

# Evaluierung der praktischen Anwendung der Circular Footprint Formula im österreichischen Kontext

Hanna Schenk, MSc. MSc.<sup>a</sup>; Dipl.-Ing. Bernd Brandt<sup>a</sup>; Dipl.-Ing. Werner Frühwirth, MSc.<sup>a</sup>

<sup>a</sup>FH Campus Wien, Fachbereich Verpackungs- und Ressourcenmanagement

\* hanna.schenk@fh-campuswien.ac.at

**Abstract.** Ökologische Auswirkungen von komplexen abfallwirtschaftlichen Prozessen zu quantifizieren, stellt eine zentrale Herausforderung dar, um langfristig einen Beitrag zur materiellen Kreislaufschließung leisten zu können. Dies gilt besonders in Hinblick auf das Bestreben nach CO<sub>2</sub>-neutralen Produkten, Prozessen oder Unternehmen. Dazu nimmt die Circular Footprint Formel (CFF) des Product Environmental Footprint (PEF) eine zentrale Rolle ein. Da es aktuell kaum wissenschaftlich fundierte, praxistaugliche Ansätze für die Integration der Formel bei der Erstellung von Ökobilanzen gibt, wurde im Rahmen dieses Projekts ein Beitrag geleistet, dafür eine solide Grundlage zu schaffen. Ziel der Plattform Zweck Zwei ist, ökologische Vorteile (in CO<sub>2</sub>eq-Einsparungen), die sich aus dem Weiterverwenden und in Kreislauf halten von Produkten, Halbzeugen und Reststoffen ergeben, zu quantifizieren und zu allokalieren und mit Hilfe der CFF zu ermitteln. Um dies zu ermöglichen, wurden die 19 Parameter der CFF analysiert und eine Bewertung in den Kategorien Qualität, Beständigkeit und Möglichkeit der Vereinfachung durchgeführt. Die Forschungsarbeit leistet einen Beitrag zum besseren Verständnis der CFF und deren Parameter, indem die Herausforderungen zwischen theoretischer und praktischer Anwendung beleuchtet und eine Informationsgrundlage sowie Handlungsempfehlungen zur praktischen Anwendung gegeben werden. Zudem wurde der umfassende offene Forschungsbedarf zur praxisbezogenen und wissenschaftlich fundierten Anwendung der CFF konkretisiert.

**Keywords:** Life Cycle Assessment, Circular Footprint Formula, Product Environmental Footprint, PEF, Circular Economy, End-of-Life

## 1 EINLEITUNG

Die langfristige Bedeutung materieller Kreislaufschließung für den Klimaschutz ist bereits gut etabliert. Dazu wird es notwendig, ökologische Auswirkungen von komplexeren abfallwirtschaftlichen Prozessen in einer nachvollziehbaren Weise zu quantifizieren. Dies gilt besonders in Hinblick auf das Bestreben nach CO<sub>2</sub>-neutralen Produkten, Prozessen oder Unternehmen. Fundierte Aussagen über klimaneutrale Produkte, Prozesse oder Unternehmen können erst getroffen werden, wenn CO<sub>2</sub> reduzierende Prozesse auch in der Abfallwirtschaft nachvollziehbar quantifiziert werden können. Nur so können tatsächliche Netto-Wirkungen nachgewiesen werden, wie sie für ökobilanzielle Gutschriften oder auch CO<sub>2</sub>- bzw. Ressourcen-Zertifikate erforderlich sein werden.

Die Plattform Zweck Zwei (ZZ) soll unterstützen, wertvolle Ressourcen einer direkten Weiterverwendung zuzuführen, anstatt diese den regional üblichen abfallwirtschaftlichen Pfaden zu überlassen. Das Ziel der Plattform ist dabei die Entwicklung eines belastbaren und nachvollziehbaren Modells zur Darstellung von Umweltwirkungen (dzt. CO<sub>2</sub>eq Emissionseinsparungen), die sich aus der Weiterverwendung und in Kreislauf halten von Produkten, Halbzeugen und Reststoffen ergeben. Die Modellierung eines realistischen Business as Usual (BAU) Szenarios ist dabei eine besondere Herausforderung und

