

Leuphana Universität Lüneburg
Fakultät III – Umwelt und Technik

Bachelor-Arbeit
im Studiengang
B.Sc. Umweltwissenschaften

**Life Cycle Assessment als Informationsgrundlage des
Environmental Supply Chain Managements am
Fallbeispiel des Unternehmens Premium Cola**

9. Juli 2009

Geändert 19.10.2009

Vorgelegt von:
Sonja Eikmeier
Bögelstraße 41, 21339 Lüneburg
Matrikelnummer: 3000771

Erstprüfer: Prof. Dr. Andreas Möller
Zweitprüfer: Tobias Viere

Abstract

The study investigates the applicability of the instrument Life Cycle Assessment (LCA) for Environmental Supply Chain Management in theory and practice. The practical applicability is examined in a case study dealing with the beverage “Premium Cola”. In today’s economy the processes required to manufacture a product are segmented among various businesses. Environmental Supply Chain Management aims at optimising the supply chain’s environmental performance. Life Cycle Assessment offers one approach to attain that goal. The theoretical part of the study analyses the benefits and constraints of Life Cycle Assessment as an information tool for Environmental Supply Chain Management. To survey these findings, a Life Cycle Assessment for the beverage “Premium Cola” is conducted in accordance with ISO 14040–14044. The case study reveals that LCA is an adequate instrument to identify the environmentally relevant phases in the product’s life cycle. One important finding is that 75% of the total global warming potential of the product “Premium Cola” emerge from the purchasing processes and the distribution of the beverage. The greenhouse gas emissions could be reduced by purchasing sugar from organically grown sugar beets and by using light-glass bottles. While an LCA study identifies options to reduce the environmental impacts of a product it furthermore enhances the cooperation among stakeholders in the supply chain, which is crucial for successful Environmental Supply Chain Management. Nevertheless LCA should be complemented with other management instruments.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Theoretische Grundlagen	3
2.1	Life Cycle Assessment	3
2.1.1	Definition	3
2.1.2	LCA-Methodik nach DIN EN ISO 14040-14044	6
2.2	Environmental Supply Chain Management.....	9
2.2.1	Definition Supply Chain und ESCM.....	10
2.2.2	Ziele und Arbeitsbereiche des ESCM	11
2.3	Möglichkeiten und Grenzen des LCA für das ESCM.....	14
3	Fallbeispiel Premium Cola	21
3.1	Vorstellung des Unternehmens Premium Cola	21
3.1.1	Entstehung und Unternehmenskonzept	21
3.1.2	Warum LCA für Premium Cola?.....	22
3.2	Life Cycle Assessment Premium Cola	24
3.2.1	Ziel und Untersuchungsrahmen	24
3.2.2	Sachbilanz	27
3.2.3	Wirkungsabschätzung	38
3.2.4	Auswertung.....	39
4	Schlussfolgerungen	54
5	Literaturverzeichnis	57
Anhang A	Stoffstromnetz Premium Cola	63
Anhang B	Subnetz Vertrieb Premium Cola	64

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Quellen der Transitionen für Hintergrundprozesse	37
Tabelle 2: Ergebnisse der Wirkungsabschätzung bezogen auf die funktionelle Einheit 0,33l Premium Cola in einer Longneck-Glasflasche (Gewicht 0,33kg).....	40
Tabelle 3: Klimaerwärmungspotential in kg CO ₂ -Äquivalenten in den Szenarien „Konventionell angebauter Zucker“ und „Ökologisch angebauter Zucker“	48

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beiträge der ESCM-Bereiche zum Klimaerwärmungspotential	43
Abbildung 2: Beiträge der Prozesse im Bereich Einkauf zum Klimaerwärmungspotential.....	45
Abbildung 3: Beiträge der Transportabschnitte im Vertrieb zum Klimaerwärmungspotential des Vertriebs	46
Abbildung 4: Ergebnisse der Normierung: Beiträge der Umweltwirkungen einer Flasche Premium Cola zu den globalen Umweltwirkungen.....	50
Abbildung 5: Beiträge einzelner Prozesse und ESCM-Bereiche zur Aquatischen Seewasser-Ökotoxizität	51
Abbildung 6: Beiträge einzelner Prozesse und ESCM-Bereiche zum Versauerungspotential	52

Abkürzungsverzeichnis

CFC	Fluorchlorkohlenwasserstoffe
CML	Centrum voor Milieukunde Leiden
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
DCB	Dichlorbenzol
ESCM	Environmental Supply Chain Management
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISO	International Organisation for Standardization
LCA	Life Cycle Assessment
PO ₄	Phosphat
SETAC	Society of Environmental Toxicology and Chemistry
SO ₂	Schwefeldioxid
VOC	Volatile Organic Compound

1 Einleitung

Das Life Cycle Assessment (auf deutsch: Produktökobilanzierung) ist eine Methode zur Erfassung und Bewertung der von einem Produkt ausgehenden potentiellen Umweltwirkungen im Verlauf des Lebensweges des Produktes. Im betrieblichen Umweltmanagement wird es als Informations-, Planungs- und Zielverfolgungsinstrument eingesetzt, um unter anderem die Schwachstellen im Lebensweg eines Produktes offenzulegen, die Umwelteigenschaften zu verbessern, Alternativen zu vergleichen und Handlungsempfehlungen für Beschaffung, Einkauf und Entsorgung zu begründen (vgl. ISO 14040: 2). In der heutigen Wirtschaft werden Produkte kaum mehr von einem einzelnen Unternehmen an einem Produktionsstandort hergestellt. Vielmehr verteilen sich die Arbeitsschritte zur Fertigung und Auslieferung eines Produktes auf viele, rechtlich unabhängige Unternehmen. In der Folge dieser Arbeitsteilung gehen Unternehmen Geschäftsbeziehungen mit Unternehmen der ihnen vor- und nachgelagerten Wertschöpfungsstufen ein (vgl. Sommer 2007: 32). Die Komplexität dieser Beziehungen geht mittlerweile weit über bilaterale Lieferanten-Kunden-Beziehungen hinaus; es entstehen vielmehr dynamische Netzwerke von interagierenden Unternehmen, die sogenannte Supply Chain (vgl. McIntyre 2007: 250/Rebitzer 2002: 128). Das Environmental Supply Chain Management bietet ein Konzept zur Planung, Steuerung und Kontrolle der Ströme und Geschäftsprozesse in diesem Netzwerk nach ökologischen Kriterien. Das Life Cycle Assessment betrachtet alle Wertschöpfungsstufen eines Produktes. Diese Betrachtung aller Prozesse im Lebensweg eines Produktes ist auch die Grundidee des Environmental Supply Chain Managements. Daher könnte das Life Cycle Assessment eine adäquate Informationsgrundlage bilden, um die Ziele des Environmental Supply Chain Managements, nämlich die umweltverträgliche Gestaltung der Wertschöpfungskette, zu erreichen.

In dieser Studie werden die Möglichkeit und Grenzen des Life Cycle Assessments als Informationsgrundlage des Environmental Supply Chain Managements analysiert und anhand einer Fallstudie an einem konkreten Unternehmensbeispiel getestet. Es wird der Frage nachgegangen: Inwieweit eignet sich das Life Cycle Assessment als Informationsgrundlage, um die Ziele des Environmental Supply Chain Managements zu erreichen, allgemein in der Theorie und speziell in der Fallstudie?

