

CustomLCA

Ökologischer Nutzen von Recycling-systemen in der Schweiz

Ist-Standanalyse 2024

Auftraggeber

Swiss Recycle

Verfasser*innen

Thomas Kägi (Projektleitung) und Stefanie Conrad, Carbotech AG

Version 1.7

Zürich, 06.10.2025

Impressum

Auftraggeber

Swiss Recycle, Obstgartenstrasse 28, 8006 Zürich

Auftragnehmerin

Carbotech AG, Gasometerstrasse 9, 8005 Zürich

Projektleitung

Thomas Kägi

Verfasser*innen

Thomas Kägi & Stefanie Conrad

Hinweis

Dieser Bericht wurde im Auftrag von Swiss Recycle verfasst. Für den Inhalt ist alleine der Auftragnehmer verantwortlich.

—

Dieser Bericht wurde von der Carbotech AG mit Sorgfalt erarbeitet unter Verwendung aller uns zur Verfügung stehenden, aktuellen und angemessenen Hilfsmittel und Grundlagen, dies im Rahmen der vertraglichen Abmachung mit dem Auftraggeber unter Berücksichtigung der Vereinbarung bezüglich eingesetzter Ressourcen. Die Grundlagen der Bewertungsmethode, auf welcher dieser Bericht basiert, können ändern. Danach sind die Schlussfolgerungen nicht mehr uneingeschränkt gültig und vom Auftraggeber nur noch auf eigene Verantwortung verwendbar. Aus dem Inhalt dieses Berichtes hervorgehende Veröffentlichungen, welche Resultate und Schlussfolgerungen daraus nur teilweise und nicht im Sinne des Gesamtberichtes darstellen, sind nicht erlaubt. Insbesondere dürfen solche Veröffentlichungen diesen Bericht nicht als Quelle angeben oder es darf nicht anderweitig eine Verbindung mit diesem Bericht oder der Carbotech AG hergestellt werden können. Für Forderungen ausserhalb des oben genannten Rahmens lehnen wir jegliche Verantwortung gegenüber dem Auftraggeber sowie Dritten ab.

Inhaltsverzeichnis

1 Ausgangslage und Auftrag	8
1.1 Ausgangslage	8
1.2 Auftrag	8
2 Vorgehen und Methodik	8
2.1 Allgemeine Beschreibung der Ökobilanzierung	9
2.2 Vorgehen bei der Ökobilanzierung	9
3 Zielsetzung und Rahmenbedingungen	11
3.1 Fragestellungen	11
3.2 Anwendung und Zielgruppe der Studie	11
3.3 Betrachtete Recyclingsysteme	11
3.4 Vergleichsbasis, die "funktionelle Einheit"	12
3.5 Systemgrenzen	12
3.6 Allokation	14
3.6.1 Allokationsansätze fürs Recycling	14
3.6.2 Systemerweiterung um Allokationen zu vermeiden	15
3.7 Sachbilanz	17
3.7.1 Herkunft Vordergrunddaten	17
3.7.2 Annahmen und Berechnungsgrundlagen	17
3.8 Bestimmung der Umweltauswirkungen (Wirkbilanz)	18
3.9 Bewertung der Umweltbelastungen	19
3.9.1 Methode der ökologischen Knappheit 2021 (Umweltbelastungspunkte – UBP)	20
3.10 Grenzen der vorliegenden Untersuchung	21
3.10.1 Inhaltlich	21
3.10.2 Methodisch	21
3.11 Unsicherheit und Signifikanz	22
4 Recyclingsysteme (Beschreibung & Resultate)	23
4.1 IGORA - Aluminiumverpackungen	23
4.1.1 Systembeschreibung	23
4.1.2 Datengrundlagen	23
4.1.3 Ökologischer Nutzen	23
4.2 INOBAT - Batterien	25
4.2.1 Systembeschreibung	25
4.2.2 Datengrundlagen	25
4.2.3 Ökologischer Nutzen	26
4.3 SENS – Elektrogeräte	27
4.3.1 Systembeschreibung	27
4.3.2 Datengrundlagen	28
4.3.3 Ökologischer Nutzen	28
4.4 SWICO - Elektronikgeräte	30
4.4.1 Systembeschreibung	30
4.4.2 Datengrundlagen	30
4.4.3 Ökologischer Nutzen	30

4.5	VetroSwiss - Glas (Flaschen und Konserven)	32
4.5.1	Systembeschreibung	32
4.5.2	Datengrundlagen	32
4.5.3	Ökologischer Nutzen	32
4.6	PET-Getränkeflaschen	33
4.6.1	Systembeschreibung	33
4.6.2	Datengrundlagen	33
4.6.3	Ökologischer Nutzen	33
4.7	Ferro - Weissblechverpackungen	34
4.7.1	Systembeschreibung	34
4.7.2	Datengrundlagen	34
4.7.3	Ökologischer Nutzen	34
4.8	Getränkekarton	35
4.8.1	Systembeschreibung	35
4.8.2	Datengrundlagen	35
4.8.3	Ökologischer Nutzen	35
4.9	Kunststoffrecycling RecyPac	36
4.9.1	Systembeschreibung	36
4.9.2	Datengrundlagen	36
4.9.3	Ökologischen Nutzen	36
4.10	Gesamtnutzen der Recyclingsysteme im 2024	38
5	Vergleich mit den Resultaten von 2022	40
6	Diskussion und Schlussfolgerung	42
7	Literatur	43

Zusammenfassung

Swiss Recycle möchte in ihrem Leistungsbericht 2025 die Umweltleistung ihrer Mitglieder Ferro Recycling, IGORA, INOBAT, Verein PRS, RecyPac, Stiftung SENS, Swico Recycling und VetroSwiss thematisieren. Dabei soll der reale Nutzen der Recycling-Organisationen bzw. der Recyclingsysteme ausgewiesen werden.

Ziel dieser Studie ist es, für die Recyclingsysteme folgende Fragen zu klären:

- Wie gross ist der reale ökologische Nutzen der Recyclingsysteme im Jahr 2024 im Vergleich zu einem Referenzszenario „kein Recycling“?
- Wie hoch ist der Anteil der einzelnen Recyclingsysteme am Gesamtnutzen aller Recycling-Organisationen?

Für den ökologischen Vergleich der verschiedenen Recyclingsysteme mit dem Referenzszenario „kein Recycling“ wurde die Methode der Ökobilanz verwendet. Dies ist heute die umfassendste und aussagekräftigste Methode, um die Umweltauswirkungen von Produkten und Systemen zu beurteilen.

Als Vergleichsbasis (funktionelle Einheit) dient die im 2024 gesamthaft erfasste Sammelmenge pro Recyclingsystem sowie 1 Tonne Sammelware des jeweiligen Recyclingsystems.

Daten für die Herstellung der diversen Recyclingprodukte wurden aus bestehenden Studien, welche kürzlich durchgeführt wurden, entnommen, bezüglich Korrektheit sowie Aktualität überprüft und falls notwendig ergänzt.

Zur Beurteilung des Umweltnutzens wurde die gesamttaggregierende Methode der ökologischen Knappheit (UBP 2021) als Hauptmethode gewählt. Zusätzlich wurde aus Aktualitätsgründen auch der Klimanutzen nach IPCC GWP 100a berechnet.

Erkenntnisse

Die vorliegende Analyse der betrachteten Recyclingsysteme in der Schweiz auf Basis der Ökobilanzierungsmethode zeigt klar: Recycling bringt einen signifikanten ökologischen Nutzen. Die Ergebnisse (siehe Abbildung 1 und Tabelle 1) quantifizieren den Gesamtnutzen auf 2.06 Billionen Umweltbelastungspunkte (UBP). Dies entspricht ungefähr:

- Der jährlichen Umweltbelastung von 66'000 Personen. Dies entspricht ungefähr der Einwohnerzahl der Stadt Lugano oder 0.7 % der Schweizer Bevölkerung.
- Dem Verbrauch von 0.4 Mio. t Heizöl.
- Dem Verbrauch von 4.3 GWh Strom (CH). Bei einer Stromerzeugung von 66'700 GWh entspricht dies rund 0.06 Promille.
- 3.9 Mia. Auto km: dies entspricht ungefähr 7 % der jährlich gefahrenen km im privaten Strassenverkehr.

Damit wird belegt, dass die Wiederverwertung von Materialien und die gezielte Schadstoffentfrachtung einen messbaren Beitrag zum Umweltschutz und zur Ressourcenschonung leistet. Besonders hervorzuheben sind dabei Recyclingsysteme wie das für Elektroaltgeräte, Glas oder PET. Diese sind aufgrund von einem starken Substitutionspotenzial oder hoher Sammelmengen ökologisch besonders wirksam.

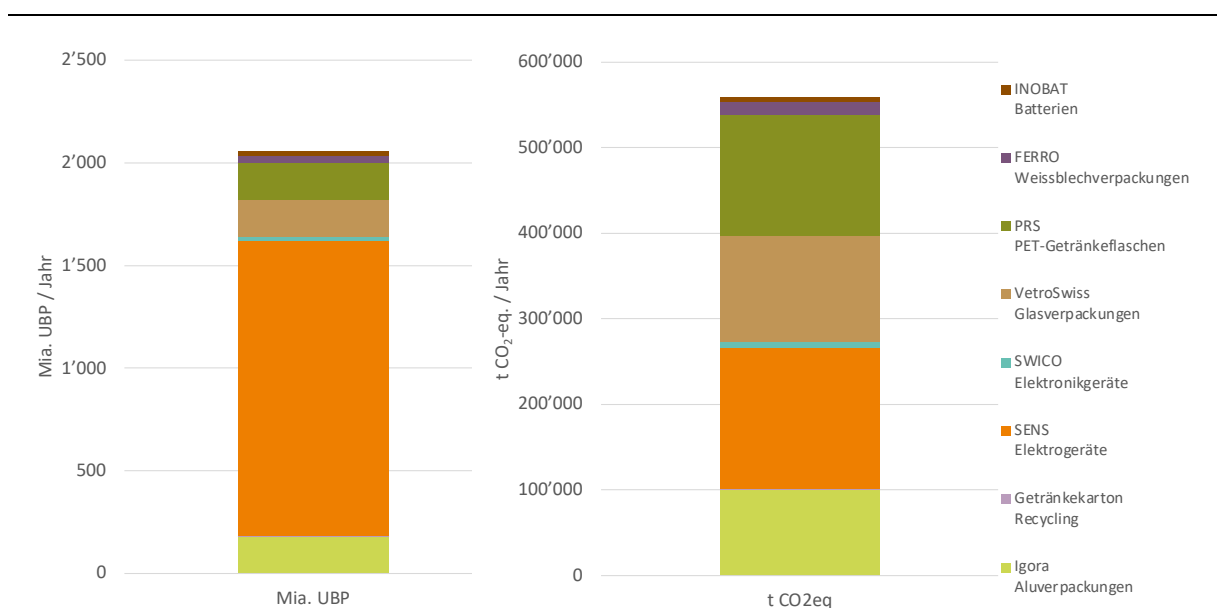


Abbildung 1: Umwelt- und Klimanutzen der betrachteten Systeme pro Jahr

Die Studie zeigt jedoch auch deutliche Unterschiede zwischen den Materialien auf. Während stofflich hochwertiges Recycling (z. B. von Aluminium, Elektroaltgeräte oder Batterien) einen hohen Nutzen pro Tonne Sammelware generiert, ist der Effekt bei anderen Materialien (z. B. Getränkekartons oder Glas) pro Tonne geringer, wenn auch Glas aufgrund der hohen Sammelmengen und Masse im Gesamtsystem relevant ist. Hier zeigt sich die Wichtigkeit einer differenzierten Betrachtung unter Einbezug von Sammelmengen, stofflicher Qualität und energetischem Potenzial.

Ein zentrales methodisches Ergebnis ist die Bestätigung, dass gesamttaggregierende Methoden – wie die Methode der ökologischen Knappheit – am besten geeignet sind, Recyclingsysteme zu bewerten. Einzelindikatoren wie das Treibhauspotential können irreführend sein, weil sie nur eine Umweltwirkung ausweisen. Die Berücksichtigung aller Umweltwirkungen ist für fundierte Entscheidungen unerlässlich.

Insgesamt zeigt sich: Die in dieser Studie betrachteten Schweizer Recyclingsysteme sind ökologisch sinnvoll. Das volle Potenzial ist bei einzelnen Recyclingsystemen jedoch noch nicht ausgeschöpft. Für eine strategische Weiterentwicklung der Recyclingsysteme sind gezielte Investitionen, technologische Optimierungen und verbesserte politische Rahmenbedingungen erforderlich. Gleichzeitig braucht es eine abgestimmte Kommunikation über den Umweltwert des Recyclings, um die gesellschaftliche und politische Unterstützung für höhere Sammelquoten und qualitativ hochwertiges Recycling zu sichern.

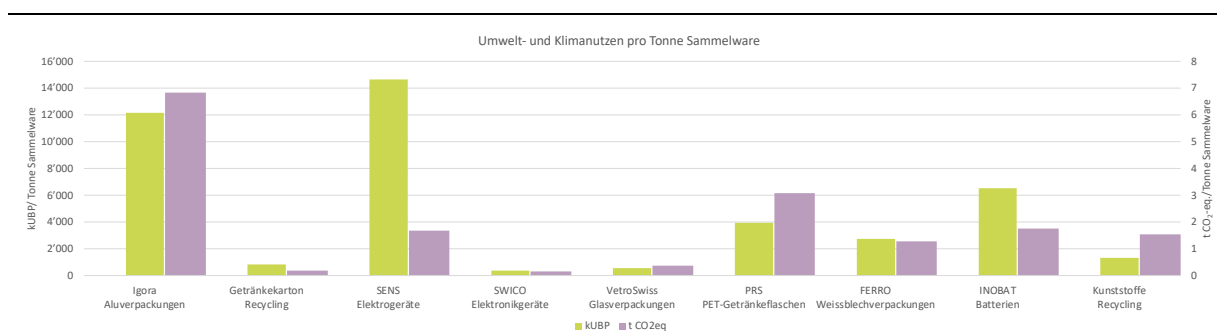


Abbildung 2: Umweltnutzen und Klimanutzen der betrachteten Systeme pro Tonne Sammelware

Tabelle 1: Gesamtnutzen der Recyclingsysteme im 2024

Recyclingsystem	Umweltnutzen	Klimanutzen
	Mia. UBP	Tonnen CO ₂ -eq
IGORA - Aluminiumverpackungen	179	100'602
GKR - Getränkekartonrecycling	1	29
SENS Elektrogeräte	1'443	165'654
SWICO Elektronikgeräte	15	6'347
VetroSwiss - Glasverpackungen	182	123'399
PRS – PET-Getränkeflaschen	184	143'071
FERRO - Weissblechdosen	32	14'642
INOBAT - Batterien	21	5'751
RecyPac – KS-Verpackungen	-	-
Total	2'057	559'655

1 Ausgangslage und Auftrag

1.1 Ausgangslage

Swiss Recycle möchte in ihrem Leistungsbericht 2025 die Umweltleistung der Swiss Recycle Mitglieder Ferro Recycling, IGORA, INOBAT, Verein PRS, RecyPac, Stiftung SENS, Swico Recycling und VetroSwiss kommunizieren. Dabei soll der reale Nutzen der Recyclingsysteme ausgewiesen werden, aufbauend auf früheren Studien.

In diesem Zusammenhang beabsichtigt Swiss Recycle den ökologischen Nutzen der Swiss Recycle Mitglieder zu erfassen. Basierend auf aktuellen Daten zu den Separatsammelsystemen sollen von Recyclingsystemen Ökobilanzen erstellt werden.

1.2 Auftrag

Die Zustandsanalyse der bestehenden Swiss Recycle Mitglieder auf der Datenbasis von 2024 beinhaltet in erster Linie folgende Recyclingsysteme:

1. IGORA-Aluminiumverpackungen (Dosen, Schalen, Tuben)
2. INOBAT-Batterien
3. VetroSwiss-Glas (Verpackungen)
4. RecyPac-KS-Verpackungen
5. PRS-PET (Flaschen)
6. SENS-Geräte (Elektrische und elektronische Geräte ohne Unterhaltungselektronik)
7. SWICO-Geräte (Unterhaltungselektronik)
8. Ferro Recycling-Weissblechverpackungen
9. Getränkekartons

Für alle Systeme soll der jetzige Ist-Zustand erfasst werden und der damit verbundene reale ökologische Nutzen aufgezeigt werden.

Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die Carbotech AG in keiner Weise an den hier erwähnten Unternehmen beteiligt oder von ihnen abhängig ist und umgekehrt. Damit ist die Voraussetzung für die Durchführung einer neutralen Ökobilanz gegeben. Aus Ressourcen- und Vertraulichkeitsgründen ist der dokumentierte Detaillierungsgrad und damit die Transparenz eingeschränkt.

