-Indikator	Recycling Nutzen ReN	Systemnutzen SyN	BIP / Abfall

4.5 Diskussion

Sowohl die Resultate der gewichteten Summe wie auch diejenigen der Multiplikation der Aspekte Strategien der Kreislaufwirtschaft, Ökologische Aussagekraft, Praktikabilität und Kommunizierbarkeit zeigen dasselbe Ranking. Bei einer Gleichgewichtung der Kategorien nähern sich die Bewertungen der Indikatoren an, jedoch ergibt sich auch kein anderes Ranking. Daher können die folgenden Bewertungen als robust bezeichnet werden:

- Am besten schneiden die absoluten Umweltindikatoren ab, wobei der System-Nutzen noch ein etwas höheres Ranking erhält verglichen mit dem Recycling-Nutzen. Das ist verständlich, da der System-Nutzen eine umfassendere Betrachtungsweise ist, das heisst, die Systemgrenzen sind weiter gewählt und es können mehr Strategien bewertet werden, wie zum Beispiel die Strategie *Reduktion* (reduce).
- Danach folgt der REV-Indikator mit einer Bewertung, welcher zwischen den absoluten Indikatoren und den Massenfluss-Indikatoren bzw. dem Effizienz-Indikator liegt. Wie die Beispiele in Kapitel 4.1 gezeigt haben, ist der REV-Indikator bezüglich der Umweltauswirkungen aussagekräftiger als die Massenfluss-Indikatoren. Er kann jedoch auch zu Fehlbeurteilungen führen, wenn er nicht durch die absoluten Umweltauswirkungen ergänzt wird.
- Die Massenfluss-Indikatoren sowie der Effizienz-Indikator erhalten das schlechteste Ranking, da sie sowohl bezüglich der relevanten Kategorien *ökologische Aussagekraft* und *Messung Kreislaufwirtschaftsstrategie* am schlechtesten abschneiden. Das heisst, diese drei Indikatoren können zu falschen Entscheiden bezüglich Ökologie und Kreislaufwirtschaft führen.

Aufgrund dieser Bewertung und den dahinterstehenden Überlegungen und Resultaten von Studien, welche zeigen, dass die heute verwendeten Massenfluss-Indikatoren zu kurz greifen, wird empfohlen die Massenfluss-Indikatoren durch aussagekräftigere Indikatoren zu ersetzen oder zumindest mit solchen zu ergänzen. Damit kann vermieden werden, dass ökologisch falsche Entscheidungen getroffen werden. Solche Fehlentscheidungen können nicht nur das Vertrauen in die Wirksamkeit von umweltpolitischen und KW-Massnahmen beschädigen, sondern es besteht auch die Gefahr, dass finanzielle Mittel falsch eingesetzt werden und dann für wichtige Massnahmen fehlen.

Als Ersatz für die Massenfluss-Indikatoren bieten sich sowohl die absoluten Umweltindikatoren (ReN und SyN), wie auch der REV-Indikator an. Bezüglich des Aufwands zur Erhebung der Indikatoren sind diese vergleichbar, da sie auf der Methode der Ökobilanzierung beruhen und ein entsprechendes Systemverständnis sowie die notwendigen Hintergrunddaten benötigen.

Der Vorteil der absoluten Umweltindikatoren liegt verglichen mit dem REV in der höheren Aussagekraft und damit geringeren Gefahr für Fehlentscheide. Dies ist auch der Hauptgrund, warum das Rating, siehe Tabelle 7 und Tabelle 8 für die Indikatoren ReN und SyN am höchsten ausfällt. Durch Informationen zu den eingesparten Treibhausgasemissionen und anderen Umweltbelastung entsteht zudem eine wichtige Entscheidungsgrundlage für Entscheidungsträgerinnen.

Wir empfehlen daher, **nicht einen einzelnen Indikator, sondern ein Set von Indikatoren zu verwenden.** In der Verständlichkeit hat der REV-Indikator Vorteile, jedoch muss bei diesem mit absoluten Indikatoren zumindest geprüft werden, ob sich keine Fehlbeurteilung ergibt.

5 Berechnung des REV-Indikators und der absoluten Umweltindikatoren

In diesem Kapitel soll kurz aufgezeigt werden, welche Daten notwendig sind, um den REV-, bzw. die absoluten Umwelt-Indikatoren zu erheben. Zu folgenden Aspekten müssten Daten erhoben werden, um diese Indikatoren anwenden zu können:

Auf der Ebene Produkte:

- Angewandte und mögliche Werterhaltungsprozesse identifizieren und die Prozesse abbilden (wie bei jedem Indikator)
- Mögliche Aufbereitungen und deren Umweltauswirkungen
- Mögliche Einsatzgebiete des Rezyklates oder des second-hand Produktes identifizieren / Abklärungen zu dessen Substitutionsleistung
- Allfällige Mehr- oder Minderbelastung im Gebrauch
- Umweltauswirkungen der primären Herstellung

Auf der Ebene Land:

- Massenfluss-Indikatoren
- Gegebenenfalls (falls nicht bottom-up sondern top-down: Einsatzgebiete der Rezyklate, um Substitution korrekt zu bewerten)
- Angaben zu Werterhaltungsprozessen, welche zu einer Verlängerung der Lebensdauer führen. Dazu zählen Informationen zu Reparatur oder anderen Prozessen zur Erneuerung eines Produktes und die dadurch erreichte Lebensdauererlängerung.

Die so ermittelten Stoff- und Energieflüsse müssen mit Ökobilanz-Hintergrunddaten verknüpft werden. Dazu können Datenbanken wie z.B. diejenige des Bundes (KBOB et al., 2018) oder ecoinvent (ecoinvent, 2021) verwendet werden. Danach kann die Sachbilanz erstellt werden, welche Auskunft gibt, welche Ressourcen benötigt und welche Emissionen verursacht werden.

Aus diesen Informationen können die verschiedenen Auswirkungen auf die Umwelt, z.B. die Klimaauswirkungen, und gesamte Indikatoren der Umweltauswirkungen, wie z.B. die UBP, berechnet werden.

Anschliessend können die Indikatoren REV, ReN und SyN entsprechend den Formeln (4) bis (6) berechnet werden.