Im theoretischen Teil dieser Arbeit werden zunächst das Life Cycle Assessment definiert und die von der International Organisation for Standardization (ISO) normierte

Methode zur Ökobilanzierung vorgestellt. Nachfolgend wird das Konzept des Environmental Supply Chain Managements definiert. Anschließend werden die Anwendungsmöglichkeiten und -einschränkungen des Life Cycle Assessments in den Arbeitsbereichen des Environmental Supply Chain Management analysiert. Hierbei wird sich auf den Stand der wissenschaftlichen Forschung gestützt. Die Anwendungsmöglichkeiten und -grenzen des Life Cycle Assessments in Unternehmen sind bereits in vielen Abhandlungen dokumentiert und die Methode ist mittlerweile standardisiert. Über eine einheitliche Definition des Environmental Supply Chain Managements steht ein Konsens hingegen noch aus. Die in dieser Studie behandelte Fragestellung, inwieweit Life Cycle Assessment mit dem Environmental Supply Chain Management verknüpft werden kann, bleibt in der zugänglichen Literatur bisher unbehandelt.

Im praktischen Teil wird ein Life Cycle Assessment in Kooperation mit dem Unternehmen Premium Cola durchgeführt. Die Methodik richtet sich nach den ISO-Normen 14040-44. Für die Erstellung des Life Cycle Assessments kommt die Software Umberto in der Version 5.5 der ifu GmbH Hamburg zum Einsatz. In der Schlussfolgerung wird abgeglichen, in welchem Umfang die theoretisch erörterten Anwendungsmöglichkeiten und -einschränkungen des Life Cycle Assessments im Praxisbeispiel Gültigkeit haben.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Life Cycle Assessment

2.1.1 Definition

Das Life Cycle Assessment ist eine Methode, um die Umweltwirkungen eines Produktes oder einer Dienstleistung zu quantifizieren und zu bewerten. Hierbei werden alle Lebensphasen des Produktes, von der Rohstoffextraktion über die Produktion, die Distribution, die Nutzung bis hin zur Entsorgung, untersucht. Es existieren unterschiedliche Definitionen des Life Cycle Assessments. Eine international bedeutende und weithin akzeptierte Definition stammt von der SETAC¹.

„Life Cycle Assessment is an objective process to evaluate the environmental burdens associated with a product, process or activity by identifying and quantifying energy and materials used and wastes released to the environment; to assess the impact of those energy and material uses and releases to the environment; and to identify and evaluate opportunities to affect environmental improvements. The assessment includes the entire life-cycle of the product, process or activity...“(SETAC 1993: 5).

Aus dieser Definition lassen sich die wichtigsten Charakteristika des Life Cycle Assessments (kurz: LCA) herauslesen.

- **Untersuchung von Umweltwirkungen eines Objekts:** Zunächst sollen alle Umweltbelastungen, die mit dem untersuchten Objekt ursächlich in Zusammenhang stehen, erfasst werden. Hierzu zählt die Belastung der Umweltmedien Luft, Boden und Wasser mit Schadstoffen, der Verbrauch von Rohstoffen, Energieträgern und Wasser sowie die Abfallproduktion. Die Emission von Lärm, die Flächenversiegelung und das Artensterben können ebenfalls als Umweltbelastungen in einem LCA aufgenommen werden. In der Untersuchung beschränkt man sich auf umweltrelevante Produktfolgen; soziale und ökonomische Auswirkungen des Produktlebenszyklus bleiben unberücksichtigt (vgl. Dold 1996: 8).

¹ SETAC: Society of Environmental Toxicology and Chemistry; unabhängige, akademische Organisation zur Forschung an Umweltproblemen. SETAC organisierte die ersten Konferenzen zum Life Cycle Assessment, in denen Forscher und Repräsentanten aus der Industrie LCA-Methoden entwickelten und diskutierten (vgl. Baumann/Tillmann 2004: 52).

- **Quantifizierung von Stoff- und Energieflüssen:** Die Grundlage der Erfassung der Umweltbelastungen ist die quantitative Erfassung der Stoff- und Energieflüsse eines Produktsystems. Die quantifizierten Flüsse zwischen dem Produktsystem und der natürlichen Umwelt dienen als Indikatoren für die Umweltwirkungen des Untersuchungsgegenstandes.
- **Bewertung:** Das LCA bleibt nicht auf der Stufe der Quantifizierung stehen. Der entscheidende Schritt ist die Bewertung der Umweltwirkungen hinsichtlich ihrer Relevanz; sie bildet die Grundlage für umweltrelevante Entscheidungen. Die Bewertung ist eigentlich kein objektiver Prozess, denn es gibt keine wissenschaftlich unanfechtbare Methode, Umweltwirkungen gegeneinander abzuwägen. Daher soll sich die Bewertung nach allgemein akzeptierten Wertmaßstäben richten (vgl. Umweltbundesamt 1992: 15).
- **Lebenszyklusorientierung:** Ein wichtiges Charakteristikum des Life Cycle Assessments ist die umfassende Betrachtung des Lebenszyklus eines Produktes. In jeder Lebensphase des Objekts werden die relevanten Stoff- und Energieflüsse von ihrer Entnahme aus der Umwelt bis zu ihrer Entlassung in die Umwelt nachverfolgt. Auf diese Weise können Verlagerungen von Umweltbelastungen zwischen Lebensphasen oder Umweltmedien erkannt und Fehloptimierungen vermieden werden (vgl. Schmidt 1995: 8).
- **Entscheidungsgrundlage:** Das Life Cycle Assessment ist ein Instrument, das im betrieblichen Umwelt- und Nachhaltigkeitsmanagement Anwendung findet. Es bildet eine Informationsgrundlage für umweltrelevante Entscheidungen. Mit seiner Hilfe soll beurteilt werden, ob eine Variante A zur Erfüllung einer bestimmten Funktion umweltfreundlicher ist als eine Variante B (vgl. Baumann/Tillmann 2004: 21). Das LCA kann somit zum Vergleich von Produkten, Systemen, Verfahren oder Verhaltensweisen herangezogen werden. Es unterstützt durch die Offenlegung von Schwachstellen die Verbesserung der Umwelteigenschaften der Produkte, den Vergleich alternativer Verhaltensweisen und die Begründung von Handlungsempfehlungen (vgl. Umweltbundesamt 1992: 17).

Begriff

Der Begriff „Life Cycle Assessment“ kann wörtlich als „Lebenszyklusbewertung“ übersetzt werden. Im Deutschen wird vor allem der Begriff „Produktökobilanz“ als Synonym zu „Life Cycle Assessment“ verwendet. Der Oberbegriff der „Ökobilanz“ umfasst allgemein die Bilanzierung von Objekten des menschlichen Wirtschaftens. Dies können

sowohl Betriebe, Prozesse und Produkte als auch Kommunen und Haushalte sein (vgl. Dold 1996: 7).

Die Bezeichnung „Bilanz“ bezieht sich nicht auf das betriebswirtschaftliche Verständnis, das heißt die Gegenüberstellung von Aktiva und Passiva, sondern auf das naturwissenschaftliche Verständnis. Nach dem physischen Bilanzprinzip, welches sich auf den ersten Hauptsatz der Thermodynamik stützt, muss in einem geschlossenen System die Summe aller Massen und Energien konstant bleiben. Dieses Prinzip wird im LCA bei der Modellierung des Produktsystems angewandt (vgl. DIN EN ISO 14041 1997: 8). Thema dieser Arbeit ist ausschließlich die produktbezogene Ökobilanzierung, welche im weiteren als Life Cycle Assessment oder Produktökobilanzierung bezeichnet wird.

Entstehung

Die erste Studie zum Life Cycle Assessment wurde 1969–1970 vom Midwest Research Institute im Auftrag des Coca-Cola-Konzerns durchgeführt. Mit dieser Studie wollte Coca-Cola die Umweltwirkungen verschiedener Getränkeverpackungen abschätzen, um eine Entscheidungsgrundlage für oder gegen die Herstellung von Getränkedosen zu erhalten. Die Studie sollte Energie- und Materialverbrauch sowie ökologische Folgen des gesamten Lebenszyklus der Verpackungen abbilden (vgl. Baumann/Tillman 2004: 45). Große Aufmerksamkeit erlangte die Methode des LCA in den 1990er Jahren. In der Industrie fand vermehrt ein Umdenken von End-of-Pipe-Technologien und Emissionskontrollen hin zu einer integrierten Betrachtung von Systemen und deren Wechselwirkungen mit der Umwelt statt. LCA erschien als eine adäquate Methode, Alternativen quantitativ zu vergleichen, um die umweltfreundlichste herauszufinden.