2 Vorgehen und Methodik

Heute besteht ein breiter Konsens, dass die Lebenszyklusanalyse oder Ökobilanz die umfassendste und aussagekräftigste Methode ist, um die Umweltauswirkungen von Produkten und Systemen zu beurteilen. Daher wird diese Methode verwendet, um die Umweltauswirkungen der betrachteten Recyclingsysteme zu eruieren. In diesem Kapitel werden die verwendete Methode, das Vorgehen sowie die verwendeten Daten und die getroffenen Annahmen beschrieben.

2.1 Allgemeine Beschreibung der Ökobilanzierung

Die Ökobilanzierung oder Lebenszyklusanalyse ("Life Cycle Assessment", LCA) ist eine Methode, um die Auswirkungen menschlicher Tätigkeiten auf die Umwelt zu erfassen, zu beurteilen und daraus Optimierungspotentiale abzuleiten. Aufgrund der Komplexität der Natur und des globalen Wirtschaftssystems reicht es nicht, nur einzelne Problemstoffe oder lokale Auswirkungen zu betrachten. Aus dem Anspruch an eine umfassende Bewertung ergeben sich die folgenden Anforderungen an die Methode:

- Möglichst umfassende Berücksichtigung der verschiedenen Umweltauswirkungen
- Berücksichtigung des gesamten Lebensweges
- Quantifizierung der Umweltauswirkungen
- Bewertung der verschiedenen Auswirkungen als Basis für Entscheidungen
- Wissenschaftlich abgestützt, um eine hohe Zuverlässigkeit und Akzeptanz zu erreichen

Die Ökobilanzierung ist diejenige Methode, welche heute diese Anforderungen am besten erfüllt. Die Ergebnisse der Ökobilanz können eingesetzt werden:

- als Entscheidungshilfen bei verschiedenen Varianten
- zur Erfassung der relevanten Auswirkungen
- in der strategischen Planung zur Ermittlung von Optimierungspotentialen
- zur Ermittlung der wesentlichen Einflussfaktoren
- zur Beurteilung von Massnahmen
- zur Ableitung von Handlungsempfehlungen

2.2 Vorgehen bei der Ökobilanzierung

Nachdem die Fragestellung und die zu untersuchenden Systeme definiert sind, werden die Waren-, Stoff- und Energieflüsse sowie der Ressourcenbedarf erfasst. Anschliessend werden die Auswirkungen auf die Umwelt mit Hilfe von gewählten Indikatoren, welche diese Wirkungen beschreiben, bestimmt. Mit dem Ziel, die Ergebnisse mit einer Kennzahl auszudrücken und damit die Auswertung zu ermöglichen oder zumindest zu erleichtern, kann eine Bewertung der verschiedenen Umweltauswirkungen durch eine entsprechende Gewichtung erfolgen.

Gemäss der ISO Norm 14040/44 (ISO 14'040 2006; ISO 14044 2006) umfasst eine Ökobilanz die folgenden Schritte:

- Festlegen der Zielsetzungen und Systemgrenzen (Rahmenbedingungen)
- Erfassen der relevanten Stoff- und Energieströme sowie den Ressourcenbedarf (Sachbilanz)
- Bestimmen der Auswirkungen auf die Umwelt (Wirkbilanz)
- Interpretation der Umweltauswirkungen aufgrund der Zielsetzungen (Bewertung)
- Erarbeiten von Massnahmen (Optimierung)

Wie Abbildung 3 zeigt, ist dies kein linearer Prozess, sondern ein interaktiver Erkenntnis- und Optimierungsprozess.

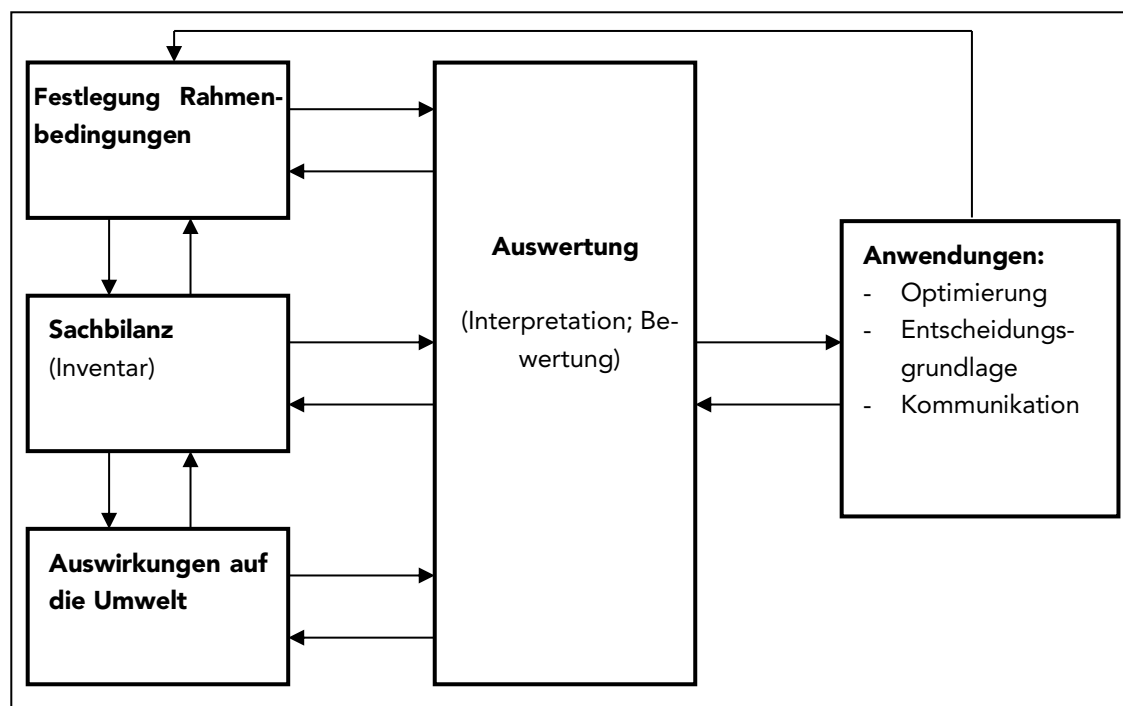


Abbildung 3: Schritte einer Ökobilanz nach ISO 14'040ff

Die vorliegende Studie richtet sich weitgehend nach der ISO Norm 14'040 (ISO 14'040, 2006); das Vorgehen entspricht in den wesentlichen Aspekten deren Anforderungen. In gewissen Punkten, wie der Verwendung von gesamtaggrierenden Methoden, weicht die vorliegende Studie jedoch von der Norm ab.

3 Zielsetzung und Rahmenbedingungen

Die Definition der zu untersuchenden und vergleichenden Recyclingsysteme hängt von der Zielsetzung bzw. Fragestellung ab. Daraus ergeben sich unterschiedliche Rahmenbedingungen und Systemgrenzen. Die Systemgrenzen definieren, welche Prozesse und vorgelagerten Prozesse berücksichtigt werden. Dabei müssen der zeitliche und geographische Rahmen der verwendeten Daten sowie die zu untersuchenden Umweltauswirkungen festgelegt werden. Dies ist der erste und sehr wichtige Schritt bei der Erstellung einer Ökobilanz.

3.1 Fragestellungen

Wie in Kapitel 1 bereits erwähnt, sollen mit dieser Arbeit die folgenden Fragestellungen beantwortet werden:

- Wie gross ist der reale ökologische Nutzen der Recyclingsysteme im Jahr 2024 im Vergleich zu einem Referenzszenario „kein Recycling“?
- Wie hoch ist der Anteil der einzelnen Recyclingsysteme am Gesamtnutzen aller Recycling-Organisationen?

3.2 Anwendung und Zielgruppe der Studie

Die Studie richtet sich in erster Linie an den Auftraggeber. Die Erkenntnisse aus der vorliegenden Studie sollen zudem einen sachorientierten Dialog über die ökologische Bewertung der untersuchten Recyclingsysteme, ausgehend von einer aktuellen Datengrundlage, fördern. Eine weitere Zielgruppe ist daher auch die interessierte Öffentlichkeit.

3.3 Betrachtete Recyclingsysteme

Seitens des Auftraggebers wurde vorgeschlagen, die folgenden 9 Recyclingsysteme zu betrachten:

1. IGORA-Aluminiumverpackungen (Dosen, Schalen, Tuben)
2. INOBAT-Batterien
3. VetroSwiss-Glas (Verpackungen)
4. RecyPac-KS-Verpackungen
5. PRS-PET (Flaschen)
6. SENS-Geräte (Elektrische und elektronische Geräte ohne Unterhaltungselektronik)
7. SWICO-Geräte (Unterhaltungselektronik)
8. Ferro Recycling-Weissblechverpackungen
9. Getränkekartons

3.4 Vergleichsbasis, die "funktionelle Einheit"

Die Bewertung eines Produktes oder Prozesses muss immer relativ zu Alternativen erfolgen, welche denselben Nutzen erbringen bzw. dieselbe Funktion erfüllen. Die Grösse, auf welche sich der Vergleich bezieht, wird als funktionelle Einheit bezeichnet.

Als funktionelle Einheit wird für die Fragestellung in dieser Untersuchung verwendet:

- die im 2024 gesamthaft erfasste Sammelmenge pro Recyclingsystem sowie 1 Tonne Sammelware des jeweiligen Recyclingsystems.

Um dem Umstand Rechnung zu tragen, dass die verschiedenen Verwertungs-/Entsorgungswege zu ungleichen, nicht direkt vergleichbaren Produkten führen, müssen die Systemgrenzen entsprechend erweitert werden, siehe dazu Kapitel 3.5 und 3.6.

3.5 Systemgrenzen

Die Ökobilanz betrachtet die potentiellen ökologischen Auswirkungen der Recyclingsysteme "von der Wiege bis zur Bahre", d. h. von der Extraktion der Rohstoffe über deren Verarbeitung, inklusive der Transportprozesse, der Nutzung und bis hin zur Entsorgung. Entsprechend des Ökobilanz-Ansatzes werden soweit möglich alle umweltrelevanten Prozesse über den gesamten Lebensweg erfasst und bewertet.

Inhaltliche Systemgrenzen

Die vorliegende Studie umfasst im Wesentlichen die folgenden Prozesse und Dienstleistungen (siehe auch Abbildung 4):

- Herstellung der betrachteten Materialien und Geräte
- Entsorgung der betrachteten Materialien und Geräte
- Recycling inklusive Sammlung, Sortierung und Aufbereitung der betrachteten Materialien und Geräte
- Herstellung von Grund- und Hilfsstoffen sowie materiellen Ressourcen wie Wasser
- Transporte der Grund- und Hilfsstoffe inkl. der dazu benötigten Infrastruktur und Treibstoffbereitstellung
- Bereitstellung der Energieträger wie Erdöl, Erdgas, Kohle oder Strom etc.
- Bereitstellung der (Neben-) Produkte, welche bei der Verwertung entstehen, wie z. B. Strom oder Wärme

Für alle diese Prozesse werden die Auswirkungen durch Emissionen in Boden, Luft und Wasser sowie der Ressourcenbedarf, wie energetische Ressourcen oder Landnutzung, berücksichtigt.

Nicht berücksichtigt werden all jene Lebenswegabschnitte, welche keinen oder nur einen sehr geringen Einfluss auf die Fragestellung haben. In der vorliegenden Studie wurden daher folgende Aspekte nicht berücksichtigt:

- Nutzungsphase
- Transport der Materialien und Geräte vom Verbraucher zuhause zur Sammelstelle

Die Infrastruktur der verschiedenen Verarbeitungsbetriebe wurde abgeschätzt. Erfahrungsgemäss sind deren Beiträge nicht entscheidend für das Resultat.

Es wurden möglichst alle Inputmaterialien und -energien berücksichtigt, welche im jeweiligen Teilprozess des Lebensweges mehr als 1 % der Masse des Outputs in dem Prozess umfassen.

Insgesamt umfasst die Systemgrenze auch die Sammlung und Aufbereitung der Materialien und Geräte. Für die dabei entstehenden Sekundärmaterialien und Nutzenergie aus der thermischen Abfallverwertung werden Gutschriften angerechnet (siehe dazu Kapitel 3.6).

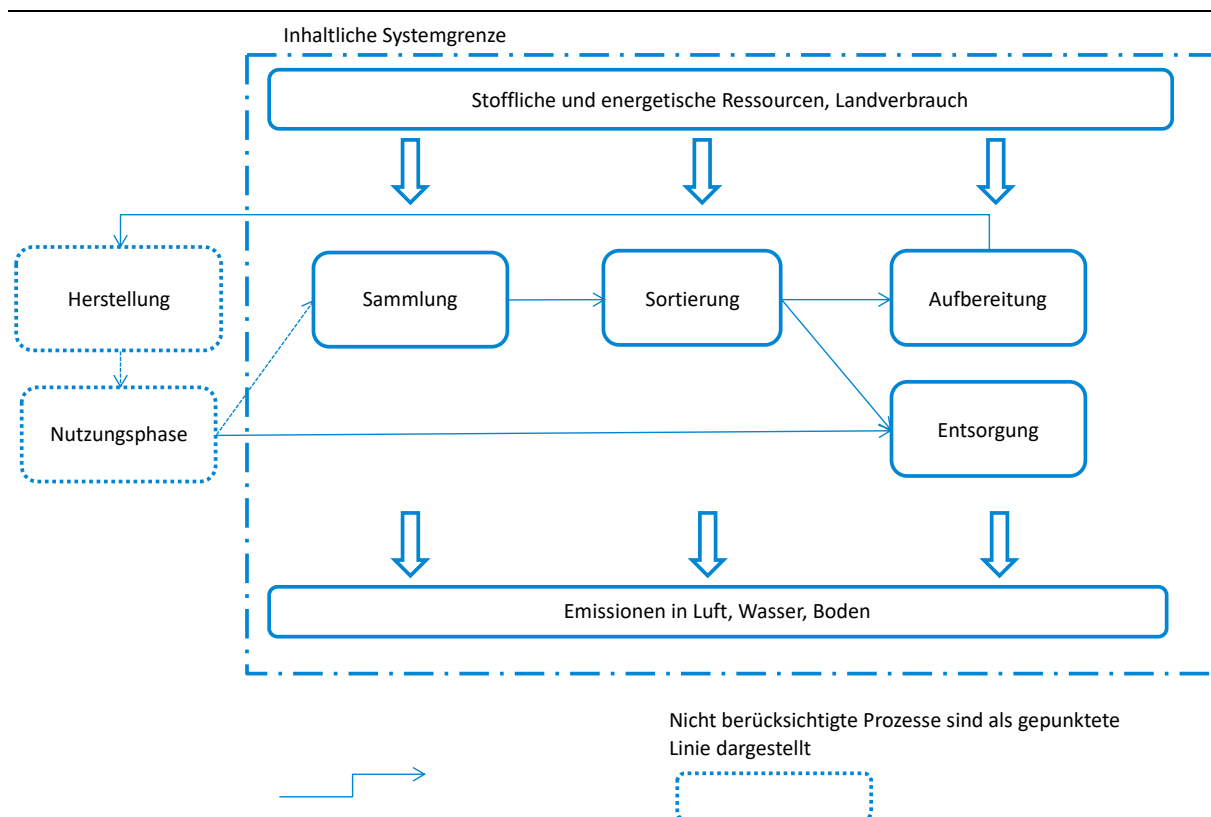


Abbildung 4: Schematische Darstellung der inhaltlichen Systemgrenze

Zeitliche Systemgrenzen

Als zeitliche Systemgrenze wurde die aktuelle Situation der Schweiz betrachtet (2024). Dies bedeutet einerseits, dass für alle Vordergrunddaten wie die Kenngrößen der Systeme aktuelle Herstellerdaten aus dem Jahr 2024 verwendet wurden.

Für Hintergrunddaten (Prozessdaten, Ökoinventare) gilt ein Bezugszeitraum zwischen den Jahren 2024 und 2015 – in Einzelfällen wurden auch ältere Prozessdaten verwendet, sofern keine neueren verfügbar waren. Das heisst, es wurde angestrebt, dass die Gültigkeit der verwendeten Daten auf den genannten Zeitraum zutrifft bzw. möglichst nahe an diesen Zeitraum heranreicht.

Räumliche Systemgrenzen

Der geographische Rahmen für die Vordergrunddaten (Kenngrössen der Systeme) dieser Studie ist die Schweiz. Für die Hintergrunddaten (Ökoinventare, Prozessdaten) wurden soweit möglich die Gegebenheiten der entsprechenden Länder oder ein europäischer Mix berücksichtigt.

