

Ökobilanzierung – Methodik und Anwendung

Ein ökobilanzieller Vergleich von ortsveränderlichen, wiederbefüllbaren Flaschen aus Aluminium, Stahl und Kunststoff für Flüssiggas (LPG)

Susanne Hartard, Umweltcampus Birkenfeld, Hochschule Trier

Peter Böhm, Fachbereich Technik, Hochschule Trier

Vanessa Wilcken, Fachbereich Technik, Hochschule Trier

Einleitung

Gegenwärtige Herausforderungen wie der Klimawandel, Treibhauseffekte und saurer Regen sind die Konsequenzen jahrelanger Umweltbelastungen und jetzt schon spürbare Bestandteile unseres Alltags, die sich auf unsere Umwelt und die Gesundheit sämtlicher Lebewesen auswirken. In diesem Zusammenhang besteht insbesondere in der Industrie großes Interesse, Rohstoffverbräuche, Energieaufwendungen, Abfälle und damit verbundene Umweltbelastungen zu reduzieren.

Die Steigerung der Nachhaltigkeit von Produkten beginnt bereits im Produktdesign, insbesondere bei der Auswahl des Grundwerkstoffes, da dieser über die Art der Rohstoffgewinnung, Länge der Produktlebenszeit und Möglichkeiten der späteren Entsorgung entscheidet. In diesem Zusammenhang werden bereits viele Produkte in unterschiedlichen Werkstoffvarianten zur Verfügung gestellt; als bestes Beispiel die Getränkeflasche, die aus Mehrweg- oder Einweg-Plastik, Glas oder auch aus Aluminium in Form einer Dose erhältlich ist. Hier sind bei der Wahl auf Verbraucherseite nicht mehr nur noch Preis und Qualität, sondern auch die Nachhaltigkeit ausschlaggebend.

Ein ähnlich gehandeltes Produkt stellt der ortsbewegliche, wiederbefüllbare Druck-

behälter dar, der neben einer sicheren Lagerung von brennbaren Gasen eine einfache Handhabung beim Transport gewährleisten soll. Für die Herstellung von Druckgasflaschen dieser Art bieten sich sowohl Aluminium, Stahl als auch faserverstärkte Kunststoffe als Grundwerkstoffe an, die sich sehr in den stofflichen Eigenschaften, Gewicht, Rohstoffgewinnung, Bearbeitbarkeit und Verwertbarkeit unterscheiden. Auch hier stellt sich bei der Wahl der Behälter vermehrt die Frage nach deren Nachhaltigkeit.

Zur Beurteilung der Nachhaltigkeit von ortsbeweglichen, wiederbefüllbaren Druckgasbehältern verschiedener Werkstoffe wurde im Rahmen einer Masterarbeit an der Hochschule Trier und in Zusammenarbeit mit einem Hersteller für Druckgasbehälter auf Aluminiumbasis mit Sitz in Deutschland ein Systemvergleich erstellt, der Informationen über die ökobilanzielle Position von Druckgasflaschen dieser Materialien liefern und damit bei der ökologisch orientierten Ausrichtung von Marktstrategien unterstützen soll. Die Erkenntnisse der Ökobilanzierung sollen einen sachorientierten Dialog auf einer transparenten, aktuellen Datengrundlage über die ökologische Bewertung der untersuchten Materialien im Druckbehälterbau ermöglichen. Zielgruppe der Studie sind Verbraucher, Gashändler, Logistikunternehmen und Umweltorganisationen.

Grundlagen

Grundsätzlich gilt, dass ein Druckbehälter einen Behälter kennzeichnet, dessen Druck im Inneren über dem Umgebungsdruck liegt. Man unterscheidet hierbei zwischen den Druckbehältern, deren Betrieb einem

bestimmten Aufstellungsort zugewiesen ist und den ortsbeweglichen Druckgasflaschen, die in erster Linie zum Transport und zur Lagerung von unter Druck stehenden Fluiden eingesetzt werden.

Die im Rahmen dieser Studie untersuchten ortsbeweglichen Druckgasflaschen sind abhängig von den Umgebungsbedingungen mit den brennbaren Flüssiggasen Propan, Butan oder deren Gemischen befüllt und werden unter anderem in Handwerk und Industrie, im Freizeitbereich sowie in der Gastronomie eingesetzt. Behälter, die extremen Witterungsbedingungen ausgesetzt sind, sollten hierbei bevorzugt aus Aluminium gefertigt werden, da Aluminium eine besonders gute Korrosionsbeständigkeit und eine im Vergleich zu den anderen hier verglichenen Werkstoffen wesentlich höhere Wärmeleitfähigkeit aufweist. Da die Behälter neben der Lagerung des Füllgutes aber auch zum Transport eingesetzt werden, werden eine einfache Handhabung und ein geringes Leergewicht angestrebt, weshalb zusätzlich zu den metallischen Werkstoffen eben auch Gasflaschen aus vergleichsweise leichten Faserverbundwerkstoffen zum Einsatz kommen.

Die Auslegung der untersuchten Druckbehälter erfolgt nach standardisierten Regelwerken des Deutschen Instituts für Normung (DIN) respektive der Europäischen Normung (EN). Aluminiumdruckbehälter werden hierbei nach der DIN EN 13110 (Ortsbewegliche, wiederbefüllbare geschweißte Flaschen aus Aluminium für Flüssiggas (LPG) – Auslegung und Bau) gefertigt, Behälter aus Stahl nach der DIN EN 14140 (Ortsbewegliche, wiederbefüllbare, geschweißte Flaschen aus Stahl für Flüssiggas (LPG) - Alternative Gestaltung und Konstruktion) und Behälter auf Kunststoffbasis nach der DIN EN 14427 (Ortsbewegliche wiederbefüllbare vollumwickelte Flaschen aus Verbundwerkstoff für Flüssiggas (LPG) - Auslegung und Bau).



Abbildung 1: Typischer Aufbau von ortsbeweglichen Druckbehältern aus Stahl oder Aluminium mit Handgriffen (links) oder Ventilschutzkragen (rechts) [1].