Vergleiche mit generischen Werten der Primärrohstoffe sind oft, z.B. aufgrund des Einsatzes von Sekundmaterialien, nicht realitätsnah. Für die Quantifizierung der ökologischen Vorteile nimmt die Circular Footprint Formel (CFF) des Product Environmental Footprint (PEF) daher eine zentrale Rolle ein. Die Circular Footprint Formel setzt sich aus drei Komponentenebenen zusammen – Material, Energie und Entsorgung.

$$\begin{array}{l}
 \text{Material} \left\{ \begin{array}{l}
 = (1 - R_1)E_v \\
 + R_1 * \left( A * E_{rec} + (1 - A)E_v * \frac{Q_{Sin}}{Q_P} \right) \\
 + (1 - A)R_2 * \left( E_{recEol} - E_v^* * \frac{Q_{Sout}}{Q_P} \right)
 \end{array} \right. \\
 \\
 \text{Energie} \quad + \quad (1 - B)R_3 * (E_{ER} - LHV * X_{ER,heat} * E_{SE,heat} - LHV * X_{ER,elec} * E_{SE,elec}) \\
 \\
 \text{Entsorgung} \quad + \quad (1 - R_2 - R_3) * E_D
 \end{array}$$

Abbildung 1: Die Circular Footprint Formula des Joint Research Centre der EU nach Komponenten. Eigene Darstellung in Anlehnung an [1,2].

Da es aktuell kaum wissenschaftlich fundierte, praxistaugliche Ansätze gibt, die Formel bei der Erstellung von Ökobilanzen zu integrieren, wurde im Rahmen dieses Projekts ein Beitrag geleistet, dafür eine solide Informations- und Datengrundlage zu schaffen. Aus dieser Forschungsproblematik ergeben sich folgende Forschungsfragestellungen:

1. Wie können die ökologischen Vorteile (in Form von CO<sub>2</sub>eq-Einsparungen), die sich aus dem Weiterverwenden und in Kreislauf halten von Produkten im Rahmen der CFF quantifiziert und allokiert werden?
2. Auf welche wissenschaftlich fundierten Daten kann in der Modellierung zurückgegriffen werden? Inwiefern müssen die den Parametern der CFF zu Grunde liegenden Annahmen regelmäßig aktualisiert werden? Besteht die Möglichkeit einzelne Parameter zu vereinfachen um die praktische Anwendbarkeit der CFF zu erleichtern?

## 2 METHODEN

Im Rahmen einer fundierten Literaturrecherche wurde die Systematik der CFF zur Etablierung eines grundlegenden Verständnisses der Formel und ihrer Anwendung in komplexen abfallwirtschaftlichen Prozessen diskutiert. Die neunzehn Parameter der CFF wurden bewertet, nach Maßgabe des Pareto-Prinzips möglichst vereinfacht und konkrete Annahmen für die jeweiligen Variablen hinterlegt. Begleitend wurden die wechselseitigen Auswirkungen von Parametern betrachtet und auf deren Qualität hin überprüft. Dabei wurden die Bereiche Quelle, Qualität, Beständigkeit und Möglichkeit der Vereinfachung erhoben und evaluiert sowie Handlungsempfehlungen für den wissenschaftlich konformen Einsatz von spezifischen Werten in den Parametern gegeben, welche in eine belastbare Berechnung im Rahmen einer Ökobilanz integriert werden können.

Mindestanforderungen für die einzelnen Materialien wurden spezifiziert, welche die praktische Umsetzbarkeit der ökobilanziellen Beurteilung sicherstellen sollen. Die Möglichkeit der regionalen Abgrenzungen wurde evaluiert und die Identifikation von konkretem weiterem Forschungsbedarf stellte einen zentralen Teil des Forschungsprojekts dar.