3.6 Allokation

Die Modellierung der betrachteten Recyclingsysteme erfordert an verschiedenen Stellen die Anwendung so genannter Allokationsregeln (Zuordnungsregeln). Die Frage der Allokation stellt sich dann, wenn ein Recyclingsystem neben dem eigentlichen, über die funktionelle Einheit abgebildeten Nutzen, weitere Zusatznutzen erbringt. Dies ist der Fall, wenn das untersuchte Recyclingsysteme Energie- und Materialflüsse für andere Systeme bereitstellt oder Abfälle verwertet. In dieser Studie wurde je nach Fragestellung und Datenbasis ein anderes Allokationsverfahren durchgeführt. Die Wichtigsten werden im Folgenden kurz beschrieben.

3.6.1 Allokationsansätze fürs Recycling

Aus den verschiedenen Recyclingsystemen werden verschiedene Materialien zurückgewonnen. Die damit verbundenen Einsparungen an Neumaterial wurden bei den jeweiligen Recyclingsystemen mitberücksichtigt. Es gibt verschiedene Ansätze wie in der Ökobilanzierung der Nutzen des Recyclings berücksichtigt werden kann. Diese Verfahren werden als Allokation bezeichnet. Je nach Art des Materials und des Marktes kann ein anderer Ansatz sinnvoll sein.

Die Festlegung von Allokationsfaktoren lässt sich nicht alleine mit wissenschaftlichen Erwägungen begründen, sondern stellt eine Konvention dar, in die auch Werthaltungen einfließen. Verschiedene, in der Literatur anzutreffende Allokationssätze sind denkbar, wenn es um die Abbildung von Recyclingsystemen geht. Im Folgenden werden die wichtigsten kurz beschrieben.

Recycled Content Ansatz (Cut-Off)

Der Cut-Off Ansatz (Abbildung 5) macht eine klare Trennung im Recyclingzyklus am Punkt, an dem ein Material am Ende seiner Gebrauchsphase der Recyclingsammlung zugeführt wird. Alle kommenden Prozesse werden dem neuen Recyclingprodukt zugeschrieben. Alle vorgängigen Prozesse inklusive Entsorgung (wenn nicht das gesamte Material dem Recycling zugeführt wird) werden dem vorgängigen Produkt zugeordnet. Der Cut-Off Ansatz wird beispielsweise in der ecoinvent Datenbank verwendet. Sein Vorteil liegt in der einfachen Handhabung und klaren Zuordnung.

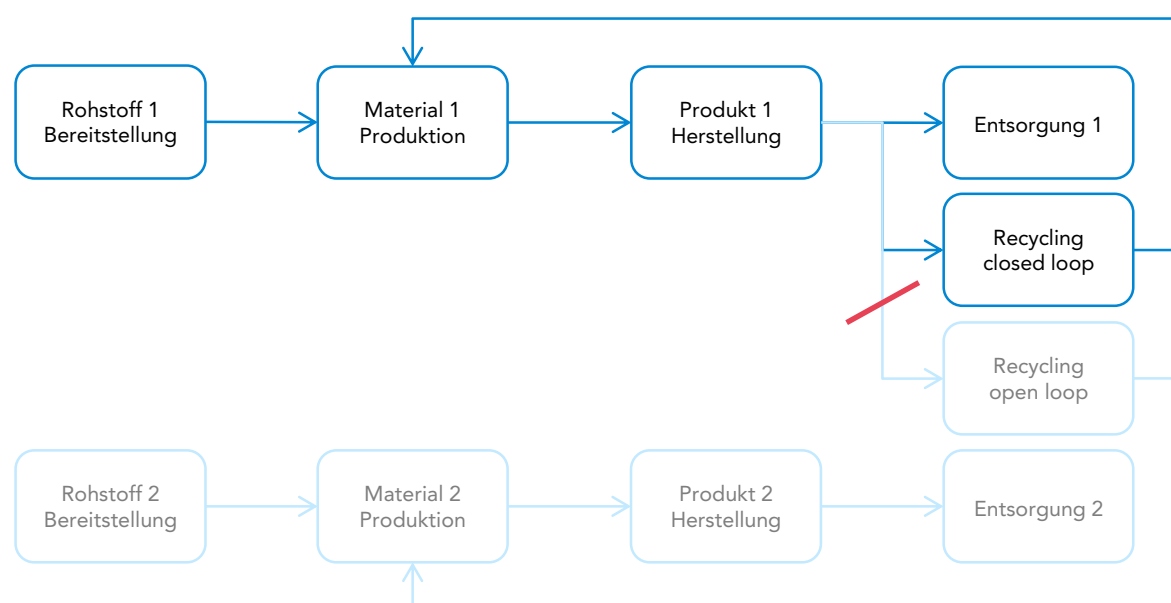


Abbildung 5: Cut-Off Ansatz beim Recycling

Substitutionsprinzip (Recyclability substitution approach, (European Commission-Joint Research Centre 2011))

Beim Substitutionsprinzip (Abbildung 6) wird im Prinzip auch ein Cut-Off angewendet. Weiter wird jedoch für die Recyclingbestrebung eine Gutschrift vergeben, die sich aus der Differenz der Herstellung des Neumaterials und des Recyclingmaterials ergibt. Falls es sich um ein Down-Cycling handelt, wird die Gutschrift noch mit einem Faktor, welcher das ökonomische Werteverhältnis zwischen Neu- und Recyclingmaterial wiedergibt, korrigiert. Das Substitutionsprinzip nach ILCD (European Commission-Joint Research Centre 2011) wurde insofern angepasst, als dass nicht der ökonomische Faktor, sondern das eigentliche Ersatzpotential verwendet wurde. Weist das betrachtete Ausgangsprodukt einen höheren Rezyklatanteil auf als effektiv ins Recycling geht, wird eine negative Gutschrift (Malus) gegeben.

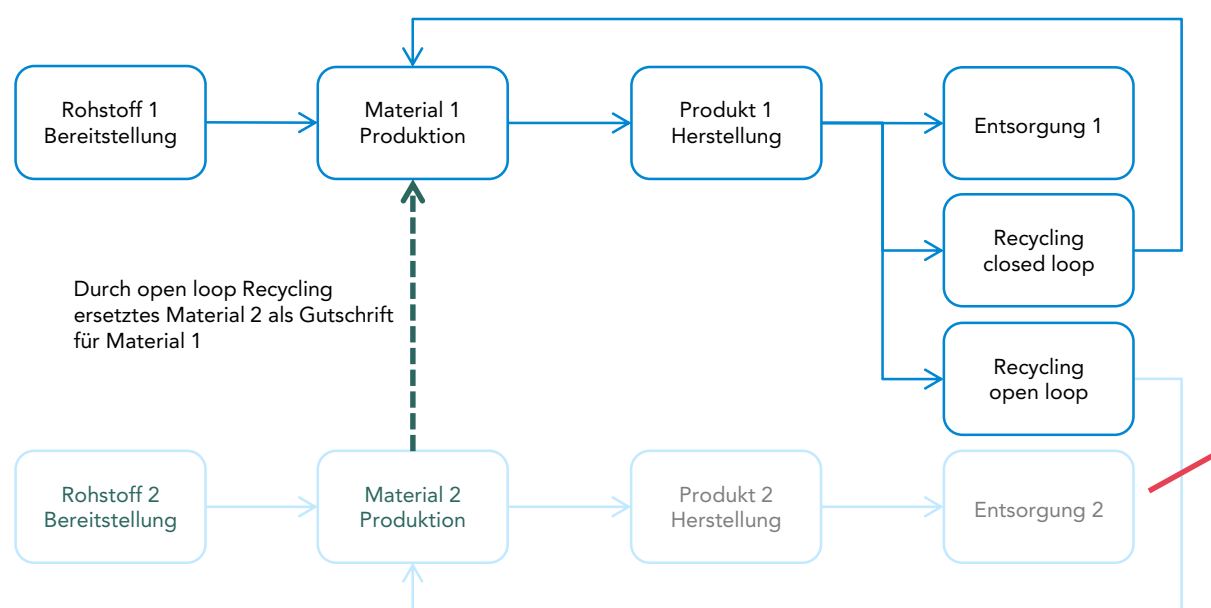


Abbildung 6: Substitutionsprinzip beim Recycling

3.6.1.1 In dieser Studie verwendete Ansätze je Material

Der Allokationsansatz wurde in dieser Studie vom Verhalten der Märkte für die Materialien abhängig gemacht. Dabei wird die Haltung vertreten, dass in wachsenden oder gleichbleibenden Märkten mit einer wachsenden Nachfrage nach Materialien und Recyclingprodukten der Substitutionsansatz die Systeme am besten abbildet, beziehungsweise Anreize schafft, möglichst viel dem Recycling zuzuführen. Hingegen dürfte für Märkte mit einer geringen Nachfrage nach Recyclingprodukten der Recycling Content Ansatz sinnvoller sein, da er den Anreiz schafft, möglichst viel Rezyklat im Produkt zu verwenden.

Aufgrund der momentan vorherrschenden Marktsituationen wurde für sämtliche Materialien das Substitutionsprinzip angewandt.

3.6.2 Systemerweiterung um Allokationen zu vermeiden

Wird zum Beispiel eine Kunststoffflasche in einer Kehrverbrennungsanlage entsorgt, wird neben der eigentlichen Entsorgungsdienstleistung heutzutage auch Strom und Fernwärme produziert. Je nach KVA fallen diese Nebenprodukte der Entsorgung unterschiedlich aus. Im schweizerischen Durchschnitt generieren die KVAs pro verbranntes Megajoule (MJ, unterer Heizwert) 13 % Strom und 34 % Wärme (Rytec 2025).

Inwiefern dieser Zusatznutzen nun den in die Entsorgung geführten Produkten angerechnet werden soll, hängt von der Betrachtungsweise und der Fragestellung ab:

- Geht es aus Herstellersicht darum, welches Material für ein Produkt eingesetzt werden soll, sind wir der Meinung, dass der oben beschriebene Zusatznutzen nicht dem Hersteller angerechnet werden sollte, da er keinen Beitrag zur Energiegewinnung beisteuert (dieser liegt alleine beim KVA Betreiber). Im Sinne des Verursacherprinzips ist er aber verantwortlich dafür, dass dieses Material entsorgt werden muss, d. h. ihm wird die ganze Umweltbelastung der Entsorgung ohne Gutschrift angerechnet.
- Ist die Frage jedoch ganzheitlicherer Natur, d. h. geht es darum, welche Optionen aus Sicht des Gesamtsystems zu befürworten oder zu unterstützen sind, dann sollten die Nebenprodukte der Entsorgung mitberücksichtigt werden, da sonst Schlüsse auf einer unvollständigen Systembetrachtung gemacht würden.

Aus diesem Grund erachten wir grundsätzlich die Anrechnung der Energienutzung in dieser Studie als notwendig.

3.6.2.1 Systemerweiterung mittels Gutschrift für Nebenprodukte (Energieproduktion)

Ein übliches Vorgehen, um die zusätzlich generierten Energieformen mitzubetrachten ist die Systemerweiterung mittels Gutschriftsansatz. Dabei wird argumentiert, dass die generierten Energieformen ansonsten anderweitig produzierte, äquivalente Energieformen ersetzen. Im Falle der Energiegewinnung in KVAs wäre dies für Strom der Grenzstrom-Mix¹. Als Annäherung für den Grenzstrommix wurde der Europäische Strommix ENTSO-E verwendet. Für die erzeugte Wärme wurde als Grenzwärmemix Erdgas angenommen.

Beim Vergleich zwischen Entsorgung und Recycling hängt das Ergebnis sehr stark vom in der Gutschrift verwendeten Energiemix (Strommix und Heizwärmemix) ab. Je schlechter der zu ersetzende Energiemix ist (z. B. Ersatz von Öl oder Kohle), desto besser steht die Entsorgung da und desto geringer fällt der Recyclingnutzen aus. In manchen Fällen weist dadurch das Recycling sogar eine höhere Umweltbelastung auf als wenn nicht recycelt wird, obwohl der Recyclingaufwand per se geringer ist als die Bereitstellung des Primärmaterials. Je umweltfreundlicher der zu ersetzende Energiemix ist (z. B. Ersatz von Windkraft), desto geringer wird die Gutschrift bei der Entsorgung. Der Vergleich des Recyclings mit der Entsorgung hängt also sehr stark von der Energiestrategie eines Landes/einer Region ab.

¹ Als Grenzstrom wird diejenige Art der Strombereitstellung verstanden, die bei einem zusätzlichen Bedarf an Strom eingesetzt würde bzw. der Kraftwerkspark der abgeschaltet würde bei einer Reduktion der Nachfrage nach Elektrizität. Da die Schweiz einen Stromhandel mit Europa betreibt, wird als Annäherung für den Grenzstrom-Mix hier der kurzfristige Grenzstrommix verwendet (Garz u. a. 2009).

3.7 Sachbilanz

In der Sachbilanz wird ein Modell für das zu bilanzierende Produktsystem entworfen und es werden die Energie- und Stoffflüsse der damit verbundenen Prozesse erfasst. Diese umfassen:

- Die Beziehungen eines Prozesses mit anderen Prozessen der Technosphäre, wie z. B. Menge an benötigten Rohmaterialien, Hilfsstoffen, Energiebedarf, Transporte oder Verwertungs- beziehungsweise Entsorgungssysteme.
- Die Beziehungen eines Prozesses mit seiner natürlichen Umwelt der Ökosphäre, wie z. B. Bedarf an Ressourcen (fossile Energieträger, Landressourcen etc.) und Emissionen, wie z. B. CO₂, VOC, Methan, Stickoxide u. a.

Für die Berechnung der Sachbilanz und der darauf folgenden Berechnung und Bewertung der Umweltwirkungen wurde die von der Carbotech entwickelte Ökobilanzsoftware EMIS Version 5.7 verwendet.

3.7.1 Herkunft Vordergrunddaten

Daten für die Herstellung der diversen Getränkeverpackungen wurden aus kürzlich durchgeführten, bestehenden Studien entnommen und bei den jeweiligen Herstellern überprüft. Gewisse Daten (z. B. zu den Batterien) wurden neu erhoben. Die Datengrundlage pro Recyclingsystem ist separat im Kapitel 4 näher beschrieben.

3.7.2 Annahmen und Berechnungsgrundlagen

Für die Basisprozesse wie z. B. Bereitstellung der fossilen Energieträger und des Stromes, Transporte, Entsorgung in der KVA sowie für das Erstellung der Sachbilanz, Beziehung der Prozesse mit der natürlichen Umwelt sowie die Modellierung aller Grundlagenprozesse werden meistens bestehende Grundlagedaten weitgehend aus der aktuellsten ecoinvent Datenbank verwendet. Dabei handelt es sich um Daten, welche einen sehr hohen Qualitätsstandard haben und auch international anerkannt sind. Bei der Verbrennung in der KVA wurden die chemischen Zusammensetzungen der Abfälle und die entsprechenden Transferkoeffizienten berücksichtigt.

3.8 Bestimmung der Umweltauswirkungen (Wirkbilanz)

In diesem Schritt wird die Sachbilanz bezüglich der Auswirkungen auf die Umwelt bewertet. Selbst die Beschränkung auf die "wichtigsten" Stoffe führt sofort zu unübersichtlichen Zahlentabellen, welche nur schwer oder gar nicht zu interpretieren sind. Zudem sind nicht die Stoffemissionen, sondern deren Auswirkungen auf die Umwelt von Bedeutung. Um diese zu bestimmen, wird folgendermassen vorgegangen:

- **Klassifizierung (Einteilung der Einflüsse bezüglich ihrer Auswirkungen)**
Die Stoffe werden nach ihren unterschiedlichen Wirkungen auf die Umwelt gruppiert.
- **Charakterisierung (Berechnung der Auswirkungen auf die Umwelt)**
Dabei werden die einzelnen Substanzen entsprechend ihres Schädigungspotentials bezüglich einer Leitsubstanz gegeneinander gewichtet. Daraus ergeben sich die Schädigungspotentiale bezüglich einer bestimmten Umweltauswirkung.

Auf Ebene der einzelnen Umweltwirkungen wird im Bericht nur das Treibhauspotenzial ausgewiesen.

- **Treibhauspotential (GWP)**
Einfluss auf das Klima infolge der Emission von klimawirksamen Stoffen wie Kohlendioxid (CO_2), Lachgas (N_2O) oder Methan (CH_4). Diese Auswirkung wird gemäss IPCC aus dem Jahr 2021 berechnet und in diesem Bericht ausgewiesen. Die Berechnung erfolgt auf der Basis von IPCC GWP 100a (IPCC 2021).

3.9 Bewertung der Umweltbelastungen

Jeder der in Kapitel 3.8 aufgeführten Indikatoren der Wirkungsbilanz deckt nur einen Teilbereich der gesamten Umweltauswirkungen ab. Erst die Berücksichtigung der verschiedenen Auswirkungen gibt jedoch ein umfassendes Bild der ökologischen Auswirkungen. Die Berechnung dieser Indikatoren basiert auf wissenschaftlichen Modellen, daher haben diese Indikatoren auch eine hohe Akzeptanz.