6 Empfehlung

Wie im Kapitel 4 aufgezeigt wurde, sind **die absoluten Umweltindikatoren (Recyclingnutzen ReN und Systemnutzen SyN) am besten geeignet**, um eine Aussage über den ökologischen Nutzen der Kreislaufwirtschaft zu machen. Dabei ist zu beachten, dass es sich in der Vergangenheit gezeigt hat, dass gewisse Indikatoren zumindest diejenigen, bei denen mehrere Umweltbelastungen gewichtet und zu einem Indikator zusammengefasst werden, wie z.B. wie UBP in der MöK, nur **schwer interpretierbar und nicht leicht zu kommunizieren** sind. Hier bietet der REV-Indikator einen Mehrwert, da er wesentlich aussagekräftiger ist als die bis anhin verwendeten Indikatoren ReQ und BIP-A und gleichzeitig die Angabe in Prozenten verständlich ist. Da die Berechnung des REV-Indikators basierend auf Ökobilanzen nicht trivial ist, kann es sich dabei auch um ein scheinbares Verständnis handeln.

Der REV stellt gegenüber den bestehenden Recyclingindikatoren einen wichtigen **Fortschritt** dar, indem er den **relativen ökologischen Nutzen berücksichtigt und damit verschiedene Fehlschlüsse, zu welchen die bestehenden Indikatoren verleiten, ausmerzt**. So verleitet z.B. die Recyclingquote oder der Recyclinganteil in einem Produkt dazu, dass dasjenige Material oder Produkt mit der höchsten Quote als das ökologischste betrachtet wird, obwohl Lösungen mit anderen Materialien durchaus ökologischer sein können, auch wenn die Quoten kleiner sind. Noch problematischer ist es, wenn eine hohe Quote den Eindruck vermittelt, dass dadurch praktisch keine Umweltauswirkungen entstehen und dies zu einem höheren Konsum verleitet, anstatt zu einer Verlängerung der Nutzungsdauer oder einer anderen Reduktion. Auch hier kann der REV wesentlich zu einer Klärung beitragen.

Dennoch ist der **REV-Indikator gegenüber den absoluten Umweltindikatoren ReN und SyN, hinsichtlich der ökologischen Aussagekraft, unterlegen**. Er kann den wesentlichen Aspekt *Reduktion* der Kreislaufwirtschaft nur beschränkt adressieren. Die entscheidende Frage, ob die Umweltauswirkungen in der Schweiz reduziert werden, kann er nicht beantworten. So kann mit wachsendem Konsum die Umweltbelastung trotz steigendem REV höher werden. Ebenso kann ein hoher REV dazu verleiten, dass der absolute Nutzen überschätzt wird und mit Aktivitäten in anderen Bereichen, z.B. Verkehr, Ernährung oder Energiebedarf der Recyclingnutzen um Faktoren überkompensiert wird.

Zudem haben in den letzten Jahren das Verständnis und die Akzeptanz von Ökobilanz-Indikatoren wie z.B. CO₂ Äquiv. oder UBP stark zugenommen. Gerade im Zusammenhang mit dem notwendigen Absenkpfad der klimarelevanten Emissionen sind Angaben zu CO₂ Äquiv. nicht nur allgemein bekannt, sondern auch notwendig geworden, um den Nutzen von Massnahmen, wie z.B. Recyclingstrategien, einordnen zu können.

Entsprechend können wir den REV nur in Kombination mit absoluten Indikatoren wie z.B. ReN und SyN oder anderen ökobilanzbasierten Indikatoren empfehlen. Der REV kann dazu verwendet werden, um gewisse Anstrengungen im Bereich der KW zu messen und zu kommunizieren. Jedoch sollte zumindest mit einem absoluten Umweltindikator geprüft werden, ob der REV das gewünschte anzeigt. Entsprechend stellt sich die Frage, ob der Aufwand zur Berechnung und Einführung des REV sinnvoll ist oder ob nur die absoluten Indikatoren eingeführt werden sollen, welche so oder so notwendig sind, um die Grössenordnung des Nutzens einzuordnen und um alle Strategien der KW adressieren zu können. Auf Landesebene wäre es auch denkbar, für die grossen Ressourcen und Materialströme der Schweiz, eine Umwelt- oder Klimabilanz zu erstellen und diese als Prozentzahl zu einem Referenzjahr anzugeben. Damit könnte die Kommunikation ebenfalls leicht verständlich gestaltet und gleichzeitig die Zielerreichung der KW gemessen werden.

7 Beantwortung von Fragen zur Eignung des REV

Die folgenden Antworten auf Fragen zur Eignung und Verwendung des REV beruhen auf den Ergebnissen der vorigen Kapitel.

1. *Kann der REV-Indikator zur Messung der Zirkularität (Kreislaufleistung) auf den Ebenen der einzelnen Produkte, der Unternehmen und des Landes eingesetzt werden und wie kann er zu diesem Zweck angewendet werden?*

Der REV-Indikator kann bis zu einem gewissen Grad zur Messung der Zirkularität verwendet werden. Seine Aussagekraft ist sowohl bezüglich Ökologie wie auch Zirkularität wesentlich höher als diejenige der heute verwendeten Massenfluss-Indikatoren: Recyclingquote (ReQ), Kreislauf-Materialnutzungsquote, Recyclingeinsatz (ReE) oder BIP/Abfallmenge. Zudem bietet der REV-Indikator den Vorteil der heute verwendeten Indikatoren, dass die Ergebnisse in Form einer Prozentzahl gegeben werden und damit gut kommunizierbar sind.

Dennoch ist Folgendes zu bedenken:

- Wie Beispielrechnungen gezeigt haben, kann auch der REV-Indikator zu falschen ökologischen Schlussfolgerungen führen, wenn er nicht durch Indikatoren, welche die absoluten Umweltwirkungen messen, wie der Recyclingnutzen (ReN), der Systemnutzen (SyN) oder andere Indikatoren und Resultate, welche auch auf Ökobilanzen beruhen, ergänzt wird.
- Diejenigen Strategien einer Kreislaufwirtschaft, welche ein bestehendes Produkt oder eine Dienstleistung betreffen, können mit dem REV-Indikator beurteilt werden. Die Strategien *Vermeidung* und *Reduktion* können aber nur beschränkt oder nicht beurteilt werden. Also z.B. die Frage, ob es aus Umweltsicht sinnvoller ist, ein möglichst leichtes Verbundmaterial zu verwenden, welches nicht rezyklierbar ist, oder ein schweres Material, welches gut rezykliert werden kann. Solche Entscheide stellen jedoch wesentliche Aspekte der Kreislaufwirtschaft dar.
- Der Aufwand zur Berechnung des REV-Indikators ist um einiges höher als derjenige zur Erhebung der relativen Massenfluss-Indikatoren. Der Aufwand ist ebenso hoch, wie derjenige zur Erhebung von Ökobilanzindikatoren, wie ReN oder SyN, welche eine höhere ökologische Aussagekraft haben und mit denen alle Strategien der Kreislaufwirtschaft beurteilt werden können.

