Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Forschung, Entwicklung,
Demonstration und Beratung auf
den Gebieten der Bauphysik

Zulassung neuer Baustoffe,
Bauteile und Bauarten

Bauaufsichtlich anerkannte Stelle für
Prüfung, Überwachung und Zertifizierung

Institutsleitung

Prof. Dr. Philip Leistner

Ökobilanzierung von Verpackungen –

Rechenregeln, Methodik und Randbedingungen

Jonas Keller, M.Sc.
Johanna Luise Meier, M.Sc.
Dipl.-Ing. Matthias Fischer
Dr.-Ing. Robert Ilg
Dr.-Ing. Stefan Albrecht

Stuttgart, 30.04.2025

Berichtsversion V1.0

DOI: 10.24406/publica-4612

Gefördert im Rahmen der Internen Programme der Fraunhofer-Gesellschaft
Fördernummer PREPARE 40-08522

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP
Nobelstraße 12 | 70569 Stuttgart
Telefon +49 711 970-00
Telefax +49 711 970-3395
www.ibp.fraunhofer.de

Standort Holzkirchen
Fraunhoferstr. 10 | 83626 Valley
Telefon +49 8024 643-0
Telefax +49 8024 643-366

Jonas Keller, M.Sc. (https://orcid.org/0000-0002-3991-0736)
Johanna Luise Meier, M.Sc. (https://orcid.org/0009-0002-0827-421X)
Dipl.-Ing. Matthias Fischer (https://orcid.org/0000-0001-9423-127X)
Dr.-Ing. Robert Ilg (https://orcid.org/0009-0006-2476-0145)
Dr.-Ing. Stefan Albrecht (https://orcid.org/0000-0001-9469-9841)

Dieser Bericht wurde in enger Kooperation mit
Universität Stuttgart
Institut für Akustik und Bauphysik IABP
Ganzheitliche Bilanzierung GaBi
erstellt.

Veröffentlicht unter:
DOI: 10.24406/publica-4612

Dieses Werk ist unter der Creative Commons-Lizenz CC BY 4.0 International lizenziert. Eine Kopie dieser Lizenz finden Sie unter https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Inhalt

Glossar **4**

Abkürzungsverzeichnis **6**

1 Ziel und Hintergrund der Rechenregeln **7**
1.1 Ökobilanzen 7
1.2 Geltungsbereich 8

2 Ziel und Untersuchungsrahmen **9**
2.1 Produktbeschreibung 9
2.2 Funktionelle Einheit 9
2.3 Anwendungsbereich der Verpackung 9
2.4 Systemgrenzen 10
2.4.1 Lebenszyklus von Verpackungen 10
2.4.2 A1-A5, Herstellungsphase 11
2.4.3 B1-B7, Nutzungsphase 11
2.4.4 C1-C4 Entsorgungsphase 12
2.4.5 D Vorteile und Belastungen außerhalb des Lebenszyklus (Gutschriften und Lasten) 12
2.4.6 Strommixe und geographische Systemgrenzen 12
2.4.7 Beschreibung der Systemgrenze im Projektbericht 12
2.5 Kriterien für die Nichtbetrachtung von Inputs und Outputs 13

3 Sachbilanz **14**
3.1 Datenerhebung und Abbildung von Szenarien 14
3.1.1 Datenerhebung 14
3.1.2 Entwicklung von Szenarien auf Produktebene 14
3.2 Allokationen 15
3.2.1 Allokationsverfahren für Wiederverwertung, Recycling und Rückgewinnung 15
3.2.2 Darstellung der Allokationsverfahren im Projektbericht 19
3.3 Recyclingfähigkeit 20
3.3.1 Berechnung der produktbezogenen Recyclingfähigkeit nach CHI 20
3.3.2 Rückführquoten 20
3.3.3 Berechnung des resultierenden Recyclingpotentials 20

4 Indikatoren zur Sachbilanz und Wirkungsabschätzung **21**

5 Interpretation **22**
5.1 Darstellung der Ergebnisse 22

6 Abbildungsverzeichnis **24**

7 Tabellenverzeichnis **24**

Glossar

Allokation

Allokationen beschreiben die Aufteilung von anfallenden Umweltwirkungen auf verschiedene Prozesse, Produkte und Lebenszyklen im Rahmen einer Ökobilanz. Sie dienen dazu, die Umweltwirkungen komplexer Systeme gerecht und nach objektiven Kriterien physikalischer, chemischer oder ökonomischer Art auf die unterschiedlichen Einflussgrößen aufzuteilen.

Circular Footprint Formula

Die Circular Footprint Formula (CFF) der Product Environmental Footprint Methode (PEF) beschreibt konkret die Aufteilung von Umweltwirkungen auf mehrere Lebenszyklusschritte. Dadurch findet eine Aufteilung der Umweltwirkungen aus der Produktion, der Wiederverwendung/ -verwertung und dem Lebensende statt. Die CFF bietet somit eine Alternative zu den Cut-off und Avoided-burden Ansätzen zur Modellierung des Lebensendes.

Climate Change – Total

Die Wirkungskategorie Climate Change – Total beschreibt die Auswirkungen des Produktsystems auf den Klimawandel. Dazu werden alle Emissionen, die zum Treibhauseffekt beitragen (Treibhausgase) mittels entsprechender Charakterisierungsfaktoren aufsummiert. Die Wirkungskategorie wird standardmäßig für Ökobilanzen nach diesen Rechenregeln ausgewertet und umfasst sowohl Treibhausgase aus biogenen, als auch aus fossilen Quellen.

Cradle to Grave

Cradle-to-grave (von der Wiege bis zur Bahre) ist ein erweitertes Konzept der Lebenszyklusanalyse und bezieht sich auf die Untersuchung der Umweltauswirkungen eines Produkts oder einer Dienstleistung von der Rohstoffgewinnung (cradle) bis zur Entsorgung am Ende des Produktlebenszyklus (grave). Es wird somit der gesamte Lebensweg des Produktes in die Ökobilanz aufgenommen.

Environmental Footprint 3.1

Der Environmental Footprint 3.1 (EF3.1) stellt das neueste Set an Klassifizierungsregeln und Charakterisierungsfaktoren für die Berechnung von Umweltwirkungen bereit. Der EF3.1 ist somit die rechnerische Grundlage und somit Teil des Product Environmental Footprints (PEF) [1] der Europäischen Kommission. Ergebnisse von Ökobilanzen nach den vorliegenden Rechenregeln werden nach der Methode des EF3.1 ausgewertet.

Funktionelle Einheit

Die funktionelle Einheit ist der quantifizierte Nutzen eines Produktsystems. Sie dient in der Ökobilanz als Referenzeinheit, auf die sich die berechneten Ergebnisse beziehen. Für Ökobilanzen von Verpackungen nach den hier formulierten Rechenregeln ist die funktionelle Einheit die Herstellung und das Lebensende einer definierten Verpackungseinheit.

Ökobilanz

Die Ökobilanz (engl. Life Cycle Assessment, LCA) ist eine bewährte Methode zur Abschätzung von Umwelteinflüssen von Produkten oder Dienstleistungen entlang des Produktlebenszyklus. Sie besteht aus den vier Schritten Definition des Ziels und Untersuchungsrahmens, Sachbilanz,

Wirkungsabschätzung und Auswertung. Ökobilanzen sind ausführlich in den Normen DIN EN ISO 14040 und DIN EN ISO 14044 [2, 3] definiert.

Product Environmental Footprint

Der Product Environmental Footprint (PEF) [1] ist die von der Europäischen Kommission entwickelte und empfohlene Methode zur Durchführung von Ökobilanzen von Produkten und Dienstleistungen. Die PEF-Methode dient als maßgebliche Grundlage für die in diesem Dokument bereitgestellten Rechenregeln.