Ein Interpretationsproblem besteht dann, wenn die verschiedenen Auswirkungen unterschiedliche Schlüsse zulassen. So kann zum Beispiel ein untersuchtes Produkt wesentlich geringere Auswirkungen auf das Klima haben als ein anderes, jedoch viel grössere Auswirkungen auf die Gewässer und es stellt sich die Frage, was bei den untersuchten Produkten oder Systemen entscheidend ist. Problematisch dabei ist, dass die Ergebnisse der verschiedenen Wirkkategorien nicht direkt miteinander verglichen werden können. Einerseits sind die Einheiten und damit die Dimensionen unterschiedlich und andererseits wird keine Aussage gemacht, wie problematisch die betreffende Wirkung relativ zur anderen ist. Um diese verschiedenen Auswirkungen zu einer Kennzahl zusammenzufassen oder zumindest die Relevanz der verschiedenen Auswirkungen zu erkennen, wird in zwei Schritten vorgegangen:

- Normalisierung der verschiedenen Auswirkungen, um vergleichbare Grössenordnungen zu erhalten
- Gewichtung der normalisierten Auswirkungen relativ zu einander oder relativ zu Zielvorgaben

Normalisierung

Bei der Normalisierung werden die verschiedenen Wirkungen mit entsprechenden Grössen (Normalisierungsgrösse) normiert. Als Normalisierungsgrösse werden oft die Auswirkungen der durchschnittlichen Bevölkerung im Untersuchungsgebiet verwendet. Das heisst, es werden die verschiedenen Umweltauswirkungen für ein Land, Europa oder die ganze Welt in einem Jahr berechnet. Dabei werden u. a. Daten über Energiebedarf, benötigte Mengen an Lebensmitteln, Konsumgüter und Chemikalien sowie Bautätigkeiten und Transporte etc. verwendet. Die durchschnittliche Auswirkung pro Einwohner ergibt sich aus diesen berechneten Umweltauswirkungen durch Division durch die Bevölkerungszahl im betrachteten Gebiet. Mit der Normalisierung wird erreicht, dass die verschiedenen Wirkungen dieselbe Einheit (Anteil an der Normalisierungsgrösse) und vergleichbare Grössenordnungen erhalten. Die Einheit wird als Person equivalent (PE, Personen Äquivalent) bezeichnet.

Die normalisierten Umweltauswirkungen sagen somit aus, welche Anteile die untersuchte Technologie, Dienstleistung oder das untersuchte Produkt an den Umweltauswirkungen einer durchschnittlichen Person im Gebiet der Normalisierung während einem Jahr ausmacht.

Gewichtung

Um die verschiedenen Resultate der Indikatoren zu interpretieren und damit eine fundierte Entscheidungsbasis zu erhalten, müssen die verschiedenen Auswirkungen gewichtet und zu einer Kennzahl zusammengefasst werden. Diese Gewichtung kann nicht mehr auf der Basis von wissenschaftlichen Modellen erfolgen, da es keine wissenschaftliche Grundlage gibt, welche es zum Beispiel erlaubt die menschliche Gesundheit mit dem Einfluss auf das Klima zu verrechnen. Diese Gewichtung erfolgt auf der Basis von gesellschaftlichen Wertesystemen.

Als Entscheidungshilfe für die Beurteilung werden in dieser Studie Methode der ökologischen Knappheit 2021 (BAFU 2021), welche die Umweltauswirkungen zu einer Kennzahl (Indikator) zusammenfasst, verwendet

Da die Bewertung der verschiedenen Umweltauswirkungen von Wertmassstäben abhängig ist, werden diese gesamtaggregierenden Methoden teilweise abgelehnt, z. B. auch von der ISO Norm 14'044 für Vergleiche, welche für die Öffentlichkeit bestimmt sind. Dabei ist zu beachten, dass auch die Auswahl der Umweltauswirkungen subjektiv ist. Falls nur ein Teil der Auswirkungen, z. B. Kumulierter Energieaufwand (KEA) und Treibhauspotential betrachtet werden, kommt dies einer Gewichtung der anderen Auswirkungen mit Null gleich. Die Betrachtung der einzelnen Wirkkategorien kann durchaus hilfreich sein, z. B. zur Ermittlung der Ursachen von spezifischen Auswirkungen und Erarbeitung von möglichen Optimierungspotentialen. Als Entscheidungsgrundlage oder für die Betrachtung der gesamten Umweltauswirkungen dürfen jedoch nicht einzelne Umweltaspekte ausgeklammert werden. Dafür sind gesamt aggregierende Bewertungsmethoden nicht nur hilfreich sondern notwendig (Kägi u. a. 2016). Betreffend der Verwendung der gesamtaggregierenden Methoden richtet sich die vorliegende Studie nicht nach der ISO Norm 14'040. Die Verwendung verschiedener Bewertungsmethoden erlaubt es, die Aussagekraft der Resultate abzusichern.

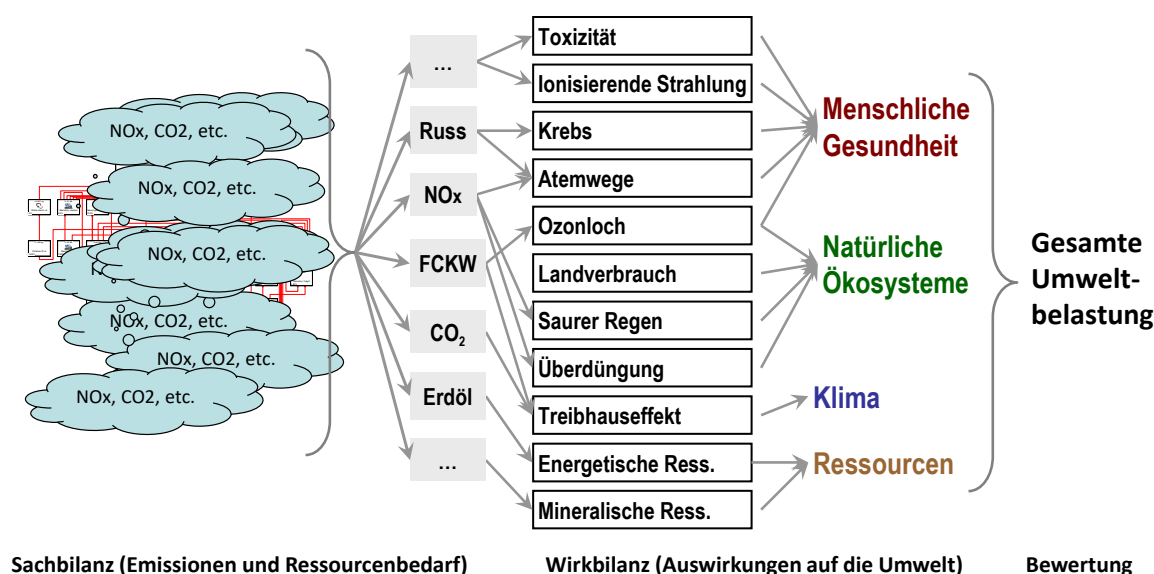


Abbildung 7: Ablauf der Bewertung bei der Ökobilanzierung

3.9.1 Methode der ökologischen Knappheit 2021 (Umweltbelastungspunkte – UBP)

Diese Methode (Frischknecht, Steiner, und Jungbluth 2008; Frischknecht R. und Büsser Knöpfel S. 2013; BAFU 2021) wurde mit dem Ziel entwickelt, die verschiedenen Umweltauswirkungen zu einer einzigen Kenngrösse (Umweltbelastungspunkte) zusammenzufassen. Es handelt sich um eine Stoffflussmethode, bei der neben den bereits bestehenden Belastungen die umweltpolitischen Ziele der Schweiz berücksichtigt werden. Je grösser die Umweltbelastung eines Produktes ist, desto mehr Umweltbelastungspunkte erzeugt seine Bewertung. In diesem Projekt wurde die Version aktuelle Version aus dem Jahr 2021 als Hauptbewertungsmethode verwendet.

3.10 Grenzen der vorliegenden Untersuchung

3.10.1 Inhaltlich

Sollten sich an der Art und Ausprägung der untersuchten Recyclingsysteme sowie an alternativen Verwertungswegen grundlegende Änderungen ergeben, so muss allenfalls überprüft werden, ob die für diese Erhebung getroffenen Annahmen und Berechnungen weiterhin Gültigkeit haben.

Die verwendeten Daten beziehen sich vorwiegend auf die Schweiz, deshalb müssten die Szenarien bei einer Übertragung auf das Ausland überprüft werden.

Die vorliegende Ökobilanzierung beschränkt sich auf die ökologischen Wirkungen der Recyclingsysteme. Andere Aspekte wie zum Beispiel soziale Auswirkungen, ökonomische Faktoren oder technische Machbarkeiten sind nicht Inhalt der vorliegenden Studie.

In dem Sinne handelt es sich bei der vorliegenden Studie nicht um eine umfassende Entscheidungsgrundlage, sondern um eine umfassende Analyse des Teilaspektes Umwelt. Diese muss ggf. durch weitere Aspekte entsprechend ergänzt werden.

3.10.2 Methodisch

In dieser Studie wurden neben den Wirkindikatoren auch gesamttaggregierende Bewertungsmethoden verwendet. Die in dieser Studie verwendeten Methoden haben auch international eine hohe Akzeptanz. Dennoch muss darauf hingewiesen werden, dass die Bewertungen der verschiedenen Auswirkungen nicht auf wissenschaftlicher Basis allein beruhen können, sondern auch auf gesellschaftlichen Zielen, Prioritäten und Erkenntnissen. Daher werden diese Methoden teilweise auch abgelehnt bzw. ISO 14'040 empfiehlt, diese nicht für vergleichende Ökobilanzen, die für die Öffentlichkeit bestimmt sind, zu verwenden.

Trotz der Empfehlung der ISO-Norm entschieden wir uns, aus den folgenden Gründen diese Methoden zu verwenden:

- Die Ergebnisse von gesamttaggregierenden Methoden erlauben eine Gewichtung der verschiedenen Auswirkungen und geben dadurch eine gute Entscheidungsbasis.
- Auch wenn die Gewichtungen nicht "absolut" sind, so sind deren Ergebnisse aussagekräftiger, als die Beschränkung auf einige wenige Auswirkungen.
- Die Darstellung von allen Auswirkungen gemäss ISO-Norm ist geeignet für die Schwachstellenanalyse und das Finden von Optimierungen. Oft lassen sich jedoch keine (Management-) Entscheidungen daraus ableiten, da die verschiedenen Auswirkungen im Allgemeinen unterschiedliche Resultate zeigen.
- Um bei einer Beschränkung auf die verschiedenen Wirkungen (Midpoint-Indikatoren) dennoch zu einer Aussage zu kommen, wird oft eine Beschränkung auf wenige Auswirkungen vorgenommen oder eine verbal argumentative Bewertung der verschiedenen Auswirkungen gemacht. Zumindest ist dieses Vorgehen ebenfalls durch subjektive Entscheide geprägt und es besteht dabei die Gefahr von Beliebigkeit oder Manipulation.
- Die Resultate der gesamttaggregierenden Methoden lassen sich gut kommunizieren.

3.11 Unsicherheit und Signifikanz

Jede Ökobilanz ist mit Unsicherheiten behaftet, welche sich unter anderem aus Unsicherheiten bei der Datenerhebung, wie auch bei der Berechnung der Einwirkungen und Auswirkungen auf die Umwelt ergeben. Diese Unsicherheiten werden soweit möglich erfasst oder zumindest abgeschätzt und ausgewertet. Diese Unsicherheiten werden in den Übersichtsgrafiken als Spannbreiten der Ergebnisse nicht ausgewiesen. Die Unsicherheiten der Resultate belaufen sich auf etwa 20 % und müssen für die Interpretation entsprechend zusätzlich einbezogen werden.

4 Recyclingsysteme (Beschreibung & Resultate)

Im Folgenden wird jedes Recyclingsystem kurz beschrieben. Aufbauend auf der in den vorherigen Kapiteln beschriebenen allgemeinen LCA-Methodik werden hier die wichtigsten Aspekte hinsichtlich Mengen, Prozesse, Datengrundlagen und Annahmen sowie die Resultate aufgezeigt.

4.1 IGORA - Aluminiumverpackungen

4.1.1 Systembeschreibung

Recyclingsystem

Aluverpackungen (Dosen, Schalen, Tuben) werden gesammelt, sortiert und in einem Schmelzwerk zu Sekundäraluminium verarbeitet. Dabei wird angenommen, dass das hochwertige Sekundäraluminium die entsprechende Menge an Primäraluminium ersetzt (Gutschrift).

Referenzsystem «kein Recycling»

Wenn es kein Recyclingsystem gäbe, würden die Aluverpackungen mit dem Hausmüll in einer KVA entsorgt. In den meisten KVAs kann ein gewisser Anteil des Aluminiums aus der Schlacke zurückgewonnen werden. Inklusive Verluste bei der Wiederaufbereitung aufgrund von Verunreinigungen etc. können so mit der konventionellen Schlackenaufbereitung rund 70 % Sekundäraluminium zurückgewonnen werden. Das auf diesem Weg zurückgewonnene Sekundäraluminium weist nicht dieselbe Qualität auf wie Aluminium aus dem Recycling und wird auf dem Markt zu einem Preis gehandelt, der 2.5 mal tiefer ist als der Preis für Aluminium aus stofflichem Recycling. Somit wird für das Aluminium aus der KVA eine Gutschrift erteilt, die 40 % von Primäraluminium beträgt.

4.1.2 Datengrundlagen

Gemäss Angaben von IGORA liegt die gesammelte Menge an Aluverpackungen bei 14'700 Tonnen im Jahr 2024.

Die Herstellung von Primäraluminium und Sekundäraluminium (Sammlung bis und mit Aufbereitung) wurde mittels ecoinvent 3.11 Datensätzen abgebildet, die auf Daten der European Aluminium Association aufbauen.

Die Entsorgung in der KVA wurde mittels ecoinvent 3.11 Datensatz (ecoinvent 2025) abgebildet.

Die Alu-Rückgewinnungsmenge aus der KVA wurde dem Tool «Gesamtökologie-Bewertung von KVA-Planung ZH» (Ramboll AG 2022) entnommen. Die Marktpreise für stofflich gesammeltes Aluminium und Aluminium aus Aluschlacke stammen aus Rückmeldungen von Schmelzwerken und wurden mit Literaturangaben plausibilisiert.

4.1.3 Ökologischer Nutzen

Der Umweltnutzen ergibt sich aus der Differenz der Umweltbelastung des Referenzsystems «kein Recycling» und dem Recyclingsystem.

Abbildung 8 zeigt den ökologischen Nutzen pro Tonne Sammelware und pro Jahr an. Der Umweltnutzen pro Tonne gesammelte Aluverpackungen liegt bei rund 12 Mio. UBP, der Klimanutzen bei 6.8 t CO₂-eq. Dies ist rund 1/3 tiefer als in vorherigen Studien (Kägi und Conrad 2022), da neu im Referenzsystem mitberücksichtigt wurde, dass ein Teil des Alus aus der KVA Schlacke ebenfalls zurückgewonnen wird und so pro t Aluminium rund 0.28 t Primäraluminium in minderwertigeren Anwendungen ersetzt werden kann.

Der jährliche Umweltnutzen liegt bei 179 Mia. UBP, der jährliche Klimanutzen bei rund 100'600 t CO₂-eq. Auch diese Resultate liegen tiefer als in vorhergehenden Studien, einerseits aus den oben genanntem Grund, andererseits sind die Sammelmengen tiefer als in früheren Jahren (Kägi und Conrad 2022).