Die meisten der ersten Ökobilanz-Studien wurden von Unternehmen in Auftrag gegeben und zu internen Zwecken verwendet. Die Glaubwürdigkeit der Studien litt allerdings, da thematisch ähnliche Studien zu unterschiedlichen Ergebnissen gelangten und zumeist lediglich zu Marketing-Zwecken verwendet wurden (vgl. Baumann/Tillman 2004: 55). Um die Ökobilanzierung auf eine wissenschaftlich fundierte Basis zu stellen, wurden in den 1990er Jahren erste wissenschaftliche Diskussionen zu einer einheitlichen Methode der Ökobilanzierung abgehalten. 1993 wurde von der SETAC eine erste Richtlinie zur Erstellung von Ökobilanzen veröffentlicht. 1997 folgte die Standardisierung der LCA-Methode von der International Organisation for Standardization (vgl. Guinée 2002: 404). In diese Zeit fällt auch die Entwicklung von Software-Tools, Ökoinventar-Datenbanken und einheitlichen Dateiformaten. Sie sollten die Erstellung von Ökobilanzen erleichtern und eine hohe Datenqualität gewährleisten (vgl. Frischknecht

2005: 1). Trotz der Komplexität der LCA-Methode fand sie Einzug in das Umweltmanagement von Unternehmen. In diesem Kontext wird sie vornehmlich zur Unterstützung einer ökologischen Produktentwicklung und zur Prozessoptimierung eingesetzt (vgl. Schmidt 1995: 9).

2.1.2 LCA-Methodik nach DIN EN ISO 14040–14044

Die International Organisation for Standardization ist eine international tätige, private Organisation, die nationale Institutionen aus Industrie- und Entwicklungsländern einschließt. Ihr Ziel ist die Normierung einer Vielzahl von Produkten und Aktivitäten (vgl. Guinée 2002: 11). Im Rahmen der Normierung einer Reihe von Instrumenten des Umweltmanagements wurde 1994 von einem technischen Komitee eine Methode zur Durchführung von LCA-Studien erarbeitet (vgl. Guinée 2002: 404). Die Normen DIN EN ISO 14040–14044 dienen der Erstellung von Produktökobilanzen auf einer einheitlichen Grundlage. Hierbei werden Prinzipien und Anforderungen an die Erstellung von Ökobilanzen formuliert, es werden jedoch keine Methoden für die einzelnen Schritte festgelegt (vgl. DIN EN ISO 14040 1997: 4). Die Anwendung der Norm soll die Transparenz und Glaubwürdigkeit von Ökobilanzstudien erhöhen.

Der Aufbau einer Produktökobilanz setzt sich gemäß ISO-Norm aus den folgenden Schritten zusammen, die nachfolgend einzeln erläutert werden:

1. Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens
2. Sachbilanz
3. Wirkungsabschätzung
4. Auswertung

1. Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens

Die Zieldefinition gibt an, warum und zu welchem Zweck eine LCA-Studie ausgeführt wird, welche Anwendung beabsichtigt ist und an welche Zielgruppe sie sich wendet. Die Zieldefinition ist sorgfältig zu bedenken, da sie alle weiteren Schritte der Produktökobilanzierung bestimmt.

Bei der Festlegung des Untersuchungsrahmens wird zunächst die Funktion und die funktionelle Einheit des zu untersuchenden Produktsystems festgelegt. Ein Produktsystem ist hier eine Sammlung von Prozessen, die durch Stoff- und Energieflüsse miteinander verbunden sind. Inputs sind hierbei Stoffe, Energie oder Produkte, die in einen Prozess einfließen; Outputs sind jene, die einen Prozess verlassen (vgl. DIN EN ISO

14040 1997: 5). Die Funktion eines Produktsystems könnte zum Beispiel die Herstellung eines bestimmten Waschmittels sein. Um eine Bezugsgröße zu haben, auf die alle Input- und Outputflüsse und die korrespondierenden Umweltwirkungen bezogen werden, wird eine funktionelle Einheit definiert. Dies ist zum Beispiel bei der Untersuchung von Waschmitteln 100 Kilogramm saubere Wäsche. Auf diese Weise lassen sich all jene Produkte vergleichen, die diese Funktion erfüllen. Der Referenzfluss quantifiziert die Menge an Outputs, die für die Erfüllung der Funktion erforderlich sind, in diesem Fall ein Kilogramm eines Waschmittels (vgl. DIN EN ISO 14041 1998: 9).

Im Weiteren werden die Systemgrenzen des Produktsystems festgelegt, indem entschieden wird, welche Prozesse und welche Stoff- und Energieflüsse im Modell untersucht werden sollen. Das Produktsystem schließt idealerweise mit Elementarflüssen ab, das heißt, dass die Stoff- und Energieflüsse an den Systemgrenzen keine menschlich beeinflusste Umwandlung mehr erfahren. Zeitliche Aspekte, Kostengründe und der Zweck der Studie machen eventuell eine andere Festlegung der Systemgrenzen erforderlich (vgl. DIN EN ISO 14041 1998: 10). Hierzu werden Abschneidekriterien entwickelt, mit deren Hilfe Stoff- und Energieflüsse von der Bilanzierung ausgeschlossen werden, deren voraussichtlicher Beitrag zur Gesamtumweltwirkung als unwesentlich eingestuft wird.

Des Weiteren sollte festgelegt werden, welche Umweltwirkungen in der Untersuchung berücksichtigt werden sollen und welche Methode der Wirkungsabschätzung angewendet werden soll. Zudem muss bestimmt werden, welchen qualitativen Anforderungen die Daten genügen sollen und wie Umweltwirkungen in Mehrproduktsystemen den einzelnen Produkten zugeordnet werden sollen (Allokationsverfahren). Wichtig ist vor allem, dass alle Annahmen und Einschränkungen sauber dokumentiert und transparent gemacht werden (vgl. DIN EN ISO 14040 1997: 8).

2. Sachbilanz

Die Sachbilanz ist das Kernstück der Produktökobilanz. In diesem Schritt werden alle Input- und Outputflüsse quantifiziert. Hierzu wird zumeist ein Systemfließbild erstellt, das alle zu untersuchenden Module einschließlich ihrer Wechselbeziehungen darstellt. Dann werden Stoffstromdaten für die Module, das heißt Orte der Stoff- und Energie-transformation, erhoben (vgl. DIN EN ISO 14041 1998: 15). Auf der Inputseite werden hier Energie, Materialien und Wasser gesammelt; wesentliche Outputs sind Produkte, Abfälle, Abwasser und Emissionen. Inputs und Outputs, die nicht umweltrelevant sind, wie zum Beispiel Wasserdampf, werden aus der Untersuchung herausgelassen (vgl.

Baumann/Tillmann 2004: 26). Die anschließende Berechnung mit dem Referenzfluss als Bezugsgröße ermöglicht die Quantifizierung aller die Systemgrenze passierenden Stoff- und Energieströme. Diese werden auf die funktionelle Einheit bezogen und in der Sachbilanz gegenübergestellt. Die Daten sind rein quantitativ und beinhalten noch keine Bewertung. Somit lässt sich allein mit der Sachbilanz noch nicht auf die Umweltwirkungen des Produktsystems schließen (vgl. DIN EN ISO 14041 1998: 20).