Recyclingfähigkeit

Die Recyclingfähigkeit beschreibt die Eignung eines Produktes, nach seinem Lebensende stofflich verwertet zu werden. Anhand der Definition des Institutes cyclos-HTP bedeutet die Recyclingfähigkeit, „[…] dass die Verpackung oder das Erzeugnis die stoffliche und physikalische Voraussetzung erfüllt, nach der Gebrauchsphase vollständig zu einem mit materialidentischer Neuware vergleichbaren Sekundärprodukt zu werden“ [4]. Die Recyclingfähigkeit wird üblicherweise als Prozentwert angegeben.

Sekundärmaterial

Als Sekundärmaterialien werden jene Materialien bezeichnet, die aus einer stofflichen Verwertung stammen (z.B. Rezyklat) und für die betrachtete Verpackung in der Produktion eingesetzt werden.

Strommix

Ein Strommix ist die Zusammenstellung des prozentualen Anteils einzelner Energieträger an der gesamten Stromerzeugung eines Landes, der EU, etc. Er enthält die durch die jeweiligen Technologien der Stromerzeugung verursachten Umweltwirkungen der Stromerzeugung des jeweiligen Landes, der EU, etc..

Systemgrenzen

Die Systemgrenzen beschreiben in der Ökobilanz, welche Prozesse und Flüsse in die Berechnung einfließen und welche von ihr ausgeschlossen werden (Abschneidekriterien). Sie definieren das bilanzierte Produktsystem maßgeblich und werden im ersten Schritt der Ökobilanz (Festlegung des Ziels und Untersuchungsrahmens) definiert.

Verpackung

„Verpackungen sind aus beliebigen Materialien hergestellte Erzeugnisse zur Aufnahme, zum Schutz, zur Handhabung, zur Lieferung oder zur Darbietung von Waren, die vom Rohstoff bis zum Verarbeitungserzeugnis reichen können, vom Hersteller an den Vertreiber oder Endverbraucher weitergegeben werden […]“[5].

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
CFF	Circular Footprint Formula
CHI	Institut cyclos-HTP
EF	Environmental Footprint
EU	Europäische Union
ISO	Internationale Organisation für Normung
LCA	Life Cycle Assessment
OEF	Organisation Environmental Footprint
PEF	Product Environmental Footprint

1 Ziel und Hintergrund der Rechenregeln

Ein wichtiges Mittel zur vergleichbaren Bewertung von Verpackungen und Verpackungssystemen hinsichtlich ihrer Umwelteinflüsse sind reproduzierbare Ökobilanzen. Ziel des Hintergrundberichts ist die Darlegung des Vorgehens für Verpackungsökobilanzen. Derzeitig verfügbare, vergleichbare Dokumente berücksichtigen Aspekte des Lebensendes in stark vereinfachter Form oder lassen zu viel Spielraum in der Berechnung der Recyclingfähigkeit. Das Hauptziel der vorliegenden Rechenregeln ist die weitestgehende, studienübergreifende Vergleichbarkeit von Verpackungsökobilanzen. Im Folgenden werden für die Ökobilanz relevante Datenquellen, Berechnungen und Annahmen dargelegt. Es wird auf die Ziele und Formalia der vorliegenden Rechenregeln sowie methodische Hintergründe zur Ökobilanz eingegangen. Das Dokument baut zudem auf weiteren Bewertungsvorschriften auf, auf die im Nachgang verwiesen wird.

1.1 Ökobilanz

Eine Ökobilanz (engl. Life Cycle Assessment, LCA) ist ein häufig verwendetes Instrument des modernen Umweltmanagements zur Ermittlung von Umweltwirkungen entlang des gesamten Lebenswegs eines Produktes oder einer Dienstleistung. Dazu zählen die Gewinnung der Rohstoffe, die Herstellung, die Nutzung und die Entsorgung am Lebensende. Berücksichtigt werden nicht nur die Umweltwirkungen des Herstellungsprozesses eines Produktes selbst, sondern auch die seiner Vorprodukte. Auch verwendete Hilfs- oder Betriebsstoffe wie beispielsweise Klebstoffe oder Kühlmittel können in die Ökobilanz einfließen, ebenso die Prozesse der Energieerzeugung, der Förderung und Bereitstellung der benötigten Rohstoffe sowie auf das Produktsystem zurückfallende Transporte. Des Weiteren ist die Entsorgung, respektive das Recycling des Produktes und seiner Bestandteile, Teil der Ökobilanz. Somit ist eine Ökobilanz eine Art „Umweltprotokoll" eines Produktes, das dabei helfen kann, Potentiale für eine Verbesserung der Rohstoff- und/oder Energieeffizienz aufzuzeigen und die Umweltwirkungen und -belastungen durch das Produkt möglichst gering zu halten.

Das Ziel der Ökobilanz ist die Identifizierung von umweltbelastenden Abschnitten des Lebensweges und, darauf aufbauend, das Aufzeigen und der Vergleich von Alternativen. Zudem können auch Optimierungspotentiale abgeleitet werden. Die Ökobilanz umfasst mehrheitlich die ökologischen Aspekte des Produktlebensweges, eine weiterführende Analyse der sozialen und ökonomischen Auswirkungen ist durch die Erstellung einer ganzheitlichen Bilanzierung möglich.

Die Methode der Ökobilanz ist durch die Internationale Organisation für Normung (ISO) in den zwei Normen DIN EN ISO 14040 [2] und DIN EN ISO 14044 [3] festgehalten. Durch die genannten Normen wird eine standardisierte Vorgehensweise festgelegt, welche die Ökobilanz in vier Phasen unterteilt: die Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens, die Sachbilanz, die Wirkungsabschätzung und die Auswertung. Bei der Ökobilanz handelt es sich um eine iterative Methode, bei der die Ergebnisse der einzelnen Phasen in den weiteren Schritten verwendet werden.

Die Festlegung des Ziels beinhaltet die beabsichtigte Anwendung, die Gründe für die Durchführung der Studie und die angesprochene Zielgruppe. Der methodische Rahmen stellt sicher, dass die nötige Transparenz gegeben ist. Durch den Untersuchungsrahmen werden sowohl das Produktsystem als auch die Systemgrenzen genau definiert. Die Systemgrenzen legen fest, welche Teilbereiche der Wertschöpfungs- und Prozesskette in der Sachbilanz betrachtet werden. Je nach Zielsetzung der Studie, können auch nur ausgewählte Phasen des Lebenszyklus betrachtet werden. Der Untersuchungsrahmen ist abhängig von dem untersuchten Gegenstand und der Anwendung der Studie. Die funktionelle Einheit ist der quantifizierte Nutzen eines Produktsystems für die Verwendung als Vergleichseinheit, sie sollte anschaulich sein und eine gute Vergleichbarkeit mit anderen Produktsystemen bieten. Es werden zudem die Methoden für die Wirkungsabschätzung und Auswertung

genannt. Mit den Wirkungskategorien werden die verschiedenen Umweltwirkungen dargestellt. Zudem ist eine Definition der Wirkungsindikatoren und der Charakterisierungsmodelle, die im Rahmen der Wirkungsabschätzung verwendet werden, nötig [2].

Die Sachbilanz ist die vereinfachte Systemprojektion als Stoff- und Energieflussanalyse. Zielsetzung ist das Darstellen aller Flüsse innerhalb des Systems, in das System und aus dem System heraus. Die Sachbilanz lässt sich in drei Abschnitte aufteilen, die Datenerhebung, die Datenabrechnung und die Allokation. Als Allokation wird die „Zuordnung der Input- oder Outputflüsse eines Prozesses oder eines Produktsystems zum untersuchten Produktsystem und zu einem oder mehreren anderen Produktsystemen" bezeichnet [3]. Alle Prozesse, die mit anderen Produktsystemen genutzt werden, sind zu kennzeichnen. Die erhobenen Daten setzen sich aus Energie- und Rohstoffinputs, Abfallprodukten und Emissionen in Luft, Wasser und Erde zusammen [2].