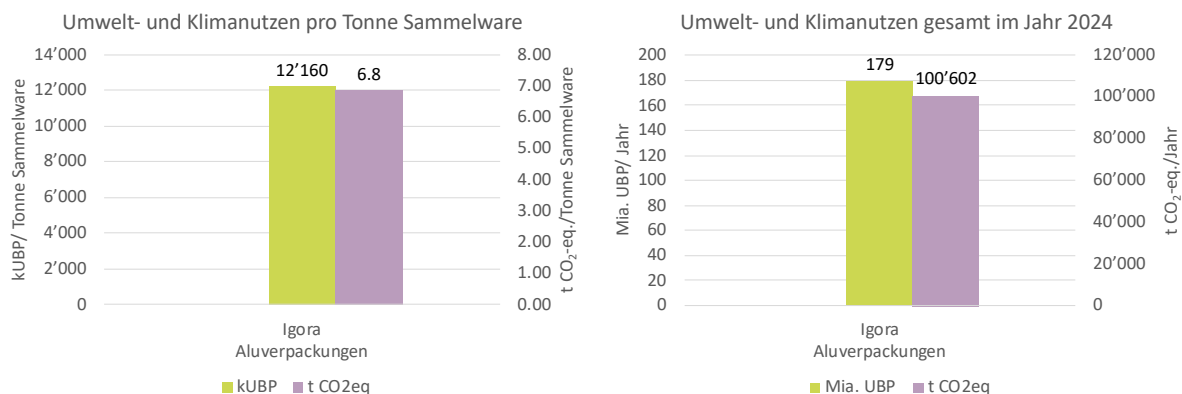


Abbildung 8: Umwelt- und Klimanutzen gesammelter Aluverpackungen

4.2 INOBAT - Batterien

4.2.1 Systembeschreibung

Recyclingsystem

Geräte, Industrie- und Fahrzeugbatterien werden gesammelt, nach chemischer Zusammensetzung sortiert und Fremdstoffe und Verunreinigungen werden entfernt. Das Recyclingverfahren von Batterien ist je nach chemischer Zusammensetzung unterschiedlich. Grundsätzlich lassen sich Batterien in drei grössere Gruppen aufteilen: normale Batterien, Lithiumbatterien und Blei Batterien. Unter den normalen Batterien fallen Alkaline- & Zink-Kohle Batterien, Nickel-Cadmium (NiCd) und Nickel-Metallhydrid (NiMH) Batterien. Unter Lithiumbatterien fallen Lithium-Ionen, -Primärzellen, -Grosssysteme und E-Zigaretten.

Normale Batterien werden in einem Pyrolyse-Verfahren mit anschliessender Abgasreinigung und Metallrückgewinnung verarbeitet. Zurückgewonnen werden insbesondere Metalle wie Eisenmangan, Zink und Nickel. Lithiumbatterien werden zuerst nass vorzerkleinert wobei das Elektrolyt ausgespült wird und danach mechanisch nach verschiedenen Bestandteilen wie Eisen, Kupfer und Aluminium sowie Kunststoffe und die sogenannte Schwarzmasse sortiert. Die Schwarzmasse besteht zu einem grossen Teil aus Graphit sowie, je nach chemischer Zusammensetzung, Lithium, Kobalt etc. Die Metalle können einem Schmelzwerk zugeführt werden und teilweise zurückgewonnen werden und die Kunststoffe werden thermisch verwertet. Die Schwarzmasse wird in Raffinationsprozessen im Ausland aufbereitet. Dabei können je nach Verfahren Graphit, Lithium und weitere Rohstoffe zurückgewonnen werden. Bleibatterien werden zu Bleihütten ins Ausland transportiert und dort verarbeitet. Säure und Kunststoffanteile werden aufgefangen. Der Bleiinhalt wird eingeschmolzen, damit neue Bleizellen hergestellt werden können.

Für die Rückgewinnung der Metalle aus allen Batterietypen werden Gutschriften für den Ersatz der entsprechenden Primärmaterialien angerechnet.

Referenzsystem «kein Recycling»

Wenn es kein Recyclingsystem für Batterien gäbe, würden die Batterien mit dem Hausmüll in einer KVA entsorgt. Heutige KVAs können Metalle wie Eisen und Aluminium aus der Schlacke zurückgewinnen. Werden Verluste bei der Wiederaufbereitung aufgrund von Verunreinigungen etc. berücksichtigt, so können mit der konventionellen Schlackenaufbereitung rund 80% des Eisen und 70 % des Aluminiums zurückgewonnen werden. Das auf diesem Weg zurückgewonnene Sekundäreisen und -aluminium weist nicht dieselbe Qualität auf wie aus dem stofflichen Recycling und wird auf dem Markt zu einem Preis gehandelt, der 2.5 mal tiefer ist als der Preis für Eisen und Aluminium aus stofflichem Recycling. Somit wird für Sekundärstoffe aus der KVA eine Gutschrift erteilt, die 40 % der entsprechenden Primärherstellung beträgt. Kunststoffe werden in der KVA thermisch verwertet.

4.2.2 Datengrundlagen

Im Jahr 2024 wurden 3'264 Tonnen Batterien bei Inobat angeliefert und total 3'296 Tonnen Batterien wurden effektiv verarbeitet (Inobat 2025). Alkaline & Zink-Kohle Batterien machen mit 66 % den grössten Anteil aus, gefolgt von Lithiumbatterien (inkl. E-Zigaretten) mit 23 %. NiMH und NiCd Batterien machen jeweils 4 % der gesamten Menge aus und Blei Batterien 3 %.

Die Zusammensetzung von Lithiumbatterien, NiMH Batterien, Alkali-Mn Batterien wurde von Batrec zur Verfügung gestellt. Die Verwertung von NiCd Batterien wurde nicht modelliert da zu aktuellen Zeitpunkt weder bestehende Hintergrund- noch Vordergrunddaten vorhanden sind und die entsprechenden Mengen sehr klein sind.

Die Rückgewinnung von Alu und Kupfer aus Lithiumbatterien erfolgt nicht als reine Fraktionen. Darum wurde angenommen, dass Kupfer zu 70 % und Alu zu 50 % zurückgewonnen werden können. Wegen fehlenden Daten und Informationen wurde die Annahme getroffen, dass jeweils 50 % der Komponenten in der Schwarzmasse zurückgewonnen werden.

Für sämtliche rückgewonnene Materialien wurden für die Aufbereitung und den Ersatz von Primärmaterial die entsprechenden ecoinvent v3.11 Inventare verwendet.

Ebenso wurde die Entsorgung in der KVA mittels ecoinvent 3.11 Datensatz abgebildet.

Die Alu und Eisen-Rückgewinnungsmenge aus der KVA wurde dem Tool «Gesamtökologie-Bewertung von KVA-Planung ZH» (Ramboll AG 2022) entnommen. Die Marktpreise für stofflich gesammeltes Aluminium und Eisen und Aluminium und Eisen aus Schlacke stammen aus Rückmeldungen von Schmelzwerken und wurden mit Literaturangaben plausibilisiert.

4.2.3 Ökologischer Nutzen

Der ökologische Nutzen ergibt sich aus der Differenz der Umweltbelastung des Referenzsystems «kein Recycling» und dem Recyclingsystem.

Abbildung 9 zeigt den ökologischen Nutzen pro Tonne und pro Jahr an. Der Umweltnutzen pro Tonne gesammelte Batterien liegt bei rund 6,5 Mio. UBP, der Klimanutzen bei 1,8 t CO₂-eq.

Der jährliche Umweltnutzen liegt bei 21 Mia. UBP, der jährliche Klimanutzen bei rund 5'800 t CO₂-eq.

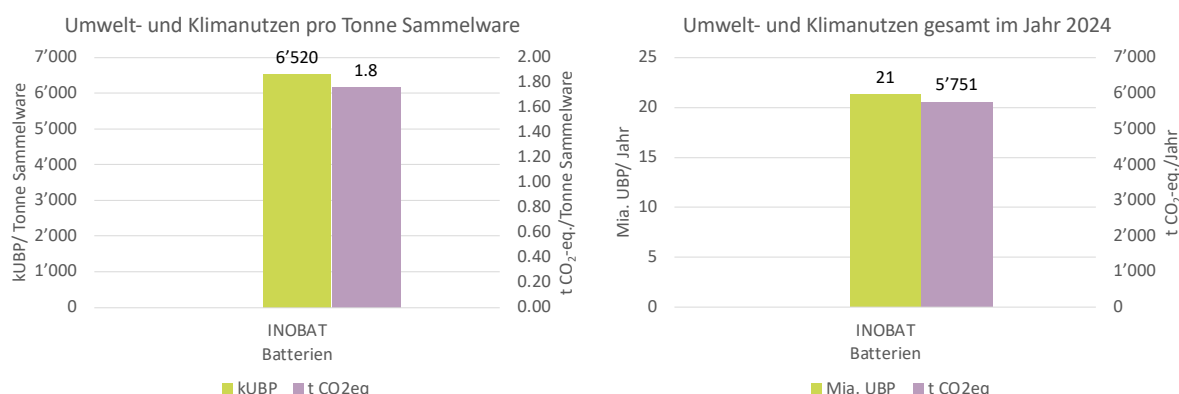


Abbildung 9: Umwelt- und Klimanutzen gesammelter Batterien

4.3 SENS – Elektrogeräte

4.3.1 Systembeschreibung

Recyclingsystem

Das SENS-Recyclingsystem beinhaltet die Sammlung, Sortierung, manuelle und mechanische Behandlung der Geräte sowie die fachgerechte Entsorgung von Schadstoffen wie Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW), bromierte Flammschutzmittel (BFS) oder polychlorierte Biphenyle (PCB) und die Wiederverwertung der Wertstoffe. Der Nutzen bei der Schadstoffvermeidung ergibt sich somit aus der Differenz zwischen dem Aufwand der fachgerechten Schadstoffentsorgung und den vermiedenen Schadstoffemissionen in die Umwelt. Weiter wurde der Nutzen des stofflichen Recyclings berücksichtigt als Differenz zwischen dem Aufwand der Wiederaufbereitung der Wertstoffe zu Sekundärmaterial und der damit einhergehenden Ressourcenschonung durch den Ersatz von Primärmaterial. Dabei wurde folgendermassen vorgegangen:

- Die aus der Verarbeitung resultierenden Wertstoff- und Schadstofffraktionen wurden für jede Gerätekategorie mittels vorliegenden Testchargenverarbeitungen (Batchversuchen) der SENS ermittelt. Es handelt sich somit um die real verarbeiteten Mengen und nicht um das theoretisch erreichbare Potential.
- Einzig für PCB und BFS wurden weitere Studien verwendet, um die Mengen hochzurechnen. Dabei wurde davon ausgegangen, dass diese beiden Schadstoffe im SENS-System praktisch vollständig fachlich korrekt entsorgt werden.

Referenzsystem

Für das Szenario „ohne SENS“ sind verschiedene Varianten denkbar: Von „es wird gar nichts rezykliert und alles auf offenen Deponien gelagert oder verbrannt“ bis „Umgang mit Elektrogeräteentsorgung unter Einhaltung bestehender CH-Gesetze“. Für diese Studie wurde als Mittelweg ein möglichst realistisches „ohne SENS“ Szenario definiert, auch angelehnt an die Szenarien in der Ecodom Studie über den Klimanutzen des Elektrogeräte-Recyclings in Italien (ECODOM 2008). Dabei gehen wir von folgenden Annahmen aus:

- Es fallen gleich viele Geräte an wie im Szenario „SENS“.
- Die eine Hälfte der Elektrogeräte wird ökonomisch optimiert, ohne Beachtung von speziellen Umweltauflagen, in unspezifischen Betrieben "verwertet". Die andere Hälfte wird von spezialisierten Fachbetrieben verwertet, jedoch – aufgrund fehlender externer Kontrollen – mit tieferen Rückgewinnungsraten bei Schadstoffen und Wertstoffen.
- Für alle gesammelten Geräte gilt: Bei der ökonomischen Optimierung werden die häufigsten Wertstoffe zu 90 % zurückgewonnen mit vollständiger Entweichung der Kältemittel, Treibmittel und Quecksilber.
- Bei der anderen Hälfte werden die häufigsten Wertstoffe zu 90 % zurückgewonnen und 50 % der Kältemittel, Treibmittel und Quecksilber entweichen in die Umwelt.
- Hinsichtlich PCB wurden folgende Annahmen getroffen, gestützt auf Messungen des PCB-Gehaltes von verschiedenen Fraktionen der Sortier- und Verarbeitungsprozesse (Morf & Taverna, 2004) und Expert*innenengesprächen:
 - Bei Geräten ohne Kunststoffrecycling (v.a. Elektrogrossgeräte):
 - 85 % der PCB-Inputs befinden sich nach der mechanischen Behandlung in den feinsten, nichtmetallischen Schredderfraktionen (häufig RESH und Staub) und 15 % befinden sich an metallischen Wertstoffen. Es wurde angenommen, dass PCB, auf metallische Wertstoffe verschmiert, zu 50 % in die Umwelt gelangen, sei dies während der Lagerung, der Aufbereitung zu Sekundärmaterialien oder während der darauffolgenden Nutzungsphase. Die andere Hälfte wird in der Metallschmelze vollständig zerstört. Der RESH und Staub wird in einer KVA entsorgt. Vom PCB-Anteil, welcher in eine KVA gelangt, wurde aufgrund fehlender Daten angenommen, dass 90 % vernichtet werden und 10 % in die Umwelt gelangen. Somit gelangen rund 16 % des PCB-Inputs in die Umwelt.
 - Bei Geräten mit Kunststoffrecycling (v.a. Elektrokleingeräte):

- 85 % der PCB-Inputs befinden sich nach der mechanischen Behandlung im RESH und Staub oder Kunststofffraktionen, wobei die Annahme getroffen wurde, dass die Hälfte im RESH/Staub und die andere Hälfte an Kunststoff Teilen haften bleibt. 15 % der PCB befinden sich zudem an metallischen Wertstoffen. Es wurde angenommen, dass PCB, auf metallische Wertstoffe verschmiert, zu 50 % in die Umwelt gelangen, sei dies während der Lagerung, der Aufbereitung zu Sekundärmaterialien oder während der darauffolgenden Nutzungsphase. Die andere Hälfte wird in der Metallschmelze vollständig zerstört. Der RESH und Staub wird in einer KVA entsorgt. Vom PCB-Anteil, welcher in eine KVA gelangt, wurde aufgrund fehlender Daten angenommen, dass 90 % vernichtet werden und 10 % in die Umwelt gelangen. Aus Batchversuchen und Stoffflussnachweisen schliessen wir, dass von der Kunststofffraktion rund 1/3 stofflich verwertet und 2/3 thermisch verwertet werden (davon wird wie beim RESH/Staub in KVA 10 % in die Umwelt emittiert). Vom PCB Anteil, welcher ins Kunststoffrecycling gelangt, wird angenommen, dass die Hälfte davon über kurz oder lang in die Umwelt gelangt, sei dies während der Lagerung, der Aufbereitung oder Nutzungsphase. Somit gelangen rund 21.6 % des PCB-Inputs in die Umwelt.
- Im Vergleich zur früheren Studie (Kägi und Franov 2016), in der für Elektrogrossgeräte und –kleingeräte mit 24 % gerechnet wurde, liegt der Faktor tiefer aufgrund neueren Überlegungen.
- Hinsichtlich der bromierten Flammschutzmittel (BFS) wurden folgende Annahmen getroffen, gestützt auf Morf u. a. (2002):
 - Eine Hälfte der BFS-haltigen Kunststoffe wird aufgrund der angenommenen ökonomischen Optimierung nicht rezykliert und landet direkt in der KVA, in der die BFS praktisch vollständig zerstört werden.
 - Die andere Hälfte der BFS-haltigen Kunststoffe wird rezykliert. Dabei wird davon ausgegangen, dass diese Kunststoffe während ihrer Nutzungsphase BFS emittieren sowie durch Abrieb BFS in die Umwelt gelangen und irgendwann einmal je zur Hälfte in einer KVA oder einer Deponie landen, in der die BFS teilweise ins Wasser ausgewaschen werden.

4.3.2 Datengrundlagen

Gemäss Angaben von SENS belaufen sich die im Jahr 2024 angefallenen Gerätemengen auf total 100'600 Tonnen Geräte, wobei 20'900 Tonnen Kühl-, Gefrier- und Klimageräte, 41'400 Tonnen Elektrogrossgeräte, 35'200 Tonnen Elektrokleingeräte, 1'000 Tonnen Leuchtmittel, 1'200 Tonnen PV-Module und 900 Tonnen nicht VREG Geräte.

Die Recyclingquoten (RQ) je Gerätekategorie und Fraktion stammen aus den Testchargenverarbeitungen der SENS. Aus Vertraulichkeitsgründen sind diese RQ hier nicht aufgeführt.

Für sämtliche vorgelagerten sowie nachgelagerten Prozesse (Aufbereitungsaufwände und Gutschriften) wurden die entsprechenden Ökoinventare aus der ecoinvent v3.11 Datenbank (ecoinvent 2025) verwendet.

4.3.3 Ökologischer Nutzen

Der ökologische Nutzen ergibt sich aus der Differenz der Umweltbelastung des Referenzsystems «kein Recycling» und dem Recyclingsystem.

Abbildung 10 zeigt den ökologischen Nutzen pro Tonne und pro Jahr an. Der Umweltnutzen pro Tonne gesammelter SENS Geräte liegt bei rund 14.7 Mio. UBP, der Klimanutzen bei 1.7 Tonnen CO₂-eq.

Der jährliche Umweltnutzen liegt bei 1'440 Mia. UBP, der jährliche Klimanutzen bei rund 166'000 Tonnen CO₂-eq.

