

Die Lebenszyklusanalyse – Nachhaltigkeit im Untergrund

Von Kathrin Schwan und Jörg Sebastian

„Was wir heute tun, entscheidet darüber, wie die Welt morgen aussieht.“
(Marie von Ebner-Eschenbach)

Jedes Gut kann zu den Umweltauswirkungen seiner Produktion, seines Einsatzes oder seiner Entsorgung in Beziehung gesetzt werden. Das in den vergangenen Jahren stetig wachsende Bewusstsein für den Umweltschutz hat zu einem regen Interesse am „ökologischen Fußabdruck“ von Produkten und Dienstleistungen geführt. Um diesen sogenannten Fußabdruck sowohl greifbar als auch quantifizierbar zu machen, wurden valide Methoden zur Bewertung eines Produktlebenszyklus entwickelt: die Ökobilanz-Studie. Der international gebräuchliche, äquivalente Begriff des Life Cycle Assessment (LCA) hat sich in Deutschland ebenfalls etabliert.

Klimakrise und Konsumverhalten

In einer global angelegten Verbrauchermfrage zum Einfluss der Klimakrise auf das Konsumverhalten¹ gaben im Oktober 2021 73 % der 23.000 Befragten an, im zurückliegenden Jahr mit Freunden oder Familie über die Themen Klima, Nachhaltigkeit und/oder Umwelt diskutiert zu haben. Die hohe Präsenz des Themas in Gesellschaft und Politik hat auch einen Einfluss auf das Kauf- bzw. Konsumverhalten: 74 % der Befragten gaben an, zunehmend oder gar immer nachhaltige Produkte zu kaufen. Dabei gaben 54 % an, dass eine Herstellung mit reduziertem Energie- und Ressourceneinsatz sie darin beeinflusst, ob sie ein Produkt oder eine Dienstleistung als „nachhaltig“ betrachten. In eine Lebenszyklus-Bewertung fließen sowohl die Menge der eingebrachten Energie als auch der Verbrauch an Ressourcen ein. Das übergeordnete Ziel einer LCA ist folglich, die Reduktion von klimabeeinflussenden Faktoren und damit die Verbesserung der Umwelteigenschaften eines Produktes zu realisieren.

Relevanz der Nachhaltigkeitsanalyse

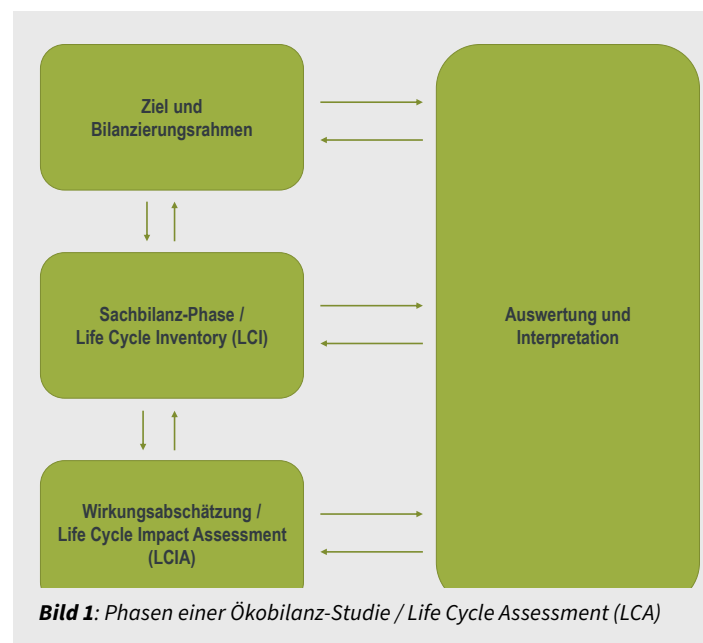
Die Ergebnisse einer Ökobilanz-Studie können einerseits in Marketing und Vertrieb genutzt werden, um eine Umweltaussage über ein Produkt zu treffen und sich damit positiv von Mitbewerbern abzuheben. Andererseits zeigt eine LCA Optionen auf, wie negative Umweltwirkungen eines Produktes auf dem gesamten Lebensweg von der Rohstoffgewinnung bis zur endgültigen Entsorgung reduziert werden können. Sie ist damit auch für Forschung und Entwicklung, das Produkt- und Prozessmanagement sowie das Supply Chain Management von großem Interesse. Nicht zuletzt bietet eine LCA der Unternehmensführung ein Werkzeug, um strategische Entscheidungen auf der Basis von belastbaren, systematisch erhobenen Umweltdaten zu treffen.