3. Wirkungsabschätzung

Die quantitative Darstellung von Stoffstromdaten sagt noch nicht viel über ihre Umweltwirkungen aus, denn Materialien können sich unterschiedlich stark und in verschiedener Weise auf mehrere Umweltmedien auswirken. Deshalb werden die Sachbilanzergebnisse in der Wirkungsabschätzung hinsichtlich ihrer ökologischen Schädlichkeit eingeordnet und bewertet. Hierzu sind drei obligatorische Schritte erforderlich (vgl. DIN EN ISO 14042 2000: 5ff):

1. *Auswahl des Wirkungsabschätzungsmodells*: Zunächst muss eine Methode der Wirkungsabschätzung ausgewählt werden, die geeignete Wirkungskategorien und Indikatoren bereit stellt, um das Untersuchungsziel zu erreichen. Sollen zum Beispiel Treibhausgasemissionen eines Produktes untersucht werden, muss in der Wirkungsabschätzungsmethode die Kategorie „Klimawandel“ vorhanden sein. Weitere Kategorien sind unter anderem Ozonabbau, Eutrophierung, Versauerung und Schädigung von aquatischen Ökosystemen (vgl. Guinée 2002: 68).

2. *Klassifizierung*: Die Ergebnisse der Sachbilanz werden gemäß der Umweltwirkung, die sie verursachen, in Wirkungskategorien eingeordnet. Zum Beispiel werden Klassen von Stoffströmen gebildet, die einen Beitrag zum Klimawandel (Methan, CO₂, Lachgas) oder zur Eutrophierung (Stickstoff, Phosphat, Nitrat) leisten. Hierbei sind auch Mehrfachzuordnungen möglich. Da Stickoxide sowohl zur Bildung von fotochemischem Smog als auch zur Versauerung beitragen, werden sie in beiden Kategorien gelistet (vgl. Schaltegger 1996: 6).

3. *Charakterisierung*: Die Stoffströme jeder Kategorie werden in Äquivalente einer Referenzsubstanz umgerechnet, welche die spezifische Umweltwirkung für diese Kategorie ausdrückt. In der Kategorie Klimawandel wäre die Referenzsubstanz zum Beispiel CO₂. Die Stoffströme würden auf diese gemeinsame Einheit umgerechnet werden. In der Berechnung wird berücksichtigt, dass zum Beispiel Methan und Lachgas eine wesentlich stärkere Klimawirkung als CO₂ haben. Das Ergebnis der Berechnung ist ein numerischer Wert für jeden Indikator, zum Beispiel Erderwärmungspotenzial in Kilo-

ogramm CO₂-Äquivalenten. Zu beachten ist, dass immer nur Aussagen über die potentielle nicht die tatsächliche Wirkung von Substanzen in der Umwelt getroffen werden, da die geografische Ablagerung von Substanzen und die unterschiedliche Sensitivität von Regionen auf Stoffe nicht berücksichtigt wird. Somit wird immer die maximale Umweltschädlichkeit von Substanzen beschrieben (vgl. Baumann/Tillmann 2004: 140f). Im Rahmen der Wirkungsabschätzung kann optional eine Normierung, Ordnung und Gewichtung der Indikatoren erfolgen. So können Indikatoren auf Referenzwerte bezogen werden (beispielsweise der Anteil am weltweiten Beitrag zu einer Umweltwirkung) oder eine Rangbildung von Wirkungsindikatoren erfolgen. Diese Schritte beruhen auf Werthaltungen und sind stark subjektiv geprägt (vgl. DIN EN ISO 14042 2000: 12f).

4. Auswertung

Die Auswertung ist ein systematisches Verfahren, um die Ergebnisse der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung zu überprüfen, Einschränkungen zu erläutern und schließlich Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen abzuleiten. Die Ergebnisse sollen strukturiert und in verständlicher Form präsentiert werden.

Bestandteil der Auswertung ist zunächst die Identifizierung der Parameter, von denen signifikante Umweltwirkungen ausgehen. Dann erfolgt eine Vollständigkeitsprüfung der Daten. Eventuell können Sensitivitätsanalysen durchgeführt werden, bei denen Parameter verändert werden und die Zuverlässigkeit der Ergebnisse überprüft wird. In der Konsistenzprüfung wird überprüft, ob sich Annahmen, Methoden und Daten in Übereinstimmung mit dem Ziel und dem Untersuchungsrahmen befinden. Schließlich werden Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen gezogen und Handlungsempfehlungen ausgesprochen. Bestandteil der Auswertung kann auch ein zielgruppenorientierter, transparenter Bericht über die Studie sein (vgl. DIN EN ISO 14043 2000: 4).

2.2 Environmental Supply Chain Management

In der Wirtschaft zeigt sich eine zunehmende Spezialisierung der Unternehmen auf spezifische betriebliche Tätigkeiten. Um ein Endprodukt, wie ein Produkt oder eine Dienstleistung, zu erschaffen, vernetzen sich immer mehr Unternehmen in der sogenannten Supply Chain (vgl. Sommer 2007: 32). Supply Chain Management ist ein Konzept zur Planung, Steuerung und Kontrolle der Ströme und Geschäftsprozesse im Netzwerk von Akteuren entlang der Wertschöpfungskette. Das Ziel des betriebswirtschaftlichen Supply Chain Managements ist die effiziente Organisation von Nachfrage und Angebot

in und zwischen Unternehmen (vgl. Ayers 2006: 10). Dies umfasst unter anderem die effiziente Organisation der Lagerbestände, Gewährleistung von pünktlichen Auslieferungszeiten und die Produktentwicklung (vgl. Sarkis 2008: 281). Eine rein betriebswirtschaftliche Betrachtung der Supply Chain ist vor dem Hintergrund einer nachhaltigen Entwicklung nicht mehr ausreichend, weshalb das Environmental Supply Chain Management die ökologische Dimension in die Organisation der Wertschöpfungskette einbezieht.

In diesem Kapitel wird das Konzept des Environmental Supply Chain Managements vorgestellt. Zunächst wird der Begriff der Supply Chain und das ESCM definiert und die Zielsetzungen und Arbeitsbereiche des Environmental Supply Chain Managements werden vorgestellt. Im Abschnitt 2.3 werden die Möglichkeiten und Grenzen des Life Cycle Assessments für ein Environmental Supply Chain Management theoretisch erörtert.

2.2.1 Definition Supply Chain und ESCM

Die Supply Chain umfasst alle Akteure, die an der Schaffung eines Nutzens (Produkt oder Dienstleistung) für den Endkunden beteiligt sind (vgl. Darnall et al. 2008: 33). Die Begriffe „Supply Chain“ und „Wertschöpfungskette“ werden von manchen Autoren voneinander abgegrenzt (vgl. Sommer 2007: 25). In dieser Arbeit werden die Begriffe aber synonym verwendet, zumal sich die Definitionen dieser Begriffe sehr ähnlich sind: Die Wertschöpfungskette umfasst alle Teilsysteme und Vorgänge, die zur Entstehung eines Produktes erforderlich sind (vgl. Mugler 1999: 263). Die Supply Chain zeichnet sich durch längerfristige, intensive und partnerschaftliche Beziehungen zwischen Unternehmen aufeinander folgender Wertschöpfungsstufen aus, die gemeinsame, vornehmlich ökonomische Zielsetzungen verfolgen. Zur Erreichung dieser Zielsetzungen kommunizieren und interagieren die Unternehmen themenfokussiert, treffen bewusste Absprachen und stimmen ihr Verhalten aufeinander ab. Die einzelnen Unternehmen behalten hierbei ihre rechtliche und wirtschaftliche Unabhängigkeit (vgl. Sommer 2007: 27).