Abbildung 1 zeigt beispielhaft den Aufbau von Druckbehältern aus Stahl und Aluminium. Der Grundkörper des Druckbehälters setzt sich aus zwei Teilen zusammen, die miteinander verschweißt sind - eine untere und eine obere Halbschale. Für die Erleichterung der Handhabung ist der Behälter an der oberen Halbschale abhängig vom Einsatzbereich beiderseits des Ventils mit zwei Handgriffen oder einem Ventilschutzkragen ausgestattet. Zur Gewährleistung der Aufnahme des Ventils, das zum Ein- und Auslassen des Füllgutes dient, ist an der oberen Halbschale eine Muffe befestigt. Ein Fußring an der unteren Halbschale ermöglicht ein aufrechtes Stehen des Behälters.

Druckbehälter aus Kunststoff setzen sich aus drei wesentlichen Komponenten zusammen, einer nahtlosen Innenverkleidung aus Polyethylen hoher Dichte (HD-PE), einem drucktragenden Zylinder aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) und einer Außenverkleidung aus HD-PE, die die spätere Handhabung des Druckbehälters ermöglicht und aus drei Teilen; dem Boden, Deckel und Grundkörper zusammengesetzt ist.

Ökobilanzierung

Methodik

Die Ökobilanz gehört zu der Gruppe der Umweltmanagement-Methoden und dient zur Abschätzung produktspezifischer potenzieller Umweltwirkungen. Ihre Prinzipien und Anforderungen sind in den ISO Normen 14040 (Grundsätze und Rahmenbedingungen) und ISO 14044 (Anforderungen und Anleitungen) festgelegt.

Die im Rahmen einer Ökobilanz durchgeführten Untersuchungen berücksichtigen den gesamten Lebensweg eines Produktes ausgehend von der Rohstoffgewinnung über die Herstellung und Distribution bis hin zur Entsorgung bzw. bis zum Recycling des Produktes am Ende der Nutzungsdauer ("von der Wiege bis zur Bahre"). Die Ökobilanz wird im englischen Sprachgebrauch auch als Life Cycle Assessment (LCA) bezeichnet.

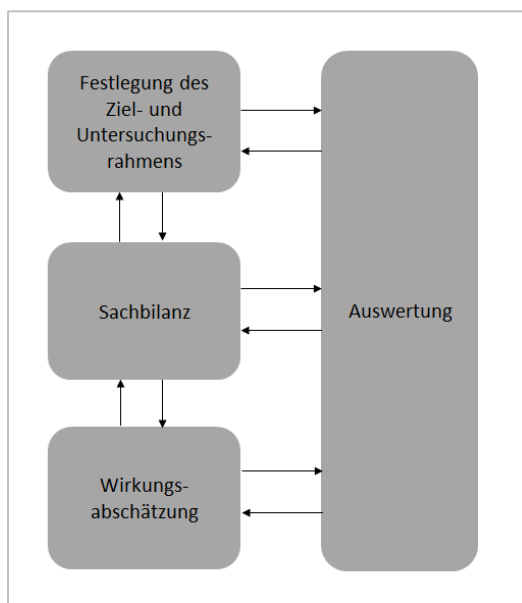


Abbildung 2: Bestandteile und Zusammenhänge einer Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040/ 14044 [2].

In der ersten Phase der Ökobilanzierung, der **Definition von Ziel und Untersuchungsrahmen**, wird festgelegt, für welchen Zweck die Bilanz durchgeführt werden soll. Des Weiteren werden Nutzen, Funktionen, Lebensweg des Produktes

sowie der technische, geographische und zeitliche Untersuchungsrahmen definiert. Abschließend wird die funktionelle Einheit bestimmt; eine produktspezifische Größe auf die sich alle Ergebnisse der Ökobilanz beziehen.

In der **Sachbilanz** werden quantitative Aussagen über den zuvor definierten Produktlebensweg gemacht, indem die Ressourcenverbräuche dem Nutzen bzw. den damit korrelierten Emissionen gegenübergestellt werden.

Im Rahmen der **Wirkungsabschätzung** werden die Sachbilanzergebnisse nach wissenschaftlich basierten qualitativen Gesichtspunkten in verschiedene Wirkungskategorien unterteilt. Das Ergebnis der Wirkungsabschätzung ist, abhängig von der festgelegten Methodologie, eine Anzahl quantitativer Umweltauswirkungen, die das Produkt verursacht.

In der letzten Phase der Ökobilanzierung, der **Auswertung**, werden unter Berücksichtigung der Zieldefinition für das Ergebnis relevante Parameter, wie einzelne Lebenswegabschnitte oder Wirkungskategorien identifiziert. Außerdem werden zur Überprüfung der Aussagekräftigkeit der Ergebnisse nach Bedarf Konsistenz-, Vollständigkeits- und Sensitivitätsanalysen durchgeführt.

Der Aufbau der vorliegenden Studie orientiert sich an den hier erläuterten vier Bausteinen der Ökobilanz.

Festlegung von Ziel und Untersuchungsrahmen

Zieldefinition

Das Ziel der Ökobilanz besteht darin, den Einfluss verschiedener Grundwerkstoffe, die für den Bau ortsbeweglicher Druckgasflaschen eingesetzt werden, auf deren Umweltauswirkungen zu untersuchen und miteinander zu vergleichen.