¹ Deloitte (2022): Climate Sentiment, Klimasorgen beeinflussen das Verbraucherverhalten in Deutschland, Website, [online] https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/consumer-business/Climate_Sentiment_Studie_Deloitte_2022.pdf [abgerufen am 06.04.2023].

Ziel und Untersuchungsrahmen

„Ziele zu setzen, ist der erste Schritt, das Unsichtbare in das Sichtbare zu verwandeln.“
(Tony Robbins)

Der Aufbau einer Ökobilanz-Studie ist in den beiden internationalen Normen DIN EN ISO 14040 und 14044 geregelt und umfasst vier Phasen (**Bild 1**). In einem ersten Schritt werden das Ziel und der Bilanzierungsrahmen der LCA festgelegt, also das zu untersuchende Produktsystem und die Systemgrenzen sowie der Detaillierungsgrad und etwaige Einschränkungen. Diese Definitionen erfolgen, in Ermangelung geeigneter standardisierter Rahmenbedingungen, von Seiten des Auftraggebers. Eine direkte Vergleichbarkeit unterschiedlicher Ökobilanzen ist folglich schwierig. Hier



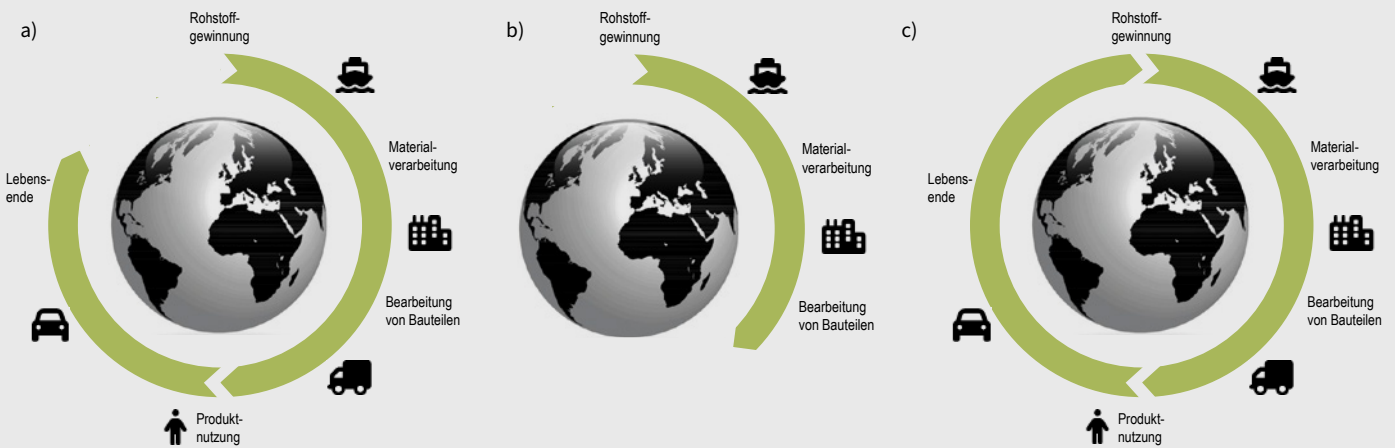


Bild 2: Produktlebenszyklus: a) cradle-to-grave, b) cradle-to-gate, c) cradle-to-cradle

ist es an den Standardisierungs- und Regelwerks-Gremien eine Produkt- bzw. Verfahrenstechnische EPD (Environmental Product Declaration) zu erstellen.