In der Supply Chain findet ein Fluss von Materialien, Produkten, Informationen und Finanzmitteln statt. Da Umweltwirkungen in erster Linie von materiellen Strömen verursacht werden, sind zentrale Betrachtungsgegenstände des ESCM die Wertschöpfungsprozesse, die sich durch Aufnahme, Transformation und Abgabe physischer Ströme auszeichnen (vgl. Sarkis 2008: 282). Das Environmental Supply Chain Manage-

ment, oft auch als „Green Supply Chain Management“ bezeichnet, ist eine Weiterentwicklung des betriebswirtschaftlichen Konzepts des Supply Chain Managements um ökologische Zielsetzungen. Das Managementkonzept hat zum Ziel, die Umweltverträglichkeit von Produkten und/ oder die Umweltleistung von Managementpraktiken in Unternehmen der Supply Chain zu verbessern (vgl. Kogg 2004: 36). ESCM ist ein integrativer, produktorientierter Managementansatz, welcher alle up- und downstream-Prozesse im Lebensweg eines Produktes betrachtet (vgl. Rebitzer 2002: 128). Hierdurch spielt das Managementkonzept in eine Vielzahl von Feldern und Disziplinen eines Unternehmens wie Einkauf, Vertrieb, Logistik, Produktionstechnik und Marketing hinein (vgl. Sarkis 2008: 281).

2.2.2 Ziele und Arbeitsbereiche des ESCM

Zentrales Ziel des Environmental Supply Chain Managements ist die Reduktion von direkten und indirekten Umweltwirkungen entlang der Supply Chain bei gleichzeitiger Aufrechterhaltung oder Verbesserung der ökonomischen Lebensfähigkeit des Unternehmens (vgl. Mezher/Ajam 2006: 76).

Die Motivation eines Unternehmens, Environmental Supply Chain Management zu betreiben, kann verschiedene Ursachen haben. Wichtige Antriebskraft ist sicherlich die Erkenntnis von Gesellschaft und Managern, dass Unternehmen nicht in einem Vakuum operieren und die Umweltwirkungen ihrer Geschäftstätigkeiten weit über die eigenen Betriebsgrenzen hinausreichen. Ressourcenverbrauch sowie Abfall- und Emissionsaufkommen von Supply Chains sind eine der Hauptursachen von Umweltproblemen (vgl. Sarkis 2008: 281). Vor dem Hintergrund einer langfristigen Existenzsicherung und einem Erhalt der Wirtschaftsgrundlage ist der Einbezug umweltrelevanter Stoffströme in das Unternehmensmanagement unabdingbar (vgl. Sommer 2007: 7). Die Einführung eines ESCM kann extern motiviert sein, zum Beispiel durch Forderungen von Stakeholdergruppen. Viele Unternehmen erhoffen sich aber auch Wettbewerbsvorteile und die Reduktion von Kosten beispielsweise durch die Senkung des Material- und Energieverbrauchs sowie des Transportaufkommens (vgl. Kogg 2004: 32; Schaltegger et al. 2002: 113).

ESCM birgt durch seinen produktlebenszyklusorientierten Ansatz großes Potenzial zur Erreichung dieser Ziele. Die Arbeitsbereiche des ESCM sollen im Folgenden kurz dargestellt werden.

Produktentwicklung

Die Produktentwicklung ist die Weiter- oder Neuentwicklung von Produkten und fällt in den Bereich Forschung, Entwicklung und Konstruktion. In der Forschung und Entwicklung wird eine Grundidee des Produktes erarbeitet und in der Konstruktion bis zur Fertigungsstufe konkretisiert (vgl. Bültmann 1997: 32). Die mit einem Produkt verbundenen Umweltbeeinträchtigungen werden zu 70% in diesem Schritt festgelegt (vgl. Osterhuis et al. 1996: 229). Die Vermeidung dieser Umweltbeeinträchtigungen erfordert die Zusammenarbeit der Unternehmensabteilungen und die Einbindung von Lieferanten und Kunden. Eine Möglichkeit des ESCM ist die Bildung von Produktdesignteams, in welchen Repräsentanten aus verschiedenen Unternehmensabteilungen sowie Lieferanten und Kunden die potenziellen Umweltwirkungen des Produktes auf Basis von Lebenszyklusanalysen diskutieren und das Produkt entsprechend den Erkenntnissen gestalten (vgl. Darnall et al. 2008: 36).

Einkauf

Der Einkauf umfasst die Beschaffung der Materialien von Lieferanten, die zur Herstellung des Produkts benötigt werden. In diesem Bereich werden im Wesentlichen Entscheidungen bezüglich der Lieferanten- und Materialauswahl getroffen. Er schließt auch Verhandlungen von Preisen und Lieferungszeiten sowie Entscheidungen über die Auslagerung von Produktionsaktivitäten mit ein. Im ESCM werden Materialien und Lieferanten nach ökologischen Kriterien ausgewählt. Beispielsweise können Entscheidungen über die Verwendung von neuen oder recycelten Rohstoffen getroffen werden. Häufig werden Qualitätsanforderungen, wie das Vorhandensein eines zertifizierten Umweltmanagementsystems, an Lieferanten gestellt (vgl. Sarkis 2008: 284f; Darnall et al. 2008: 33). Insbesondere Dienstleistungsunternehmen, die selbst kaum Umweltwirkungen haben, können durch ihre Einkaufsentscheidungen die Supply Chain beeinflussen (vgl. McIntyre 2007: 240).

Produktion

Die Produktion ist die Zusammenfügung und Transformation aller Materialien zum fertigen Produkt. Hierbei gelangen zumeist lediglich 10% der eingesetzten Ressourcen ins Produkt, 90% sind Abfall (vgl. McIntyre 2007: 243). Aufgabe des ESCM ist demnach eine Steigerung der Ressourcen- und Energieeffizienz. Obwohl die Produktionsprozesse weitgehend durch das zu fertigende Produkt vorgegeben sind, können ökologische Optimierungen erreicht werden, zum Beispiel durch größtmögliche Energieeffizienz der

Verfahren, interne Stoffkreisläufe und Recyclingprozesse sowie durch Substitution von bedenklichen Hilfs- und Betriebsstoffen (vgl. Bültmann 1997: 34).

Distribution

In diesem Arbeitsbereich sind Entscheidungen über die Wahl der Transportmittel oder der Spediteure, über Transportverpackungen, über Auslieferungszeiten sowie den Bau von Lagerhäusern oder „just-in-time“-Lösungen zu treffen. Hier muss oft zwischen ökonomischen Kriterien, wie Schnelligkeit und Pünktlichkeit der Auslieferung, Qualität und Kosten, und ökologischen Kriterien abgewogen werden (vgl. Sarkis 2008: 288). Der Flächenverbrauch beim Bau und der Energieaufwand bei der Unterhaltung von Lagerhäusern steht beispielsweise den Emissionen eines vermehrten Transportaufkommens bei „just-in-time“-Auslieferungen gegenüber. Im ESCM müssen diese Zielkonflikte bedacht werden. Generell können Umweltwirkungen dadurch reduziert werden, dass das Transportaufkommen durch direkte Routen, kurze Entfernungen und einen möglichst großen Auslastungsgrad der Transportmittel gering gehalten wird. Zudem sind emissionsarme Transportmittel zu wählen und zum Beispiel Straßenverkehr teilweise auf die Schienen zu verlagern. Das Abfallaufkommen kann durch die Verwendung wiederverwendbarer Transportverpackungen reduziert werden (vgl. McIntyre 2007: 244f).