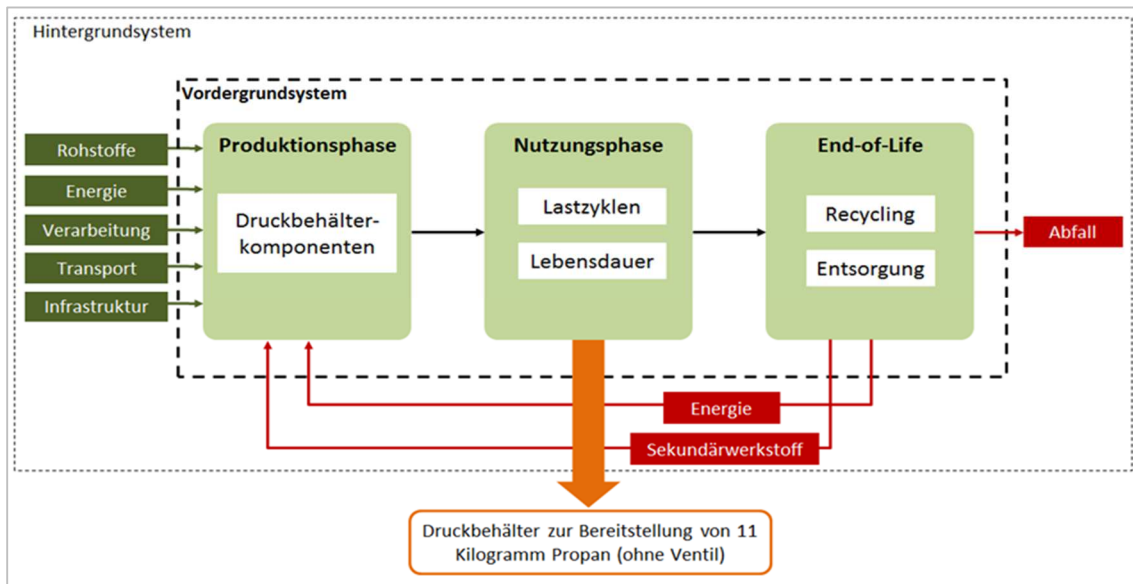


Abbildung 3: Systemfließbild der Ökobilanzierung zur Veranschaulichung der gewählten Systemgrenzen [3].

Systemgrenzen

Abbildung 3 zeigt schematisch das Systemfließbild des Herstellungsprozesses einer Druckgasflasche einschließlich der gewählten Systemgrenze.

Die Systemgrenze schließt dabei die auf das Druckbehältermaterial und dessen Bearbeitung zurückgehenden Umweltbelastungen ein. Außerdem wird festgelegt, dass Herstellung, Anwendung und Emissionen des Füllgutes, Umweltaspekte, die sich aus Aktivitäten des Verbrauchers ergeben, sowie Umweltwirkungen durch Unfälle vernachlässigt werden. Nicht in die Bilanzierung einbezogen werden außerdem unter anderem Ventil, Ventil- und Gewindeschutzkappe sowie andere Verpackungsmaterialien, da diese bei allen drei Produktsystemen als näherungsweise gleich angenommen werden.

Für die geographische Systemgrenze wird ein enger Rahmen gewählt, der Produktion, Nutzung und Vertrieb der Flaschen in erster Linie auf den europäischen Raum begrenzt. Ausläufer über diesen Bereich hinaus sind ausschließlich durch Importe der Rohstoffe (Aluminium, Stahl, Erdgas etc.) gegeben.

Funktionelle Einheit und Referenzfluss

Einer der auf dem Markt geläufigsten ortsbeweglichen Druckgasbehälter stellt ein Fassungsvermögen von rund 27 Litern zur Verfügung und gewährleistet somit die Lagerung und den Transport von rund 11 Kilogramm Propan. Als funktionelle Einheit wird darauf basierend die Masse eines Druckbehälters mit sämtlichen mit in die Bilanz einbezogenen Behälterkomponenten in Kilogramm definiert, die zur Bereitstellung von 11 Kilogramm Propan erforderlich ist.

Unter Berücksichtigung verschiedener Produktvarianten, die in dieser Studie durch die verschiedenen Behälterwerkstoffe, sowie deren Lebensdauern charakterisiert sind, erhält man die für die Datenerhebung relevanten Referenzflüsse (Tabelle 1).

Tabelle 1: Referenzflüsse der Produktsysteme unter

	Alu	Stahl	Kunststoff
Lebensdauer in [Jahre]	70	25	25
Referenzfluss in [kg]	0,0748	0,4094	0,2054

Berücksichtigung der Lebensdauer [5].

Bislang können noch keine exakten Aussagen über die Lebensdauern der verschiedenen Behälter getroffen werden. Es wird aber davon ausgegangen, dass diese aufgrund abweichender Materialeigenschaften unterschiedlich ausfallen und die Ergebnisse der Ökobilanz beeinflussen. Die Lebensdauer der Stahlbehälter wird in diesem Zusammenhang aufgrund der im Vergleich zu Aluminium wesentlich geringeren Korrosionsbeständigkeit als erheblich kürzer eingestuft. Kunststoffe unterliegen unter Einwirkung von Sonneneinstrahlung einer Veränderung der makro-molekularen Strukturen, die Verluste von mechanischen Eigenschaften mit sich ziehen können. Darauf aufbauend und unter Berücksichtigung einer Sicherheit werden die Lebensdauern der Aluminiumdruckbehälter mit 70 Jahren [4] und die der Kunststoff- und Stahldruckbehälter mit jeweils 25 Jahren angenommen.

Datenverfügbarkeit und Tiefe der Studie

Mengenangaben sämtlicher Stoff- und Energieströme, die im Produktsystem Aluminium auftreten, stammen aus Messungen erster Hand am Produktionsstandort eines Herstellers von Druckgasflaschen auf Aluminiumbasis in Deutschland.

Die Datenerhebung der mengenmäßigen Anteile der Stoffströme in den Produktsystemen Stahl und Kunststoff stellte sich im Rahmen dieser Studie als schwieriger heraus, da hier keine direkte Zusammenarbeit mit entsprechenden Herstellern und somit keine direkte Datenzugänglichkeit bestand. Die Mengenangaben der hier verwendeten Stoff- und Energieströme beruhen in erster Linie auf Annahmen und Abschätzungen, die aus verschiedenen Datenquellen ermittelt wurden.

Die Erstellung der LCA-Modelle der Produktsysteme erfolgt mit der Software Umberto ("Software für Stoffstrommanagement und Stoffstromanalysen"), die

sich auf die Datenbank ecoinvent 3.3 stützt (veröffentlicht im August 2016).