Um ein möglichst umfassendes und damit verlässliches Bild der Kreislaufwirtschaft, deren Umsetzung und Fortschritte zu erhalten und um Lösungsansätze und Strategien zu prüfen, wird empfohlen, relative Indikatoren wie den REV-Indikator mit absoluten Indikatoren zu kombinieren. Letztere sollen wie der REV-Indikator auf der Betrachtung des gesamten Lebenszyklus (Ökobilanzierungsansatz) basieren. Dies ist machbar, wie z.B. der Bericht zur ökologischen Beurteilung der Verwertung von Bauabfällen (Dinkel et al., 2021) oder der Leistungsbericht von Swiss Recycling (Swiss Recycling, 2017) zeigt, in welchem für alle Materialien, welche unter dem Dach von Swiss Recycling sind, der Recyclingnutzen ausgewiesen wurde. Entsprechend stellt sich die Frage, ob die Ermittlung des REV-Indikators notwendig ist oder ob es sinnvoller ist, nur die absoluten Ökobilanzindikatoren der Kreislaufwirtschaft zu verwenden, welche eine höhere Aussagekraft als der REV haben.

Folgende Anwendungen sind denkbar:

- Auslobung auf Produktebene als Hilfestellung für Konsumenten
Für Produkte, welche ganz oder teilweise aus Recyclingmaterialien bestehen, kann der REV-Indikator aus der Art der Materialien, deren Anteil, der wiederverwendet oder rezykliert wurde, sowie den dazu gehörenden Ökobilanzinformationen, berechnet werden. Damit kann die Information gegeben werden, wie hoch die relative Reduktion der Umweltauswirkungen gegenüber demselben Produkt aus Neumaterial ist.
Zudem kann mit dem REV-Indikator für ein Produkt angegeben werden, welcher Anteil der ursprünglichen Umweltbelastung durch Recycling zurückgewonnen werden kann. Dazu müssen jedoch Annahmen bezüglich des zukünftigen Recyclings getroffen werden. Dies ist bei langlebigen Produkten oder bei Materialien, welche verschiedene Verwertungsmöglichkeiten bieten, mit grossen Unsicherheiten verbunden.
Zu beachten ist, dass diese Anwendung eine beschränkte Aussagekraft hat, da sie z.B. die Lebensdauer des Produktes nicht berücksichtigt und damit wie bei den heute verwendeten Recycling-Indikatoren zu Fehleinschätzungen und Fehlanreizen, führen kann.
- Strategieentscheide in Firmen bezüglich ihrer Produkte oder auf Landesebene bezüglich relevanter Massenströme
Ob es auch für spezifische Industriesektoren machbar ist, muss noch geklärt werden. Eine Bedingung ist sicher, dass die Produktpalette innerhalb des Sektors nicht zu heterogen ist. Der REV kann verwendet werden um zu entscheiden, welches die beste Art der Werterhaltung am Ende der Nutzungsphase eines Produktes oder eines Materials ist. Zur Berechnung muss bekannt sein, wie das ursprüngliche Produkt hergestellt wurde, welches mögliche Werterhaltungsprozesse sind und was damit ersetzt wird. Zu jedem dieser Prozessschritte müssen die entsprechenden Ökobilanzdaten zur Verfügung stehen. Damit können aber mit vergleichbarem Aufwand auch absolute Ökobilanz Indikatoren, wie ReN oder SyN, berechnet werden, welche eine höhere Aussagekraft besitzen. Damit stellt sich die Frage, ob der REV ebenfalls berechnet werden soll, bzw. ob sich dadurch ein Zusatznutzen ergibt. Dies kann für gewisse Fragestellungen sinnvoll sein.
- Messen des Fortschritts der Kreislaufwirtschaft auf Landesebene
Für grosse Massenströme wie Baumaterialien, Metalle, Papier, Glas, Baumaterialien oder Kunststoffe ist es denkbar, dass der REV berechnet werden kann, wie dies für die absoluten Ökobilanz-Indikatoren, wie ReN und SyN, teilweise bereits gemacht wurde. Damit könnte der Fortschritt über die Jahre verfolgt werden. Dazu müssen die Ökobilanzdaten zu Recycling verknüpft werden mit den Mengen an wiederverwendetem, rezykliertem und neuem Material, das eingesetzt wird, sowie dem Anteil des Materials, das am Ende seiner Nutzungsdauer einer Verwertung oder Entsorgung zugeführt wird. In einem ersten Schritt können dazu die Kreislaufmaterialnutzungsquoten verwendet werden. Ebenso ist es vorstellbar, dass dies für einzelne Sektoren gemacht werden kann. Dazu sind jedoch noch weitere Forschungen notwendig. Der Zusatznutzen gegenüber dem bestehenden BFS-Indikator der Kreislaufmaterialnutzungsquote wäre, dass mit den ökobilanziellen Indikatoren der Umweltnutzen dargestellt wird und damit Fehlschlüsse und entsprechend Fehlentscheide reduziert werden.

2. *Wie aussagekräftig ist der REV-Indikator (Vor- und Nachteile) im Vergleich mit den bisher verwendeten Indikatoren bei der Messung der gesamten Umweltbelastung, auf den Ebenen der Produkte und Materialien, der Unternehmen und des ganzen Landes? Welcher Indikator ist für welche Ziele und der Darstellung deren Erreichung geeignet?*

Die Bewertung der verschiedenen Indikatoren hat klar gezeigt, dass gerade hinsichtlich der ökologischen Aussagekraft die bisher angewandten Indikatoren Recyclingquote (ReQ), Kreislauf-Materialnutzungsquote⁹ und BIP-A beschränkt geeignet sind, um den Nutzen der Kreislaufwirtschaft abzubilden oder Strategien zu prüfen.

Recycling-Quote, ReQ:

Verschiedene Studien zeigen, dass Recycling in den meisten Fällen zu einer Reduktion der Umweltauswirkungen führt im Vergleich zur Neuherstellung und Entsorgung. Ebenso gilt für diese Fälle, dass zumindest in einem gewissen Bereich eine höhere ReQ zu einem höheren Nutzen führt. Entsprechend indiziert der ReQ bis zu einem gewissen Grad einen Umweltnutzen. Jedoch sagt er nichts darüber aus, wie hoch dieser Nutzen ist. Ebenso wenig sagt er etwas darüber aus, ob durch andere Kreislaufwirtschafts-Strategien wie *Reduktion des Materialinputs, Wiederverwendung oder eine andere Material- oder Produktwahl* ein höherer Nutzen erreicht werden kann. Damit kann dieser Indikator zu falschen Entscheidungen führen.

