CREATE

Biobasierte Kunststoffe greifbar machen

Whitepaper im Rahmen des Netzwerks CREATE

Biobasierte Kunststoffe in der Ökobilanz

Eine Orientierungshilfe zur Anwendung und Interpretation von Ökobilanzen

Antonia Ivanda und Malena Müller
SKZ

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

SKZ Das Kunststoff-Zentrum
UmweltCluster Bayern
Chemie Cluster Bayern
C.A.R.M.E.N.

Einleitung

Die globalen Bemühungen um Klimaschutz und einen ressourcenschonenden Umgang mit Rohstoffen stellen auch die Kunststoffindustrie vor Herausforderungen. Biobasierte Kunststoffe bieten einen vielversprechenden Ansatz, fossile Rohstoffe durch nachwachsende Ressourcen zu ersetzen und Umweltwirkungen zu verringern. Mit der Veröffentlichung der EU-Bioökonomiestrategie zeigt die EU, dass sie ebenfalls große Potentiale in nachwachsenden Rohstoffen für eine nachhaltigere Kunststoffwirtschaft sieht [1], stellt jedoch auch klar, dass diese Chancen an bestimmte Voraussetzungen geknüpft sind [2, 3]. Denn die biobasierte Herkunft allein garantiert noch keine eindeutigen Umweltvorteile. Ob ein biobasiertes Kunststoffprodukt gegenüber einer fossilbasierten Alternative ökologische Vorteile aufweist, hängt unter anderem von der Herkunft und Bereitstellung der Biomasse, den Herstellungsverfahren sowie der Nutzung und Verwertung des Produkts ab [3]. Eine Ökobilanz kann bei diesen Fragestellungen eine hilfreiche Unterstützung sein. Für das Ziel der Studie spielt die Wahl der Ökobilanzmethodik jedoch eine entscheidende Rolle.

Vor diesem Hintergrund beschäftigt sich das Fachforum „Nachhaltigkeitsbetrachtung" als eines von fünf Fachforen des CREATE-Netzwerks intensiv mit der Ökobilanzierung biobasierter Kunststoffe. Das vorliegende Whitepaper bietet einen kompakten Überblick über die Grundlagen der Ökobilanzierung, wichtige methodische Ansätze und die Interpretation von Ökobilanzergebnissen. Dabei erläutert es die Besonderheiten, die bei der Bewertung biobasierter Kunststoffe zu berücksichtigen sind. Ziel ist es, Unternehmen eine Orientierungshilfe für die sachgerechte Erstellung, Interpretation und Kommunikation von Ökobilanzen an die Hand zu geben.

1. Begriffliche Grundlagen

Erläuterungen zu den verwendeten Materialbegriffen finden sich im gemeinsamen Glossar des CREATE-Netzwerkes:
www.create-cluster.de/glossar

2. Möglichkeiten und Herausforderungen der Ökobilanzierung

2.1 Ziel und Prinzip der Ökobilanzierung

Eine Ökobilanz bewertet systematisch die Umweltwirkungen eines Produkts, Prozesses oder einer Dienstleistung über den gesamten Lebenszyklus hinweg. Das Paper konzentriert sich auf produktbezogene Ökobilanzen mit dem Fokus auf biobasierte Kunststoffe. Zu den Zielstellungen von Ökobilanzen gehören unter anderem die Optimierung von Produkten, beispielsweise durch die Identifikation von Hotspots entlang der Wertschöpfungskette. Darüber hinaus dienen Ökobilanzen als Entscheidungsgrundlage für die Material- und Technologieauswahl, für Investitionen sowie für Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten. Ein weiteres Ziel ist die Kommunikation von Umweltwirkungen eines Produktes gegenüber Kunden und anderen Stakeholdern.

Produktdaten werden ganzheitlich von der Rohstoffgewinnung über Herstellung und Nutzung bis zur Entsorgung erfasst. Anschließend werden mit Umweltfaktoren die Umweltauswirkungen wie z. B. der Beitrag zur Klimawirkung, zu dem Ressourcen- und Wasserverbrauch und sowie zu der Eutrophierung ermittelt.
Üblicherweise werden Ökobilanzen nach den internationalen Standards ISO 14040/14044 erstellt. Diese legen fest, wie die Umweltwirkungen eines Produktes, eines Prozesses oder einer Dienstleistung über den gesamten Lebenszyklus systematisch zu untersuchen sind.

Somit können auch komplexe Produktsysteme transparent, einheitlich und nachvollziehbar bewertet werden. Wie viele Umweltwirkungskategorien dabei untersucht werden, ist in der ISO-Norm nicht festgelegt. Der Untersuchungsrahmen kann daher 16 oder mehr verschiedene Wirkungskategorien umfassen, kann sich aber auch auf einige wenige beschränken. Wird nur die Klimawirkung in CO_2-Äq. betrachtet, spricht man auch von einem CO_2-Fußabdruck oder Product Carbon Footprint (vgl. Abbildung 1).