## 2.1 Bewertung der Parameter der CFF in Quelle, Qualität, Beständigkeit und Vereinfachung

**Quelle** - Angaben der wissenschaftlichen Quellen für die einzelnen Parameter.

**Qualität** - Qualitative Kategorisierung der einzelnen Parameter, von „wissenschaftlich abgesichert“ bis „mit Vorbehalt / schlecht“. Aus der Qualität der Werte ergibt sich eine entsprechende Schwankungsbreite der Werte und in weiterer Folge auch der Ergebnisse. Qualitative Unterschiede weisen dabei im parameterübergreifenden Vergleich eine hohe Varianz auf, da einerseits relativ beständige Parameter enthalten sind (z.B. unterer Heizwert) und andererseits Parameter welche sich, alleine aufgrund Ihrer methodischen Erhebung (z.B. Sammelquote nach Eurostat) oder aufgrund regionaler Unterschiede (z.B. Emissionsfaktor für Primärmaterial bei Aluminium) maßgeblich unterscheiden. Für die Durchführung in Varianzanalysen wird daher der Ansatz von Bandbreiten in Höhe von (1) 10%, (2) 20% und (3) 50% empfohlen.

**Beständigkeit** - Abschätzung der Beständigkeit der einzelnen Parameter, von „Dauerhaft >10 Jahre“ über „gelegentlicher Evaluierungs-, und Adaptierungsbedarf >1 Jahr“ bis „laufender Evaluierungs-, und Adaptierungsbedarf <1 Jahr“.

**Vereinfachung** (Pareto-Prinzip) - Die Vereinfachung wurde für jede Variable separat erläutert, hierbei wurde spezifiziert ob vereinfacht werden kann (JA/NEIN) und sofern die Möglichkeit zur Vereinfachung besteht, begründet und definiert, wie diese Vereinfachung erfolgen kann. Die Vereinfachung dient der Erleichterung der praktischen Anwendbarkeit.

Tabelle 1: Quellen und Qualitäts-, Beständigkeits-, und Vereinfachungsstufen.

Quelle	Qualität
Angabe der wissenschaftlichen Quelle	(1) Gut / wissenschaftlich abgesichert (2) Mittelmäßig (3) Schlecht
Beständigkeit	Vereinfachung
(1) Dauerhaft: > 10 Jahre (2) Gelegentlicher Adaptierungs-, und Evaluierungsbedarf: > 1 Jahr (3) Laufender Adaptierungs-, und Evaluierungsbedarf: < 1 Jahr	(1) JA (2) NEIN

## 3 Ergebnisse

Die Forschungsarbeit bietet eine erste Informations- und Datengrundlage für die qualifizierte praktische Anwendung der CFF. Dabei sind klar jene Bereiche definiert, wo nach derzeitigem Forschungsstand keine wissenschaftlich fundierten Daten vorhanden sind, laufender Adaptierungs-, und Evaluierungsbedarf herrscht oder wo bereits wissenschaftlich gut fundierte Werte vorliegen. Die nachfolgende Tabelle fasst die

Ergebnisse der Evaluierung der CFF dar.

Tabelle 2: Ergebnisse der Bewertung der Parameter in Quelle, Qualität, Beständigkeit und Vereinfachung.

Variable	Quelle(n)	Qualität	Beständigkeit	Vereinfachung
<b>A</b>	PEF Guidance, Annex C [1, 2]	1	2	Ja
<b>B</b>	PEF Guidance, Annex C [1, 2]	1	2	n/a
<b>Q<sub>sin</sub></b>	PEF Guidance, Annex C [1, 2]	2/3	2	Nein
<b>Q<sub>sout</sub></b>	PEF Guidance, Annex C [1, 2]	2/3	2	Nein
<b>Q<sub>p</sub></b>	PEF Guidance, Annex C [1, 2]	2/3	2	Nein
<b>R<sub>1</sub></b>	PEF Guidance, Annex C [1, 2]	2	2	Nein
<b>R<sub>2</sub></b>	PEF Guidance, Annex C [1, 2] van Eygen E, Laner D, Fellner J. [3] FHCW [4] BMK [5] European Aluminium [6]	2	3	Nein
<b>R<sub>3</sub></b>	PEF Guidance, Annex C [1, 2] van Eygen E, Laner D, Fellner J. [3] FHCW [4] BMK [5] European Aluminium [6]	2	3	Ja
<b>E<sub>rec</sub></b>	Ecoinvent Datenbank, Version 3.8 [7] Packaging Sustainability Tool [8,9]	2	3	Nein
<b>E<sub>recEoL</sub></b>	Ecoinvent Datenbank, Version 3.8 [7] Packaging Sustainability Tool [8,9]	2	3	Ja (closed loop) Nein (open loop) <sup>1</sup>
<b>E<sub>v</sub></b>	Ecoinvent Datenbank, Version 3.8 [7]	1/2/3 *	3	Nein
<b>E*<sub>v</sub></b>	Ecoinvent Datenbank, Version 3.8 [7]	1/2/3 *	3	Ja
<b>E<sub>ER</sub></b>	Ecoinvent Datenbank, Version 3.8 [7]	1/2/3 *	3	Nein
<b>E<sub>SE,heat</sub> und E<sub>SE,elec</sub></b>	Ecoinvent Datenbank, Version 3.8 [7]	1	3	Nein
<b>E<sub>D</sub></b>	Ecoinvent Datenbank, Version 3.8 [7]	1/2/3 *	3	Nein
<b>X<sub>ER,heat</sub> und X<sub>ER,elec</sub></b>	van Eygen E, Laner D, Fellner J. [10] GaBi [11]	1	2	Nein
<b>LHV</b>	Ecoinvent Datenbank, Version 3.8 [7] Bauforumstahl [12]	1	1	Nein