BIP pro Abfallmenge, BIP-A:

Der BIP-A Indikator sagt nichts über die Umweltauswirkungen aus, sondern nur über die Abfallmengen und deren Verhältnis zum BIP. Entsprechend kann er nur auf der Ebene Land sinnvoll eingesetzt werden. Für die Beurteilung von Produkten oder Firmen ist er nicht geeignet. Zudem kann er, in der Form wie er vom BFS publiziert wird, nicht oder nur beschränkt für die Messung der Kreislaufwirtschaft eingesetzt werden. Beispielsweise kann die ökologische Nachhaltigkeit von Werterhaltungsprozessen wie Reparatur oder Recyclinganstrengungen nicht abgebildet werden. Zudem kann der Indikator durch eine Zunahme der Wirtschaftsleistung positiv bewertet werden, ohne dass eine Verbesserung bei der Umwelt-, Abfall- oder Kreislaufwirtschaftssituation erzielt wurde. Auch bei einer relativen Entkopplung (die Umweltbelastung nimmt weniger zu als das BIP) oder einer absoluten Entkopplung (Umweltbelastung oder Abfallmenge sinkt, während das BIP steigt) ist noch nicht gewährleistet, dass die Fortschritte ausreichen, bzw. umweltpolitischen Zielen entsprechen.

REV-Indikator:

Der REV-Indikator zeigt, wieviel der Umweltauswirkungen, welche bei der Produktion des ursprünglichen Produktes oder Materials entstanden sind, durch Recycling oder Reuse zurückgewonnen werden können. Damit zeigt er nicht einfach, wieviel Material wiederaufbereitet und eingesetzt wird, sondern wieviel Umweltbelastung damit reduziert werden kann. Er geht in dreifacher Hinsicht wesentlich weiter als die bisher verwendeten Indikatoren.

- Er umfasst neben der Herstellung, Aufbereitung und Entsorgung ebenfalls die Nutzungsphase.
- Er bewertet die Umweltauswirkungen, welche auftreten, bzw. vermieden werden.
- Er kann nicht nur bei Recycling angewendet werden, sondern kann auch weitere Werterhaltungsprozesse wie Reparatur, Wiederverwendung und dergleichen bewerten.

Zudem erlaubt der REV-Indikator zu beurteilen, welches aus Umweltsicht der optimale Werterhalt-

⁹ In diesem Bericht wird die Recyclingquote so definiert, dass sie der Kreislauf-Materialnutzungsquote entspricht.

tungsprozess eines Produktes oder eines Materials ist. Dabei beschränkt er sich nicht auf die Wiederverwendung in dieselbe Anwendung, sondern erlaubt es auch zu prüfen, ob durch den Einsatz in einer anderen Anwendung ein höherer Nutzen erzielt werden kann. Dies kann der Fall sein, wenn damit ein Material oder Produkt ersetzt werden kann, welches mit hohen Umweltauswirkungen in der Herstellung verbunden ist oder wenn sich dadurch ein zusätzlicher Nutzen in der Gebrauchsphase ergibt, z.B. durch Gewichtseinsparungen. Damit ist der REV-Indikator geeignet, Verwertungsstrategien auszuarbeiten und bezüglich dem relativen Umweltnutzen zu beurteilen.

Die Nachteile des REV-Indikators liegen darin, dass ein tiefgehendes Systemverständnis, insbesondere für eine realistische Modellierung der substituierten Produkte und Umweltauswirkungen, notwendig ist. Der Einbezug der Substitution ist notwendig, um den erhaltenen Umweltwert zu quantifizieren. Das heisst, je nach Anwendung, in welche ein Material nach der Aufbereitung fliesst, ergibt sich ein anderer Indikator Wert. Dies ist für die strategische Frage, in welche Anwendung das Material gehen soll bzw. ob eine Nutzungsdauerverlängerung sinnvoller ist, notwendig. Er ist jedoch damit nur beschränkt geeignet, um ein Produkt auszuloben.

Auf Landesebene ist eine grundsätzliche Aussage für die grossen Materialströme im Sinne des Anteils Rezyklat am Gesamtmarkt für verschiedene Materialien und die damit verbundene durchschnittliche ökologische Werterhaltung voraussichtlich machbar. Wie dabei vorzugehen und wie hoch die Aussagekraft ist, müsste jedoch noch geprüft werden.

Da der REV-Indikator von einem bestehenden Produkt oder Material ausgeht, ist er nur begrenzt geeignet, um diejenigen Aspekte der Kreislaufwirtschaft abzubilden, welche sich auf das Produktdesign beziehen wie z.B. Reduktionstrategien oder Einsatz von anderen Materialien als die bisher eingesetzten.

Als relativer Indikator sagt der REV auch nichts darüber aus, wie hoch der Nutzen durch die Wertehaltungsprozesse wie zum Beispiel das Recycling tatsächlich ist. So kann er z.B. nicht dazu verwendet werden, ob es sinnvoller ist, eine Aluminiumdose, Glas- oder PET-Getränkeflasche zu verwenden. Dazu ist eine absolute Betrachtung der Umweltauswirkungen notwendig. Ebenso wenig sagt er etwas darüber aus, wie hoch die Reduktion ist und ob sich die Umweltsituation in einem Land oder in einer Firma tatsächlich verbessert. Auch bei einem steigenden REV-Wert können sich die gesamten Umweltauswirkungen erhöhen, wenn der Konsum des untersuchten Systems steigt. Ebenso kann ein hoher REV dazu verleiten, dass der absolute Nutzen überschätzt wird und mit Aktivitäten in anderen Bereichen, z.B. Verkehr, Ernährung oder Energiebedarf der Recyclingnutzen um Faktoren überkompensiert wird.

Darum empfehlen wir, den REV-Indikator nur in Kombination mit einem absoluten Umweltindikator (ReN oder SyN) bzw. anderen Indikatoren und Resultaten, welche auf Ökobilanzen beruhen, zu verwenden.

3. *Wie könnte die Bundesverwaltung den REV-Indikator in die Messung der Leistungsfähigkeit der Kreislaufwirtschaft einbeziehen?*

Auf der Ebene Bundesverwaltung könnte der REV-Indikator eingesetzt werden, indem die bestehenden Massenfluss-Indikatoren ergänzt werden mit den für die Berechnung des REV-Indikators notwendigen Ökobilanzdaten. Damit könnten sowohl für die verschiedenen Materialflüsse wie Glas, Papier, mineralische Bauabfälle, Kunststoffe etc. REV-Indikatoren bestimmt und Ziele gesetzt werden. Zudem könnte der REV-Indikator der Zirkularität in der Schweiz bestimmt werden, indem die relevanten Substitutionen, respektive Rezyklateinsätze in der Schweiz und die entsprechenden

Aufwendungen in Werterhaltungsprozessen sowie allenfalls die Impacts der Nutzungsphase summiert werden und dieser Wert durch die Gesamtumweltbelastung des Konsums in der Schweiz dividiert wird. Dazu sind jedoch vertiefte Abklärungen notwendig, vor allem auch um das sinnvolle Mass an Pragmatismus und notwendiger Tiefe zu bestimmen.