Product Carbon Footprint (PCF)

Betrachtet die Klimawirkung

Klimawandel | Globale Erwärmung durch die Emission von Treibhausgasen wie CO_2, Methan und Lachgas

Feinstaubbildung | Belastung der Atemluft durch Feinstaubpartikel und gesundheitliche Schäden infolge ihrer Einatmung

Ressourcennutzung, fossil | Verbrauch fossiler Energieträger wie Erdöl, Erdgas und Kohle

Ressourcennutzung, Mineralien und Metalle | Verbrauch mineralischer und metallischer Rohstoffe durch deren Abbau und Nutzung

Ökobilanz (LCA)

Betrachtet die Umweltwirkungen ganzheitlich in vielen Wirkungskategorien

Ionisierende Strahlung | Gesundheitliche Schäden durch die Freisetzung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung

Versauerung | Bildung von saurem Regen durch Emission von Stickoxiden und Schwefeldioxid sowie Schädigung von Böden und Gewässern

Eutrophierung, Süßwasser | Sauerstoffmangel in Gewässern aufgrund von Algenblüten durch übermäßigen Eintrag von Nährstoffen, insbesondere Phosphor

Landnutzung | Verlust der Bodenqualität und biologischen Vielfalt durch Flächenversiegelung, Landwirtschaft und Abholzung

Ozonabbau | Abbau der stratosphärischen Ozonschicht durch ozonabbauende Substanzen und erhöhte UV-Strahlung auf der Erdoberfläche

Wassernutzung | Verringerung der verfügbaren Wasserressourcen durch hohen Wasserverbrauch und Wasserentnahme

Abbildung 1:
Umfang einer Ökobilanz und eines PCF im Vergleich (Quelle: SKZ)

2.1 Ablauf einer Ökobilanz

Die Erstellung einer Ökobilanz umfasst vier Phasen mit jeweils eigenen Aufgaben und Fragestellungen. Zusammen bilden sie den Rahmen für die systematische Durchführung der Untersuchung (siehe Abbildung 2).

PHASE 1

Festlegung des Ziels und Untersuchungsrahmens

- Welches Ziel wird verfolg?
- Was wird untersucht?
- Welche Systemgrenze wird genutzt?
- Welche Bezugsgröße wird verwendet?

PHASE 2

Sachbilanz

Erfassung der In- und Outputs innerhalb der Systemgrenzen

PHASE 3

Wirkungsabschätzung

Erfassung der potenziellen Umweltwirkungen der Stoff- und Energieströme

PHASE 4

Interpretation

Ergebnisse werden analysiert und bewertet.

- Wo entstehen die größten Umweltwirkungen?
- Welche Optimierungen sind möglich?
- Welche Schlussfolgerungen können gezogen werden?

Anwendung

- Entwicklung und Verbesserung von Produkten
- Strategische Planung
- Marketing
- Politische Entscheidungsprozesse
- u. v. m.

Abbildung 2:
Die vier Phasen einer Ökobilanz nach ISO 14040/14044 mit Anwendungsbeispielen. (Quelle: SKZ)

Im ersten Schritt werden die Rahmenbedingungen sowie das Ziel der Ökobilanz festgelegt. Dabei werden die Systemgrenzen definiert und die Bezugsgröße bestimmt, auf die sich die späteren Ergebnisse und die Interpretation beziehen. In der zweiten Phase werden die Daten zu den Stoff- und Energieströmen sowie weitere Aktivitäten entlang des Lebenszyklus erfasst. Anschließend werden ihre potenziellen Umweltwirkungen bewertet und die Ergebnisse im Hinblick auf die Zielsetzung der Studie ausgewertet und interpretiert.

2.3 Herausforderungen bei der Vergleichbarkeit von Ökobilanzen

Die Vergleichbarkeit von Ökobilanzen setzt voraus, dass wesentliche methodische Rahmenbedingungen übereinstimmen. Stolpersteine sind neben Unterschieden in der Datengrundlage insbesondere abweichende Systemgrenzen, Bezugsgrößen und getroffene Annahmen. Eine Ökobilanz deren Betrachtung am Werkstor endet (Cradle-To-Gate), kann nicht mit einer Ökobilanz verglichen werden, die Nutzung und Verwertung einbezieht (Cradle-To-Grave). Für einen belastbaren Vergleich von Ökobilanzergebnissen sind daher folgende Punkte zu berücksichtigen:

- **Transparente und vollständige Dokumentation der Methodik**
- **Sicherstellung der Vergleichbarkeit** der betrachteten Ökobilanzen hinsichtlich Systemgrenzen, Bezugsgrößen, Annahmen, Datenherkunft, Datenqualität und -aktualität sowie sonstiger Rahmenbedingungen
- **Unabhängige kritische Prüfung bei vergleichenden Aussagen, die zur Veröffentlichung bestimmt sind.** Hierfür sieht die ISO 14044 eine Prüfung durch ein Gutachtergremium vor, um die methodische Konsistenz, Transparenz und Belastbarkeit der Vergleichsaussagen sicherzustellen

2.4 Product Environmental Footprint – Eine Methode für den Vergleich von Umweltwirkungen

Für eine bessere Vergleichbarkeit der Umweltwirkung von mehreren vergleichbaren Produkten wurden aufbauend auf den Anforderungen der ISO 14040 und ISO 14044 weitere Methoden und Regelwerke entwickelt. Eine der bekanntesten ist der Product Environmental Footprint (PEF) der Europäischen Kommission. Die PEF-Methode soll Unternehmen eine einheitliche Grundlage zur Messung und Kommunikation der Umweltwirkungen ihrer Produkte bieten und Produkte derselben Anwendung anhand eines zusammengefassten einzelnen Umweltindikators vergleichbarer machen.