Zum Umweltnutzen trägt vor allem die Schadstoffentfrachtung (PCB und Kältemittel) bei, und weniger das stoffliche Recycling. Auch der Klimanutzen wird massgeblich geprägt von der Entsorgung der Kältemittel. Zu beachten ist, dass im Referenzsystem angenommen wurde, dass 90 % der durch SENS zurückgewonnen Metalle ebenfalls rezykliert würden. Würde im Referenzsystem mit 0 % Recycling gerechnet, würde sich der ökologische Nutzen in etwa verdoppeln und das stoffliche Recycling trüge rund die Hälfte zum ökologischen Nutzen bei.

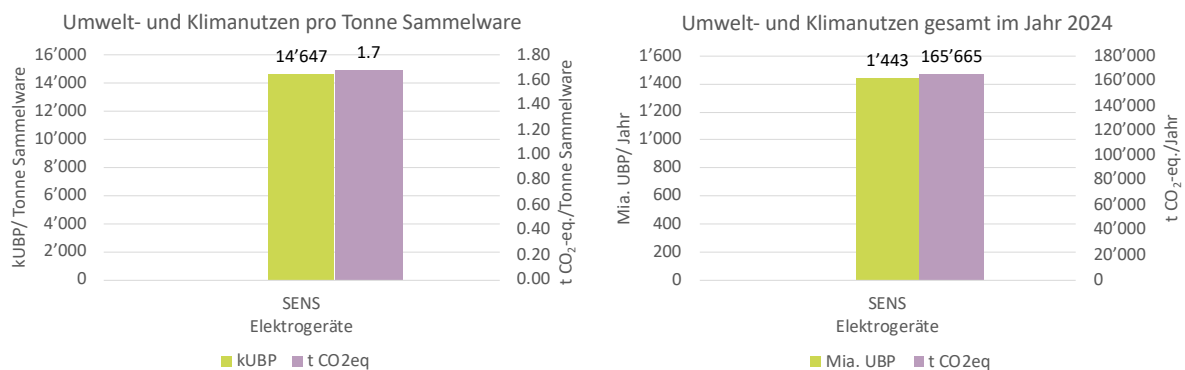


Abbildung 10: Umwelt- und Klimanutzen gesamelter SENS Elektrogeräte

4.4 SWICO - Elektronikgeräte

4.4.1 Systembeschreibung

Recyclingsystem

Das SWICO Recyclingsystem beinhaltet die Sammlung, Sortierung, manuelle und mechanische Behandlung der Geräte sowie die fachgerechte Entsorgung von Schadstoffen und die Wiederverwertung der Wertstoffe. Der Nutzen des stofflichen Recyclings wurde berücksichtigt als Differenz zwischen dem Aufwand der Wiederaufbereitung der Wertstoffe zu Sekundärmaterial und der damit einhergehenden Ressourcenschonung durch den Ersatz von Primärmaterial. Die aus der Verarbeitung resultierenden Wertstofffraktionen wurden für jede Kategorie des SWICO-Recyclingsystems von SWICO zur Verfügung gestellt.

Referenzsystem

Für das Szenario „ohne SWICO“ sind verschiedene Varianten denkbar: Von „es wird gar nichts recycelt und alles auf offenen Deponien gelagert oder verbrannt“ bis „Umgang mit Elektronikgeräteentsorgung unter Einhaltung bestehender CH-Gesetze“. Für diese Studie wurde als Mittelweg ein möglichst realistisches „ohne SWICO“ Szenario definiert analog zum SENS Recyclingsystem. Dabei gehen wir von folgenden Annahmen aus:

- Es fallen gleich viele Geräte an wie im Szenario „SWICO“.
- Für alle gesammelten Geräte gilt: Bei der ökonomischen Optimierung werden die häufigsten Wertstoffe zu 90 % zurückgewonnen.

4.4.2 Datengrundlagen

Die im Jahr 2024 angefallenen Gerätemengen belaufen sich gemäss Angaben von SWICO auf total 39'452 Tonnen Geräte.

Die Recyclingquoten je Kategorie und Fraktion (im Wesentlichen Eisen, Aluminium, Kupfer, Gold, Silber, Kunststoffe und Glas) stammen von SWICO und werden aus Vertraulichkeitsgründen hier nicht aufgelistet. Für sämtliche vorgelagerten sowie nachgelagerten Prozesse (Aufbereitungsaufwände und Gutschriften) wurden die entsprechenden Ökoinventare aus der ecoinvent v3.11 Datenbank (ecoinvent 2025) verwendet.

4.4.3 Ökologischer Nutzen

Der ökologische Nutzen ergibt sich aus der Differenz der Umweltbelastung des Referenzsystems «kein Recycling» und dem Recyclingsystem.

Abbildung 11 zeigt den ökologischen Nutzen pro Tonne und pro Jahr an. Der Umweltnutzen pro Tonne gesammelter SWICO Elektronikgeräte liegt bei rund 0.4 Mio. UBP, der Klimanutzen bei 0.16 Tonnen CO₂-eq. Der jährliche Umweltnutzen liegt bei 15 Mia. UBP, der jährliche Klimanutzen bei rund 6'250 Tonnen CO₂-eq. Im Gegensatz zu den SENS Geräten wird der ökologische Nutzen hauptsächlich vom stofflichen Recycling geprägt, da im SWICO Material weder nennenswerte PCB noch Kältemittel anfallen. Zu beachten ist, dass im Referenzsystem angenommen wurde, dass 90 % der durch SWICO zurückgewonnen Metalle ebenfalls recycelt würden. Würde im Referenzsystem mit 0 % Recycling gerechnet, würde der ökologischen Nutzen 10-Mal höher liegen.

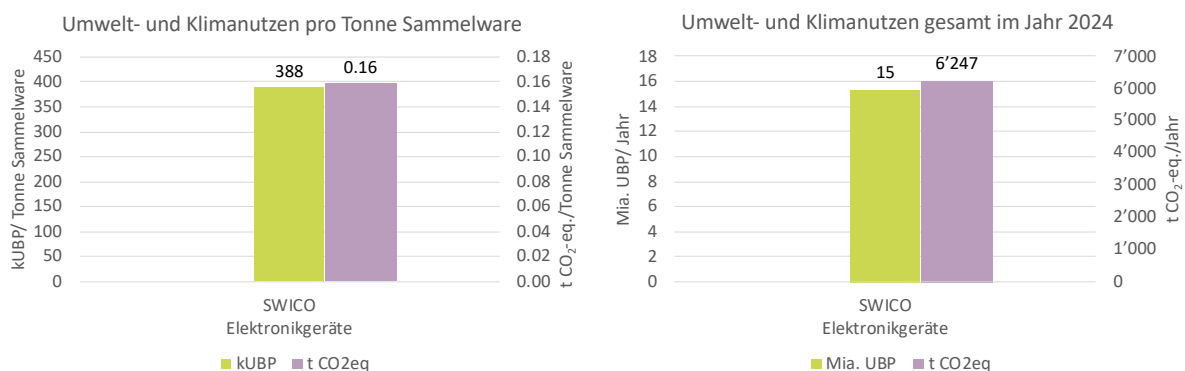


Abbildung 11: Umwelt- und Klimanutzen gesamelter SWICO Elektronikgeräte

4.5 VetroSwiss - Glas (Flaschen und Konserven)

4.5.1 Systembeschreibung

Recyclingsystem

Die Bilanzierung des Glasflaschenrecyclings basiert auf der aktualisierten Studie von Stettler und Conrad (2025). Dabei wurde eine closed loop Recyclingrate 62 % (Einschmelzen zu Verpackungsglas) und einer open loop Recyclingrate von 37.5 % gerechnet (Downcycling zu anderen Produkten wie Schaumglas, Filtermaterial, Glaswolle, Versanden). Im Zuge der Schliessung des Produktionsstandortes St-Prex der Vetropack AG im Jahr 2024 wurde die Produktion von Verpackungsglas in der Schweiz nicht mehr berücksichtigt.

Dabei wurde angenommen, dass das rezyklierte Glas die entsprechende Menge an Primärmaterial ersetzt und dafür Gutschriften verteilt.

Referenzsystem

Für das Referenzsystem wurde angenommen, dass sämtliche Glasverpackungen mit dem Hausmüll in der KVA entsorgt werden. Glas wird als Teil der KVA-Schlacke auf einer Schlackendeponie (Typ D) final eingelagert.

4.5.2 Datengrundlagen

Die in der Schweiz verwertete Menge an Altglas beläuft sich auf 324'733 Tonnen im 2024. Für importiertes Glas werden Datengrundlagen zur durchschnittlichen Produktion von Verpackungsglas für Deutschland und Europa unterschiedlicher Farbkategorien verwendet. Für sämtliche vorgelagerten sowie nachgelagerten Prozesse (Aufbereitungsaufwände und Gutschriften) wurden in der Studie von Stettler und Conrad (2025) die entsprechenden Ökoinventare aus der UVEK 2024 Datenbank verwendet.

4.5.3 Ökologischer Nutzen

Der ökologische Nutzen ergibt sich aus der Differenz der Umweltbelastung des Referenzsystems «kein Recycling» und dem Recyclingsystem.

Abbildung 12 zeigt den ökologischen Nutzen pro Tonne und pro Jahr an. Der Umweltnutzen pro Tonne gesammelter Glasverpackungen liegt bei rund 0.6 Mio. UBP, der Klimanutzen bei 0.38 Tonnen CO₂-eq. Der jährliche Umweltnutzen liegt bei 180 Mia. UBP, der jährliche Klimanutzen bei rund 123'000 Tonnen CO₂-eq. Auch wenn der ökologische Nutzen pro Tonne Sammelware im Vergleich zu anderen Recyclingsystemen eher tief ist, so weist das Glasverpackungsrecyclingsystem aufgrund der grossen Sammelmengen eines der grössten Umwelt- und Klimanutzen pro Jahr auf.

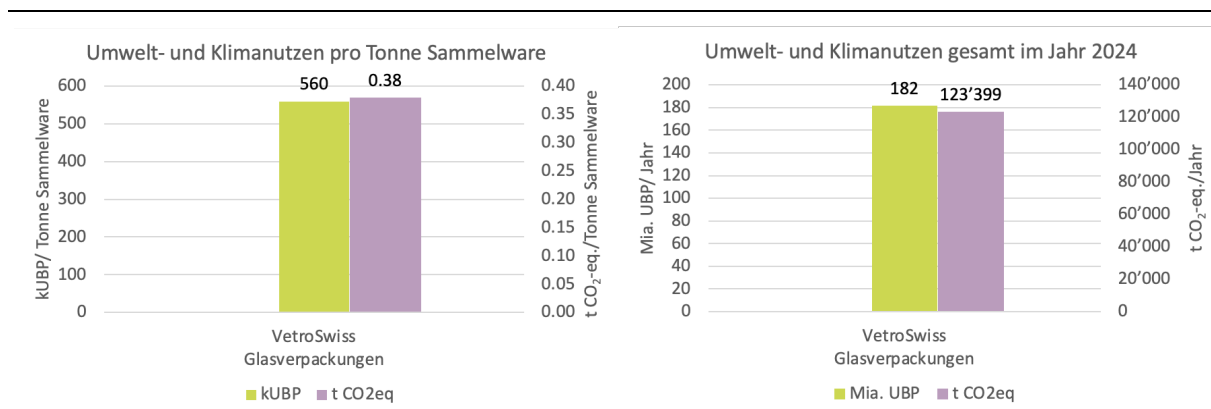


Abbildung 12: Umwelt- und Klimanutzen gesammelter Glasverpackungen

4.6 PET-Getränkeflaschen

4.6.1 Systembeschreibung

Recyclingsystem

Die gesammelten PET-Getränkeflaschen werden sortiert, gewaschen und wieder zu Sekundärmaterial aufgearbeitet. Die bei der Sortierung anfallenden Flaschendeckel aus PE werden ebenfalls dem stofflichen Recycling zugeführt. Für die Herstellung von PET-Flaschen wurden Schweiz-spezifische Verhältnisse hinsichtlich des ganzen PET-Recyclings mitberücksichtigt. Details des PET-Recyclings wurden der PET-Recycling Studie (Kägi und Dinkel 2022) entnommen.

Referenzsystem

Ohne Recyclingsystem werden die PET-Getränkeflaschen mit dem Hausmüll in einer KVA entsorgt. Dabei wurde berücksichtigt, dass die Schweizer KVAs Wärme und Strom abgeben resp. verkaufen mit entsprechender Strom- und Wärmegutschrift.

4.6.2 Datengrundlagen

Die in der Schweiz gesammelte Menge an PET-Getränkeflaschen beläuft sich gemäss Angaben PRS auf 46'453 Tonnen im 2024. Die Datengrundlagen wurden der PET-Recycling Studie (Kägi und Dinkel 2022) entnommen und mit den aktuellsten Hintergrundinventaren der ecoinvent v3.11 Datenbank (ecoinvent 2025) neu berechnet.

4.6.3 Ökologischer Nutzen

Der ökologische Nutzen ergibt sich aus der Differenz der Umweltbelastung des Referenzsystems «kein Recycling» und dem Recyclingsystem.

Abbildung 13 zeigt den ökologischen Nutzen pro Tonne und pro Jahr an. Der Umweltnutzen pro Tonne gesammelter PET-Getränkeflaschen liegt bei rund 4 Mio. UBP, der Klimanutzen bei 3.1 Tonnen CO₂-eq.

Der jährliche Umweltnutzen liegt bei 184 Mia. UBP, der jährliche Klimanutzen bei rund 143'000 Tonnen CO₂-eq.

Es gilt zu beachten, dass diese Werte leicht höher sind als in früheren Studien, da in ecoinvent 3.11 die primäre PET-Herstellung höhere Umweltbelastung aufweist als früher und entsprechend die Gutschriften grösser sind.

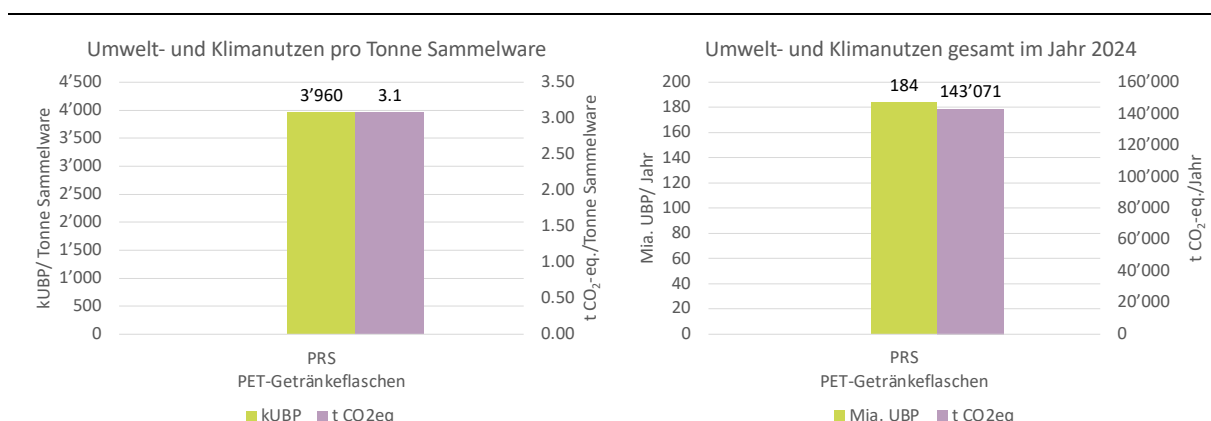


Abbildung 13: Umwelt- und Klimanutzen gesammelter PET-Getränkeflaschen

4.7 Ferro - Weissblechverpackungen

4.7.1 Systembeschreibung

Recyclingsystem

Die Weissblechverpackungen werden gesammelt und einer Entzinnungsanlage zugeführt. Diese trennt das Zinn vom Stahlblech. Das Zinn mit einem Zinngehalt von rund 85 % wird danach weiter aufbereitet zu reinem Zinn. Das Stahlblech wird in einem Stahlrecyclingwerk zu Sekundärstahl aufbereitet.

Referenzsystem

Wenn es kein Recyclingsystem für Weissblechverpackungen gäbe, würden diese mit dem Hausmüll in einer KVA entsorgt. Heutige KVAs können Metalle wie Eisen aus der Schlacke zurückgewinnen. Werden Verluste bei der Wiederaufbereitung aufgrund von Verunreinigungen etc. berücksichtigt, so können mit der konventionellen Schlackenaufbereitung rund 80 % des Eisens zurückgewonnen werden. Das auf diesem Weg zurückgewonnene Sekundäreisen weist nicht dieselbe Qualität auf wie aus dem stofflichen Recycling und wird auf dem Markt zu einem Preis gehandelt, der 2.5-mal tiefer ist als der Preis für Eisen aus stofflichem Recycling. Somit wird für Sekundärstoffe aus der KVA eine Gutschrift erteilt, die 40 % der entsprechenden Primärherstellung beträgt. Das in der Weissblechverpackung enthaltene Zinn kann auf diesem Weg nicht stofflich rezykliert werden.