Jedoch empfehlen wir, den REV-Indikator mit absoluten Umweltindikatoren (ReN oder SyN) oder Ökobilanzresultaten zu ergänzen, da diese, wie oben ausgeführt, mit demselben Aufwand eine höhere Aussagekraft bezüglich Zirkularität wie auch Ökologie haben. Entsprechend stellt sich die Frage, ob der Bund sich nicht auf die absoluten Umweltindikatoren der Kreislaufwirtschaft beschränken soll, da diese gemäss Evaluation in Kapitel 4 das höhere Rating als der REV-Indikator haben.

4. *Eignet sich der REV besonders gut oder gibt es Indikatoren, die sich ebenso gut oder noch besser eignen, um die Kreislauffähigkeit von Produkten zu erfassen? Zu erwähnen sind z.B. der SEBI-Indikator (Specific-Eco-Benefit-Indicator) für die ökonomisch-ökologische Analyse von Verwertungssystemen, welcher z.B. zur Beurteilung von Kunststoffverwertungen aus Haushalten verwendet wurde¹⁰ oder der Indikator zum Messen des ökologischen Nutzens der Verwertung von Altglas¹¹.*

Je nach Zielsetzung und der Definition Kreislauffähigkeit stehen hier verschiedene Fragen mit den entsprechenden Antworten im Fokus.

In einem sehr engen Verständnis der Kreislaufwirtschaft (KW) wird dabei oft die folgende Frage verstanden:

- Wie viel kann massenmässig im Kreislauf geführt werden?

Um diese Frage zu beantworten, sind die Indikatoren Recyclingquote (ReQ) und Recyclingeinsatz (ReE) die richtigen Indikatoren.

Das übergeordnete Ziel der KW besteht jedoch darin, die Umweltauswirkungen zu reduzieren und Ressourcen zu schonen. In diesem Sinne kann die folgende Frage sinnvoll sein:

- Wie viel Werterhaltung kann durch verschiedene Werterhaltungsprozesse erreicht werden?

Wobei unter Werterhaltung nicht nur das Rezyklieren von Materialien verstanden wird, sondern z.B. auch Massnahmen, welche die Lebensdauer eines Produktes verlängern.

Um diese Frage zu beantworten, sind die obigen Indikatoren ungeeignet, dafür kann der REV bis zu einem gewissen Grad verwendet werden. Da er nur eine relative Antwort in Form einer Prozentzahl gibt, sagt der REV jedoch nichts darüber aus wie hoch der Nutzen tatsächlich ist. Z.B. im Zusammenhang mit dem Absenkpfad der klimarelevanten Emissionen ist eine absolute Angabe des Nutzens notwendig, um dessen Grössenordnung einordnen zu können. Dazu sind andere Ökobilanz-Indikatoren, wie der ReN oder SyN besser geeignet.

¹⁰ Bericht Carbotech und UMTEC (2017), KuRVe (Kunststoff Recycling und Verwertung)

¹¹ CustomLCA Carbotech (2016), Ökobilanz Verwertungen von Altglas - ökologischer Nutzen der Sammlung von Verpackungsglas

In vielen Fällen greift auch diese Frage aus Umweltsicht zu wenig kurz und die folgende Frage ist viel zielführender:

- Welche Strategie der Kreislaufwirtschaft ist zur Deckung eines bestimmten Bedürfnisses ökologisch zielführend bzw. wie kann ein Bedürfnis mit den geringsten Umweltauswirkungen gedeckt werden?

Als Strategien werden dabei die drei Optionen Reduktion – Wiederverwendung – Recycling verstanden. Um diese umfassende Frage zu beantworten, sind Ökobilanzbetrachtungen, welche die verschiedenen Möglichkeiten zur Deckung des Bedürfnisses betrachten, notwendig. Dazu kann der Indikator SyN verwendet werden. Allerdings ist es schwierig, aus LCA Ergebnissen abzulesen, ob etwas per se kreislauffähig ist.

Um die entscheidende Frage zu beantworten, ob es sich um ein reales Bedürfnis handelt oder der Markt es der Konsumentin als Bedürfnis verkauft, ist keiner dieser Indikatoren geeignet.

Für spezifische Fragestellungen kann der SEBI sowohl für die öffentliche Hand wie auch für Unternehmen sehr hilfreich sein. Dazu gehört z.B. die Beurteilung von Strategien, u.a. auch Strategien einer Kreislaufwirtschaft, aus ökologischer und ökonomischer Sicht. Er kann insbesondere auch Entscheidungsträger dabei unterstützen, ein begrenztes Budget so einzusetzen, dass damit ein hoher Umweltnutzen erreicht wird. Da sich mit dem SEBI jedoch nicht alle möglichen Recyclingsysteme beurteilen lassen, erachten wir ihn als allgemeinen, nationalen Indikator nur als begrenzt geeignet. Dagegen ist die Berechnung des ökologischen Nutzens, bzw. der Umweltauswirkungen mit dem REV oder absoluten ökobilanziellen Indikatoren, wie ReN und SyN, für alle Produkte und Materialien machbar.

Bezüglich Aussagekraft sind absolute Ökobilanz-Indikatoren, wie ReN oder SyN, welche das gesamte System beurteilen die verlässlichsten Indikatoren. Beispielsweise kann so der Beitrag zur Reduktion der Treibhausgasemissionen ausgewiesen werden, was für Entscheidungsträgerinnen im Zusammenhang mit den Verpflichtungen zur Senkung der klimarelevanten Emissionen notwendig ist. Die Interpretation von gesamtaggregierenden Ökobilanz-Resultaten ist für Nicht-Fachleuten jedoch oft schwierig verständlich. Diesbezüglich hat der REV den Vorteil, dass die Darstellung des Resultates als Prozentzahl, zumindest scheinbar einfach, zu verstehen ist. Wir erachten daher den REV als geeigneten Indikator, wenn ihm Ökobilanz-Indikatoren zur Seite gestellt werden, welche verhindern, dass Fehlindikationen gemacht und entsprechende falsche Entscheide getroffen werden. Dabei muss die Frage beantwortet werden, ob der Aufwand zur Berechnung des REV gemacht werden soll, wenn mit vergleichbarem Aufwand aussagekräftigere Indikatoren bereitgestellt werden können, welche so oder so benötigt werden.