Eine LCA kann den gesamten Lebensweg eines definierten Produkts oder einer Produktklasse umfassen: von der Gewinnung der Rohstoffe („cradle“) über die Produktion, die Anwendung, ein mögliches Recycling bis hin zur finalen Beseitigung („grave“) (**Bild 2a**) und dabei alle dazwischenliegenden Transportwege berücksichtigen. Für eine Analyse des gesamten Lebenszyklus muss deshalb eine große Menge an Daten zusammengetragen werden. Für die benötigten Umweltdaten kann häufig auf Ökobilanz-Datenbanken wie ecoinvent oder GaBi zurückgegriffen werden. Um einen „cradle-to-grave“-Prozess abschließend darstellen zu können, müssen Produktdaten zum Lebensweg außerhalb des eigenen Unternehmens vorliegen, was sich häufig als sehr schwierig herausstellt. Dementsprechend kommt es oft vor, dass Ökobilanzierungen nicht den gesamten Lebenszyklus eines Produktes abdecken, sondern beispielsweise nur den Weg innerhalb eines Unternehmens („gate-to-gate“) oder den Weg von der Rohstoffgewinnung bis zum Unternehmenstor („cradle-to-gate“) (**Bild 2b**). Eine LCA mit dem Untersuchungsrahmen „cradle-to-cradle“ betrachtet immer eine Kreislaufwirtschaft (**Bild 2c**).

Die funktionelle Einheit als Basis der Vergleichbarkeit

„Bei Vergleichen, die hinken, gehen die Argumente am Stock.“

(Gerhard Uhlenbruck, deutscher Immunbiologe)

Eine weitere wichtige Größe, die im Rahmen der ersten LCA-Phase festgelegt wird, ist die funktionelle Einheit. Sie legt die

Quantifizierung der angegebenen Funktionen des Produktes fest, auf den die Input- und Outputflüsse bezogen werden. Sie ist außerdem die Basis für die Vergleichbarkeit von Lebenszyklus-Bewertungen. Naheliegende funktionelle Größen für Produktionsgüter sind Stückzahlen und Massenangaben in Tonnen.

Doch gerade hier kann es sinnvoll sein, in einem größeren Rahmen zu denken: Legt man beispielsweise der Produktion von Nahrungsmitteln die produzierten Kalorien zugrunde, werden die LCA verschiedenster Produkte vergleichbar. So können nicht nur Tafeln aus Vollmilch-Schokolade mit Schoko-Osterhasen verglichen werden, also dasselbe Produkt in unterschiedlicher Gestalt, sondern auch Osterhasen mit Tiefkühl-Pizza oder Ravioli in Dosen.

Im Bereich der unterirdischen Infrastruktur könnten dies zum Beispiel die Umweltauswirkungen des Produkts in Bezug auf die Rohrdimension, auf die Rohrlänge oder sinnvollerweise auf kg/m Produkt sein. Auch die Auswirkungen auf die normativ festgelegte Größe d_n/e_m (Durchmesser/Wanddicke) kann als funktionelle Einheit dienen.

Daten sammeln

„Inzwischen ist das Bergen von Datenschätzen wertvoller als das von Bodenschätzen.“

(Helmut Glaßl)

Im Anschluss an den detaillierten Blick auf die Technosphäre wird in der Sachbilanz-Phase bzw. dem Life Cycle Inventory (LCI), dem zweiten Schritt einer Ökobilanzierung, auch die Ökosphäre berücksichtigt (**Bild 3a**). Diese LCA-Phase beginnt mit dem Sammeln von Daten, die für den festgelegten Untersuchungsrahmen relevant sind (**Tabelle 1**). Dazu zählen

Tabelle 1: Beispiele für in der Sachbilanz-Phase berücksichtigte Daten

Energiefluss	Materialfluss	Prozessinformation	Informationen zur Produktnutzung	Informationen zum Lebensende
Elektrizität	Rohstoffe	Wirkungsgrade	Anwendung	Aufbereitungsmethode
Wärme	Zwischenprodukte	Verluste	Wartung	Entsorgung
Gas	Abfälle	Distanzen	Lebensdauer	Recycling