In der Wirkungsabschätzung werden die in der Sachbilanz ermittelten Stoffströme mit Umweltwirkungen verknüpft. Dazu sind die Schritte der sogenannten Klassifizierung und Charakterisierung notwendig um Stoffströme Wirkungskategorien und damit Umweltproblemen zuzuordnen. Im Schritt der Charakterisierung werden dabei konkrete Werte für die zuvor ausgewählten Wirkungskategorien berechnet. Als optionale Schritte können in der Wirkungsabschätzung zudem eine Normierung und Gewichtung der Ergebnisse durchgeführt werden, um Werte verschiedener Wirkungskategorien und Produkte besser miteinander vergleichbar zu machen [2].

In der Auswertung werden die Ergebnisse der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung gemeinsam betrachtet und anschaulich dargestellt. Ebenso gehören teils notwendige Erläuterungen zu den Ergebnissen der Ökobilanz in die Auswertung. Es können Handlungsempfehlungen abgeleitet werden. Nach der Auswertung folgt eine Berichterstattung in schriftlicher Form und im Falle einer Veröffentlichung der Ökobilanz auch eine kritische Prüfung durch externe Sachverständige [2].

1.2 Geltungsbereich

Per Definition sind Verpackungen aus beliebigen Materialien hergestellte Erzeugnisse zur Aufnahme, zum Schutz, zur Handhabung, zur Lieferung oder zur Darbietung von Waren [5]. Das Feld der Verpackungen ist dementsprechend vielfältig und komplex. In der ersten Fassung der Rechenregeln (V1.0) werden lediglich Einwegverpackungen betrachtet. In künftigen Versionen soll die Bilanzierung von Mehrwegverpackungen in das Dokument integriert werden.

2 Ziel und Untersuchungsrahmen

In den folgenden Abschnitten wird der Umfang von Ökobilanzen von Verpackungen und Verpackungssystemen genau definiert um die Vergleichbarkeit von Studien zu gewährleisten und verständlich zu machen. Die Angaben beziehen sich derzeit (V1.0) auf Einwegverpackungen, können in zukünftigen Versionen jedoch auf für Mehrwegverpackungen angewandt werden. Ziel der Ökobilanz ist die Berechnung der Umweltwirkungen einer Verpackung über den gesamten Lebenszyklus. Die Zielgruppe der Studien kann je nach durchführender Institution variieren. Alle Ergebnisse dürfen für die interne Kommunikation, Abwägung und Entscheidungsfindung genutzt werden. Die Kommunikation der Ergebnisse sollte dabei jedoch immer auf den zugänglich gemachten Bericht und die hier formulierten Rechenregeln verweisen und wissenschaftliche Grundsätze wahren. Die Ergebnisse der nach den hier beschriebenen Rechenregeln durchgeführten Ökobilanzen müssen dabei bei Veröffentlichung in wissenschaftlicher und verständlicher Form aufbereitet werden.

2.1 Produktbeschreibung

Die hier formulierten Rechenregeln zielen auf die Bewertung der Verpackung ab, das enthaltene Produkt ist von untergeordneter Rolle. Es wird die Ökobilanz der Verpackung ohne enthaltenes Produkt durchgeführt.

2.2 Funktionelle Einheit

Die funktionelle Einheit (FE) der Ökobilanz und die Bezugsgröße der Ergebnisse ist eine Verpackungseinheit, die das Produkt bis zum Zeitpunkt des Vertriebs ausreichend vor Umwelteinflüssen schützt. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über Fragestellungen zur Ausgestaltung der funktionelle Einheit. Primär, Sekundär- und Tertiärverpackungen können dabei einzeln oder als Verpackungssystem bilanziert werden. Nicht einzeln betrachtet werden nach dieser Definition Verpackungskomponenten, da diese das Produkt alleinstehend nicht ausreichen schützen.

Tabelle 1: Übersicht funktionelle Einheit

Was?	Verpackung von Gütern aller Art
Wo?	Deutschland und Europa, lokale Betrachtung auf Staatenebene möglich
Wieviel?	Eine Verpackungseinheit. Eine Einheit stellt dabei eine Verpackung dar, die für sich genommen eine festgelegte Menge Produkt verpackt. Sie kann dabei aus mehreren Komponenten bestehen.
Wie gut?	Intakte Schutzfunktion bis zur Entnahme des Produktes
Wie lange?	Zeitspanne zwischen Herstellung der Verpackung und deren Entsorgung/ Rückführung nach vollständiger Entnahme des Produktes an der initialen Verwendungsstelle.

2.3 Anwendungsbereich der Verpackung

Grundsätzlich haben die vorliegenden Rechenregeln zum Ziel, alle Verpackungsarten und -klassen abzudecken. Ein besonderes Augenmerk liegt dabei auf Verpackungen für Endkonsumierende mit entsprechender Entsorgung über die haushaltsüblichen Abfallbehälter für Papier, Papier und

Kartonagen, Abfälle des dualen Systems, Altglas, Hausmüll und Biomüll. Von der Betrachtung ausgeschlossen sind Verpackungen für Gefahrenstoffe und solche, die kein absehbares Lebensende haben (z.B. Fässer für Endlagerung von Abfällen).

2.4 Systemgrenzen

Die Systemgrenzen beschreiben das Produktsystem in ihrem Umfang und grenzen es gegenüber anderen Produktsystemen ab. Sie beschreiben, welche Prozesse Teil des bilanzierten Systems sind, und welche nicht. In den folgenden Kapiteln werden die Systemgrenzen genauer betrachtet.

2.4.1 Lebenszyklus von Verpackungen

Um das Modell der Ökobilanz und dessen Auswertung zu vereinheitlichen und entsprechende Systeme besser vergleichbar zu machen, werden feste Lebensphasen von Verpackungen definiert. Einige der Lebensphasen sind nur für Mehrwegverpackungen relevant, die derzeit noch nicht Teil der Berechnungsmethode sind, werden aber hier dennoch als Gesamtübersicht gelistet. Die Lebensphasen orientieren sich an der entsprechenden Struktur aus Umweltproduktdeklarationen und sind in Tabelle 2 dargestellt. Derzeit nicht in die Ökobilanzen einfließende Lebenszyklusabschnitte sind ausgegraut, die betrachteten sind schwarz dargestellt. Für das jeweilige betrachtete Produktsystem müssen die Systemgrenzen trotz der Vorgaben in Tabelle 3 genau dokumentiert werden, da einzelne Lebenszyklusabschnitte nicht für alle Produkte von Bedeutung sind.

Tabelle 2: Definierte Lebenszyklusabschnitte einer Verpackung

Herstellungsphase	**A1**	**Rohstoffgewinnung und -verarbeitung und Verarbeitungsprozesse von als Input dienenden Sekundärstoffen, (z. B. Recyclingprozesse)**
	A2	Transport zum Hersteller
	A3	**Herstellung**
Verpackungen aus mehreren Bestandteilen	A4	Transport zum Formen und Abpacken
	A5	**Formen der Verpackung und Abpacken**
Nutzungsphase	B1	Nutzung oder Anwendung des Produkts
	B2	Inspektion, Wartung, Reinigung
	B3	Reparatur
	B4	Austausch, Ersatz
	B5	Verbesserung, Modernisierung
	B6	Energieeinsatz für das Betreiben der Verpackung (z. B. aktive gekühlte Verpackungen, o.ä.)
	B7	Transporte während der Nutzungsphase
Entsorgungsphase	**C1**	**Rücknahme und Sortierung / Trennung**
	C2	Transport zur Abfallbehandlung
	C3	**Abfallbehandlung zur Wiederverwendung, Rückgewinnung und/oder zum Recycling**
	C4	**Thermische Verwertung**
Vorteile und Belastungen außerhalb des Lebenszyklus	**D1**	**Gutschriften aus stofflicher Verwertung**
	D2	**Gutschriften aus energetischer Verwertung**

Vereinfacht können die Systemgrenzen der Verpackung inkl. der Lebenszyklen der verwendeten Rezyklate und der wiedergewonnenen Materialien am Lebensende wie folgt dargestellt werden (Abbildung 1). Die Module A bis C bilden dabei den üblichen Lebensweg der betrachteten Verpackung ab. Modul D beschreibt Umweltwirkungen, die zwar Einfluss auf den betrachteten Lebenszyklus haben, nicht aber zwangsläufig auch in diesem entspringen. Dies können beispielsweise Gutschriften für wiedergewonnene Materialien sein. Als Teil des Product Environmental Footprint (PEF) [1] wurde zur gerechten Aufteilung der Umwelteinflüsse auf die Lebenszyklen in einer Kreislaufwirtschaft (blaue Pfeile) die Circular Footprint Formula (CFF) entwickelt. Ziel der CFF ist es unter anderem sowohl den Einsatz von Rezyklaten in der Herstellungsphase als auch die Recyclingfähigkeit am Lebensende ausreichend in der Ökobilanz zu berücksichtigen. Die CFF und der Umgang mit der Formel in der Berechnung von Verpackungsökobilanzen sind in Kapitel 3.2 Allokationen detailliert beschrieben.