Alle in dieser Studie gemachten Angaben sind nach bestem Gewissen, jedoch ohne Gewähr für Vollständigkeit und Richtigkeit, ermittelt worden.

Sachbilanz

Im Rahmen der Sachbilanz werden die in den Produktsystemen Aluminium, Stahl und Kunststoff auftretenden, relevanten Materialmassen- und Energieströme auf der Inputseite, sowie die Produkte (erwünscht) und Kondukte (unerwünscht) auf der Outputseite analysiert, über entsprechende Prozessmodule verknüpft und darauf aufbauend mithilfe der Software Umberto Stoffstromanalysen erstellt, die einen anschließenden ökobilanziellen Vergleich der Produktsysteme ermöglichen.

Ein wesentlicher Schritt bei der Erstellung der LCA-Modelle der Produktsysteme stellt die Modellierung der End-of-Life-Phase (EoL-Phase) dar, die in erster Linie durch die Festlegung der Allokationsmethode und das in Umberto zur Verfügung gestellte Systemmodell (APOS, Cut-off) bestimmt wird.

In der vorliegenden Studie wurde für die Erstellung der LCA-Modelle das Systemmodell APOS ("Allocation at the point of substitution") gewählt, das einen Ansatz darstellt, bei dem alle Belastungen speziellen Prozessen proportional zugeschrieben werden. Bei diesem Ansatz werden im Produktsystem anders als bei der Cut-Off-Methode alle EoL-Prozesse berücksichtigt, wodurch Recycling und Entsorgung der verwendeten Materialien für die Bilanzierung relevant werden.

Für die Festlegung der Allokation, also der Zuteilung von Emissions- und Energiebeiträgen, wird angenommen, dass der Druckbehälterhersteller für die Produktion ausschließlich Primärwerkstoffe verwenden

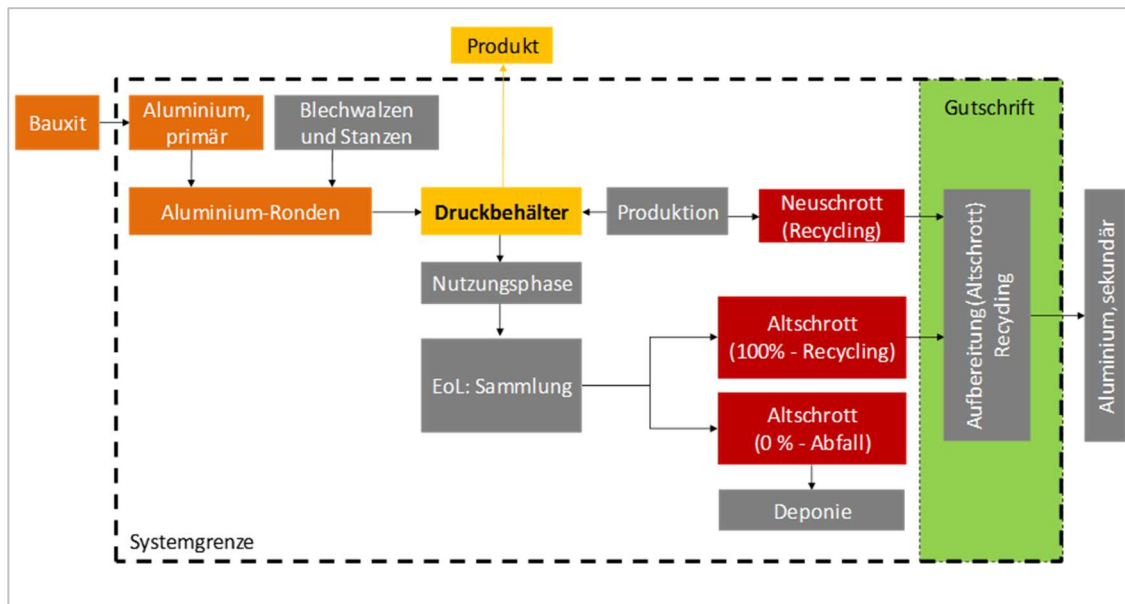


Abbildung 4: Systemfließbild im Produktsystem Aluminium unter Berücksichtigung der EoL-Modellierung [5].

det. Die Berücksichtigung der stofflichen und thermischen Verwertbarkeit der Werkstoffe erfolgt unter Berücksichtigung von Materialverlusten beim Recycling über eine Gutschrift der Verwertungsprozesse der im Verlaufe der im Lebenszyklus anfallenden Abfallmaterialien. In diesem Fall tragen die Abnehmer der Sekundärwerkstoffe die volle Verantwortung für die Umweltwirkungen der Verwertungsprozesse.

In der EoL-Modellierung werden abschließend Festlegungen für Verwertungs- und Entsorgungsprozesse der einzelnen Produktsysteme definiert. Im Hinblick auf die strengen Richtlinien zur Entsorgung von Gasflaschen wird in diesem Zusammenhang davon ausgegangen, dass 100 Prozent der Druckbehälter sowohl aus Aluminium, Stahl und Kunststoff gesammelt werden. Aufgrund der guten Recyclingfähigkeit von Aluminium und Stahl wird außerdem angenommen, dass 100 Prozent der gesammelten Druckbehälter dieser Materialien stofflich wiederverwertet werden. Beim Recycling des Aluminiums treten dabei qualitätsabhängige Materialverluste auf, die sich unter Berücksichtigung einer Sicherheit für Aluminium-Neuschrott auf maximal 2 Prozent und für Altschrott auf

maximal 5 Prozent belaufen [6]. Die Materialverluste für Stahl werden mit 5 Prozent festgelegt [7]. Da das HD-PE der gesammelten Kunststoffdruckbehälter nach dem Sortieren ebenfalls sauber und sortenrein anfällt, wird hier eine Recyclingrate von 90 Prozent angenommen [8]. Mit Inkrafttreten der technischen Anleitung für Siedlungsabfälle (TASi) ist die Deponierung von GFK-Abfällen seit 2005 verboten [9]. In diesem Zusammenhang wird angenommen, dass die GFK-struktur zu 100 Prozent der Müllverbrennung zugeführt wird.