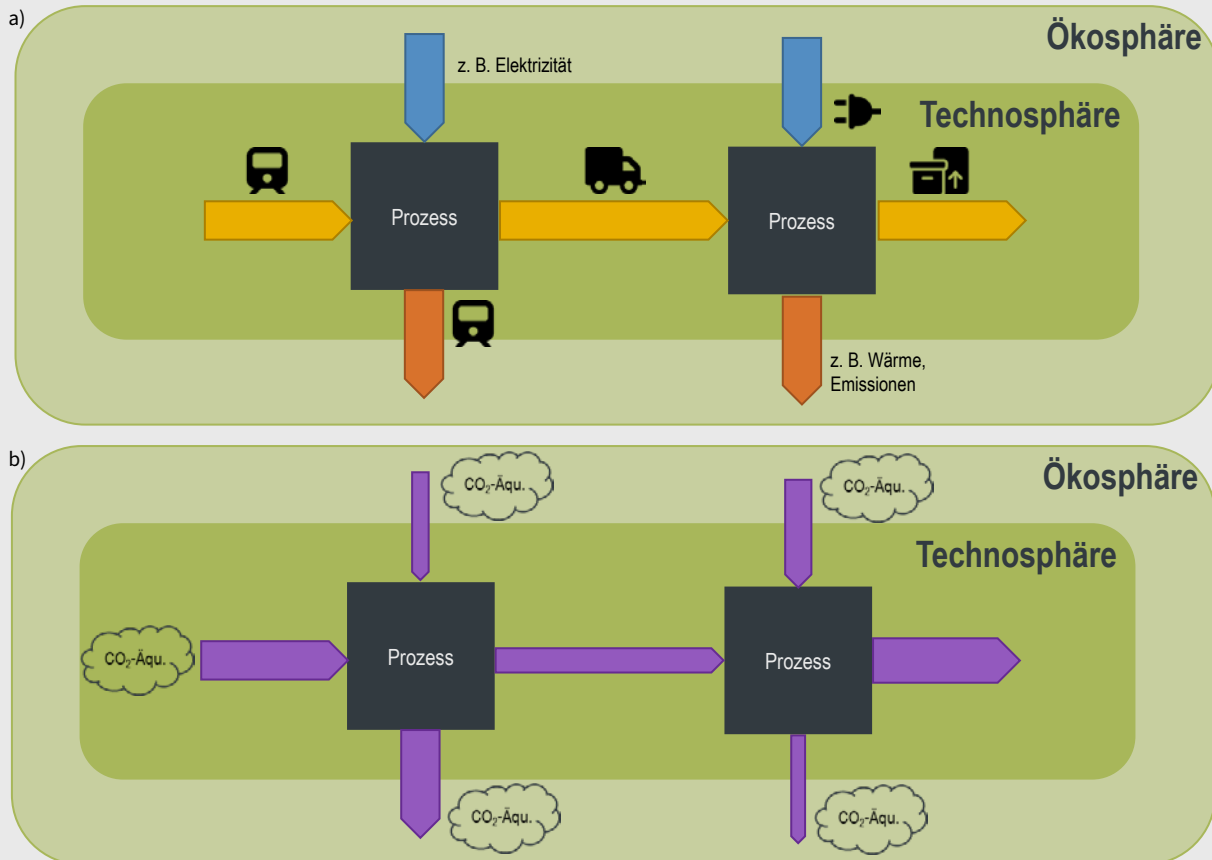


Bild 3: Das Verhältnis von Technosphäre und Ökosphäre: a) Material- und Energieflüsse der Sachbilanz-Phase, b) Elementarflüsse der Wirkungsabschätzung

Input- und Output-Daten zum Energiefluss, dem Materialfluss und dem Prozess selbst. Abhängig vom festgelegten Untersuchungsrahmen können weitere Daten erforderlich sein. Bei einer „cradle-to-grave“-Betrachtung werden über die genannten Daten hinaus auch Informationen zur Nutzung und zur Entsorgung des Produkts benötigt. Der Prozess zur Erstellung einer Sachbilanz ist iterativ. Während Daten gesammelt werden, mit deren Hilfe das Prozessmodul festgelegt sowie die von ihm aufgenommenen und abgegebenen Input- und Outputflüsse bestimmt werden (**Bild 3**), treten häufig neue Anforderungen oder Einschränkungen zutage. Als Resultat steht am Ende der Sachbilanz-Phase fest, was in der LCA kalkuliert wird.

Die Umweltwirkungen als Ergebnis einer LCA

Zu diesem Zeitpunkt ist die Bestandsaufnahme des Produkt-Lebenszyklus zwar abgeschlossen, jedoch wurden ihm noch keine Umweltaspekte zugeordnet. In der dritten Phase einer LCA, der Wirkungsabschätzung bzw. des Life Cycle Impact Assessment (LCIA), werden die Sachbilanz-Daten mit spezifischen Wirkungskategorien und Wirkungsindikatoren verknüpft, um Umweltwirkungen identifizieren zu können. Elementarflüsse sind Stoffe oder Energie, die dem untersuchten System entweder aus der Umwelt zugeführt werden oder vom System an die Umwelt abgegeben werden, jeweils ohne vorherige bzw. anschließende Behandlung durch den Menschen.