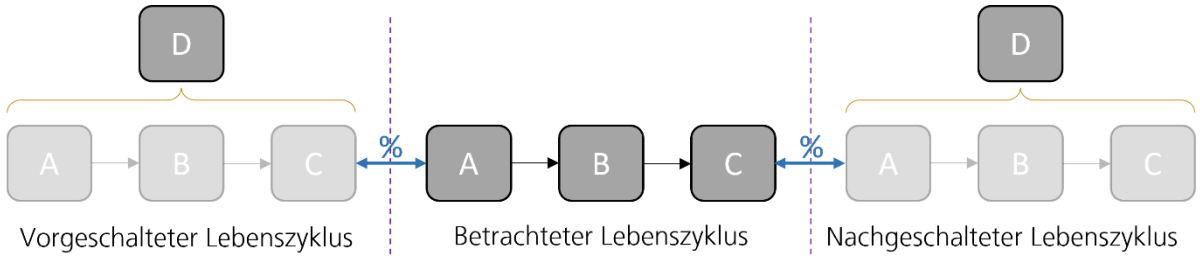

Abbildung 1: Graphische Darstellung der Systemgrenzen und der jeweils betrachteten Lebenszyklusabschnitte

2.4.2 A1-A5, Herstellungsphase

Die Lebenszyklusabschnitte A1 bis A3 decken die Herstellung der einzelnen Verpackungskomponenten ab. Das Modul *A1* steht dabei für die *Rohstoffgewinnung und -verarbeitung und Verarbeitungsprozesse von als Input dienenden Sekundärstoffen, (z. B. Recyclingprozesse)*, *A2* für den *Transport zum Hersteller* und *A3* für die *Herstellung*. Das Transportmodul A2 ist in Bilanzen von Einwegverpackungen nach den hier beschriebenen Rechenregeln nicht enthalten.

In den Modulen A4 bis A5 werden Prozesse betrachtet, die für Verpackungen aus mehreren Bestandteilen relevant sind oder die erst zum Zeitpunkt des Abpackens in ihre finale Form gebracht werden (erweiterte Herstellungsphase). *A4* beschreibt dabei den *Transport zum Fügen und Abpacken*, *A5* das *Formen und Abpacken* selbst. Der Transport zur Fügung (A4) wird nicht in die Berechnung einbezogen.

2.4.3 B1-B7, Nutzungsphase

Die Lebenszyklusabschnitte B1 bis B5 beschreiben die Nutzungsphase von konventionellen Verpackungen. Dabei wird zwischen der *Nutzung oder Anwendung des Produkts (B1)*, *Inspektion, Wartung, Reinigung (B2)*, *Reparatur (B3)*, *Austausch und Ersatz (B4)* sowie der *Verbesserung und Modernisierung (B5)* unterschieden. Insbesondere die Module B2 bis B5 spielen vorranging für Mehrwegverpackungen eine Rolle, welche derzeit nicht durch die Rechenregeln abgedeckt sind. In der Nutzungsphase werden explizit nur solche Umweltwirkungen betrachtet, die direkt auf die Verpackung zurückfallen, nicht jene, die dem Produkt zuzuschreiben sind. Die gesamte Nutzungsphase wird für Einwegverpackungen nicht betrachtet.

Das Modul B6 wird ausschließlich für aktive Verpackungen betrachtet und ist nicht Teil von Ökobilanzen nach derzeitiger Version der Rechenregeln. *B6* deckt dabei den *Energieeinsatz für das Betreiben der Verpackung* (z.B. Kühlung durch Energieeinsatz der Verpackung selbst) ab.

Unter das Modul B7 fallen alle Transporte während der Nutzungsphase, die spezifisch für das betrachtete Verpackungssystem sind. Für Einwegverpackungen entfällt dieses Modul daher, da entsprechende Transporte in der Nutzungsphase nicht spezifisch sind.

2.4.4 C1-C4 Entsorgungsphase

In den Modulen C1 bis C4 wird die Entsorgungsphase von Verpackungssystemen betrachtet. Dabei wird in *C1* die *Rücknahme*, Sortierung und Trennung abgebildet, in *C2* der *Transport zur Abfallbehandlungsanlage*, in *C3* die *Abfallbehandlung zur Wiederverwendung, Rückgewinnung und/oder zum Recycling* (z.B. Regranulieren von Kunststoffen) und in *C4* die *thermische Verwertung* (z.B. Müllverbrennungsanlage). Innerhalb der Module des Lebenszyklusabschnitts C werden lediglich Umwelteinflüsse (positives Vorzeichen der Umweltwirkungen) betrachtet, Gutschriften (negatives Vorzeichen der Umweltwirkungen) sind unter D abgebildet. Durch die Verwendung der CFF verschmelzen jedoch die Grenzen zwischen den Lebenszyklusabschnitten C und D, wodurch sie gemeinsam ausgegeben werden.

2.4.5 D Vorteile und Belastungen außerhalb des Lebenszyklus (Gutschriften und Lasten)

Unter D werden alle Einflüsse betrachtet, die nicht direkt Teil des betrachteten Systems sind, aber durch dieses entstehen (siehe Abbildung 1). Dies können beispielsweise Gutschriften am Lebensende, aber auch Umweltwirkungen vorangegangener Lebenszyklen des Materials sein. Für eine genaue Beschreibung der Verteilung der Umweltlasten auf mehrere Lebenszyklen, siehe Kapitel 3.2 Allokationen.

2.4.6 Strommixe und geographische Systemgrenzen

Je nach Vertriebswegen der untersuchten Verpackung kann der Strommix auf Länderebene oder ein europäischer Strommix verwendet werden. Die geographischen Systemgrenzen umfassen den europäischen Markt.

2.4.7 Beschreibung der Systemgrenze im Projektbericht

Die Definition klarer und konstanter Systemgrenzen ist ein wichtiger Schritt in der Vereinheitlichung von Ökobilanzen von Verpackungen. Aus diesem Grund sind die Systemgrenzen in diesem Dokument beschrieben. Auf eine ausführliche Beschreibung in den einzelnen Berichten kann verzichtet werden, sofern keine Abweichungen zu den hier beschriebenen Systemgrenzen vorhanden sind. Zunächst handelt es sich bei allen Analysen um Cradle-to-Grave Assessments. Das bedeutet, dass Einflüsse entlang des gesamten Lebenszyklus betrachtet werden. Dazu zählen insbesondere die Produktion der Verpackungen mit allen verwendeten Werkstoffen und Prozessen sowie deren Verwertung am Lebensende. Die Nutzungsphase spielt für Verpackungssysteme traditionell eine untergeordnete Rolle, wird aber grundsätzlich in Ökobilanzen miteinbezogen, sofern hier Auswirkungen zu erwarten sind, die direkt durch die Verpackung oder deren Be- und Vertrieb entstehen (z.B. aktive Verpackungen oder Mehrwegverpackungen). Da durch die Rechenregeln derzeit lediglich Einwegverpackungen abgedeckt sind, für die Auswirkungen aus der Nutzungsphase nicht direkt mit der Verpackung selbst verbunden sind, werden Einflüsse aus der Nutzungsphase derzeit auch nicht ausgewiesen.

Teil der Ökobilanz sind jedoch auch Einflüsse, die Systemgrenzen-überschreitend relevant sind. Diese werden durch die CFF definiert und werden in Kapitel 3.2.1 Allokationsverfahren für Wiederverwertung, Recycling und Rückgewinnung genauer erläutert.