\* Die Quelle Ecoinvent wird grundsätzlich für die ausgewählten Werte des Parameters bei allen Materialien als aktueller Stand der Wissenschaft und somit wissenschaftlich abgesichert betrachtet. Teilweise werden jedoch Werte verwendet, die einen anderen (ähnlichen) geographischen Bezug haben (z.B. Schweiz statt Österreich). Zudem werden bei manchen Materialien in Ermangelung exakter Produktdatensätze ähnliche Datensätze ausgewählt.

### 3.1 Vereinfachung (Österreich)

Die Möglichkeit zur Vereinfachung wurde bei fünf Parametern identifiziert. Darunter finden sich der Faktor „A“ mit 0,5, falls der Open-Loop-Ansatz für die untersuchte Produktpalette durchgehend als geeignet angesehen wird. Die Energierückgewinnung im End-of-Life (R<sub>3</sub>) kann vereinfacht werden, weil die Deponierung in Österreich mit „0“ angesetzt werden kann, und sich daraus R<sub>3</sub>= 1-R<sub>2</sub> ergibt. Der Parameter E<sub>recEoL</sub> kann

<sup>1</sup> Open-Loop-Systeme beschreiben Recyclingprozesse, bei welchen recycelte Materialien sowohl in neue Rohstoffe als auch in Abfallprodukte umgewandelt werden. Typischerweise werden Materialien dabei für andere Zwecke als ihren früheren Zweck (vor dem Recycling) verwendet (vgl. Closed-Loop-Systeme, Materialien werden in gleicher Art verwendet, z.B. Aluminium). Das bedeutet, dass der Input im Open-Loop-Recyclingprozesses in einen neuen Rohstoff umgewandelt wird, welcher wiederum als Input für einen anderen Herstellungsprozess verwendet werden kann.

beispielsweise im Closed-Loop vereinfacht werden, wohingegen im Open-Loop keine Vereinfachung möglich ist.

### 3.2 Offene Herausforderungen und weiterer Forschungsbedarf

Für die praktische Anwendung der CFF bleibt eine Reihe an Herausforderungen offen. Die Bestimmung des *Substitutionszeitpunkts* (d.h. jenes Punkts in der Lieferkette, wo Primär- durch Sekundärmaterial substituiert wird), ist determinierend für die Anwendung der CFF, zeitgleich ist dessen Definition in der Praxis keineswegs eindeutig (z.B. Glasscherben vs. geschmolzenes Glas). Der Substitutionszeitpunkt kann sich dabei auf verschiedenen Ebenen ergeben. [13]

- (1) Ausschließlich Material aus Primär-, und Sekundärquellen („Level 1“), oder
- (2) Vermischung von Material aus Primär-, und Sekundärquellen („Level 2“). [14]

Der Substitutionspunkt auf „Level 2“ darf nur angewendet werden, wenn die Datensets zur Modellierung (z. B.  $E_{rec}$  und  $E_v$ ) die realen (durchschnittlichen) Flüsse bezüglich Primär- und Sekundärmaterial berücksichtigen. Beispiel:  $E_{rec}$  entspricht der „Produktion von 1 t Sekundärmaterial“ und beinhaltet einen durchschnittlichen Input von 10 % Primärmaterial, sohin ist die Menge der Primärmaterialien zusammen mit ihren Umweltwirkungen in den  $E_{rec}$ -Datensatz aufzunehmen.