Die Elementarflüsse sind die Basis der Bewertung von Umweltwirkungen. Durch die Input- und Outputflüsse des betrachteten Prozessmoduls entstehen Emissionen, beispielsweise von umweltschädlichen Gasen wie Kohlendioxid (CO₂), Schwefeldioxid (SO₂) oder Methan (CH₄) (**Bild 3b**, **Bild 4**). Um die Vergleichbarkeit von Umweltwirkungen zu gewährleisten, werden in der Regel alle Emissionen, die auf dem Lebensweg eines Produktes oder einer Dienstleistung entstehen, mithilfe von

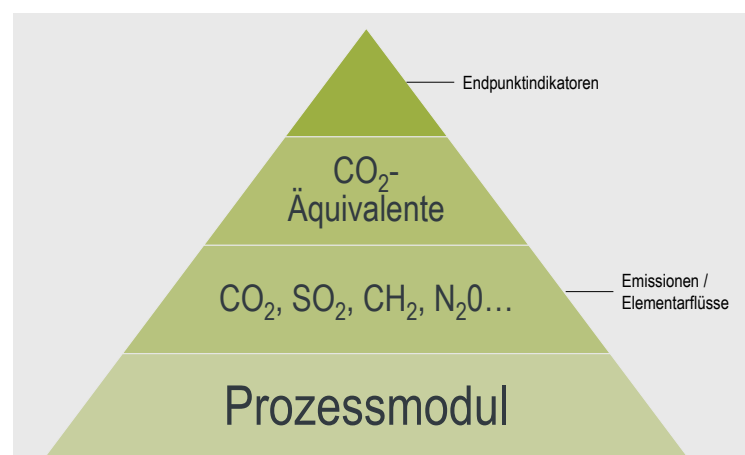


Bild 4: Ermittlung von Umweltwirkungen

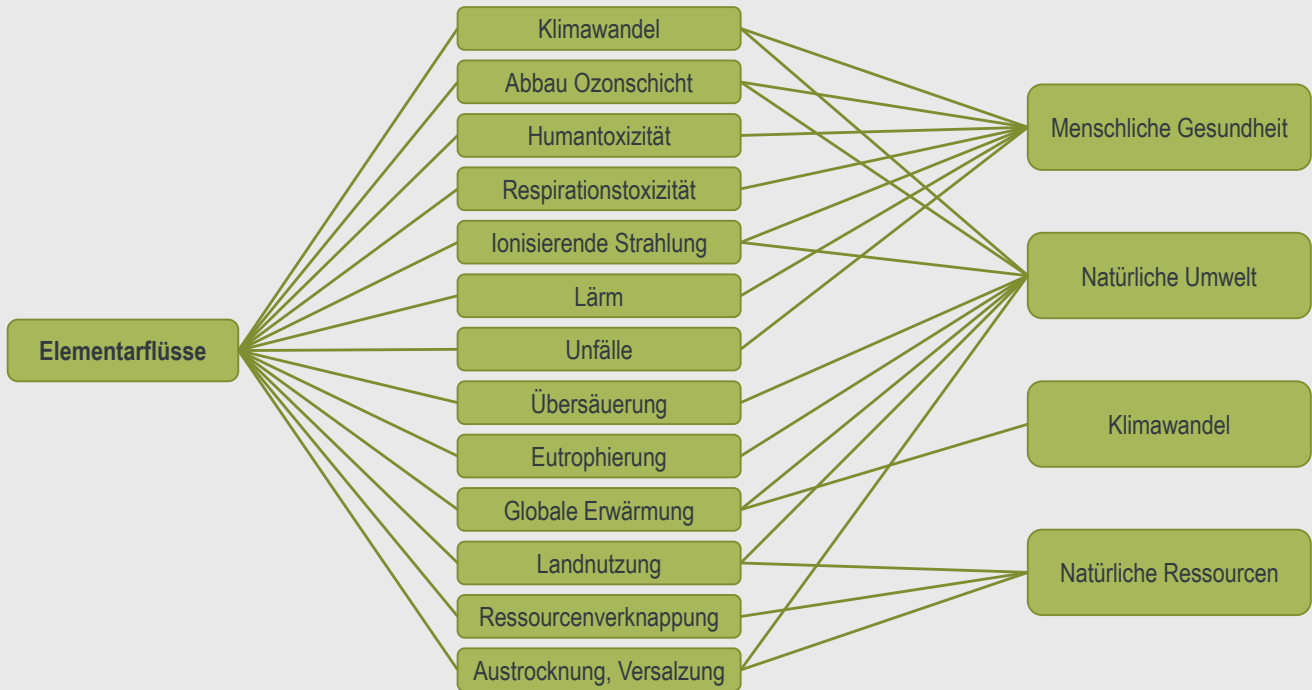


Bild 5: Schadenskategorien und Endpunktindikatoren

Faktoren in CO₂-Äquivalente umgerechnet (Bild 4). Diese Faktoren wurden abhängig vom Grad des umweltschädigenden Potentials festgelegt. So werden beispielsweise 1 kg Distickstoffoxid (N₂O, bekannt als Lachgas) 310 kg CO₂-Äquivalent² zugeordnet. Die betrachteten Elementarflüsse beeinflussen