2.5 Kriterien für die Nichtbetrachtung von Inputs und Outputs

Die Datengrundlage für die erstellten Ökobilanzen sind Angaben des Auftraggebers oder abteilungsinterne Daten. Im erstgenannten Fall können nur solche Daten betrachtet werden, die vom Auftraggeber vollständig und richtig übermittelt wurden. Hierzu zählen insbesondere die verwendeten Materialien in der Verpackung und entsprechende Herstellungsprozesse. Alternativ kann der Herstellungsprozess über die Form der Verpackung abgeleitet werden.

In Ökobilanzen nach DIN EN ISO 14040 ist das Nichtbetrachten von In- und Outputs erlaubt, sofern ein festzulegender Anteil der Massen und Energieflüsse, sowie der zu erwartenden Umweltwirkungen nicht überschritten wird. Für Ökobilanzen gemäß der vorliegenden Rechenregeln müssen, im Einklang mit der PEF-Methode, 97% der Masse und 97% der Energieverbräuche abgedeckt sein. Auf der Inputseite werden für die hier betrachteten Verpackungssysteme grundsätzlich alle Hauptmaterialien und Füllstoffe abgebildet, sofern entsprechende Daten seitens des Auftraggebers verfügbar sind. Kleine Materialanteile wie beispielsweise Additive müssen nicht bilanziert werden, sofern sie eine kombinierte Masse von 3% nicht übersteigen. Die Auswirkung auf das Lebensende der Verpackung auch dieser nichtbetrachteten Stoffe ist insofern abgebildet, als dass sie in die Recyclingfähigkeitsanalyse einfließen (siehe Kapitel 3.3).

Am Lebensende werden grundsätzlich alle Rest- und Wertstoffe betrachtet. Dazu zählen sowohl Schlacken aus der Verbrennung inkl. deren Verbringung als auch wiedergewonnene Wertstoffe. Zu letzteren werden alle Stoffe gezählt, die innerhalb des ermittelten Recyclingpfades verwertet werden können oder diesem in der Sortierung zugeordnet werden und nicht als Störstoffe agieren.

3 Sachbilanz

Im Schritt der Sachbilanz werden Material- und Energieflüsse erfasst und ihre Abhängigkeiten dargestellt. Das entsprechende Vorgehen wird im Folgenden erläutert. In Studien auf Basis der vorliegenden Rechenregeln muss die Sachbilanz entsprechend den Vorgaben dieses Dokumentes dokumentiert werden.

3.1 Datenerhebung und Abbildung von Szenarien

Die Datenerfassung ist ein zentraler Schritt jeder Ökobilanz und bestimmt die Ergebnisse maßgeblich mit. Um Ökobilanzen auf Basis der vorliegenden Rechenregeln möglichst vergleichbar zu machen wird in den folgenden Kapiteln auf den Prozess und relevante Kriterien eingegangen. Ergebnisse können auch in Form von Szenarien ausgegeben werden. Dieses Vorgehen wird in Kapitel 3.1.2 erläutert.

3.1.1 Datenerhebung

Die Datenerhebung ist ein zentraler Schritt der Ökobilanz und bestimmt maßgeblich die Qualität der Ergebnisse und resultierenden Aussagen. Für die Ökobilanz der Verpackung sind einige Daten des Herstellers, bzw. des Inverkehrbringers relevant. Wichtig sind hierbei sowohl die Vollständigkeit als auch die Qualität der Daten. Für den Prozess der Datensammlung und die Dokumentation der verwendeten Daten sei an dieser Stelle auf die Vorgaben der DIN EN ISO Norm 14044 [2] verwiesen, die genau Vorgaben zum Prozess der Datensammlung und Anforderungen an die Datenqualität formuliert. Grundsätzlich gilt dabei, dass Primärdaten Sekundärdaten vorzuziehen sind, sofern diese in ausreichender Qualität vorhanden sind. Insbesondere für die Materialzusammensetzung der Verpackung werden Primärdaten benötigt. Dabei ist auch die Herkunft der Materialien (primär/ sekundär/ nachwachsend) von Bedeutung. Für die Produktionsprozesse und das Lebensende können generische Prozessdaten verwendet werden, sofern keine spezifischeren Daten vorliegen. Die Recyclingfähigkeit, sofern sie nicht übermittelt wird, wird mittels des Anforderungs- und Bewertungskatalogs des Institutes cyclos-HTP (CHI) [4] bewertet.

Für alle generischen Daten sowie Hintergrunddaten sollen, soweit vorhanden, Daten aus in der Forschung und Industrie anerkannten Ökobilanzdatenbanken verwendet werden. Die vorliegenden Rechenregeln sehen hierzu die Verwendung der Sphera LCA for Experts oder der Ecoinvent Datenbank vor. Die verwendete Datenbank muss im Bericht angegeben werden. Die Datenbanken können um eigene primäre (z.B. gemessene) Daten zur Massen- und Energiebilanz von einzelnen Verarbeitungsverfahren ergänzt werden. Eine entsprechende Dokumentation der Primärdaten ist der Studie beizufügen.

3.1.2 Entwicklung von Szenarien auf Produktebene

In Projektberichten nach den definierten Rechenregeln können Szenarien für die untersuchte Verpackung abgebildet werden. Dabei sollte stets deutlich gemacht werden, ob es sich bei den jeweiligen Ergebnissen um die Betrachtung einer realen Verpackung oder um ein abgeleitetes Szenario handelt. Ein Szenario entspricht dabei einer Analyse, die nicht im vollem Umfang den reellen Gegebenheiten entspricht. Zudem besteht die Möglichkeit, die realen Verluste entlang der Verwertungswege von Verpackungen in die Ökobilanzen zu integrieren. Die Berechnung dieser angepassten, realen Recyclingfähigkeit ist in Kapitel 3.3 erläutert.

3.2 Allokationen

Allokationen dienen der Aufteilung von Umweltwirkungen auf mehrere Produktsysteme oder Lebenszyklen. Annahmen hierzu sind wichtiger Bestandteil eines Methodenberichts und im Folgenden aufgeführt.

3.2.1 Allokationsverfahren für Wiederverwertung, Recycling und Rückgewinnung

Eine der grundlegendsten Allokationsfragen ist die Zuordnung von Umweltwirkungen und Gutschriften am Lebensende von Produkten, also die genaue und konsistente Modellierung von Abfällen und recycelten Materialien sowie die Zuweisung von Umweltwirkungen und -gutschriften in der Ökobilanz an die Nutzenden und Produzierenden solcher Ströme. Der Einsatz von Rezyklat oder das Recyceln verwendeter Materialien ist bei Verpackungen von hoher Relevanz. Dabei gilt es zu klären, welche Umweltwirkungen auf den betrachteten Lebenszyklus zurückfallen und welche auf vor- und nachgeschaltete Lebenszyklen. Die PEF- und OEF-Methoden [1] bieten einen Ansatz, der in einem speziellen Konsensfindungsprozess entwickelt wurde: die CFF. Alle Abfallströme, die während der Herstellungs-, Vertriebs-, Nutzungs- und End-of-Life-Phase entstehen, werden nach dieser Formel modelliert, ebenso wie alle recycelten oder recycelbaren Materialien, die in das System einfließen oder es verlassen (d.h. recycelte Materialien, die in der Herstellungsphase verwendet werden, und recycelte Materialien am Ende der Lebensdauer eines Produkts). Die Europäische Kommission hat die CFF entwickelt, um das Allokationsverfahren zu harmonisieren [1].

Die CFF setzt sich dabei aus drei Komponenten zusammen: einer Material-, Energie- und Entsorgungsformel. Diese ist in Abbildung 2 dargestellt. Die Addition der Resultate dieser Teilformeln liefert die lebenszyklusbezogenen Umweltwirkungen und den Ressourcenverbrauch des Systems, einschließlich der Prozesse für Recycling, Entsorgung und Energiegewinnung.