Marketing und Nutzung

Das Marketing dient dazu, das Produkt am Markt zu platzieren und seine Vorteile gegenüber Konkurrenzprodukten herauszustellen (vgl. Bültmann 1997: 37). Die primären Kriterien eines Kunden zum Kauf eines Produktes sind Preis, Qualität und Bequemlichkeit; ökologische Kriterien sind bisher eher nachrangig. Im ESCM müssen Kunden über die Umweltauswirkungen von Produkten aufgeklärt werden und die Umweltfreundlichkeit des eigenen Produkts leicht verständlich, beispielsweise durch Öko-Label², dargestellt werden (vgl. Sarkis 2008: 287). In der Nutzungsphase von Produkten treten oft große ökologische und soziale Auswirkungen auf. Daher ist es Aufgabe des ESCM die Kundenbeziehungen über den Kauf hinaus zu pflegen, über die korrekte Nutzung und Entsorgung des Produktes zu informieren und zum Beispiel Wartungs- und Reparaturservice anzubieten (vgl. McIntyre 2007: 246f).

² Ökolabel sind Logos auf Produktverpackungen, welche die Einhaltung von bestimmten Umweltstandards zertifizieren (vgl. Schaltegger et al. 2002: 75).

Rückführung/ Entsorgung

Am Ende der Nutzungsphase von Produkten werden Produkte oder Materialien in vorgelagerte Stufen der Supply Chain zurückgeführt, hier wiederverwendet oder recycelt, oder sie werden entsorgt. Die Rückführung von Produkten und Materialien umfasst die Sammlung, Trennung, Verdichtung oder Demontage, Aufbereitung, Auslieferung und letztlich die Integration der Stoffe in Produktionsprozesse (vgl. Dyckhoff et al. 2004: 17). Bei der Entsorgung werden Stoffe aufbereitet und verbrannt oder deponiert. Die Entscheidung zwischen Rückführung oder Entsorgung von Produkten ist im ESCM nicht immer eindeutig. Entscheidend ist hier, ob das Produkt bereits in der Produktentwicklung nach Kriterien der Wiederverwertbarkeit oder Recyclingfähigkeit gestaltet wurde und ob eine effiziente Logistik zur Rückführung der Produkte besteht (vgl. McIntyre 2007: 247). Andernfalls könnte der Energieaufwand zur Wiederaufbereitung von Produkten unverhältnismäßig hoch sein. Zudem besteht generell das Problem, dass die Transportentfernungen der Rückführung die Entfernungen zur Verbrennungsanlage oder Deponie um ein Vielfaches übersteigen (vgl. Sarkis 2008: 288).

2.3 Möglichkeiten und Grenzen des LCA für das ESCM

Das ESCM ist ein produktorientierter Managementansatz, der ein Denken weit über die eigenen Unternehmensgrenzen hinaus erfordert. Dieses Systemdenken erhöht zwar die Komplexität von Managemententscheidungen, ermöglicht aber das Erkennen von Trade-offs und damit das Finden einer optimalen Lösung (vgl. Rebitzer 2002: 129). Das LCA bietet eine Methode, um die Umweltwirkungen sowohl des eigenen Einflussbereiches als auch jene der Zulieferer und entfernter Industrien zu erfassen (vgl. Baumann/Tillmann 2004: 313). Die Grundfunktion des LCA ist die Bereitstellung von Informationen über die Prozesse der Supply Chain und die Vorbereitung ökologieorientierter, produktbezogener Entscheidungen. Sie kann somit als Informationsgrundlage für die Ziele des ESCM, nämlich der Optimierung von Produkten nach ökologischen Kriterien, dienen.

Die Anwendungsmöglichkeiten und -grenzen des LCA in den Arbeitsbereichen des ESCM sollen im Folgenden dargestellt werden.

Produktentwicklung

Bei der Weiterentwicklung eines Produktes lassen sich mit Hilfe einer Produktökobilanzierung die derzeit mit dem Produkt verbundenen Stoff- und Energieströme feststel-

len. Auf diese Weise lassen sich Informationen über die Vorprodukte und Vorketten des Produktes gewinnen, die vielen Unternehmen weitgehend unbekannt sind (vgl. Frings 1995: 27). Ökologische Schwachstellen und Verbesserungspotenziale in der Supply Chain können mit einem LCA identifiziert und als Basis für die Gestaltung von umweltfreundlichen Produktvarianten genutzt werden. Es ist meist nicht möglich, alle Umweltbeeinflussungen gleichermaßen zu reduzieren, sodass es zu Zielkonflikten zwischen verschiedenen Reduktionsmöglichkeiten bei den Produktvarianten kommen kann. Im LCA-Modell lassen sich die Umweltbeeinflussungen verschiedener Produktvarianten mit der Modellierung von Szenarien abschätzen und herausfinden, welcher Effekt sich insgesamt auf die Umwelt ergibt (vgl. Bültmann 1997: 32).

Hierbei ist zu beachten, dass das LCA im Fall von Zielkonflikten zwischen der Reduktion von Umweltwirkungen keine objektive Entscheidungsgrundlage liefert. Die Festlegung von Prioritäten bei der Behandlung von Umweltwirkungen – beispielsweise die Frage, ob Treibhausgasemissionen oder Nitrateinträgen ins Trinkwasser größere Bedeutung zukommt – ist kaum naturwissenschaftlich zu begründen und sollte daher auf allgemein anerkannten Wertmaßstäben beruhen (vgl. Schaltegger/Sturm 1994: 72). Das LCA berücksichtigt lediglich ökologische Auswirkungen des Produktes. Ökonomische Aspekte wie Kosten und Marktforschungsergebnisse oder soziale Aspekte wie Arbeitslosigkeit und Menschenrechtsverletzungen werden in der Analyse ausgeklammert. Daher sollte das LCA nicht alleinige Grundlage für Entscheidungen bezüglich der Gestaltung eines Produktes sein (vgl. Guinée 2002: 407).

Bei der Neuentwicklung von Produkten kann ein LCA nur begrenzt hilfreich sein. Die Abschätzung von Umweltbeeinflussungen mit Hilfe eines LCA ist erst möglich, wenn die mit dem Produkt verbundenen Input- und Output-Ströme bekannt sind. Dies ist in der Entwicklungsphase noch nicht der Fall. Detaillierte Informationen sind aber gerade in dieser Phase wichtig, da die Möglichkeiten der Einflussnahme auf spätere Umweltwirkungen noch relativ hoch sind. Für diese Phase eignen sich andere Managementinstrumente wie zum Beispiel Checklisten mit ökologischen Kriterien für die Materialauswahl besser (vgl. Bültmann 1997: 33f).

Einkauf

Eine LCA-Studie verhilft dazu, Informationen über die Produktkomponenten zu erhalten und kann jene Komponenten ausfindig machen, die aus ökologischen Gesichtspunkten ersetzt werden sollten. Zudem kann mit einer Produktökobilanzierung die Umweltrelevanz der verschiedenen Lebenswegabschnitte des Produktes beurteilt werden. Die

Analyse bildet somit einen Ansatzpunkt, um mit den entsprechenden Lieferanten eine Verbesserung der Gesamtbilanz zu erarbeiten (vgl. Dold 1996: 72). Die für eine LCA-Studie notwendigen umweltrelevanten Informationen vor- und nachgelagerter Wertschöpfungsstufen sind allerdings nur unter der Mitwirkung der beteiligten Lieferanten zu erlangen (vgl. Frings 1995: 22). Hier wirken unter Umständen mehrere Faktoren begrenzend auf die LCA-Studie: Die Aussagekraft eines LCA hängt wesentlich von der Datengrundlage ab. Ein LCA, welches alle Vorketten analysiert, erfordert einen sehr hohen zeitlichen und finanziellen Aufwand, welcher von vielen Unternehmen, insbesondere kleinen und mittelständischen Unternehmen, nicht zu leisten ist (vgl. Dold et al. 1996: 108). Mangelnde Motivation und Kooperationsbereitschaft seitens der Lieferanten sowie eine schlechte Organisation des Austausches zwischen den Akteuren können zusätzlich die Beschaffung detaillierter LCA-Daten behindern oder verhindern. Oft bestehen auch Bedenken bezüglich der Vertraulichkeit von Daten, da in die Produktökobilanz betriebsinterne, differenzierte und teils sensible Daten einfließen (vgl. Schmidt 1995: 9). Diese begrenzenden Faktoren können im ESCM allerdings auch als Möglichkeiten gesehen werden. Eine LCA-Studie kann als Anlass genutzt werden, um die Kommunikation und Kooperation zwischen den Akteuren der Supply Chain zu verbessern. Beispielsweise könnten die LCA-Daten zum Aufbau einer betriebsübergreifenden Datenbank dienen und im Rahmen eines Umweltinformationssystems den Austausch umweltrelevanter Daten fördern und Umweltmanagemententscheidungen unterstützen (vgl. Nisius et al. 1998: 40).