die Umwelt in negativer Weise. Dies betrifft nicht nur umweltschädliche Gase und damit verbundene Folgen wie z. B. der Abbau der Ozonschicht oder saurer Regen, sondern beispielsweise auch Lärm, Übersäuerung oder Eutrophierung, also die Überdüngung von Gewässern (**Bild 5**). Diese verschiedenen Schadenskategorien haben wiederum Einfluss auf diverse Endpunktindikatoren wie die Gesundheit des Menschen oder den Klimawandel (**Bild 4, Bild 5**).

² IPCC (1995): Climate Change 1995, The Science of Climate Change: Contribution of Working Group to the Second Assessment Report of the IPCC, J.T. Houghton et al (eds), Cambridge University Press, Cambridge, UK.

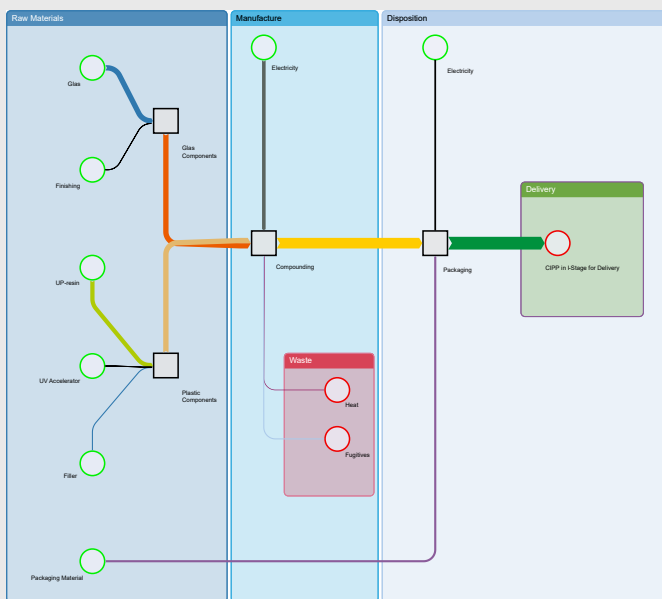


Bild 6: Material- und Energieflüsse in der LCA eines FRP-Schlauchliners („cradle-to-gate“)

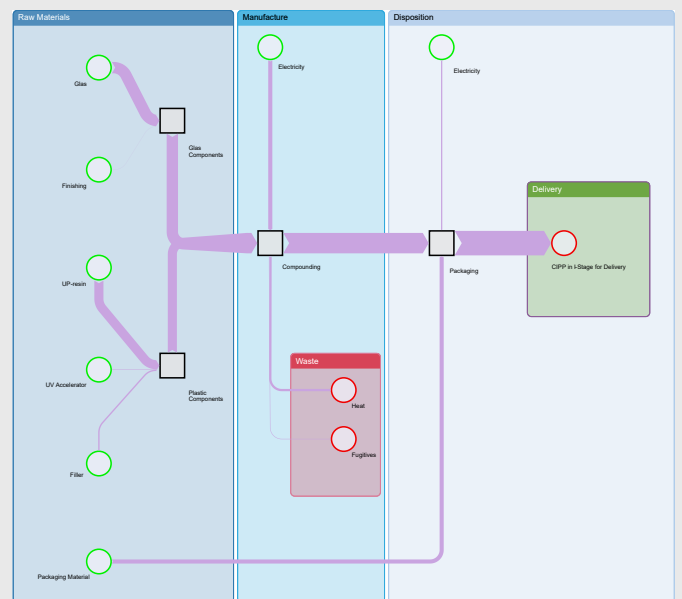


Bild 7: Elementarflüsse in der LCA eines FRP-Schlauchliners („cradle-to-gate“)