4.7.2 Datengrundlagen

Die in der Schweiz gesammelte Menge an Weissblechverpackungen beläuft sich gemäss Angaben Ferro Recycling auf 11'500 Tonnen im 2024. Daten zur Entzinnung, Transporte und weitere Aufbereitung wurden der Studie über Weissblechrecycling (Kägi und Conrad, 2025) entnommen, wobei für die Hintergrundinventare mit der ecoinvent v3.11 Datenbank (ecoinvent 2025) gerechnet wurde.

4.7.3 Ökologischer Nutzen

Der ökologische Nutzen ergibt sich aus der Differenz der Umweltbelastung des Referenzsystems «kein Recycling» und dem Recyclingsystem.

Abbildung 14 zeigt den ökologischen Nutzen pro Tonne und pro Jahr an. Der Umweltnutzen pro Tonne gesammelter Weissblechverpackungen liegt bei rund 2.8 Mio. UBP, der Klimanutzen bei 1.3 Tonnen CO₂-eq. Der jährliche Umweltnutzen liegt bei 32 Mia. UBP, der jährliche Klimanutzen bei rund 14'600 Tonnen CO₂ eq.

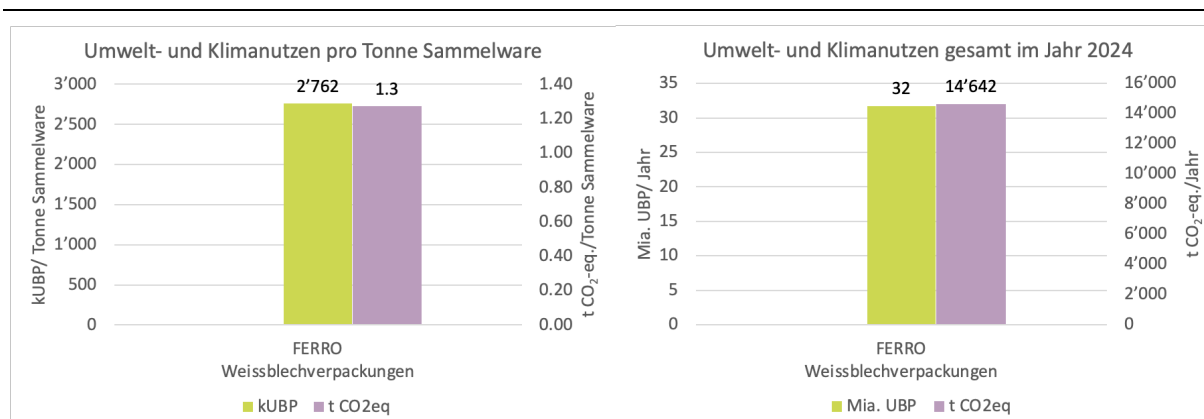


Abbildung 14: Umwelt- und Klimanutzen gesammelter Weissblechdosen

4.8 Getränkekarton

4.8.1 Systembeschreibung

Recyclingsystem

Die Getränkekartons werden gesammelt einem Kartonrecyclingwerk zugeführt. Dieses trennt in einem ersten Schritt den Karton vom PE und Aluminium. Der Karton wird dann weiter aufbereitet zu Sekundärkarton, während das PE und Aluminium als Reject in einem Zementwerk als Ersatzbrennstoff verwendet werden und dort Kohle ersetzen. Es gibt auch Verfahren, in welchen der Reject aufbereitet wird. Dieser Verwertungsweg wurde in dieser Studie jedoch nicht betrachtet.

Referenzsystem

Wenn es kein Recyclingsystem für Getränkekarton gibt, werden diese mit dem Hausmüll in einer KVA entsorgt. Auch wenn heutige KVAs Metalle wie Aluminium aus der Schlacke zurückgewinnen, so wurde in diesem Fall keine Rückgewinnung angerechnet, da angenommen wurde, dass diese sehr dünne Aluschicht in der KVA oxidiert und deshalb nicht zurückgewonnen werden kann.

4.8.2 Datengrundlagen

Die in der Schweiz gesammelte Menge an Getränkekartons beläuft sich gemäss Angaben vom Verein Getränkekarton-Recycling Schweiz auf 1'533 Tonnen im 2024. Daten zur Sammlung, Sortierung, Aufbereitung wurden aus Kägi und Weiner (2024) entnommen, wobei für die Hintergrundinventare mit der ecoinvent v3.11 Datenbank (ecoinvent 2025) gerechnet wurde.

4.8.3 Ökologischer Nutzen

Der ökologische Nutzen ergibt sich aus der Differenz der Umweltbelastung des Referenzsystems «kein Recycling» und dem Recyclingsystem.

Abbildung 15 zeigt den ökologischen Nutzen pro Tonne und pro Jahr an. Der Umweltnutzen pro Tonne gesammelter Getränkekartons liegt bei rund 0.8 Mio. UBP, der Klimanutzen bei 0.19 Tonnen CO₂-eq.

Der jährliche Umweltnutzen liegt bei 1.3 Mia. UBP, der jährliche Klimanutzen bei rund 290 Tonnen CO₂-eq.

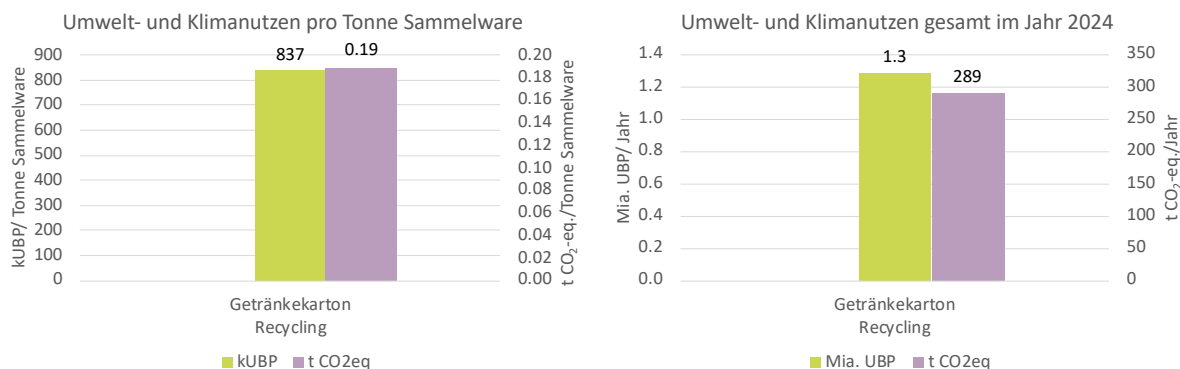


Abbildung 15: Umwelt- und Klimanutzen gesammelter Getränkekartons

4.9 Kunststoffrecycling RecyPac

4.9.1 Systembeschreibung

RecyPac hat im Jahr 2024 noch keine Kunststoffe gesammelt. Im Folgenden wird der grundsätzliche Nutzen des Kunststoff-Recyclings (ohne Getränkekarton) basierend auf bestehenden Studien wie KuRVe (Dinkel u. a. 2018) oder der VOBu der Massnahmen im Verpackungsbereich (Ecoplan 2024) dargestellt.

Recyclingsystem

Die gesammelten Kunststoffverpackungen (exkl. PET-Getränkeflaschen und Getränkekarton) werden sortiert. Stofflich verwertbare Fraktionen werden wieder zu Sekundärmaterial aufgearbeitet während andere Fraktionen teilweise in einem Zementwerk als Ersatzbrennstoffe verwertet werden.

Referenzsystem

Ohne Recyclingsystem werden die KS-Verpackungen mit dem Hausmüll in einer KVA entsorgt. Dabei wurde berücksichtigt, dass Schweizer KVAs Wärme und Strom abgeben resp. verkaufen mit entsprechenden Gutschriften für Wärme und Strom.

4.9.2 Datengrundlagen

Die Datengrundlagen für die Veranschaulichung des grundsätzlichen ökologischen Nutzens wurden der KuRVe Studie und VOBu-Betrachtung entnommen. Die Hintergrundinventare basieren dabei auf der ecoinvent Datenbank.

4.9.3 Ökologischen Nutzen

Der ökologische Nutzen ergibt sich aus der Differenz der Umweltbelastung des Referenzsystems «kein Recycling» und dem Recyclingsystem.

Der Umweltnutzen des Kunststoff-Recyclings liegt in etwa bei einem Drittel des Umweltnutzens des PET-Getränkeflaschen Recyclings. Der Klimanutzen beträgt in etwa die Hälfte des Klimanutzens des PET-Getränkeflaschen Recyclings. Die Gründe dazu hängen damit zusammen, dass die Herstellung von Primär-PET mehr Umweltbelastung aufweist als die Herstellung der meisten Kunststoffe wie PE und PP, die zu einem grossen Teil bei Verpackungen eingesetzt werden und somit die Gutschrift für den Ersatz von Primärmaterial beim PET Recycling grösser ist. Auf der anderen Seite weisen die meisten anderen Verpackungskunststoffe einen höheren Energiegehalt auf als PET, was im Referenzsystem (Verwertung in der KVA) zu höheren Energiegutschriften führt.

Auch wenn der ökologische Nutzen kleiner ist als der des PET-Getränkeflaschen Recyclings, so wird doch ein Nutzen ausgewiesen. Der Umweltnutzen liegt im Bereich von rund 1-1.5 Mio. UBP pro Tonne Sammelware, der Klimanutzen bei rund 1.5 Tonnen CO₂-eq pro Tonne Sammelware. Hier gilt zu beachten, dass diese Werte leicht höher sind als in den zitierten Studien, da in ecoinvent 3.11 die Kunststoffherstellung höhere Umweltauswirkungen aufweist als früher und entsprechend die Gutschriften grösser sind.

Die VOBu Studie (Ecoplan 2024) geht davon aus, dass im Jahr 2030 rund 53'000 Tonnen Kunststoff-Verpackungen gesammelt werden (18 % der Umlaufmenge). Je nach zusätzlich getroffenen Massnahmen könnte gemäss der Studie in naher Zukunft bis zu 62 % der Umlaufmenge (rund 184'000 Tonnen) gesammelt werden.

Bei 53'000 Tonnen Sammelmenge würde somit ein Umweltnutzen von rund 70 Mia. UBP und ein Klimanutzen von rund 82'000 Tonnen CO₂-eq. resultieren. Abbildung 16 zeigt den ökologischen Nutzen pro Tonne und pro Jahr an.

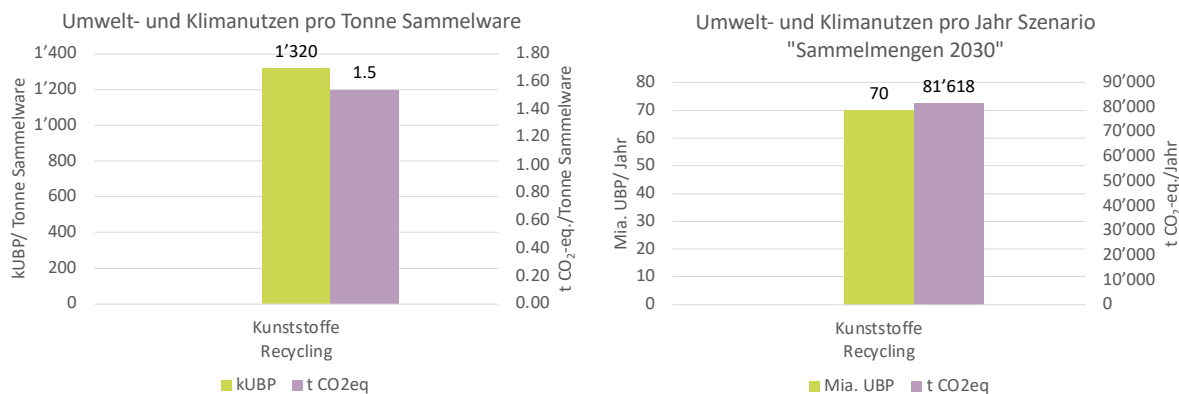


Abbildung 16: Umwelt- und Klimanutzen gesammelter Kunststoffe

4.10 Gesamtnutzen der Recyclingsysteme im 2024

Der Umweltnutzen insgesamt beläuft sich auf 2'057 Mia. UBP (siehe Abbildung 17 und Tabelle 2). SENS-Elektrogeräte tragen dabei 70 % zum Resultat bei gefolgt von VetroSwiss Glasverpackungen (9 %) und PRS-PET Flaschen (9 %). Die restlichen betrachteten Systeme tragen zusammen noch 12 % zum Gesamtnutzen bei.

Auch beim Klimanutzen weisen die SENS-Elektrogeräte den höchsten Anteil auf, jedoch «nur noch» 30 %, gefolgt von PRS-PET Flaschen mit 26 % und VetroSwiss Glasverpackungen mit 22 %. Igora Aluminiumverpackungen weisen einen Anteil von 18 % auf. Die restlichen betrachteten Systeme tragen noch 4 % zum Klimanutzen bei.

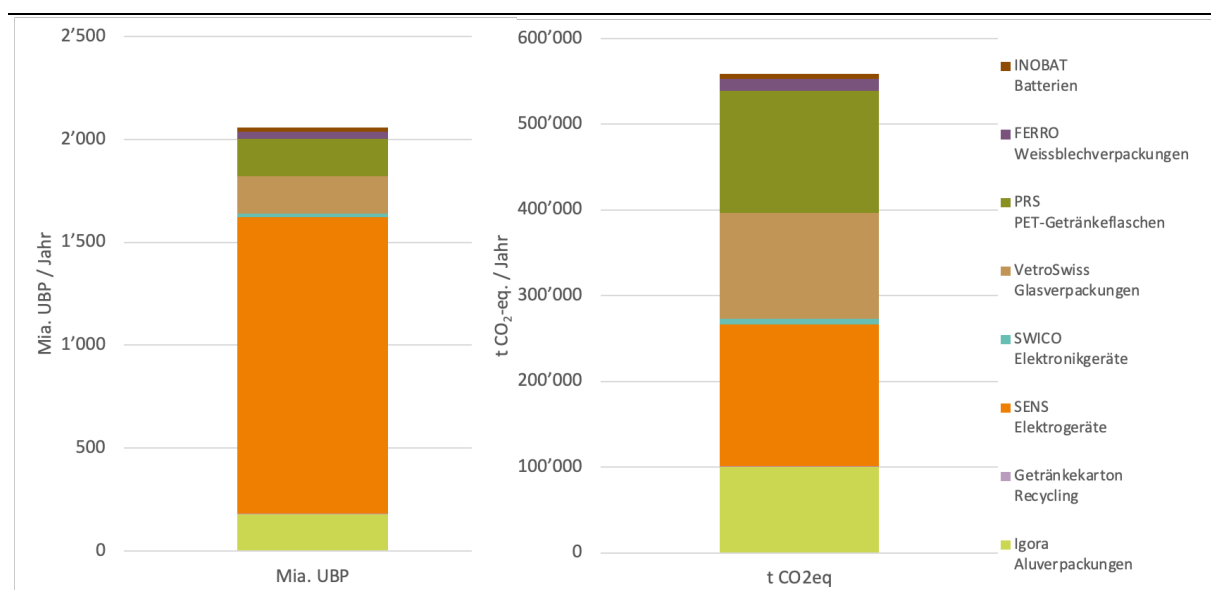


Abbildung 17: Umwelt- und Klimanutzen der betrachteten Systeme pro Jahr

Tabelle 2: Gesamtnutzen der Recyclingsysteme im 2024

Recyclingsystem	Umweltnutzen	Klimanutzen
	Mia. UBP	Tonnen CO ₂ -eq
IGORA - Aluminiumverpackungen	179	100'602
GKR - Getränkekartonrecycling	1	29
SENS Elektrogeräte	1'443	165'654
SWICO Elektronikgeräte	15	6'347
VetroSwiss - Glasverpackungen	182	123'399
PRS – PET-Getränkeflaschen	184	143'071
FERRO - Weissblechdosen	32	14'642
INOBAT - Batterien	21	5'751
RecyPac – KS-Verpackungen	-	-
Total	2'057	559'655

Der von den hier betrachteten Recyclingsystemen erbrachte Umweltnutzen von 2'034 Mia UBP entspricht ungefähr:

- Der jährlichen Umweltbelastung von 66'000 Personen. Dies entspricht ungefähr der Einwohnerzahl der Stadt Lugano oder 0.7 % der Schweizer Bevölkerung
- Dem Verbrauch von 0.4 Mio. Tonnen Heizöl.
- Dem Verbrauch von 4.3 GWh Strom (CH). Bei einer Stromerzeugung von 66'700 GWh entspricht dies rund 0.06 Promille
- 3.9 Mia. Auto km: dies entspricht ungefähr 7 % der jährlich gefahrenen km im privaten Strassenverkehr

Die Studie zeigt jedoch auch deutliche Unterschiede zwischen den Materialien auf (siehe Abbildung 18). Während stofflich hochwertiges Recycling (z. B. von Aluminium, Elektroaltgeräte oder Batterien) einen hohen Nutzen pro Tonne Sammelware generiert, ist der Effekt bei anderen Materialien (z. B. Getränkekartons oder Glas) pro Tonne geringer, wenn auch Glas aufgrund der hohen Sammelmengen und Masse im Gesamtsystem relevant ist. Hier zeigt sich die Wichtigkeit einer differenzierten Betrachtung unter Einbezug von Sammel-mengen, stofflicher Qualität und energetischem Potenzial.