8 Glossar

Abkürzung	Beschreibung
BAFU	Bundesamt für Umwelt der Schweiz
BFS	Bundesamt für Statistik
BIP	Brutto Inland Produkt
CE	Circular Economy: Kreislaufwirtschaft
CO₂	Chemische Abkürzung für Kohlendioxid
CO₂ eq.	CO ₂ Äquivalentien. Zur Berechnung der Klimaauswirkungen werden alle Stoffe, welche zur Klimaveränderung beitragen, wie z.B. Methan, Lachgas oder fluoridierte Kohlenwasserstoffe, bezüglich ihrer Klimawirksamkeit als CO ₂ Menge ausgedrückt.
Ecoinvent	Internationale Datenbank mit tausenden von Ökoinventaren
EI	Environmental Impact: Umweltauswirkungen, Abkürzung wird bei der Definition des REV verwendet
EI_{disp}	Environmental Impact displaced product: Umweltauswirkungen des ersetzten Produktes, Abkürzung wird bei der Definition des REV verwendet
Entsorgung	<p>Unter dem Begriff Entsorgung wird in dieser Studie die Deponierung oder thermische Behandlung in einer Verbrennungsanlage typischerweise mit Energienutzung verstanden. Jedoch nicht die stoffliche Verwertung, wie dies ein Recycling darstellt.</p> <p>Zu beachten ist jedoch, dass im USG der Begriff Entsorgung sowohl die Verwertung und Ablagerung umfasst. D.h. die Verwendung des Begriffes in dieser Studie entspricht nicht der Definition des USG, jedoch entspricht sie weitgehend dem allgemeinen Sprachgebrauch. Daher wird der Begriff Entsorgung hier so verwendet.</p>
EU	Europäische Union
ifeu	Institut für Energie- und Umweltforschung, Heidelberg, DE
IGORA	Die IGORA Genossenschaft koordiniert das Aluminium Recycling in der Schweiz
Industrierückführungsquote	Anteil der in den Verkehr gebrachten Mengen, welche nach einem Wiederaufbereitungsprozess wieder als Rohmaterial in den Markt gebracht wird. In diesem Bericht wird diese Quote synonym zur Recyclingquote verwendet. Dies entspricht der Definition des BAFU.
KVA	Kehrichtverbrennungsanlage
KW	Kreislaufwirtschaft
LCA	Life Cycle Assessment: Ökobilanz oder Lebenszyklusanalyse
Methode der ökologischen Knappheit 2013	Totalaggrierende Bewertungsmethode, bei der die bereits bestehende Belastung in einem Gebiet sowie die umweltpolitischen Zielsetzungen berücksichtigt werden, Ergebnis: Umweltbelastungspunkte (UBP). Als Gewichtungsfaktor der einzelnen Substanzen wird die ökologische Knappheit verwendet, d. h. das Verhältnis zwischen der heutigen Emissionsfracht in der Schweiz und der maximal tolerablen Fracht (kritischer Fluss). (BUWAL 1990 bzw. Braunschweig et al. 1993, überarbeitet im Auftrag des BAFU in den Jahren 1997, 2006 und 2013).
MöK	Methode der ökologischen Knappheit

Abkürzung	Beschreibung
Ökoinventar	Enthält sämtliche umweltrelevanten, quantitativen Angaben eines Produktes, Prozesses oder einer Dienstleistung in Form von Inputs und Outputs.
ökologische Knappheit	Relation zwischen Belastbarkeit einer Umweltressource (z. B. Luftemission, Eisenerz) und der heutigen Belastung (BUWAL 1990, bzw. BAFU 2006 und 2013)
PE	Polyethylen: Massenkunststoff der zur Klasse der Polyolefine zählt und in einer Vielzahl von Anwendungen eingesetzt wird.
PET	Polyethylenterephthalat: Massenkunststoff der z.B. für Getränkeflaschen eingesetzt wird.
PRS	PET Recycling Schweiz
RC	Recycled Content: Anteil an Rezyklat in einem Material oder Produkt
ReCiPe	Totalaggregierende Bewertungsmethode aus der Ökobilanzierung, welche die Schäden an den Schutzziele Gesundheit, Ökosysteme und Ressourcen berechnet und anschliessend gewichtet.
Recycling	Im Rahmen dieser Studie wird darunter eine werkstoffliche Verwertung durch einen Umformungsprozess, wie z.B. das Einschmelzen von Metallen, verstanden. Dabei kann des Recyclingprodukt in dieselbe Anwendung oder auch in eine andere gelangen.
Recycling Quote	Siehe Industrierückführungsquote
ReE	Rezyklat-Einsatz
ReN	Recycling-Nutzen
ReQ	Recycling-Quote
REV-Indikator	Retained Environmental Value Indicator: Indikator der misst, welcher Anteil der Umweltauswirkungen, welche bei der Produktion eines Materials oder Produktes entstanden sind, durch einen Werterhaltungs- oder Recyclingprozess eingespart werden können, indem sie nicht mehr anfallen.
Sammelrate	Anteil der in den Markt gebrachten Mengen, welcher gesammelt wird mit dem Ziel diese Materialien einem Verwertungsprozess zuzuführen.
SEBI Indikator	(Specific-Eco-Benefit-Indicator. Der SEBI ist eine Kennzahl für die Effizienz von Umweltmassnahmen, mit dem sich Umweltmassnahmen, die Kosten verursachen, bezüglich ihrer Effizienz vergleichen lassen.
SyN	System-Nutzen
UBP	Umweltbelastungspunkt ist die Einheit in der die Resultate der Methode der ökologischen Knappheit angegeben werden.
Umweltbelastungspunkt	UBP: siehe UBP sowie Methode der ökologischen Knappheit
Vetroswiss	Recyclingorganisation der Glasindustrie
vUBP	vermiedene Umweltbelastungspunkte (UBP)
VVEA	Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen. 2016
Wiederverwendung	Unter Wiederverwendung wird in dieser Studie die Aufbereitung eines Werkstoffes in dieselbe Anwendung verstanden wie z. B. die Wiederverwendung eines Stahlträgers wobei ggf. der Korrosionsschutz erneuert wird.
Wirkbilanz	Im Rahmen der Wirkbilanz werden die Ergebnisse der Sachbilanz hinsichtlich bestimmter Wirkungen auf die Umwelt, wie z. B. Treibhaus- oder Ozonbildungspotential, beurteilt. Dies geschieht mit Gewichtungsfaktoren als Bestandteil eines Gewichtungsmodells.
Wirkung	Auswirkung durch Emissionen oder die Nutzung von Ressourcen auf die Umwelt