Produktion

Ineffizienzen bei der Ressourcen- und Energienutzung in Produktionsprozessen können mit Hilfe von Produktökobilanzen aufgedeckt werden. Ebenso können mit einem LCA jene Produktionsprozesse, von denen die meisten Umweltwirkungen ausgehen, identifiziert werden. Dies kann allerdings nur geschehen, wenn die auf das Produkt bezogenen Input- und Outputströme nach einzelnen Modulen erfasst werden (vgl. Bültmann 1997: 35). Die Produktionsprozesse des eigenen Unternehmensstandortes sind anhand einer betrieblichen Ökobilanz, welche die Stoffströme innerhalb des Betriebes mit dem Werkszaun als Systemgrenze analysiert, relativ gut zu erfassen.

Problematisch bei einer Produktökobilanzierung ist die Allokation der Umweltwirkungen der Produktionsprozesse auf ein einzelnes Produkt. Bei manchen Produktionsprozessen entstehen neben dem erwünschten Produkt gleichzeitig andere nutzbare Produkte, sogenannte Kuppelprodukte. Der Ressourcen- und Energieverbrauch muss den ein-

zelen Produkten von Kuppelprozessen zugerechnet werden. Zur Allokation kann zum Beispiel das Verhältnis der Masse, der Heizwerte oder der finanziellen Werte benutzt werden. Die Ergebnisse der Allokationsberechnungen können sehr stark variieren und die Wahl der Allokationsmethode beeinflusst damit das Gesamtergebnis des LCA erheblich (vgl. Mampel 1995: 142).

In einem LCA werden Input- und Outputströme immer in einer linearen Beziehung zueinander modelliert. Auf Grund dieses Proportionalitätsprinzips lassen sich Aspekte der Kapazitätsauslastung von Maschinen und Prozesse, bei denen der Ausstoß eines umweltgefährlichen Stoffes nicht linear vom Produktionsvolumen abhängt, im Rahmen des Life Cycle Assessments nicht direkt abbilden (vgl. Möller 2008: 103).

Wegen der überregionalen Ausrichtung des LCA eignet es sich nicht zur Abschätzung von lokalen, standortbezogen Umweltwirkungen. Das LCA lässt sich auf Grund dieser Einschränkungen im Bereich der Produktion nur für bestimmte analytische Zwecke einsetzen. Um Umweltverbesserungen in diesem Bereich zu erzielen, sollte das LCA durch andere standortbezogene Instrumente wie Umweltmanagementsysteme oder Öko-Audits³ ergänzt werden (vgl. Nisius et al. 1998: 12).

Distribution

LCA-Studien wurden bisher nur selten zur Unterstützung logistischer Entscheidungen eingesetzt. Die Analyse dieses Bereiches in LCA-Studien ist jedoch insbesondere für Produkte von Belang, bei denen Transporte einen erheblichen Teil der Gesamtumweltwirkungen ausmachen. Dies gilt für Produkte, die in der Nutzungsphase kaum Emissionen verursachen, wie Holzprodukte, Textilien und Lebensmittel (vgl. Baumann/Tillmann 2004: 298).

Sind in einem LCA die Transportvorgänge als eigene Module erfasst, können im Modell Szenarien erstellt werden, in denen Transportmittel, Transportwege oder Auslastungsgrade verändert und die korrespondierenden Umweltwirkungen verglichen werden. Auf diese Weise bildet das LCA eine Informationsgrundlage für strategische Entscheidungen. So kann beispielsweise abgewogen werden, ob der Bau eines Lagerhauses ökologisch vorteilhafter als eine „just-in-time“-Distribution ist. Ebenso kann abgeschätzt werden, ob eine Umstellung auf andere Transportmittel oder der Einsatz von

³ Ein Umweltmanagementsystem umfasst die Festlegung von Zuständigkeiten, Verantwortlichkeiten, Verhaltensweisen, Abläufen und Mitteln zur Erreichung von standortbezogenen Umweltzielen (vgl. Schaltegger et al. 2002: 61).

Öko-Audits sind Umweltbetriebsprüfungen mit denen die Umweltmanagementsysteme von Produktionsstandorten überprüft und zertifiziert werden (vgl. Schaltegger et al. 2002: 25).

erneuerbaren Treibstoffen sinnvoll sein kann (vgl. Baumann/Tillmann 2004: 297f). Voraussetzung ist auch hier das Vorliegen entsprechender Daten. Für Hintergrundprozesse wie Transporte oder die Bereitstellung von Treibstoffen kann auf Sekundärdaten aus Ökoinventardatenbanken⁴ zurückgegriffen werden. Es ist zu prüfen, ob die Daten repräsentativ für die LCA-Studie und mit dem Ziel und Untersuchungsrahmen der Studie vereinbar sind (vgl. Guinée 2002: 53).

Marketing und Nutzung

Im Bereich des Marketings kann das LCA vielseitig eingesetzt werden. Die Ergebnisse des LCA können beispielsweise in einen Umweltbericht einfließen und Stakeholdern fundierte Informationen über die Umweltfreundlichkeit des Produktes liefern. Dies kann dem Unternehmen klare Wettbewerbsvorteile bringen (vgl. Baumann/Tillmann: 260). Hierbei ist zu bedenken, ob die gesamte Bilanz den Stakeholdern zugänglich gemacht werden sollte. Es ist zwischen der Glaubwürdigkeit der Bilanz und der Vertraulichkeit der Daten abzuwägen (vgl. Schaltegger 1996: 15).

Marketing wird in erster Linie von Unternehmen betrieben, um Kunden davon zu überzeugen, ihr Produkt anstelle von Konkurrenzprodukten zu kaufen. Das LCA ist generell dazu geeignet, Vergleiche zwischen Produkten vorzunehmen. Daher könnte das Instrument eine entsprechende Argumentationsgrundlage dafür liefern, dass das Produkt umweltfreundlicher als seine Konkurrenzprodukte ist (vgl. Bültmann 1997: 37). In der Praxis sind solche Vergleiche zu Konkurrenzprodukten kaum zu realisieren, da hierzu ein LCA für das Konkurrenzprodukt vorliegen müsste. Selbst wenn dies der Fall wäre, ist die Vergleichbarkeit der LCA-Studien nur bei einer gleichen Vorgehensweise, gleichen Annahmen und gleicher inhaltlicher Zielrichtung gegeben (vgl. DIN EN ISO 14040 1997: 3).

Die Umweltfreundlichkeit des Produktes kann alternativ mit einem Öko-Label dargestellt werden, welches durch ein Logo auf der Verpackung die Einhaltung eines bestimmten Standards signalisiert. Das LCA kann hier darlegen, dass die Vergabekriterien des Umweltkennzeichens erfüllt sind (vgl. Bültmann 1997: 38).