Auswertung und Interpretation der Ergebnisse

„Berühmt macht erst die Interpretation einer Leistung.“
(Stefan Schütz)

In der letzten Phase einer LCA werden die Ergebnisse der Sachbilanz-Phase (2. Phase) und des Impact Assessment (3. Phase) betrachtet. Die Ergebnisse werden dabei auf Vollständigkeit, Unsicherheiten und Konsistenz geprüft und sollen mit den Zielen der LCA und dem festgelegten Bilanzierungsrahmen übereinstimmen. Darüber hinaus werden signifikante Parameter und Hotspots bzw. Treiber in den Ergebnissen identifiziert. Sie bilden sowohl die Basis für die Ableitung von CO₂-Einparpotentials auf dem Produkt-Lebensweg als auch für entsprechende Schlussfolgerungen und Empfehlungen. LCA-Simulationsprogramme bieten zudem die Möglichkeit, durch die Anpassung einzelner Parameter verschiedene Szenarien zu analysieren: Macht es einen Unterschied, ob man den Rohstoff für einen Prozess regional einkauft (wenige Kilometer), ihn von einem anderen Kontinent bezieht (deutlich mehr als 1.000 km) oder ob der Rohstoff eine mittlere Distanz von einigen hundert Kilometern zurücklegt? Oder ist die Herstellung der Rohmaterialien selbst so energie-intensiv, dass Transport und Produktherstellung nur einen ganz geringen Einfluss auf den gesamten CO₂-Fußabdruck des Produkts haben?

In einer beispielhaften LCA wurden für die Herstellung eines FRP-Schlauchliners Glas- und Kunststoffkomponenten aus geeigneten Rohstoffen compoundiert (**Bild 6**) und anschließend die Elementarflüsse berechnet (**Bild 7**), um den CO₂-Fußabdruck des Produktes auf seinem Lebensweg „cradle-to-gate“ zu ermitteln.

LCC – LIFE Cycle Costing

Ein weiterer Vorteil der vollständigen Ökobilanzierung ist das „Bepreisen“ der für die LCI benötigten Grundprodukte, Transportwege und Energien. Werden die aktuellen Kostenfaktoren in die Berechnung eingepflegt, kann anhand der

Stoff- und Energiemengenströme auch die Kostenstruktur des betrachteten Produkt-Lebenswegs abgebildet werden. Eine LCC liefert also anschauliche Daten über die Kostenströme im jeweiligen Prozess. Somit liefert eine vollständige LCA nicht nur eine fundierte Lebenszyklus-Bewertung, sondern auch Potentiale für die Optimierung der Kostenströme ohne aufwändige „Try and Error“-Szenarien.

Ein Life Cycle Assessment in Verbindung mit einer Life Cycle Costing-Betrachtung macht also in Bezug auf die Einschätzung der Umweltauswirkungen und, zur Freude der Betriebswirte, auch zur Optimierung der Kostenstruktur uneingeschränkt Sinn.

SCHLAGWÖRTER: LCA, LCC, SLCA, LCI, Ökobilanzierung, Nachhaltigkeit, CO₂-Fußabdruck, Kreislaufwirtschaft, Life Cycle

AUTOREN

Prof. Dr. rer. nat. **JÖRG SEBASTIAN**, Dipl.-Chem.
Professor für instrumentelle Analytik und Life Cycle Analyse an der Hochschule Kaiserslautern
LCA-green
SBKS GmbH & Co. KG, St. Wendel
Tel. +49 6851 80008-30
j.sebastian@lca-green.de



KATHRIN SCHWAN, M.Sc.
LCA-green
Tel. +49 6851 80008-30
k.schwan@lca-green.de



Wir ermitteln den
CO₂ Fußabdruck
Ihres Sanierungsproduktes

LCAgreen

eine Marke der SBKS GmbH & Co. KG

Tritschlerstraße 11 · 66606 St. Wendel

✉ info@lca-green.de ☎ +49 171 63 99 711 🌐 www.lca-green.de