9 Literatur

- Dinkel, F., Bunge, R., Kägi, T., Pohl, T., & Stäubli, A. (2018). *KuRVe (Kunststoff Recycling und Verwertung) Ökonomisch-ökologische Analyse von Sammel- und Verwertungssystemen von Kunststoffen aus Haushalten in der Schweiz*. BAFU.
- Dinkel, F., Conte, F., & Kägi, T. (2021). *Ökologische Beurteilung der Verwertung von Bauabfällen*. BAFU, Bern.
- Dinkel, F., & Kägi, T. (2014). *Ökobilanz Getränkeverpackungen – Gesamtbericht* (S. 133). Im Auftrag des Bundesamt für Umwelt. <http://carbotech.ch/cms2/wp-content/uploads/Carbotech-LCA-Getraenkeverpackung-2014.pdf>
- Dinkel, F., & Kägi, T. (2016). *Die Zukunft des Getränkekarton-Recyclings*. Verein Getränkekarton-Recycling Schweiz.
- Dinkel, F., & Kägi, T. (2018). *Vom Umweltnutzen des PET-Recyclings – Unter Berücksichtigung des mehrfachen Recyclings*. Im Auftrag von PRS: PET Recycling Schweiz. <https://carbotech.ch/cms/wp-content/uploads/287.54-Bericht-Nutzen-Mehrfach-Recycling-v1.0.pdf>
- Dinkel, F., Kägi, T., & Weber, L. (2017). *Ökologischer Nutzen von Recyclingsystemen in der Schweiz – Update 2017*. Im Auftrag von Swissrecycling.
- ecoinvent. (2021). *ecoinvent 2021: Version 3.8*. Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- European Commission. Statistical Office of the European Union. (2018). *Circular material use rate: Calculation method : 2018 edition*. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2785/132630>
- Frischknecht, R., & Büsser Knöpfel, S. (2013). *Ökofaktoren Schweiz 2013 gemäss der Methode der Ökologischen Knappheit – Methodische Grundlagen und Anwendung auf die Schweiz* (Nr. 1330; Umwelt-Wissen, S. 256). Bundesamt für Umwelt.
- Gilgen, P. W., Dinkel, F., & Grether, T. (2001). *Die Aluminium-Getränkedose. Die Ergebnisse der EMPA-Nachhaltigkeitsstudie*. IGORA Genossenschaft, Zürich.
- Haupt, M., & Hellweg, S. (2019). Measuring the environmental sustainability of a circular economy. *Environmental and Sustainability Indicators, 1–2*, 100005. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2019.100005>
- IGES (Hrsg.). (2014). *3R Policy indicator Factsheets vers.1*. Institute for Global Environmental Strategies (IGES).
- Kägi, T., & Dinkel, F. (2017). *Umweltnutzen von Swiss Recycling*.
- Kägi, T., Schläpfer, K., & Dinkel, F. (2017). *Ökologisch und ökoeffiziente Sanierungsmassnahmen bei Rück- und Umbauten Auswirkungen möglicher Änderungen der Sanierungspraxis*. AWEL Zürich.
- Kägi, T., Zschokke, M., & Stettler, C. (2017). *Life Cycle Inventories for Swiss Recycling Processes – Part Carbotech: Recycling of Cardboard, Glass, PE, PET, Tinplate*. Im Auftrag des BAFU.
- KBOB, eco-bau, & IPB. (2018). *KBOB-Ökobilanzdatenbestand 2016 und UVEK-Ökobilanzdatenbestand 2018*.
- Kohler, F. (2020). *Materialflusskonten Ein erster Beitrag der Statistik zur Messung der Kreislaufwirtschaft*. BFS Aktuell.
- Pohl, T. (2021). *Factsheet SEBI Recycling*. Umtech Technologie AG.
- PwC. (2019). *The road to circularity*.
- Sofies-Emac AG. (2021). *Sammelsysteme für gemischte Kunststoffabfälle – Monitoringbericht 2020*. Verins Schweizer Plastic Recycler (VSPR).
- Stettler, C., & Dinkel, F. (2012). *Ökobilanz von Textilsammlungen*. Texaid.
- Stettler, C., & Dinkel, F. (2016). *Ökologischer Nutzen der Verwertungen von Altglas*. Im Auftrag des Bundesamt für Umwelt.
- Swiss Recycling. (2017). *Leistungsbericht 2017 Swiss Recycling*. Swiss Recycling, Zürich.
- Swiss Recycling. (2019). *Leistungsbericht 2019*. Swiss Recycling, Zürich. www.swissrecycling.ch
- Wellenreuther, F. (2019). *Potential packaging waste prevention by the usage of flexible packaging and its consequences for the environment*. ifeu, Heidelberg.

A1 Anhang: Indikatoren

1 Massenflussindikatoren	2 Relative Umweltindikatoren	3 Absolute Umweltindikatoren	4 Öko-Effizienz Indikatoren
Recycling Rate und Recycling Einsatz Übersicht	REV-Indikator Übersicht	Recycling-Nutzen, Systemnutzen Übersicht	SEBI-Indikator Übersicht
<p>Die Recycling-Rate/Sammelquote und der Recycling-Einsatz werden oft als proportionaler Wert (%) dargestellt und spiegeln den Anteil der recycelten oder aus dem Abfall zurückgewonnenen Materialien oder die Rate der Einbezug von recycelten Materialien in Produkte wider. Eine hohe Rate bedeutet in der Regel einen Fortschritt bei den Recyclingaktivitäten. Dazu gibt es verschiedene, verwandte Indikatoren:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Anteil der gesammelten gebrauchten Materialien für Recyclingzwecke (Sammelrate) 2) Anteil der recycelten Materialien, die in einem bestimmten Produkt in der Produktionsphase verwendet werden (Rate der Verwendung von recycelten Materialien) 3) Anteil der Materialien, die recycelt oder aus End-of-Life- oder Abfallprodukten zurückgewonnen werden 4) Abfallumlenkungsrate; die Rate oder der Prozentsatz eines potenziell recycelbaren Materials, das aus dem Abfallentsorgungsstrom umgelenkt wurde und daher nicht auf Deponien gelangt. 	<p>Der REV-Indikator ist ein systemischer Indikator, der auf der Grundlage der ökologischen Werterhaltung formuliert wurde und als "Retained Environmental Value" (REV) bezeichnet wird. Er basiert auf der Lebenszyklusanalyse. Der REV-Indikator misst den Anteil der Umweltbelastung (EI) aus der Produktion eines Materials oder Produkts, der in Produkten und Materialien erhalten bleibt, die durch Wiederverwendung, Wiederaufarbeitung oder Recycling zurückgewonnen werden. Der REV quantifiziert den Anteil der ursprünglichen Umweltbelastung, der durch Werterhaltungsprozesse in der Technosphäre erhalten werden kann. Während einige Werterhaltungsprozesse (d. h. Wiederverwendung, Reparatur, Aufarbeitung, Wiederaufbereitung und Umverteilung) den Wert eines Produkts im System erhalten, wird bei Recyclingprozessen nur der Wert des Materials zurückgewonnen. Diesem Umstand wird Rechnung getragen, indem der Substitutionspunkt auf Basis des erhaltenen Wertes (d. h. Material oder Produkt) gewählt wird. Dabei wird die Art und Menge des zu ersetzenden Primärmaterials unter Berücksichtigung der funktionalen Gleichwertigkeit, der verfügbaren Mengen und der Marktpräferenzen ermittelt.</p>	<p>Beim Recyclingnutzen aus der Abfallperspektive es geht um die Frage, wie eine bestimmte Menge Sammelgut nach dem Gebrauch (post-consumer) am besten verwertet oder entsorgt wird. Der Recycling-Nutzen berechnet sich demnach aus der Differenz der Umweltwirkungen des Referenzsystems (z. B. KVA) und des Recycling-Systems (Recycling). Durch das Recycling eines Materials oder eines Produktes werden Ressourcen, die für die Herstellung von Primärmaterial oder primären Produkten benötigt werden, sowie die damit verbundenen Umweltauswirkungen eingespart. Dies ist der Ressourcen-Nutzen, den das Recycling eines Materials erbringt.</p>	<p>Zur Ökoeffizienzanalyse kann der Ökonutzenindikator SEBI (Specific-Eco-Benefit-Indicator) verwendet werden. Der SEBI ist eine Kennzahl für die Effizienz von Umweltmassnahmen, mit dem sich alle Umweltmassnahmen, die Kosten verursachen, bezüglich ihrer Effizienz vergleichen lassen.</p>
Art des Indikators	Art des Indikators	Art des Indikators	Art des Indikators
Relativer und Quantitativer Indikator	Relativer und Quantitativer Indikator	Absoluter und Quantitativer Indikator	Absoluter und Quantitativer Indikator