Abbildung 4 verdeutlicht vereinfacht das der Sachbilanz zugrunde liegende Systemfließbild am Beispiel der Druckgasflasche auf Aluminiumbasis.

Wirkungsabschätzung

Abschließend werden die Sachbilanzergebnisse bestimmten Wirkungskategorien zugeordnet und Indikatorwerte berechnet, die die Umweltwirkungen in den betrachteten Kategorien verdeutlichen. Die Wahl der Wirkungskategorien erfolgt dabei nach der DIN EN ISO 14040 in Übereinstimmung mit dem Ziel und Untersuchungsrahmen der Ökobilanz.

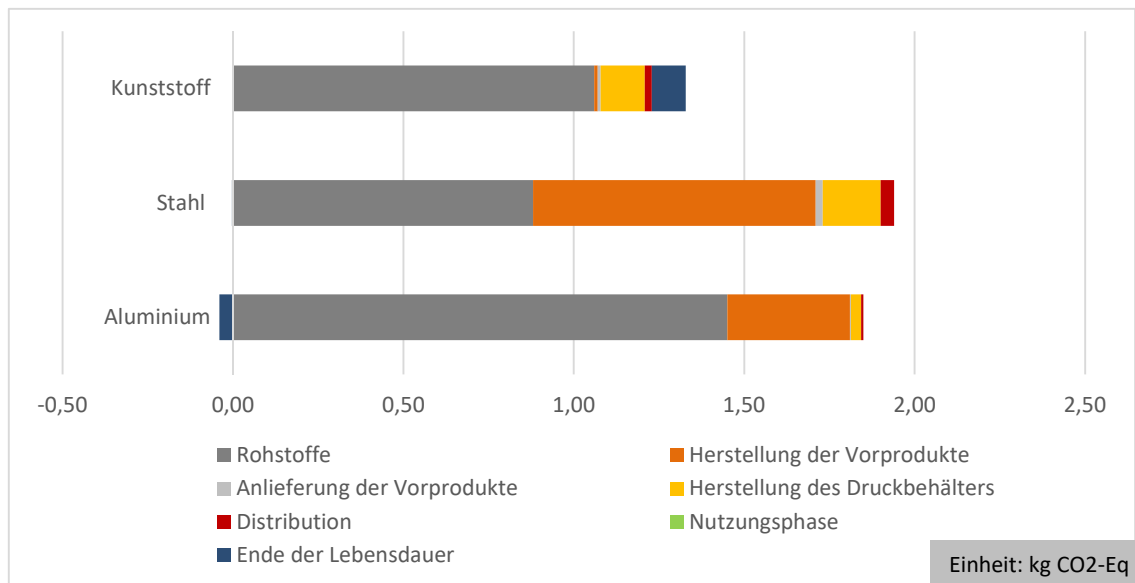


Abbildung 5: Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für die ReCiPe-Midpoint-Kategorie 'Klimawandel' [5].

Basierend auf die drei Produktsysteme bezogenen, häufig diskutierten Umweltthemen wurden im Rahmen der Studie insbesondere die Kategorien Human-toxizität, Klimawandel, marine Ökotoxizität, terrestrische Versauerung und der fossile Ressourcenverbrauch genauer untersucht. Diese Kategorien werden durch die in ecoinvent hinterlegte ReCiPe-Datenbank abgedeckt. Der Nutzer kann hierbei frei zwischen einer Wirkungsabschätzung auf Ebene von Midpoints, Endpoints (drei Endpoints 'Menschliche Gesundheit', 'Ökosystemqualität' und 'Ressourcen' fassen Midpoints zusammen) oder einem Single-Score wählen.

Ergebnisse auf Midpoint-Ebene

Die Diskussion der Umweltwirkung auf Midpoint-Ebene erfolgt am Beispiel der Kategorie 'Klimawandel' (Abbildung 5). Die Klimawirkung (Carbo-Footprint) wird hierbei in der Einheit kg-CO₂-Equivalent gemessen und beschreibt das Ausmaß der globalen Erwärmung eines Treibhausgases durch Kohlenstoffdioxid als Referenzstoff.

Aus der Gegenüberstellung geht hervor, dass die größte Klimawirkung durch den Stahlbehälter verursacht wird. Die emittierte Treibhausgasmenge der Aluminiumflasche entspricht hierbei 93 Prozent der Menge der Stahlflasche und die der Kunststoffflasche nur 69 Prozent.

Eine in diesem Zusammenhang interessante Untersuchung ist der Vergleich der Treibhausgasemissionen, die bei der Distribution der Druckbehälter anfallen, da die Stahlbehälter etwa das doppelte Gewicht im Vergleich zu den Aluminium- und Kunststoffbehältern haben (Tabelle 3).

Tabelle 2: Gesamtgewicht (Leergewicht) beim Transport der Druckbehälter auf LKWs mit 34 bzw. 40 Gestellen für jeweils 12 Flaschen über eine Strecke von 550 km innerhalb Europas [5].