Die möglichst realitätsnahe Wahl des „*B-Faktors*“ stellt eine zusätzliche Herausforderung dar. Die derzeit vom PEF empfohlene, defaultmäßige Anwendung von 0 bzw. 1 vermeidet lediglich Doppelzählungen, beantwortet aber die Frage, inwiefern dies die Realität widerspiegelt, unzureichend. Hierbei wird diskutiert, ob eine analoge Anwendung zum „*A-Faktor*“ (dafür werden je nach aktueller Marktlage z.B. 0,2/0,5/0,8 in der PEF Guidance empfohlen) einer realitätsnäheren Abbildung näherkommt. [1, 15]

Gemäß PEF Guidance können für die Bestimmung des *Qualitätsverhältnisses*, wenn ökonomische Aspekte weniger Relevanz erfahren als physische Aspekte, letztere herangezogen werden. Eine Erläuterung in welchen Anwendungsfällen dies als sinnvoll erachtet wird, bleibt der PEF aktuell schuldig. [1, 14] Denkbar wäre die Ermittlung nach physischen Aspekten in Fällen wo Sekundärmaterial, um die gleiche Funktion wie Primärmaterial zu erfüllen, in größeren Mengen eingesetzt werden müsste (z.B. Kunststoffteile aus Sekundärmaterial müssen dicker gefertigt werden als jene aus Primärmaterial).

Die *Recycling Output Rate* ( $R_2$ ) bemisst den tatsächlichen Recycling-Output, welcher abhängig von Rezyklierbarkeit (als Produkteigenschaft), tatsächlicher Recyclingrate (als Systemeigenschaft) und spezifischen Verlusten in der Recyclinganlage ist. Wenn in Richtung Ecodesign-Bewertung der Produkte gedacht werden soll, ist speziell die Rezyklierbarkeit von großer Bedeutung, der Eco-Designer hat keinen Einfluss auf das (länder-) spezifische Sammel-/Trennsystem. Zugleich kann das beste Sammel-, und Trennsystem bei schlechter Rezyklierbarkeit keine echte Kreislaufschließung gewährleisten. [16]

In der Forschungsarbeit wurde umfassender weiterer *Forschungsbedarf* identifiziert, dieser leitet sich einerseits aus der aktuellen akademischen Uneinigkeit über den Einsatz und die Anwendung der CFF sowie andererseits aus aktuell unzureichenden

Datenverfügbarkeiten ab. Weitere Untersuchungen bedürfen dabei abgeleitete Hypothesen für das Einsparungspotential, die Schwierigkeit und derzeitige Unmöglichkeit zur regionalen Differenzierung, sowie die Felder der Rechtssicherheit und Parameterstabilität.

#### **4 CONCLUSIO**

Die Circular Footprint Formel nimmt bei der Modellierung und Bewertung der ökologischen Auswirkungen von komplexen abfallwirtschaftlichen Prozessen eine zentrale Rolle ein. Die Forschungsarbeit leistet einen Beitrag zur Anwendung der CFF, indem ein besseres Verständnis für die einzelnen Parameter der CFF etabliert sowie die Differenz zwischen Theorie und Praxis diskutiert wird. Durch die Analyse und Einteilung der Parameter in Quelle, Qualität, Beständigkeit und Vereinfachung wird eine erste Informations- und Datengrundlage zur praktischen Anwendung der CFF geschaffen. Das Ergebnis kann sohin als Basis zur praktischen Anwendung dienen. Herausforderungen und offene Fragestellungen für die praxisbezogene und wissenschaftlich fundierte Anwendung der CFF wie z.B. mangelnde Datenverfügbarkeit, speziell auf regionaler und lokaler Ebene, kontroverse Diskussionen in der wissenschaftlichen Community zur Auslegung einiger Parameter, Unklarheiten in der Anwendung der Parameter sowie die unterschiedlich gute Eignung der CFF für verschiedene Materialien werden diskutiert und zusammengefasst.