Während ISO 14040 und ISO 14044 methodische Spielräume lassen, konkretisiert die PEF-Methode Vorgaben zur Bilanzierung: Ergänzende Produktkategorieregeln schaffen eine gemeinsame methodische Grundlage für den Vergleich von Produkten derselben Kategorie und verringern dadurch den Interpretationsspielraum.

Bei der PEF-Methode werden alle 16 Umweltwirkungskategorien einbezogen und anschließend anhand vorgegebener Regeln normiert und gewichtet. Dies ermöglicht die Verrechnung aller Umweltwirkungen in einer einzigen Kennzahl, den „Gesamt-PEF-Score". Mit diesem ist ein einfacher Vergleich von Produkten innerhalb einer Kategorie möglich.

Die PEF-Methode ermöglicht einen ganzheitlichen Vergleich von Biokunststoffen, da neben dem Treibhauspotential weitere Umweltwirkungen, die für biobasierte Kunststoffe eine besondere Rolle spielen, wie Landnutzung, Wasserverbrauch, Eutrophierung und Versauerung[4, 5] berücksichtigt werden. Daraus ergibt sich die Chance, Umweltauswirkungen biobasierter Kunststoffe auf einer harmonisierten und wissenschaftlich fundierten Grundlage mit konventionellen Kunststoffen der gleichen Anwendung zu vergleichen.

Die 4 Phasen einer Ökobilanz für PEF und ISO

Phase 1 - **Zielsetzung:** Was soll untersucht werden?

Phase 2 – **Sachbilanz:** Welche Stoff- und Energieströme gibt es?

Phase 3 – **Wirkungsabschätzung:** Welche Umweltwirkungen entstehen daraus?

Nur bei PEF: Normieren und Gewichten sowie Aufsummieren der Umweltwirkungen zum PEF-Score

Phase 4 – **Interpretation:** Was bedeuten die Ergebnisse und welche Schlüsse werden daraus gezogen?

Abbildung 3:
Ablauf einer Ökobilanz nach der PEF-Methode auf Grundlage der ISO 14040/14044, ergänzt um Normierung und Gewichtung in der Wirkungsabschätzung

Die Erstellung einer Ökobilanz nach der PEF-Methode erfolgt grundlegend wie nach den Standards ISO 14040/14044, jedoch ist zwischen den Schritten Wirkungsabschätzung und Ergebnisinterpretation eine Normierung sowie Gewichtung und anschließende Aufsummierung der Einzelwerte zu einem Gesamtscore verpflichtend vorgesehen. Der Ablauf ist in Abbildung 3 dargestellt. Durch die Normierung werden die Ergebnisse der verschiedenen Umweltwirkungskategorien auf eine gemeinsame Bezugsskala gebracht, indem sie auf die jeweiligen jährlichen Umweltwirkungen pro Person im globalen Durchschnitt bezogen werden. Welche Rolle die einzelnen Umweltfaktoren im Gesamtscore spielen, wird durch Gewichtungsfaktoren festgelegt. Diese stützen sich u.a. auf Experteneinschätzungen zu Wirkungsausmaß und Handlungsdruck in den jeweiligen Handlungsfeldern. Dabei liegt ein besonderer Fokus auf den Treibhausgasemissionen (21 %). Weitere Umweltwirkungen wie der fossile Ressourcenverbrauch (8 %), die Eutrophierung des Bodens (4 %) oder die Ökotoxizität des Süßwassers (2 %) werden im Vergleich weniger stark gewichtet [6].

Durch die Normierung und Gewichtung der Umweltwirkungen der einzelnen Kategorien ist die Aufsummierung der einzelnen Umweltwirkungen zu einem finalen Wert, dem PEF-Score, möglich. Insbesondere für biobasierte Kunststoffe erleichtert dies die Interpretation der Ergebnisse, da das Aufwiegen der Vor- und Nachteile über die einzelnen Kategorien hinweg bereits mit Normierung und Gewichtung abgehandelt wurde. Jedoch birgt diese vereinfachte Interpretation durch die undifferenzierten Ergebnisdarstellung auch das Risiko, zu pauschale Aussagen abzuleiten.

2.5 Übersicht der Ökobilanzmethoden

Biobasierte Kunststoffe können aus unterschiedlichen Perspektiven bewertet werden. Dabei gibt es für unterschiedliche Zielsetzungen (z. B. interne Entscheidungsfindung oder Kommunikation nach außen), Fragestellungen (z. B. Identifikation von Hotspots oder Vergleichbarkeit der Ergebnisse), und Betrachtungsebenen (z. B. Produkt- oder Unternehmensebene) eine Vielzahl an Bilanzierungsansätzen. Die nachfolgende Tabelle 1 verknüpft häufige Fragestellungen und Zielsetzungen beispielhaft mit dafür geeigneten Bilanzierungsansätzen und kann damit eine Orientierungshilfe für die Methodenwahl sein.

Übersicht der betrachteten Ökobilanzmethoden

Welche Klimawirkung hat das Produkt? Welches Produkt ist besser für das Klima?