Ziel der Recycling-Rate	Ziel des REV-Indikators	Ziel des absoluten Umwelt-indikators	Ziel des SEBI
<p>Mit der Gesamt-Recyclingrate wird versucht, den Fortschritt bei Recycling- und Ressourceneinsparungsaktivitäten zu überwachen. Die politischen Ziele, die mit diesem Indikator verbunden sind, bestehen darin, durch politische Strategien und Massnahmen die Abfallminimierung vor der endgültigen Verwertung (z. B. Verbrennung und Deponierung) sowie die Verringerung der Menge an verwendeten Neumaterialien durch die verstärkte Verwendung von Wertstoffen (z. B. Glas, Kunststoff, Papier, Metall) zu erreichen. Dies wird in der Regel über finanzielle Mechanismen und institutionelle Rahmenbedingungen unter Einbezug der relevanten Interessengruppen erreicht.</p>	<p>Ziel des REV-Indikators ist es, den Übergang zu einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft zu fördern, die Fallstricke der Abfallhierarchie aufzudecken und eine Grundlage für eine wirkungsorientierte Politikgestaltung zu schaffen.</p>	<p>Dieser Ansatz wird typischerweise und berechtigterweise in Ökobilanzen von Recyclingsystemen verwendet, die der Frage nachgehen, welches die optimale Verwertung einer bestimmten Menge gebrauchtem PET ist.</p>	<p>Zielsetzung einer Ökoeffizienzanalyse ist die Schaffung von objektiven, auf Kosten/Nutzen-Betrachtungen basierenden, Grundlagen für umweltpolitische Entscheidungen. Zur Beurteilung der ökologischen Aspekte werden Methoden der Ökobilanzierung benutzt, z. B. die „Methode der ökologischen Knappheit“. Auf diese Weise wird der Umweltnutzen einer Massnahme gegenüber dem Referenzszenario (z. B. Status quo: Entsorgung in KVA) durch „vermiedene Umweltbelastungspunkte (vUBP)“ quantifiziert. Der Quotient vUBP/CHF ist der „Spezifische Eco-Benefit-Indikator“, kurz SEBI.</p>
Definition der Recycling-Rate	Definition des REV-Indikators	Definition des Umwelt-Indikators	Definition des SEBI-Indikators
<p>Die Recyclingrate wird folgendermassen berechnet: $\text{Recyclingquote} = \frac{\text{Jährliche Gesamtabfallmenge, die recycelt wird}}{\text{Jährliche Gesamtabfallmenge}}$ In der Realität kann die Definition der Recyclingrate und des Ziels, je nach der politischen Zielsetzung, welche die Berechnungen solcher Indikatoren erfordern, unterschiedlich sein.</p>	<p>Der REV vergleicht die Auswirkungen des verdrängten Produkts oder Materials (EI_disp) nach einem Werterhaltungsprozess (EI_vrp) z.B. Recycling mit den Auswirkungen des ursprünglichen Produkts (EI_original). Unterschiede in den Umweltauswirkungen während der Nutzungsphase können in den Vergleich einbezogen werden, um die veränderten Wirkungsgrade eines beibehaltenen und eines alternativen Primärprodukts zu berücksichtigen (EI_plus). Es wird angenommen, dass die überschüssige Umweltbelastung den gesamten Lebenszyklus des verdrängten Produkts abdeckt.</p>	<p>Die Berechnung des Umweltnutzens aus der Sicht des Abfallmanagements erfolgt typischerweise pro definierte Menge an gesammeltem Gut (z.B. 1 t PET-Flaschen) und ergibt sich wie folgt aus der Differenz der Umweltbelastung des Recyclingsystems und der Umweltbelastung des Referenzsystems «Entsorgung in der KVA»</p>	<p>Zur Berechnung des SEBI wird der gegenüber dem Referenzszenario zusätzliche Umweltnutzen (in vUBP) durch die zusätzlichen Nettokosten, also Gesamtaufwände abzüglich Wertstoff- und Energieerlöse, dieser Massnahme dividiert. Der SEBI ergibt sich damit in vUBP/CHF. Ein hoher SEBI steht damit für ein besonders ökoeffizientes Recyclingsystem, also einen grossen ausgelösten Umweltnutzen pro ausgegebenem Schweizer Franken.</p>
Quelle	Quelle	Quelle	Quelle
<p>https://www.files.ethz.ch/isn/168837/3R_02.pdf</p>	<p>Haupt, M., & Hellweg, S. (2019). Measuring the environmental sustainability of a circular economy. Environmental and Sustainability Indicators, 1, 100005.</p>	<p>Vom Nutzen des PET-mehrfach Recyclings, Carbotech AG 2018, F. Dinkel und T. Kägi</p>	<p>https://www.utechag.ch/fileadmin/user_upload/Umweltberatungen/Factsheet_SEBI_UTech_AG_.pdf</p>