	Aluminium	Stahl	Kunststoff
Gesamt-gewicht in kg (34 Gestelle)	2136	4176	2095
Gesamt-gewicht in kg (40 Gestelle)	2513	4913	2465

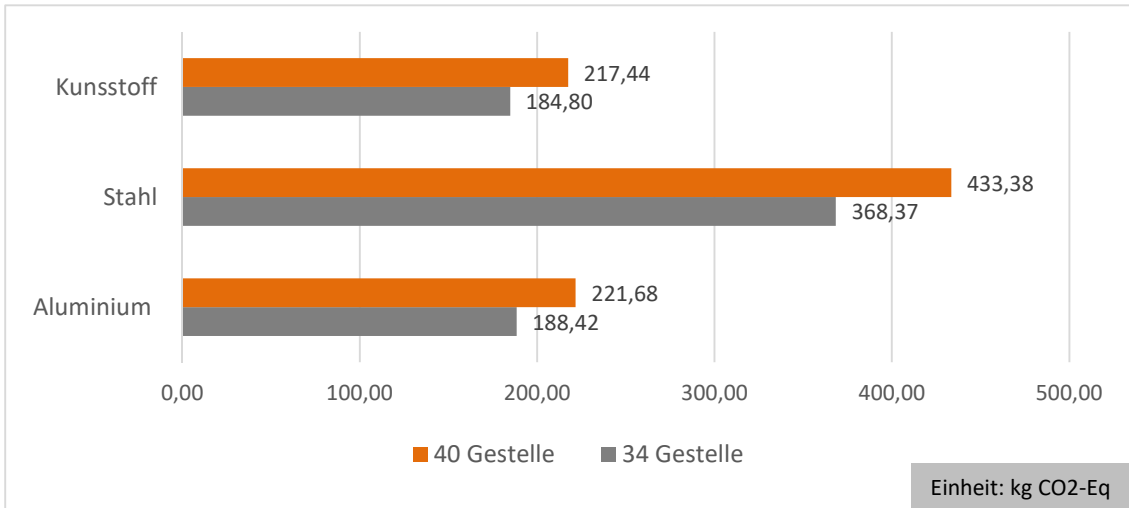


Abbildung 6: Wirkungsabschätzung auf der Midpoint-Ebene in der ReCiPe-Methode für die Kategorie 'Klimawandel' für die Distribution der Behälter in 34 bzw. 40 Gestellen mit jeweils 12 Flaschen über einer Strecke von 550 km innerhalb Europas [5].

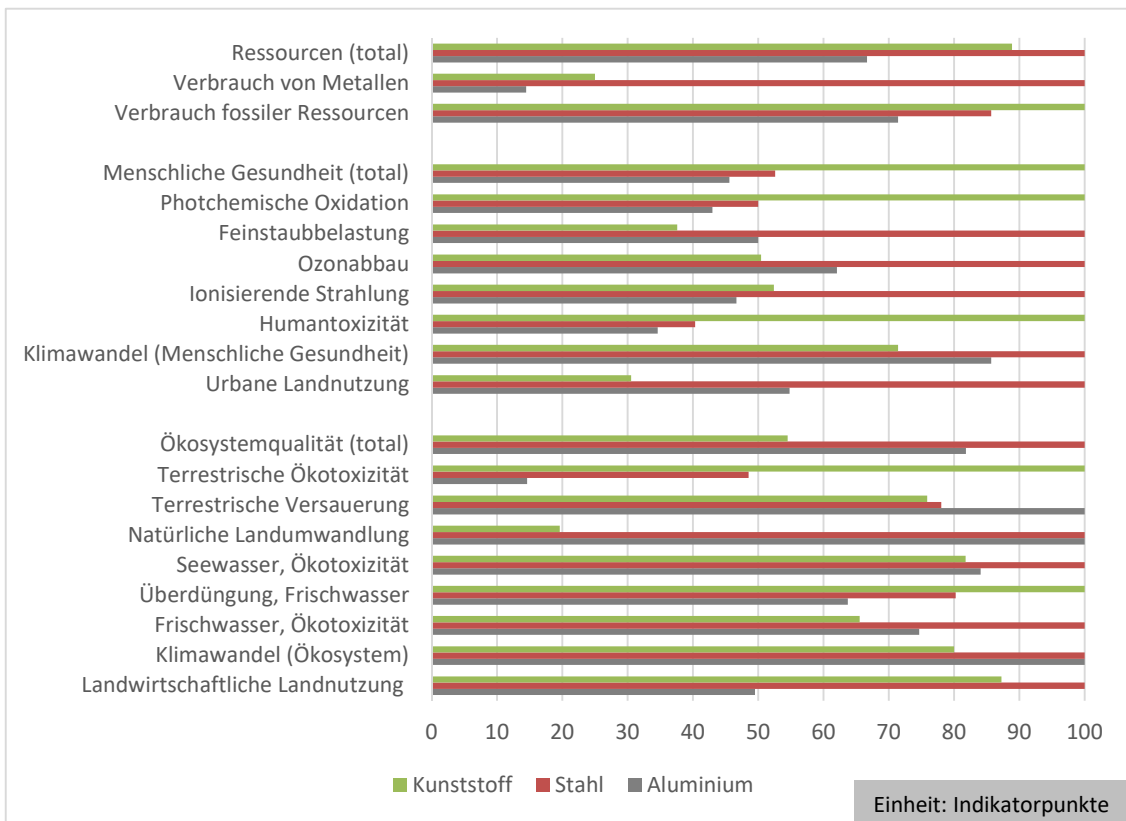


Abbildung 7: Vergleich der Druckbehältervarianten auf Basis der Endpoint-Indikatoren und unter Berücksichtigung der Lebensdauer. Ergebnisse sind prozentual dargestellt, wobei das Produktsystem mit den höchsten Indikatorwerten als Referenzwert in der jeweiligen Kategorie dient [5].