WAS WIRD BEWERTET?	ZIEL	GEEIGNETER ANSATZ
Treibhausgasemissionen in CO_2-Äquivalenten eines Produktes	Erfüllung von Kunden- und Marktanforderungen an ein Produkt	Product Carbon Footprint (ISO 14067)

Wie hoch ist die temporäre CO_2-Speicherung im Produkt?

WAS WIRD BEWERTET?	ZIEL	GEEIGNETER ANSATZ
CO_2-Aufnahme im Produkt	Nutzung von Marketingstrategien, Differenzierung biobasierter Produkte zu fossilbasierten	Normenreihe ISO 22526

Wo liegen die Hotspots innerhalb des Herstellungsprozesses?

WAS WIRD BEWERTET?	ZIEL	GEEIGNETER ANSATZ
Verschiedene Umweltwirkungen innerhalb der Herstellung	Optimierungspotenziale aufdecken	Ökobilanz nach ISO 14040/14044

Welche Umweltwirkung hat das Produkt? Welcher Rohstoff ist besser für die Umwelt?

WAS WIRD BEWERTET?	ZIEL	GEEIGNETER ANSATZ
verschiedene Umweltwirkungskategorien eines Produktes	Interne Entscheidungsfindung, Basis für werbliche Umweltaussagen	Ökobilanz nach ISO 14040/14044

Welche Klimawirkung hat ein Unternehmen? Was verursacht innerhalb des Unternehmens die meisten Emissionen?

WAS WIRD BEWERTET?	ZIEL	GEEIGNETER ANSATZ
Treibhausgasemissionen in CO_2-Äquivalenten auf Unternehmensebene	Klimastrategie, Identifikation von Hotspots im eigenen Unternehmen, Entscheidungsfindung	Corporate Carbon Footprint (CCF) z. B. nach Greenhouse-Gas-Protocol (GHG-Protocol)

Welche Vorteile bringt der Einsatz von biobasierten Rohstoffen?

WAS WIRD BEWERTET?	ZIEL	GEEIGNETER ANSATZ
Herkunft des Kohlenstoffs (biogen oder fossil) und die temporäre Speicherung von CO_2 auf Produktebene	Entscheidungsfindung, Basis für werbliche Umweltaussagen	ISO 14040/14044 und Normenreihe ISO 22526

Wie schneidet das biobasierte Produkt im Gesamtvergleich zur fossilen Alternative ab?

WAS WIRD BEWERTET?	ZIEL	GEEIGNETER ANSATZ
16 Umweltwirkungskategorien, normiert und gewichtet zu einem PEF-Score	Vergleich von Produkten derselben Anwendung anhand eines einzelnen Scores	PEF-Methode

Welche Unterschiede gibt es in den Umweltwirkungen eines biobasierten und fossilbasierten Produkts?

WAS WIRD BEWERTET?	ZIEL	GEEIGNETER ANSATZ
Einzelne Bewertung von mehreren Umweltindikatoren	Aufgeschlüsselter Vergleich von Produkten derselben Anwendung	ISO 14040/44

Welche Umweltwirkungen entstehen über den Lebenszyklus des biobasierten Produkts im Vergleich zur fossilen Alternative?

WAS WIRD BEWERTET?	ZIEL	GEEIGNETER ANSATZ
Vergleich von Produkten derselben Anwendung	Entscheidungshilfe bei hoher Relevanz einzelner Wirkungskategorien, Marketing	ISO 14044

Tabelle 1:
Übersicht über unterschiedliche Bilanzierungsmethoden und deren zentrale Fragestellung

2.6 Herausforderung bei der Bilanzierung des biogenen Kohlenstoffs

Neben den allgemeinen Anforderungen an vergleichbare Ökobilanzen stellt sich bei biobasierten Kunststoffen zusätzlich die Frage, wie der biogene Kohlenstoff bilanziert werden soll. Dieser wurde zuvor durch Photosynthese aus der Atmosphäre aufgenommen und bleibt im Material gebunden, bis er beispielsweise durch Verbrennung oder biologischen Abbau wieder freigesetzt wird. Je nach Systemgrenze und Bilanzierungsansatz beeinflussen die CO_2-Aufnahme und die spätere Freisetzung das ausgewiesene Ergebnis unterschiedlich. Insbesondere bei einer Betrachtung bis zum Werkstor ist zu beachten, dass eine temporär gebundene Kohlenstoffmenge vorliegt und diese daher nicht mit einer dauerhaft vermiedenen Treibhausgasemission gleichzusetzen ist. Vor allem bei einer Cradle-to-gate Betrachtung ist diese temporäre Speicherung zu beachten und transparent zu kommunizieren.

Bei der Wahl der Systemgrenzen sollten insbesondere die Aufnahme und Freisetzung des biogenen Kohlenstoffs in die Entscheidungsfindung mit einbezogen werden: Beim –1/+1-Ansatz wird die Aufnahme negativ und die spätere Freisetzung als CO_2 positiv angerechnet; beim 0/0-Ansatz gehen beide mit null in die Klimawirkungsberechnung ein. Bei vollständiger Wiederfreisetzung als CO_2 gleichen sich Aufnahme und Freisetzung in einer statischen Lebenszyklusbetrachtung rechnerisch aus. Bei einer Betrachtung bis zum Werkstor kann die angerechnete Aufnahme hingegen zu einem niedrigeren oder negativen Ergebnis führen, während die spätere Freisetzung außerhalb der Systemgrenze liegt. [7] Für einen sachgerechten Vergleich sollte daher der verwendete Bewertungsansatz offengelegt werden. Zudem sollte nachvollziehbar dargestellt werden, welchen Anteil die Emissionen aus Rohstoffbereitstellung und Herstellung sowie die berücksichtigte CO_2-Aufnahme am Gesamtergebnis haben. Die Normenreihe ISO 22526 bietet die Möglichkeit der transparenten Darstellung des biogenen und des fossilen Kohlenstoffs. Diese unterscheidet zwischen der Kohlenstoffbilanz des Materials und der Kohlenstoffbilanz des Prozesses [8–10].