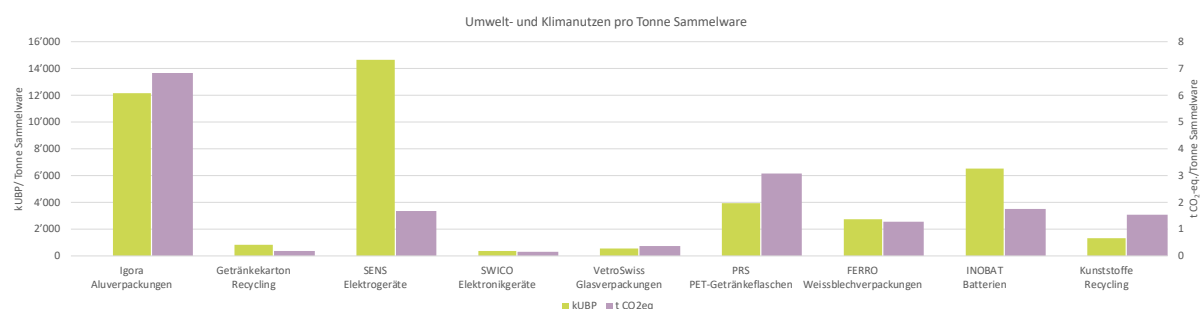


Abbildung 18: Umwelt- und Klimanutzen der betrachteten Systeme pro Tonne Sammelware

5 Vergleich mit den Resultaten von 2022

Der Umweltnutzen der betrachteten Recyclingsysteme im Jahr 2024 wurde mit den Resultaten aus dem Jahr 2022 verglichen (siehe Abbildung 19).

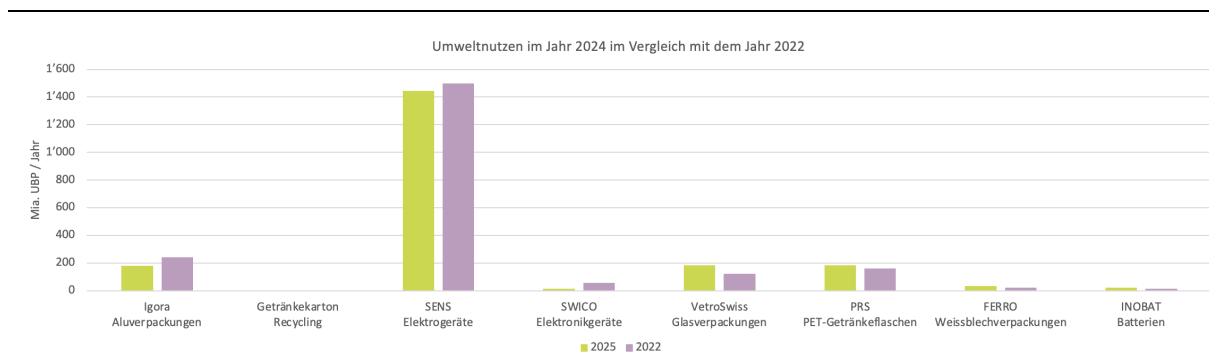


Abbildung 19: Umweltnutzen im Jahr 2024 im Vergleich zu 2022.

Aluverpackungen

Der tiefere Umweltutzen im 2024 ist auf folgende Punkte zurückzuführen:

- Geringere Sammelmenge als im 2022.
- Das für die Gutschrift verwendete Inventar für primäres Aluminium wurde aktualisiert und weist eine tiefere Umweltbelastung auf.
- Neu wurde berücksichtigt, dass im Referenzsystem ein gewisser Anteil des Aluminiums aus der KVA-Schlacke zurückgewonnen wird mit entsprechender Gutschrift (siehe dazu Kap. 4.1), was den Umweltutzen des Recyclingsystems reduziert.

Getränkekarton

Der tiefere Umweltutzen im 2024 ist auf die tiefere ausgewiesene Sammelmenge zurückzuführen.

SENS-Elektrogeräte

Für SENS-Elektrogeräte liegt der Umweltutzen in einem ähnlichen Bereich und stellt immer noch den grössten Anteil am Gesamtnutzen dar. Der grösste Anteil kommt weiterhin aus der Schafstoffentfrachtung (PCB, Kältemittel), wobei die PCB-Menge jährlich abnimmt, was auch den Umweltutzen reduziert. Das stoffliche Recycling macht 39 Mia. UBP der 1440 Mia. UBP aus.

SWICO-Elektronikgeräte

Der tiefere Umweltutzen im 2024 ist darauf zurückzuführen, dass dieses Jahr mit wesentlich genaueren Angaben zu den zurückgewonnenen Fraktionen gerechnet werden konnte, während die Betrachtung im 2022 auf einer sehr groben Schätzung beruhte.

Glasverpackungen

Der leicht höhere Umweltutzen im 2024 der Glasverpackungen ist auf aktualisierte Parameter in der erst letztthin durchgeführten Studie zu Glasrecycling zurückzuführen (siehe dazu Kap. 4.5).

PET-Getränkeflaschen

Der leicht höhere Umweltutzen im 2024 bei PET-Getränkeflaschen ist auf Emissionsfaktoren aus der ecoinvent-Datenbank zurückzuführen: die Herstellung von primärem PET-Granulat (und PE-Granulat für Deckel)

weist deutlich höhere Umweltbelastungen auf in der in dieser Studie verwendeten Version ecoinvent v3.11 als in der ecoinvent v3.8, welche für die Berechnung im 2022 verwendet wurde. Dadurch ergeben sich wesentlich grössere Gutschriften.

Weissblechverpackungen

Der leicht höhere Umweltnutzen im 2024 ist auf aktualisierte Daten und Parameter zurückzuführen.

- Neu wurde berücksichtigt, dass im Referenzsystem ein gewisser Anteil des Stahlblechs aus der KVA-Schlacke zurückgewonnen wird mit entsprechender Gutschrift (siehe dazu Kap.4.7), was den Umweltnutzen des Recyclingsystems grundsätzlich reduziert.
- Zusätzlich wurden besser passende Hintergrundinventare für die Primärherstellung und für das Recycling von Stahl und Zinn verwendet. Insbesondere das Stahlrecyclinginventar weist eine wesentlich tiefere Umweltbelastung auf als früher, was den Umweltnutzen des Recyclingsystems grundsätzlich erhöht gegenüber früheren Berechnungen.

Batterierecycling

Der höhere Umweltnutzen im 2024 ist darauf zurückzuführen, dass das Ökobilanzmodell des Batterierecyclingsystems aktualisiert wurde und mit wesentlich genaueren Angaben gerechnet werden konnte². So wurde u.a. auch berücksichtigt, dass ein Teil der Schwarzmasse aus dem Lithiumbatterie-Recycling heutzutage rezykliert wird.

² Der in der alten Studie für das Jahr 2022 ausgewiesene Umweltnutzen enthielt zudem einen Fehler, den wir noch nachträglich korrigiert haben. Im Referenzsystem «Batterien in KVA» wurde die gesamte Batteriemenge fälschlicherweise als Kunststoffverbrennung berechnet, was zu einem viel zu hohen Umweltnutzen im 2022 führte. Dieser entspricht nach der Korrektur noch 14 Mia. UBP statt 24 Mia.

6 Diskussion und Schlussfolgerung

Die vorliegende Analyse der untersuchten Recyclingsysteme in der Schweiz auf Basis der Ökobilanzierungsmethode belegt eindeutig den signifikanten ökologischen Nutzen des Recyclings. Die Ergebnisse quantifizieren den Gesamtnutzen auf 2.06 Billionen Umweltbelastungspunkte (UBP), was der jährlichen Umweltbelastung von etwa 66'000 Personen entspricht. Damit wird nachgewiesen, dass die Rückgewinnung von Wertstoffen sowie die gezielte Entfernung von Schadstoffen einen messbaren Beitrag zum Umweltschutz und zur Ressourcenschonung leisten.

Besonders hervorzuheben sind hierbei Recyclingsysteme für Elektroaltgeräte, Glas oder PET, die aufgrund eines hohen Substitutionspotenzials oder grosser Sammelmengen eine überdurchschnittlich hohe ökologische Wirksamkeit aufweisen.

Die Analyse verdeutlicht jedoch auch erhebliche Unterschiede zwischen den einzelnen Materialströmen. Während hochwertiges stoffliches Recycling, beispielsweise von Aluminium, Elektrogeräten oder Batterien, einen besonders hohen ökologischen Nutzen pro Tonne gesammelten Materials generiert, fällt der Nutzen bei anderen Materialien, wie etwa Getränkekartons oder Glas, pro Tonne geringer aus. Gleichwohl bleibt Glas aufgrund seines hohen Massenanteils im Gesamtsystem ökologisch relevant.

Diese Ergebnisse unterstreichen die Notwendigkeit einer differenzierten Betrachtung der einzelnen Recyclingsysteme unter Berücksichtigung von Sammelmengen, stofflicher Qualität sowie des energetischen Potenzials.

Ein zentrales methodisches Ergebnis ist die Bestätigung, dass gesamttaggregierende Methoden – wie die Methode der ökologischen Knappheit – am besten geeignet sind, Recyclingsysteme zu bewerten. Einzelindikatoren wie das Treibhauspotential können irreführend sein. Die Berücksichtigung aller Umweltwirkungen ist unerlässlich für fundierte Entscheidungen.

Insgesamt zeigt sich: Die in dieser Studie betrachteten Schweizer Recyclingsysteme sind ökologisch sinnvoll, aber das volle Potenzial bei einzelnen Systemen ist noch nicht ausgeschöpft. Für eine strategische Weiterentwicklung sind gezielte Investitionen, technologische Optimierungen und verbesserte politische Rahmenbedingungen erforderlich. Gleichzeitig braucht es eine abgestimmte Kommunikation über den Umweltwert des Recyclings, um die gesellschaftliche und politische Unterstützung für höhere Sammelquoten und qualitativ hochwertiges Recycling zu sichern.

7 Literatur

- BAFU. 2021. „Ökofaktoren Schweiz 2021 gemäss der Methode der ökologischen Knappheit“.
- Dinkel, Fredy. 2008. „Ökologischer Nutzen des PET-Recycling Schweiz PET Recycling im Vergleich zur Entsorgung in einer KVA“. Carbotech AG, im, Auftrag des BAFU.
- Dinkel, Fredy, Rainer Bunge, Thomas Kägi, Thomas Pohl, und Ariane Stäubli. 2018. *KuRVe (Kunststoff Recycling und Verwertung) Ökonomisch-ökologische Analyse von Sammel- und Verwertungssystemen von Kunststoffen aus Haushalten in der Schweiz*. Bern: BAFU.
- ECODOM. 2008. „RAEE, IL CONTRIBUTO DEL RICICLO AGLI OBIETTIVI DI KYOTO - Bilancio energetico-ambientale del recupero di alcune tipologie di rifiuti elettrici ed elettronici“. 2008. http://www.ecodom.it/Portals/o/Documenti/studi_ricerche/Ricerca_ambienteitalia_Ecodom.pdf.
- ecoinvent. 2025. „ecoinvent 2025: Version 3.11“. Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- Ecoplan. 2024. „VOBU der Massnahmen im Verpackungsbereich“. Im Auftrag des BAFU.
- European Commission-Joint Research Centre. 2011. „International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context.“ First edition November 2011. EUR 24571 EN. Luxemburg: Publications Office of the European Union; 2011.
- Frischknecht R., und Büsser Knöpfel S. 2013. „Ökofaktoren Schweiz 2013 gemäss der Methode der Ökologischen Knappheit - Methodische Grundlagen und Anwendung auf die Schweiz“. 1330. Umwelt-Wissen. Bern: Bundesamt für Umwelt.
- Frischknecht, Rolf, Roland Steiner, und Niels Jungbluth. 2008. „Ökobilanzen: Methode der ökologischen Knappheit-Ökofaktoren 2006“. Zürich: öbu. <http://www.oebu.ch/fileadmin/media/Publikationen/SR28.pdf>.
- Garz, Hendrik, Rainald Ötsch, Armin Haas, Peter Wirtz, und Sebastian Zank. 2009. „Deutsche Stromversorger - In der CO2-Falle? Zusammenfassung“. Pan European Equity, Deutschland. <http://german-watch.org/climain/co2strom-zus.pdf>.
- GRS. 2011. „GRS Jahresbericht 2010 mit Erfolgskontrolle nach Batteriegelgesetz“. Stiftung Gemeinsames Rücknahmesystem Batterien (GRS), Heidenkampsweg 44, 20097 Hamburg.
- Hischier, Roland, Mischa Classen, M. Lehmann, und W. Scharnhorst. 2007. „Life cycle inventories of Electric and Electronic Equipment: Production, Use and Disposal. ecoinvent Report No 18, Part II“. EMPA Dübendorf.
- IPCC. 2021. „Climate Change 2021 - The Physical Science Basis - Summary for Policymakers“.
- ISO 14040. 2006. *Environmental management—Life cycle assessment—Requirements and guidelines*. Geneva.
- ISO 14044. 2006. *Environmental management—Life cycle assessment—Principles and framework*. Geneva.
- Kägi, Thomas, und Stefanie Conrad. 2022. „Swiss Recycling Leistungsbericht 2022“. Im Auftrag von Swiss Recycling.
- Kägi, Thomas, und Fredy Dinkel. 2015. „Ökobilanzierung der Weissblechverwertung mit und ohne Entzinnung“. <https://carbotech.ch/projekte/oekobilanz-stahlblechverwertung/>.
- . 2022. „Ökologischer Nutzen des PET-Recyclings in der Schweiz - Ökologischer Vergleich von PET-Selektivsammlung mit der Verwertung in einer KVA CH im 2020“. Im Auftrag von PRS: PET Recycling Schweiz.
- Kägi, Thomas, Fredy Dinkel, Rolf Frischknecht, Sebastien Humbert, Jacob Lindberg, Steven De Mester, Tommie Ponsioen, Serenella Sala, und Urs Walter Schenker. 2016. „Session “Midpoint, endpoint or single score for decision-making?”—SETAC Europe 25th Annual Meeting, May 5th, 2015. Conference Session Report“. *Int J Life Cycle Assess* 21 (1): 129–32. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0998-0>.

- Kägi, Thomas, und Emil Franov. 2016. „Ökobilanz Stiftung SENS - Ökologischer Nutzen des Elektrogeräte-Recyclings durch die SENS über 25 Jahre“. Zürich: Im Auftrag der Stiftung SENS. https://carbo-tech.ch/cms2/wp-content/uploads/oekobilanz_stiftung_sens_v1.04.pdf.
- Kägi, Thomas, und Mareike Weiner. 2024. „Ökobilanz schweizerische Getränkebranche“. Im Auftrag des SVUG, BAFU und Verein GKR.
- Morf, Leo, und Ruedi Taverna. 2004. „Metallische und nichtmetallische Stoffe im Elektronikschrott - Stoffflussanalyse. Schriftenreihe Umwelt Nr. 374“. Im Auftrag des Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL).
- Morf, Leo, Ruedi Taverna, Hans Daxbeck, und Roman Smutny. 2002. „Schriftenreihe Umwelt Nr. 338: Umweltgefährdende Stoffe - Ausgewählte polybromierte Flammschutzmittel - Stoffflussanalyse“. Bern.
- Ramboll AG. 2022. „Gesamtökologie-Bewertung von KVA Planung ZH“. Im Auftrag des AWEL ZH.
- Rytec. 2025. „Einheitliche Heizwert- und Energiekennzahlenberechnung der Schweizer KVA nach europäischem Standardverfahren – Resultate 2024“. Im Auftrag des BFE.
- Savi, Daniel, Ueli Kasser, und Rolf Widmer. 2019. „Flüssigkeiten in Kondensatoren - Bestimmung von Flüssigkeiten in elektrischen Kondensatoren mit Definition und Zuordnung von bedenklichen Stoffen Schlussbericht“. Im Auftrag von Stiftung SENS und Swico Recycling.
- Stettler, Cornelia, und Stefanie Conrad. 2025. „Ökobilanz - ökologischer Nutzen der Sammlung und der verschiedenen Verwertungsarten von Verpackungsglas“. Im Auftrag des BAFU.