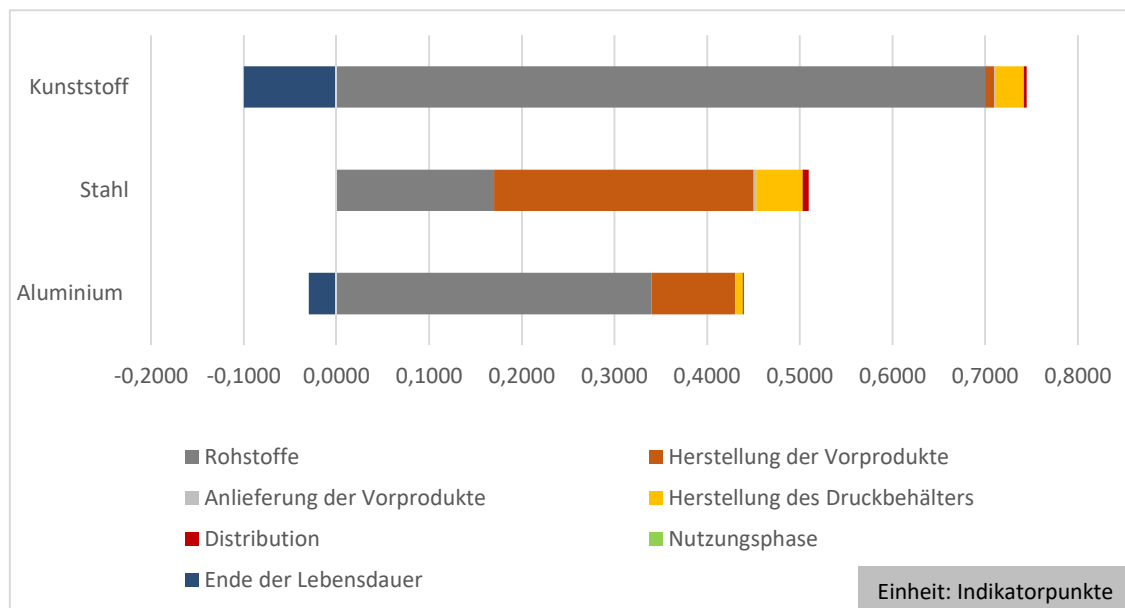


Abbildung 8: Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für die ReCiPe-Methode auf Single-Score-Ebene [5].

In Abbildung 6 sind die CO₂-Emissionen dargestellt, die bei dem Transport der Druckbehälter entstehen. Der Vergleich zeigt, dass durch das geringere Gewicht der Aluminium- und Kunststoffbehälter gegenüber dem Gewicht der Stahlbehälter beim Transport jeweils rund 50 Prozent weniger Kohlenstoffdioxid freigesetzt werden.

Ergebnisse auf Endpoint-Ebene

Der Vergleich der Ergebnisse aller Kategorien zeigt, dass Stahl in den meisten Kategorien und besonders im Bereich der Ökosystemqualität und den Ressourcenverbräuchen die höchsten Indikatorwerte aufweist (Abbildung 7). Im Bereich der menschlichen Gesundheit hingegen liegt die Wirkung der Kunststoffbehälter deutlich über der Wirkung der Stahl- und Aluminiumbehälter. Die Wirkung der Stahldruckbehälter entspricht hierbei rund 53 Prozent der Gesamtwirkung der Kunststoffdruckbehälter, die der Aluminiumdruckbehälter sogar nur 46 Prozent.

Ergebnis der Gesamtwirkung

Eine abschließende Gegenüberstellung des Single-Scores, der alle Kategorien zusammengefasst in einem Wert darstellt, zeigt, dass das Produktsystem Kunststoff im ökobilanziellen Vergleich mit Stahl und Aluminium die höchsten Indikatorwerte in der Gesamtwirkung aufweist (Abbildung 8). Die Gesamtwirkung des Produktsystems Aluminium entspricht rund 64 Prozent der Umweltwirkung der Kunststoffflaschen und die des Produktsystems Stahl 79 Prozent.

Der Vergleich zeigt deutlich, dass die Rohstoffgewinnung insbesondere bei Aluminium und Kunststoff den größten Teil an der Gesamtwirkung beiträgt. Bei Aluminium entspricht die Wirkung der Rohstoffgewinnung rund 83 Prozent der Gesamtwirkung und bei Kunststoff 108 Prozent. Bei Stahl hingegen ist der Herstellungsprozess des Druckbehälters inklusive der Halbzeuge und Vorprodukte mit 64 Prozent der Gesamtwirkung dominant, was vermutlich auf eine verhältnismäßig schwierigere Bearbeitbarkeit von Stahl verglichen mit Aluminium und Kunststoff zurückzuführen ist.

Aus der Studie geht letztlich hervor, dass Aluminium für den Großteil der in der

ReCiPe-Methode zur Verfügung stehenden Wirkungskategorien die geringste Umweltwirkung zeigt und auf Single-Score-Ebene als nachhaltigster Werkstoff für den Druckbehälterbau eingestuft werden kann; dicht gefolgt von Stahl. Kunststoff hat in der Gesamtumweltwirkung die höchsten Indikatorwerte und weist insbesondere in der Rohstoffgewinnung und in der Wirkung auf die menschliche Gesundheit prägnante Werte auf.

Sensitivitätsanalyse

In der abschließenden Sensitivitätsanalyse (Abbildung 9) werden Szenarien mit verschiedenen End-of-Life-Modellierungen verglichen, um die Aussagekräftigkeit der Ergebnisse der vorliegenden Studie beurteilen zu können.

Verglichen wird das hier bereits geschilderte Szenario (2) mit einem Szenario (3) im Cut-Off-Systemmodell und einem anderen Szenario (1) im APOS-

system berücksichtigt wird und bei dem der Druckbehälterhersteller die volle Verantwortung für Entsorgungs- und Verwertungsprozesse trägt.

In dieser Gegenüberstellung zeigt sich, dass in Szenario (2) und (3) alle drei Behältervarianten fast identische Ergebnisse erzielen, die Ergebnisse aus Szenario (1) für Kunststoffdruckbehälter hingegen deutlich positiver ausfallen (Abbildung 9). Dieser Sachverhalt basiert auf der starken Umweltwirkung der Rohstoffgewinnung im Produktsystem Kunststoff. Im Szenario (1) wird dem Druckbehälterhersteller die Recyclingfähigkeit der genutzten Werkstoffe vollständig angerechnet indem der erforderliche Primäraufwand unter Berücksichtigung der Verwertungs- und Recyclingraten durch Sekundärwerkstoff ersetzt wird. Diese Betrachtung führt soweit, dass Kunststoff hier verglichen mit Stahl und Aluminium die geringste Umweltwirkung zeigt.