Die Kohlenstoffbilanz des Materials (ISO 22526 Teil 2) quantifiziert die aus der Atmosphäre aufgenommene und im Material gebundene CO_2-Menge. Sie beschreibt damit die Bindung biogenen Kohlenstoffs im Material, nicht jedoch dessen Netto-Treibhausgasbilanz oder ökologische Gesamtleistung.

Die Kohlenstoffbilanz des Prozesses (ISO 22526 Teil 3) erfasst hingegen die Treibhausgasemissionen entlang der Wertschöpfungskette von der Rohstoffgewinnung bis zum Werkstor. Sie betrachtet damit die Emissionen der Bereitstellung und Herstellung, die aus der gebundenen Kohlenstoffmenge allein nicht hervorgehen.
Für die Kunststoffindustrie bietet sich so die Möglichkeit, den Einsatz nachwachsender Kohlenstoffquellen und die damit verbundene CO_2-Aufnahme im Produkt unabhängig von der eigentlichen Klimawirkung sichtbar zu machen. Dadurch können Unternehmen sowohl ihre Dekarbonisierungsstrategie als auch ihren Beitrag zur Substitution fossiler Rohstoffe transparent dokumentieren und kommunizieren. Die ökologische Vorteilhaftigkeit eines Produkts

muss jedoch weiterhin anhand einer vollständigen Lebenszyklusbetrachtung nachgewiesen werden. Insbesondere bei Produkten mit hohen biobasierten Anteilen ermöglicht die Normenreihe eine nachvollziehbare Kommunikation gegenüber Kunden, Markeninhabern und politischen Entscheidungsträgern.

2.7 Zeitlicher Aspekt der Ökobilanzierung

In klassischen Ökobilanzen werden biogene Kohlenstoffflüsse häufig vereinfacht dargestellt. Die Klimawirkung wird dabei üblicherweise anhand des Treibhauspotenzials über einen Zeithorizont von 100 Jahren (GWP100) bewertet [11, 12]. Dabei werden alle Prozesse bzw. Umweltwirkungen als gleichzeitig auftretend bewertet, die zeitliche Perspektive (z. B. die Bedeutung der temporären CO_2-Speicherung biogener Produkte) fließt nicht in die Bewertung mit hinein.

Vor diesem Hintergrund wurde in den vergangenen Jahren an neuen Bewertungsansätzen geforscht, die diese zeitliche Dynamik berücksichtigen, sogenannte dynamische Ökobilanzen.

Bei biobasierten Kunststoffen sind neben dem zeitlichen Verlauf der Kohlenstoffspeicherung und -freisetzung im Produkt auch die Kohlenstoffflüsse in Pflanzen und Böden des Anbausystems relevant. Daher wurde von der Universität Maastricht 2025 die „Bio-based Materials and Products LCA“ aufbauend auf dynamischen Ökobilanzen entwickelt, die bereits bei der Kohlenstoffbilanz des Anbausystems ansetzt: Neben der CO_2-Aufnahme der Pflanzen werden auch die Kohlenstoffflüsse des Bodens berücksichtigt [13]. Dieser Netto-Kohlenstoffaustausch zwischen Anbausystem und Atmosphäre wird mit einer zeitlich aufgelösten Bewertung der Klimawirkung verknüpft. Dadurch lässt sich die zeitweilige Bindung biogenen Kohlenstoffs bei langer Nutzungsdauer berücksichtigen. Zusätzlich kann die Klimawirkung von Recycling mitberücksichtigt werden. Gegenüber einer statischen Ökobilanz wird damit die vorteilhafte Klimawirkung einer verzögerten CO_2-Freisetzung sichtbar. Für biobasierte Kunststoffe ermöglicht dies eine präzisere Erfassung der potenziellen Klimavorteile, die sich aus langen Nutzungsdauern sowie kurzen Nachwuchszeiten der Biomasse ergeben.

Aktuell ist diese Methodik jedoch noch Gegenstand der Forschung und findet in der industriellen Praxis noch keine Anwendung. Sie zeigt jedoch, an welchen Stellen heutige Bilanzierungsmethoden noch vereinfacht arbeiten und in welche Richtung sich die Bewertung biobasierter Produkte künftig weiterentwickeln kann.

3 Einfluss der Biomasseherkunft

Die Art und Herkunft der Biomasse sind zentrale Einflussfaktoren für die Umweltwirkung biobasierter Kunststoffe. Für die großtechnische Synthese von biobasierten Polymeren werden heutzutage fast ausschließlich Rohstoffe erster Generation eingesetzt, da diese in großen und verlässlichen Mengen für die stoffliche Nutzung verfügbar sind. Dazu zählen insbesondere Stärke und Zucker aus Nutzpflanzen wie Mais, Weizen, Zuckerrüben oder Zuckerrohr. Die Art der Biomasse beeinflusst den Kohlenstoff- und Wassergehalt der Biomasse und damit wesentlich den Prozessenergiebedarf beim Aufschluss.