Der Materialteil der Formel (Zeile 1 der CFF in Abb. 2) ist auf alle Phasen der Wertschöpfungskette anwendbar, in der recycelte Materialien die Primärrohstoffe ersetzen. Diese Teilformel bietet eine einheitliche Methode zur Zuweisung von Umweltwirkungen (und -gutschriften) für Lieferanten und Verwender von recycelten Materialien und orientiert sich an den Marktbedingungen.

Der Energieanteil der Formel (Zeile 2 der CFF in Abb. 2) berücksichtigt die Menge an Material, das am Ende seiner Lebensdauer zur Energiegewinnung genutzt wird, wobei Gutschriften für die vermiedenen Emissionen und den ersparten Ressourcenverbrauch der ersetzten Energiequellen vergeben werden.

Die Entsorgungsformel (Zeile 3 der CFF in Abb. 2) berechnet schließlich die Emissionen und den Ressourcenverbrauch im Zusammenhang mit der Entsorgung von Materialien, die weder recycelt noch energetisch verwertet werden.

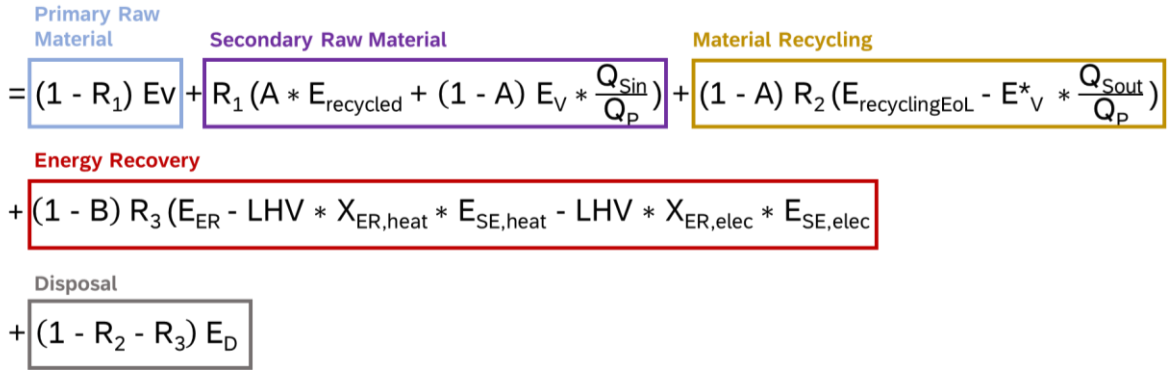

Abbildung 2: Die CFF nach [1] (Erläuterung der Variablen in Tabelle 3).

Da die CFF eine gewisse Komplexität aufweist, werden in den folgenden Tabellen zunächst die Bedeutung der Variablen dargestellt (Tabelle 3) und folgend Quellen und Werte für Berechnungen im Einklang mit den hier formulierten Rechenregeln (Tabelle 4) aufgeführt.

Tabelle 3: Erläuterung der CFF-Variablen

Variable	Erläuterung
A	Allokationsfaktor zur Aufteilung von Umwelteinflüssen und Gutschriften auf vor- und nachgeschaltete Lebenszyklen. Der Wert A wird auf Grundlage der aktuellen Marktsituation ermittelt. In PEF-Studien soll sich der Wert zwischen 0,2 und 0,8 befinden.
B	Allokationsfaktor für die Aufteilung der Umweltwirkungen und Gutschriften der energetischen Verwertung.
$\mathbf{Q_{Sin}}$	Qualitätsfaktor für eingehendes Sekundärmaterial.
$\mathbf{Q_{Sout}}$	Qualitätsfaktor für ausgehendes Sekundärmaterial.
$\mathbf{Q_{Sin}}$ / $\mathbf{Q_{Sout}}$	Qualitätsverhältnis zwischen Primär- und Sekundärmaterial.
$\mathbf{Q_P}$	Qualitätsfaktor für Primärmaterial.
$\mathbf{R_1}$	Sekundärer Materialanteil in der Produktion.
$\mathbf{R_2}$	Materialanteil, der am Lebensende recycelt oder wiederverwendet wird. Beinhaltet alle Ineffizienzen der Aufbereitung wie Sammelquote, Erfassungsquote, etc. und wird somit nach Ablauf des Recyclingvorgangs bemessen.
$\mathbf{R_3}$	Materialanteil, der am Lebensende einer energetischen Verwertung zugeführt wird.
$\mathbf{E_V}$	Spezifische Emissionen und konsumierte Ressourcen während der Bereitstellung und Vorverarbeitung von Primärrohstoffen.
$\mathbf{E^*_V}$	Spezifische Emissionen und konsumierte Ressourcen während der Bereitstellung und Vorverarbeitung von Primärrohstoffen, die als durch Sekundärrohstoffe substituiert angenommen werden.
$\mathbf{E_{recEoL}}$	Spezifische Emissionen und konsumierte Ressourcen während des Recyclingprozesses am Lebensende.
$\mathbf{E_{rec}}$	Spezifische Emissionen und konsumierte Ressourcen während des Recyclingprozesses, der zur Bereitstellung des Sekundärmaterials benötigt wird.
$\mathbf{E_{ER}}$	Spezifische Emissionen und konsumierte Ressourcen während der energetischen Verwertung.
$\mathbf{E_{Se,heat}}$/ $\mathbf{E_{SE,elec}}$	Spezifische Emissionen und konsumierte Ressourcen, die hypothetisch für die substituierte Energieproduktion angefallen wären.
$\mathbf{E_D}$	Spezifische Emissionen und konsumierte Ressourcen während der Deponierung.
$\mathbf{X_{ER, heat}}$ / $\mathbf{X_{ER, elec}}$	Effizienzfaktor des Energierückgewinnungsprozesses.
LHV	Unterer Heizwert des Materials im betrachteten Produkt, das energetisch verwertet wird.

Wenngleich die Formel die Grundstruktur für Allokationen über Lebenszyklen hinweg liefert, so beinhaltet sie doch eine Vielzahl an Variablen, die klar definiert werden müssen. Die folgende Tabelle stellt die Variablen der Gleichung mit Ihren Quellen oder entsprechenden Annahmen für die Ökobilanzen von Verpackungen dar. Eine besondere Rolle hat dabei der Faktor R_2, für den in der Berechnung zwei verschiedene Werte angenommen werden um zwei Szenarien (reale Sammlung und Erfassung / theoretische Sammlung und Erfassung) abzubilden. Die Annahmen hinter und Berechnung der Szenarien ist in Kapitel 3.3 detailliert beschrieben.

Tabelle 4: Quellen und Annahmen für Variablen der CFF

Variable	Quelle/ Annahme
A	Materialspezifische Allokationsfaktoren anhand ermittelter Werte der Europäischen Kommission [6]
B	= 0 laut Default-Annahmen der EU [6]
Q_{Sin}	Die Qualität des Sekundärmaterials wird als äquivalent zu jener des Primärmaterials angesehen. Q_{Sin} = 100%
Q_{Sout}	Die Qualität des Sekundärmaterials wird entsprechend des Anforderungs- und Bewertungskatalogs des CHI [4] als äquivalent zu jener des Primärmaterials angesehen. Q_{Sout} = 100%
Q_{Sin} / Q_{Sout}	= 1, siehe Annahmen oberhalb.
Q_P	Der Qualitätsfaktor des Primärmaterials wird auf 100% gesetzt
R_1	Daten für den Anteil an Sekundärrohstoffen stammen vom Hersteller/Inverkehrbringer der Verpackung. Defaultwert: 0
R_2	Daten stammen aus Berechnungen auf Basis des Anforderungs- und Bewertungskataloges zu Recyclingfähigkeit, z.B. des CHI [4]. Das resultierende Recyclingpotential wird anhand weiterer technischer Werte, z.B. des CHI, ermittelt.
R_3	Deponierung ist aufgrund entsprechender politischer Ziele in der EU nicht vorgesehen und daher nicht betrachtet. Daher ergibt sich: $R_3 = 1-R_2$
E_V	Werte werden aus entsprechenden LCA for Experts/-Ecoinvent Datenbanken übernommen
E^*_V	Entspricht **E_V**, da entsprechend des Anforderungs- und Bewertungskatalogs des CHI [4] nur solche Materialien als recyclingfähig angenommen werden, die in gleicher Qualität wie das Primärmaterial rückgewonnen werden können.
E_{recEoL}	Werte werden anhand entsprechender LCA for Experts/-Ecoinvent Datenbanken berechnet
E_{rec}	Werte werden anhand entsprechender LCA for Experts/-Ecoinvent Datenbanken berechnet
E_{ER}	Werte werden aus entsprechenden LCA for Experts/-Ecoinvent Datenbanken übernommen
$E_{SE,heat}$ / $E_{SE,elec}$	Werte werden aus entsprechenden LCA for Experts/-Ecoinvent Datenbanken übernommen
E_D	Deponierung wird nicht betrachtet
$X_{ER, heat}$ / $X_{ER, elec}$	Werte werden aus entsprechenden LCA for Experts/-Ecoinvent Datenbanken übernommen
LHV	Werte werden aus entsprechenden LCA for Experts/-Ecoinvent Datenbanken übernommen