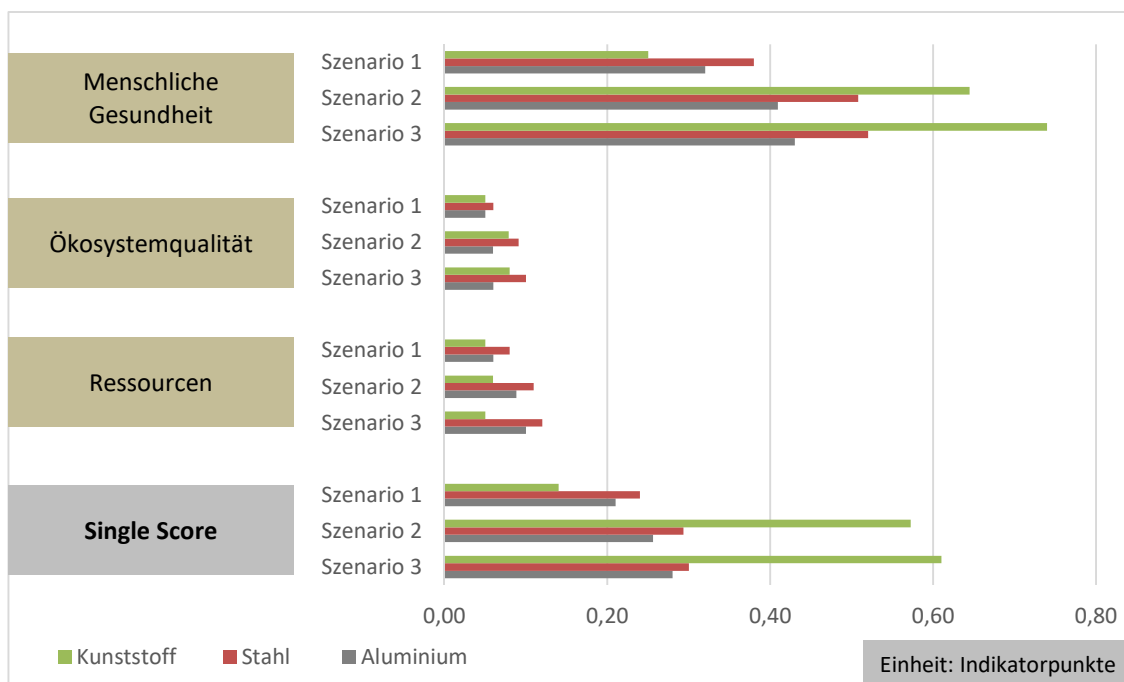


Abbildung 9: Gegenüberstellung der Ergebnisse der verschiedenen Szenarien auf Endpoint- und Single-Score-Ebene zur Untersuchung der Sensitivität der Studie [5].

Systemmodell, bei dem die Recyclingfähigkeit der Werkstoffe durch einen entsprechenden Einsatz von Sekundärwerkstoffen im Druckbehälterprodukt-

Fazit

Die vorliegende Ökobilanzierung hat gezeigt, dass Aluminium verglichen mit

Stahl und Kunststoff der nachhaltigste Werkstoff im Druckbehälterbau ist. Der hier geschilderte Sachverhalt basiert auf der Berücksichtigung unterschiedlicher Lebensdauern der Druckbehälter, die zwar auf verschiedenen, wissenschaftlich belegten Werkstoffeigenschaften, wie die Alterungsbeständigkeit, begründet sind, aufgrund fehlender Untersuchungen aber in erster Linie auf Annahmen basieren. Eine Gegenüberstellung der Produktsysteme, unter Vernachlässigung der Lebensdauer, zeigt einen signifikanten Einfluss der Nutzungsdauer auf die Ergebnisse der Ökobilanz. Aluminium weist hierbei für den Großteil der Wirkungskategorien die höchsten Indikatorwerte auf. Die Berücksichtigung der Lebensdauer ist somit wesentlich für die Ökobilanzierung der Druckbehälter und eine genaue Untersuchung der Druckbehälterlebensdauern für eine Steigerung der Aussagekräftigkeit der vorliegenden Studie von Vorteil.

Quellen – und Literaturverzeichnis

- [1] Eigene Darstellung in Anlehnung an ALUGAS, Vertrieb von Gasflaschen GmbH & Co. KG, 2016: Firmeninterne Dokumente, Bad Sobernheim.
- [2] Eigene Darstellung in Anlehnung an DIN Deutsches Institut für Normung (Hrsg.), 2006: Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006), Beuth Verlag, Berlin.
- [3] Eigene Darstellung in Anlehnung an Habermacher, Fabienne, 2011: Modeling Material Inventories and Environmental Impacts of Electric Passenger Cars, http://oldweb.empa.ch/plugin/template/empa/*/*/*109104.
- [4] In Anlehnung an Weiss, Siegbert E.; Ingenieur- und Sachverständigenbüro; 2017: Gutachten - Bewertung der Lebensdauer von Gasflaschen aus Aluminium der ALUGAS-Unternehmensgruppe.
- [5] Wilcken, Vanessa; Hochschule Trier; 2017: Ökobilanzierung – Methodik und Anwendung – Ökobilanzieller Vergleich von ortsveränderlichen, wiederbefüllbaren Flaschen aus Aluminium, Stahl und Kunststoff für Flüssiggas (LPG).
- [6] In Anlehnung an International Aluminium Institute, 2009: Global Aluminium Recycling - A cornerstone of Sustainable Development, http://www.world-aluminium.org/media/filer_public/2013/01/15/fl0000181.pdf.
- [7] In Anlehnung an Althaus, Hans-Jörg; Gauch, Marcel, 2010: Vergleichende Ökobilanz individueller Mobilität – Elektromobilität versus konventionelle Mobilität mit Bio- und fossilen Treibstoffen, http://oldweb.empa.ch/plugin/template/empa/*/*/*104369.
- [8] In Anlehnung an TOMRA, Felix Konferansesenter, Oslo, 2006: Capital Markets Day presentation material, <http://hugin.info/162/R/1087211/190366.pdf>, S. 44.
- [9] In Anlehnung an TASI (Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen - Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz), 1993: http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/tasi_ges.pdf