Je nach Rohstoff und geografischer Herkunft ergeben sich unterschiedliche Umweltwirkungen durch z. B. Düngemitteleinsatz, unterschiedliche Flächenerträge, die Energieversorgung, Niederschlagsmengen oder regionale Besonderheiten. Dies ist exemplarisch anhand von drei Umweltwirkungen (GWP, Wasser- und Landnutzung) von 1 kg Bio-PE Compound in Abbildung 4 dargestellt.

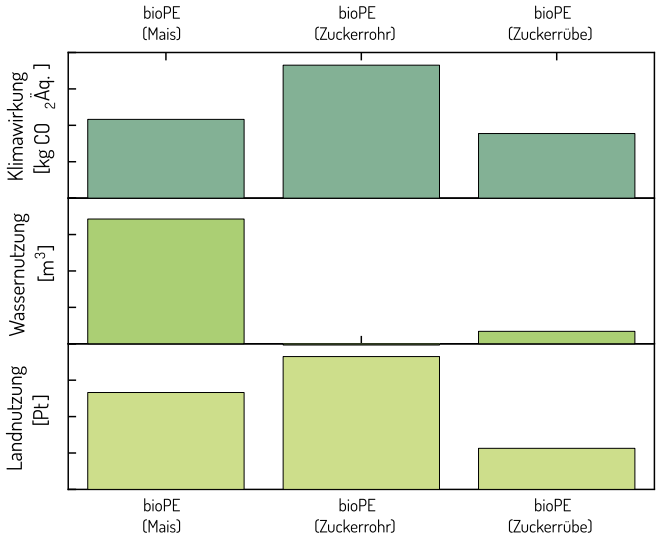

Abbildung 4:
Umweltwirkungen eines biobasierten PE-Compound auf Basis unterschiedlicher Biomassen aus dem Anbau in Europa; deklarierte Einheit 1 kg (Quelle: SKZ)

4 Fazit: Handlungsempfehlungen für den Umgang mit Ökobilanzen

Die Ergebnisinterpretation einer Ökobilanz biobasierter Kunststoffe kann für viele Unternehmen herausfordernd sein. Ökobilanzen sollten nicht als absolute Wahrheit verstanden werden, sondern als wissenschaftlich basierte Bewertungsmethode, die die ökologische Aspekte eines Produkts, eines Prozesses oder einer Dienstleistung, unter vorher definierten Bedingungen abbilden kann.
Besonders wichtig sind die Transparenz der Annahmen, die Qualität der Datengrundlage sowie die Übereinstimmung zwischen Fragestellung und gewählter Bewertungsmethode. Nur so können belastbare Entscheidungen für Produktentwicklung, Rohstoffauswahl und Nachhaltigkeitskommunikation getroffen werden.
Dies zeigt, dass bei der Erstellung einer Ökobilanz und der Interpretation sowie der Kommunikation der Ökobilanzergebnisse einige Rahmenbedingungen beachtet werden sollten. Je nach Fragestellung und Zielsetzung kann eine Ökobilanz unterschiedlich genutzt werden. Die Vielfalt dieser Methode stellt Unternehmen vor der Herausforderung die Ergebnisse zielgerichtet und transparent zu kommunizieren.
Aus diesem Grund sind im Folgenden ausgewählte Handlungsempfehlungen für die Erstellung und Interpretation sowie für die Nutzung und Kommunikation von Ökobilanzergebnissen zusammengestellt:

Sachgerechte Erstellung einer Ökobilanz

Dokumentation von Bewertungsgrundlagen und Annahmen
Wesentliche Setzungen der Rahmenbedingungen wie Methodik, Systemgrenzen, Bezugsgröße, wesentliche Annahmen, Datenquellen und Modellierungsentscheidungen sollten nachvollziehbar dokumentiert werden.

Die temporäre Speicherung und spätere Freisetzung des biogenen Kohlenstoffs sollten transparent dokumentiert, angegeben und eingeordnet werden. Wichtig ist hierbei, dass die zeitweise Speicherung im Produkt nicht mit dauerhaft vermiedenen Emissionen gleichgesetzt wird.

Einordnung der Datengrundlage und Technologiereife
Die Angabe der verwendeten Datensätze und Bewertung der Datenqualität im Ergebnisbericht ist von essenzieller Bedeutung für eine korrekte Interpretation von Ökobilanzergebnissen. Die Datengrundlage sollte stets anhand ihrer Eignung für den betrachteten Produktionsmaßstab, die Technologie, die Region und den Zeitraum ausgewählt werden. Datenlücken und Unsicherheiten sind zu benennen. Bei der Betrachtung eines Scale-Ups sollten aktuelle Ergebnisse klar von erwarteten Skalierungs- und Optimierungsvorteilen getrennt werden

Begrenzte Verfügbarkeit belastbarer Primärdaten
Insbesondere bei innovativen biobasierten Kunststoffen stehen häufig keine umfassenden industriellen Daten und Datensätze zur Verfügung. Viele Ökobilanzen greifen deshalb auf generische Datenbanken oder Labor- und Pilotanlagendaten zurück. Die tatsächliche Umweltleistung eines etablierten industriellen Prozesses kann jedoch von den verwendeten Hintergrunddaten abweichen. Unternehmen müssen daher die Datenqualität und Repräsentativität der verwendeten Datensätze sorgfältig bewerten.
Bei Möglichkeit sollten Unternehmen stets eigene Prozessdaten erheben und generische Daten schrittweise ersetzen.