Entsprechend der CFF werden demnach die Umweltwirkungen des betrachteten Lebenszyklus aus dem vorangegangenen oder folgenden Lebenszyklus des Materials übernommen, bzw. übertragen. Ausschlaggebend hierfür sind insbesondere die Allokationsfaktoren A und B. Die Aufteilung der Umwelteinflüsse auf die Prozesse der Produktion und des Lebensendes anhand der CFF ist in Abbildung 3 dargestellt.

3.2.2 Darstellung der Allokationsverfahren im Projektbericht

In den jeweiligen Projektberichten muss nicht auf die zugrundeliegenden Allokationsverfahren eingegangen werden und es kann stattdessen auf dieses Dokument verwiesen werden. Allokationsverfahren werden in der jeweiligen Version des Dokumentes *„Ökobilanzierung von Verpackungen – Rechenregeln, Methodik und Randbedingungen, Vx.x“* aktuell gehalten und öffentlich zugänglich gemacht.

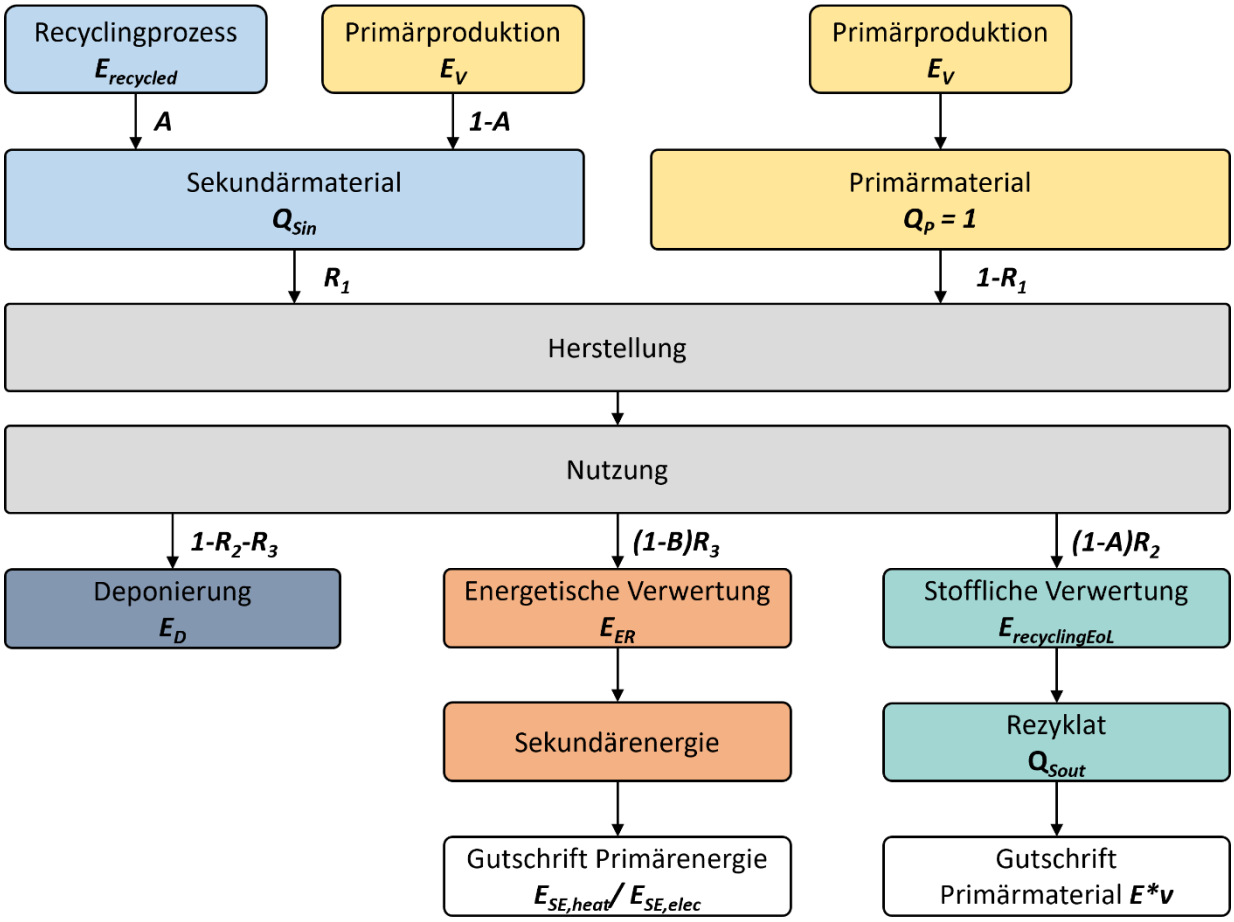

Abbildung 3: Darstellung der CFF

3.3 Recyclingfähigkeit

Die Recyclingfähigkeit ist eine wichtige Kenngröße für Verpackungen und bestimmt die Modellierung des Lebensendes. In der CFF findet sie sich in der Variable R_2 wieder. Im Folgenden wird das Vorgehen zur Bestimmung der Recyclingfähigkeit erläutert.

3.3.1 Berechnung der produktbezogenen Recyclingfähigkeit nach CHI

Die produktbezogene Recyclingfähigkeit wird stets anhand der aktuellen Version des *Mindeststandards für die Bemessung der Recyclingfähigkeit von Systembeteiligten Verpackungen* [7] ermittelt. Als technische Umsetzung des Mindeststandards dient dabei der Anforderungs- und Bewertungskatalogs des CHI [4]. Der Wert kann dabei direkt aus Analysen des CHI kommen, aus der CHIRA Software übernommen oder anhand des öffentlich zugänglichen Bewertungskatalogs ermittelt werden. Auf eine ausführliche Beschreibung der Berechnung wird dabei mit Verweis auf den Anforderungs- und Bewertungskatalog an dieser Stelle verzichtet. Die Berechnung findet dabei im Einklang mit den Voraussetzungen des PEF für den Faktor R_2 in der CFF (Abbildung 3; Tabelle 3) statt. Um die realen Gegebenheiten noch besser abzubilden, können Rückführquoten in die Berechnung mit aufgenommen werden. Das Verfahren wird im Folgenden erläutert.