#### **5 DANKSAGUNG**

Das Projekt wurde gemeinsam mit der Plattform Zweck Zwei (<https://zweckzwei.at/>) umgesetzt und durch Fördermittel der Österreichische Forschungsförderungs GmbH unterstützt.

## 6 REFERENZEN

- [1] European Commission. Product Environmental Footprint Category Rules Guidance (PEFCRs), Version 6.3: European Commission Brussels, Belgium; 2018. Verfügbar unter: [https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/PEFCR\\_guidance\\_v6.3.pdf](https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/PEFCR_guidance_v6.3.pdf).
- [2] European Commission. Product Environmental Footprint Category Rules Guidance (PEFCRs), Version 6.3, Annex C - List of default values for A, R1, R2, R3 and Qs/Qp: European Commission Brussels, Belgium; 2020. Verfügbar unter: [https://eplca.jrc.ec.europa.eu/permalink/Annex\\_C\\_V2.1\\_May2020.xlsx](https://eplca.jrc.ec.europa.eu/permalink/Annex_C_V2.1_May2020.xlsx).
- [3] van Eygen E, Laner D, Fellner J. Circular economy of plastic packaging: Current practice and perspectives in Austria. *Waste management* 2018; 72:55–64.
- [4] FHCW. Hochrechnung in Anlehnung an die Van Eygen Studie mit der allgemeinen Kunststoff RQ von 25% in Ö. Wien, Österreich; 2021.
- [5] BMK. Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich - Statusbericht 2021. Wien, Österreich: Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie; 2021. Verfügbar unter: [https://www.bmk.gv.at › BAWP\\_Statusbericht2021](https://www.bmk.gv.at › BAWP_Statusbericht2021).
- [6] European Aluminium. Recycling rate of aluminium beverage cans; 2017. Verfügbar unter: <https://european-aluminium.eu/data/packaging-data/recycling-rate-of-aluminium-beverage-cans/>.
- [7] Ecoinvent. Datenbank Version 3.8: Swiss Centre for Life Cycle Inventories; 2021. Verfügbar unter: <https://ecoinvent.org/>.
- [8] FHCW. Packaging Sustainability Tool (PAST). Wien: FH Campus Wien; 2020.
- [9] FHCW. Packaging Sustainability Tool (PAST). Wien: FH Campus Wien; 2022.
- [10] van Eygen E, Laner D, Fellner J. Integrating high-resolution material flow data into the environmental assessment of waste management system scenarios: The case of plastic packaging in Austria. *Environmental science & technology* 2018; 52(19):10934–45.
- [11] Sphera. GaBi Life Cycle Assessment Software; 2020.
- [12] Bauforumstahl. Heizwerte; 2022 [Stand: 03.05.2022]. Verfügbar unter: <https://bauforumstahl.de/upload/documents/brandschutz/kennwerte/Heizwertalpha.pdf>.
- [13] Wolf M-A. The Circular Footprint Formula (CFF) and its practical application. Training; Environmental Footprint (EF) transition phase. European Commission: European Commission; 2020 [Stand: 28.04.2022]. Verfügbar unter: [https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/TrainingCFF%20Circular%20Footprint%20Formula10Nov2020\\_final\\_corr.pdf](https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/TrainingCFF%20Circular%20Footprint%20Formula10Nov2020_final_corr.pdf).
- [14] Zampori L, Pant R. Suggestions for updating the Product Environmental Footprint (PEF) method. Luxembourg; 2019 JRC115959 [Stand: 28.04.2022].
- [15] Ekvall T, Gottfridsson M, Nilsson J, Nellström M, Rydberg M, Rydberg T. Factor B in the Circular Footprint Formula 2021 [Stand: 31.05.2022]. Verfügbar unter: <https://www.lifecyclecenter.se/publications/factor-b-in-the-circular-footprint-formula-abstract-setac-europe-2021/>.
- [16] Pekny W. Informationsaustausch zur Circular Footprint Formel, Plattform Zweck Zwei, Zweck Zwei Algorithmus. [Stetiger Informationsaustausch]. Wien, Österreich; 2021-2022 08.2021-05.2022.