Prüfung der Vergleichbarkeit
Vor einem Vergleich sollte geprüft werden, ob Methodik, Systemgrenzen, Bezugsgrößen, wesentliche Annahmen, Datenqualität und Technologiereife vergleichbar sind. Unterschiede müssen entsprechen berücksichtigt und kommuniziert werden. Schlussfolgerungen sollten nicht allein aus den Endergebnissen gezogen werden. Sollten Vergleiche kommuniziert werden, müssen die Normanforderungen geprüft werden.

Ganzheitliche Interpretation der Umweltwirkungen
Eine geringere Klimawirkung kann mit höheren Belastungen in anderen Bereichen einhergehen. Eine Hotspot-Analyse kann helfen, die besonders relevanten Wirkungskategorien zu identifizieren. Bei biobasierten Kunststoffen sollten insbesondere Landnutzung, Wasserverbrauch, Eutrophierung und Versauerung [4, 5] betrachtet werden.
Auftretende Zielkonflikte und Belastungsverlagerungen zwischen Wirkungskategorien oder Lebenszyklusphasen sollten in die Gesamtbewertung offengelegt und diskutiert werden.

Ökobilanzen für Entscheidungen und Verbesserungen

Ableitung konkreter Maßnahmen aus der Hotspot-Analyse
Anhand einer Hotspot-Analyse lassen sich die Umwelthotspots des betrachteten Produkts identifizieren. Diese können für Verbesserungen bei Rohstoffauswahl, Produktentwicklung und Prozesse genutzt werden. Mögliche Maßnahmen sind über die betrachteten Wirkungskategorien hinweg zu bewerten. So lässt sich unterscheiden, ob eine tatsächliche Verbesserung erreicht oder eine Belastung lediglich in einen anderen Bereich verlagert wird.

Annahme realistischer Szenarien

Angenommene Nutzungs- und Verwertungsszenarien sollten auf den tatsächlichen Bedingungen der jeweiligen Zielregion beruhen und verfügbare Sammel- und Verwertungswege berücksichtigen. Eine industrielle Kompostierung kann beispielsweise nur durch vorhanden Infrastruktur und Technologie gewährleistet werden. Technisch mögliche oder zukünftige Szenarien sind klar von den gegenwärtigen Bedingungen abzugrenzen.

Unterschiedliche Technologie- und Marktreife

Viele biobasierte Kunststoffe befinden sich noch in einer frühen Entwicklungs- und Markteinführungsphase und sind daher nur begrenzt mit jahrzehntelang erprobten und optimierten fossilbasierten Kunststoffen zu vergleichen. Ergebnisse aktueller Ökobilanzen spiegeln daher nicht zwangsläufig das zukünftige Optimierungspotenzial neuer Technologien wider. Daher sollten Ergebnisse nicht als statische Eigenschaft eines Materials betrachtet werden. Sowohl der Entwicklungsstand als auch zukünftige Skalierungspotenziale neuer Technologien sollten in der Interpretation der LCA-Ergebnisse mitberücksichtigt und transparent dokumentiert werden.

Gezielte Schließung entscheidungsrelevanter Datenlücken

Vorrangig sollten eigene Prozessdaten dort genutzt werden, wo bestehende Datensätze große Abweichungen sowie für den betrachteten Anwendungsfall unrealistische Werte beinhalten. Mit fortschreitender Entwicklung können neue Pilot- oder Industriedaten die bisherige Datengrundlage schrittweise ergänzen. Für eine laufende Verbesserung von Produkten und Prozessen ist eine Ökobilanz in regelmäßigen Abständen neu zu bewerten und zu aktualisieren.

Ganzheitliche Betrachtung, unabhängige Prüfung und gezielte Kommunikation

Ableitung der kommunizierten Botschaft anhand einer ganzheitlichen Betrachtung

Umweltaussagen sollten aus einer ganzheitlichen Betrachtung hervorgehen und nicht auf einzelnen Wirkungskategorien beruhen. Es müssen jedoch nicht die Ergebnisse aller Wirkungskategorien gleich ausführlich dargestellt werden. Mögliche Verlagerungen von Umweltwirkungen in andere Wirkungskategorien sind aber zu dokumentieren und zu kommunizieren. Eine fachlich korrekte Bewertung erfordert somit die Berücksichtigung und Kommunikation potenzieller Nachteile.

Zielkonflikte zwischen verschiedenen Umweltwirkungen

Maßnahmen zur Verbesserung einer Umweltwirkung können gleichzeitig zu Verschlechterungen in anderen Wirkungskategorien führen. Beispielsweise kann eine Reduktion der Treibhausgasemissionen mit einem höheren Flächenbedarf oder Wasserverbrauch einhergehen. Entscheidungen sollten nicht ausschließlich auf Basis einer Umweltwirkung getroffen werden. Bei biobasierten Kunststoffen sind insbesondere Landnutzung, Wasserverbrauch sowie durch die landwirtschaftliche Produktion verursachte Eutrophierungs- und Versauerungseffekte häufig von besonderer Relevanz [4, 5]. Eine vorgelagertes Screening kann dabei helfen, die für das jeweilige Produkt entscheidenden Wirkungskategorien zu identifizieren.