3.3.2 Rückführquoten

Um die reale Recyclinginfrastruktur in Deutschland abzubilden, kann die Rückführquote in die Recyclingfähigkeit der Verpackung einberechnet werden. Die Rückführquote setzt sich aus materialspezifischen Erfassungs-, Sortier- und Ausbringungsquoten sowie dem Anwendungsgrad der Recyclingtechnologien zusammen. Aus dem Produkt der vier Faktoren wird dann die Rückführquote ermittelt, die beschreibt, wie wahrscheinlich es ist, dass eine Verpackung einer entsprechenden Verwertungsstruktur zugeführt wird. Die Rückführquote wird vom CHI für 13 Wertstoffpfade separat ermittelt und kann seitens der Abteilung Ganzheitliche Bilanzierung GaBi verpackungsspezifisch berechnet werden.

$$Q_{Rück} = x_{Erf} * x_{Sort} * x_{Ausbr} * x_{Anw}$$

Mit: $Q_{Rück}$ = Rückführquote; x_{Erf} = Erfassungsquote; x_{Sort} = Sortierquote; x_{Ausbr} = Ausbringungsquote; x_{Anw} = Anwendungsgrad

3.3.3 Berechnung des resultierenden Recyclingpotentials

Das Recyclingpotential wird aus dem Produkt der Rückführquote und der produktbezogenen Recyclingfähigkeit gebildet. Dieses Recyclingpotential dient als Faktor in der CFF (siehe Kapitel 3.2.1 Allokationsverfahren für Wiederverwertung, Recycling und Rückgewinnung). Da die Rückführquote außerhalb des Einflussbereichs des Inverkehrbringers liegt, wird neben dem realen Recyclingpotential auch ein theoretisches Recyclingpotential ermittelt. Dazu wird die Rückführquote als 100% angenommen, was bedeutet, dass das theoretische Recyclingpotential der produktbezogenen Recyclingfähigkeit entspricht.

$$R_2 = Q_{Rück} * R_2'$$

Mit: R_2 = Recyclingpotenzial inkl. aller systembedingter Verluste; $Q_{Rück}$ = Rückführquote; R_2' = Recyclingfähigkeit wie für die einzelne Verpackung ermittelt

4 Indikatoren zur Sachbilanz und Wirkungsabschätzung

Die Sachbilanz ist individuell auf das untersuchte Verpackungssystem abzustimmen. Dabei muss die Einhaltung der Prinzipien der ISO Normen 14040/ und 14044 [3, 2] sowie der PEF Methode [1] sichergestellt sein. Die Abteilung Ganzheitliche Bilanzierung verfügt über automatisiert Lösungen, um normkonforme und standardisierte Ökobilanzen von Verpackungen auf Basis der definierten Rechenregeln durchzuführen. Diese Automatisierungsmöglichkeiten helfen in der Sicherstellung reproduzierbarer Ökobilanzen und werden daher weitestgehend eingesetzt.

Ökobilanzen nach den vorliegenden Richtlinien werden nach der PEF Methode der Europäischen Kommission [1] ausgewertet. Nach Abschluss der Sachbilanz wird die Wirkungsabschätzung nach den Regeln des EF durchgeführt, um die Umweltwirkungen der Verpackung zu berechnen. Dabei wird grundsätzlich die aktuelle Version des Environmental Footprint (EF; derzeit EF3.1) mit den aktuellen Klassifizierungsmodellen und Charakterisierungsfaktoren verwendet. Ergebnisse können je nach Fokus der Studie in allen in der EF3.1-Methode enthaltenen Wirkungskategorien erzeugt werden. Zur Auswahl geeigneter Wirkungskategorien soll dabei den Vorgaben der DIN EN ISO 14044 [3] Folge geleistet werden. Alle Ergebnisse sollen anhand der in Kapitel 2.4 Systemgrenzen definierten Lebenszyklusphasen dargestellt werden, wobei sie für die übergeordneten Abschnitte A, B, C und D jeweils aufsummiert werden.

Detaillierte Informationen zu den Lebensphasen und weitere Wirkungskategorien sind auf Anfrage bei der Abteilung Ganzheitliche Bilanzierung GaBi des Fraunhofer IBP und der Universität Stuttgart IABP erhältlich.

5 Interpretation

Die Gründe, Ökobilanzen von Verpackungen durchzuführen sind vielfältig. Ziel der Rechenregeln ist es deshalb zunächst, absolute Ergebnisse für einzelne Verpackungen und Verpackungssysteme einheitlich zu ermitteln und darzustellen. Für Interpretationen und Entscheidungsfindungsprozesse sind diese Ergebnisse in ihrer isolierten Form oft nur bedingt geeignet und Aussagen können häufig nur aus einem Vergleich mehrerer Ergebnisse aus verschiedenen Studien getroffen werden. Sie sind somit nicht Teil dieser Rechenregeln und sind Aufgabe der nutzenden Person oder Institution. Alle Interpretationen sollten sich stets auf wissenschaftliche Grundlagen stützen und die Ergebnisse der Einzelstudien vollständig und unverändert darstellen. Im folgenden Kapitel wird jedoch eine einheitliche Darstellung der generierten Ergebnisse festgelegt.

5.1 Darstellung der Ergebnisse

Ziel des Berichtes ist die Bereitstellung von Informationen zu einer Einzelverpackung, bzw. zu einem einzelnen Verpackungssystem (Verpackungen aus mehreren Komponenten). Der Bericht enthält dazu Angaben, die zur Deklaration der Verpackung und deren Beschreibung dienen, die Ergebnisse der Ökobilanz sowie Hintergrundinformationen, die zum Verständnis des Berichts relevant sind. Im Bericht muss stets auf die in diesem Dokument beschriebenen Rechenregeln verwiesen werden.

Ergebnisse der Ökobilanz werden im Bericht einheitlich dargestellt. Dabei werden die Ergebnisse nach drei Lebenszyklusabschnitten und Einflüssen außerhalb der Systemgrenzen aufgetrennt. Die Aufteilung der Lebenszyklusabschnitte in der Berechnung ist in Kapitel 2.4 detailliert beschrieben. Tabelle 5 zeigt eine beispielhafte Darstellung der Ergebnisse anhand der Lebenszyklusabschnitte.

Tabelle 5: Beispiel einer Ergebnistabelle für eine Einwegverpackung

Lebenszyklusabschnitt		Climate Change - total [g CO_2-Äqu. Emissionen]
A	Herstellung	5,6
B	Nutzungsphase	Nicht betrachtet
C	Lebensende	-0,1
D	Einflüsse außerhalb der Systemgrenze	Nicht separat ausgewiesen (als integraler Part von A und C, mittels Konzept der CFF)
A-D	GESAMT	5,5

Literatur

[1] *European Commission:* Recommendation on the use of the Environmental Footprint methods to measure and communicate the life cycle environmental performance of products and organisations. *In:* Official Journal of the European Union (2021).

[2] DIN EN ISO 14040:2006 + Amd 1: 2020 Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen. Ausgabe 2021.

[3] DIN EN ISO 14044:2006 + Amd 1:2017 + Amd 2:2020 Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen. Ausgabe 2021.

[4] *cyclos-HTP:* Prüfung und Testierung der Recyclingfähigkeit – Anforderungs- und Bewertungskatalog des Institutes cyclos-HTP zur EU-weiten Zertifizierung (CHI-Standard), Fassung 5.1 Ausgabe Dezember 2022.

[5] *Bundesrepublik Deutschland:* Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die hochwertige Verwertung von Verpackungen (Verpackungsgesetz - VerpackG) – VerpackG. Bundesrepublik Deutschland, 2017.

[6] *European Commission:* Developer Environmental Footprint (EF) - Annex C, 2020, https://eplca.jrc.ec.europa.eu/LCDN/developerEF.xhtml.

[7] *Stiftung Zentrale Stelle Verpackungsregister:* Mindeststandard für die Bemessung der Recyclingfähigkeit von systembeteiligungspflichtigen Verpackungen gemäß § 21 Abs. 3 VerpackG – im Einvernehmen mit dem Umweltbundesamt, Osnabrück Ausgabe 2024.

6 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Graphische Darstellung der Systemgrenzen und der jeweils betrachteten Lebenszyklusabschnitte 11

Abbildung 2: Die CFF nach [1] (Erläuterung der Variablen in Tabelle 3). 16

Abbildung 3: Darstellung der CFF 19

7 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht funktionelle Einheit 9

Tabelle 2: Definierte Lebenszyklusabschnitte einer Verpackung 10

Tabelle 3: Erläuterung der CFF-Variablen 17

Tabelle 4: Quellen und Annahmen für Variablen der CFF 18

Tabelle 5: Beispiel einer Ergebnistabelle für eine Einwegverpackung 22