Präzise und nachvollziehbare Aussagen

Getroffenen Aussagen sollten stets belegbar und unmittelbar aus den Ökobilanzergebnissen abgeleitet sein. Dies bedeutet, dass Vergleichsprodukt, Bezugsgröße und betrachteter Lebenszyklusabschnitt eindeutig kommuniziert werden müssen. Bei Berücksichtigung der Klimavorteile aus zeitweiser Kohlenstoffspeicherung sind diese entsprechend zu erläutern.

Kritische Prüfung von Ökobilanzen

Eine Ökobilanz sollten durch unabhängige, qualifizierte Experten auf ihre methodische Korrektheit und Nachvollziehbarkeit geprüft und die Prüfung dokumentiert werden. Insbesondere bei öffentlichen zugänglichen Vergleichen ist eine unabhängige Prüfung erforderlich. Eine solche Prüfung trägt dazu bei, die Glaubwürdigkeit und Aussagekraft der Ergebnisse zu erhöhen.

Die vorangegangenen Abschnitte verdeutlichen, dass die Bewertung von Nachhaltigkeit aufgrund ihrer Komplexität keine vereinfachten Schlussfolgerungen auf Basis einzelner Ökobilanzergebnisse zulässt. Ökobilanzen können jedoch Zusammenhänge, Zielkonflikte und Einflussfaktoren entlang des gesamten Lebenszyklus sichtbar machen und stellen damit ein zentrales Instrument für die Entwicklung, Bewertung und verantwortungsvolle Kommunikation von Umweltaussagen dar.

Daher sollten Ökobilanzen als ganzheitliche Entscheidungsgrundlage genutzt und ihre Ergebnisse sachgerecht interpretiert werden, um fundierte Entscheidungen zu treffen und tatsächliche Umweltverbesserungen zu fördern.

Quellen

Literatur

[1] European Comission, Hg., „A Strategic Framework for a Competitive and Sustainable EU Bioeconomy", Brüssel COM(2025) 960 final, 27. Nov. 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52025DC0960. Zugriff am: 05.11.26.

[2] European Comission, Hg., „A Strategic Framework for a Competitive and Sustainable EU Bioeconomy", Brüssel COM(2025) 960 final, 27. Nov. 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52025DC0960. Zugriff am: 05.11.26.

[3] Europäische Kommision, Hg., „EU-Politikrahmen für biobasierte, biologisch abbaubare und kompostierbare Kunststoffe", Brüssel COM(2022) 682 final, 30. Nov. 2022. [Online]. Verfügbar unter: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022DC0682. Zugriff am: 05.11.26.

[4] D. Ita-Nagy, I. Vázquez-Rowe, R. Kahhat, G. Chinga-Carrasco und I. Quispe, „Reviewing environmental life cycle impacts of biobased polymers: current trends and methodological challenges", Int J Life Cycle Assess, Jg. 25, Nr. 11, S. 2169–2189, 2020, doi: 10.1007/s11367-020-01829-2.

[5] L. Ritzen, B. Sprecher, C. Bakker und R. Balkenende, „Sustainability of bio×based polyethylene: The influence of biomass sourcing and end×of×life", J of Industrial Ecology, Jg. 28, Nr. 6, S. 1684–1698, 2024, doi: 10.1111/jiec.13555.

[6] Joint Research Centre, European Platform on Life Cycle Assessment: Environmental Footprint. [Online]. Verfügbar unter: https://knowledge-for-policy.ec.europa.eu/european-platform-life-cycle-assessment-eplca/topic/environmental-footprint_en (Zugriff am: 13. November 2026).

[7] APAG Oleochemicals Europe, Hg., „Biogenic carbon accounting in the Product Environmental Footprint: Joint statement", 10. Okt. 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://www.apag.org/positions-statements/. Zugriff am: 05.11.26.

[8] DIN EN ISO 22526-1: Kunststoffe – Kohlenstoff- und Umweltbilanz von biobasierten Kunststoffen: Teil 1: Allgemeine Grundlagen, DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 2020.

[9] DIN EN ISO 22526-2: Kunststoffe – Kohlenstoff- und Umweltbilanz von biobasierten Kunststoffe: Teil 2: Kohlenstoffbilanz des Materials, Menge (Masse) des aus der Luft entfernten und in das Polymermolekül integrierten CO_2, DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 2020.

[10] DIN EN ISO 22526-3: Kunststoffe – Kohlenstoff- und Umweltbilanz von biobasierten Kunststoffen: Teil 3: Kohlenstoffbilanz des Prozesses, Anforderungen und Leitlinien zur Quantifizierung, DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 2020.

[11] ISO 14044:2006: Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen, DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 2006.

[12] ISO 14040:2006: Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen, ICS 13.020.10; 13.020.60, DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 2006.

[13] Ali Ghannadzadeh und Yvonne van der Meer, „Combining dynamic life cycle assessment and net ecosystem exchange through the framework of biobased materials.