⁴ Ökoinventardatenbanken, wie Ecoinvent, enthalten einheitlich formatierte Lebenszyklusdaten zu Bereichen wie Transport, Energiebereitstellung, Chemikalien etc. Die Daten repräsentieren zumeist die in Verwendung befindlichen, durchschnittlichen Technologien eines Landes oder einer Region in einem bestimmten Jahr (vgl. Frischknecht et al. 2005: 4).

Rückführung/ Entsorgung

Bei der Entscheidung, wie ein Produkt nach der Nutzungsphase behandelt werden soll, bestehen viele Unsicherheiten. Ein LCA kann teilweise Anhaltspunkte dafür geben, mit welchen Umweltwirkungen bei den verschiedenen Entsorgungsvarianten zu rechnen ist. Beispielsweise kann abgeschätzt werden, ob der Umweltnutzen durch die Materialeinsparung beim Recycling die Transporte zur Sammlung der Produkte und den Energieaufwand der Wiederaufbereitung rechtfertigt (vgl. Baumann/Tillmann 2004: 302). Auch die Umweltwirkungen verschiedener Entsorgungsverfahren wie Verbrennung oder Deponierung können untersucht werden. Hier stößt das LCA allerdings an methodische Grenzen. Da in Entsorgungsprozessen Bestandteile aus vielen Produkten behandelt werden, entsteht wie auch bei den Produktionsprozessen ein Problem der Allokation der Emissionen auf ein Produkt. Ähnlich verhält es sich bei der Modellierung von Recycling-Prozessen (vgl. Baumann/Tillmann 2004: 310f).

Für die Untersuchung von in Deponien abgelagerten Stoffen wurde das LCA bisher als ungeeignetes Instrument angesehen, weil noch große Unsicherheiten bei den relevanten Wirkungsabschätzungsmethoden der Humantoxizität und Ökotoxizität bestehen (vgl. Baumann/Tillmann 2004: 307). In diesen Wirkungskategorien werden die verschiedenen Auswirkungen von Stoffen auf den Menschen (von Hautirritationen bis zum Tod) und die Umwelt sehr grob aggregiert (vgl. Guinée 2002: 587). Hier bildet das LCA eine zu lückenhafte Informationsgrundlage für unternehmerische Entscheidungen und muss gegebenenfalls durch andere Instrumente ergänzt werden, welche die Risiken und die langfristigen Effekte von Entsorgungstechnologien auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft untersuchen, wie die Technikfolgenabschätzung oder die Risikoanalyse (vgl. Nisius et al. 1998: 13).

Es lässt sich zusammenfassen, dass dem Instrument des LCA methodische Grenzen inhärent sind. Zu nennen sind Allokationsprobleme und umstrittene Wirkungsabschätzungsmethoden. Außerdem bildet die LCA stets nur den Ist-Zustand ab und besitzt begrenzte Aussagekraft bei der Neuentwicklung von Produkten. Zudem ergeben sich Probleme der Durchführbarkeit einer LCA-Studie, welche durch Aufwand und Kosten der Studie, eine begrenzte Datenverfügbarkeit und eine eingeschränkte Kooperationsbereitschaft der Beteiligten begründet sind. Für den Einsatz im ESCM eignet es sich als Analyseinstrument insbesondere für die Produktentwicklung, die Optimierung des Einkaufs und zur Information der Stakeholder. Es sollte sinnvoll durch andere Managementinstrumente ergänzt werden.

Das LCA könnte insbesondere als Informationsgrundlage für das ESCM von Unternehmen dienen, deren Umweltwirkungen auf Grund ihrer Unternehmensorganisation maximal über die Wertschöpfungskette verteilt sind. Denkbar ist ein Unternehmen ohne eigenen Produktionsstandort, welches gegenüber dem Endkunden als Hersteller des Produktes sichtbar wird, an deren Wertschöpfungsprozessen aber viele unterschiedliche Unternehmen beteiligt sind. Ein Beispiel hierfür ist das Unternehmen Premium Cola.

3 Fallbeispiel Premium Cola

Im folgenden Praxisteil wird ein Life Cycle Assessment für das Unternehmen Premium Cola durchgeführt und deren Eignung als Informationsgrundlage für das unternehmensinterne Environmental Supply Chain Management geprüft. Das Unternehmen Premium Cola und dessen bisheriges Environmental Supply Chain Management werden kurz vorgestellt und es wird begründet, warum die Produktökobilanzierung ein geeignetes Umweltmanagementinstrument für diese Unternehmensform sein könnte. Dann wird eine Produktökobilanzierung für die von Premium Cola hergestellte Cola nach der Methodik von ISO 14040–44 durchgeführt.

3.1 Vorstellung des Unternehmens Premium Cola

3.1.1 Entstehung und Unternehmenskonzept

Hinter „Premium Cola“ verbirgt sich eine Gruppierung von Menschen, welche ihre eigene Getränkemarkte auf Basis einer konsensorientierten, internetgestützten Kommunikation betreiben. Die Organisation koordiniert in erster Linie die Herstellung und den Vertrieb des Cola-Getränks „Premium Cola“, wobei sie sich verschrieben haben, in ihrer Wirtschaftsweise ethischen Prinzipien zu folgen (vgl. Gemeinhardt 2008).

Die Mitglieder von Premium Cola bezeichnen sich selbst als Kollektiv, da sich ihre Entscheidungsgewalt nicht auf eine einzelne Person konzentriert. Sie organisieren sich über eine Mailingliste, welche von Mitarbeitern, Lieferanten, Händlern, Kunden und Sympathisanten bezogen wird. In dieser Liste werden Unternehmensentscheidungen diskutiert und ein Konsens angestrebt (vgl. Bergmann 2006: 108).

Premium Cola wurde 2001 in Hamburg von ehemaligen Afri-Cola-Kunden gegründet. Der Afri-Cola-Abfüller Mineralbrunnen Überkingen-Teinach AG hatte 1999 die Marke Afri-Cola übernommen und ohne das Wissen seiner Kunden das Rezept der Cola geändert. Daraufhin formierte sich die „Interessengruppe Premium“, welche aus den späteren Gründern von Premium Cola bestand und die zwei Jahre lang gegen die Änderung der Rezeptur protestierte. Da die Proteste erfolglos blieben, traten sie in Kooperation mit einem ehemaligen Afri-Cola-Abfüller in Franken und stellten ihre eigene Cola-Marke nach altem Rezept her. Zunächst war die Cola nur für den Eigenbedarf gedacht,

etablierte sich jedoch am Markt und wird mittlerweile in 70 Städten in Deutschland, Österreich und der Schweiz verkauft (vgl. Bergmann 2006: 108; Mously 2009: 22).

Das Ziel des Kollektivs ist es, Wirtschaft und Moral konsequent zu verbinden. Hierzu wurde ein ethischer Verhaltenskodex definiert. Dieser betont vor allem, Unternehmensentscheidungen und -aktivitäten gegenüber allen Stakeholdergruppen transparent zu machen und Verantwortung für alle Prozesse in der Wertschöpfungskette zu übernehmen (vgl. Gemeinhardt 2008).

Ein Environmental Supply Chain Management wird bereits in Ansätzen ausgeführt, ohne dass die Maßnahmen unter ein ganzheitliches ESCM-Konzept gefasst oder spezielle Verantwortlichkeiten vergeben wurden: Im Einkauf wird auf ökologische Kriterien geachtet, so werden die Flaschenetiketten auf Papier von Holz aus FSC-zertifizierter⁵ Forstwirtschaft gedruckt. Beim Bezug der Kronenkorken wird darauf geachtet, dass die Innenbeschichtung aus Polyethylen statt aus dem umweltschädlicheren Polyvinylchlorid besteht (vgl. Lübbermann 2007). Um die entstehenden CO₂-Emissionen der Distributionslogistik auszugleichen, spendet Premium Cola einen Teil seiner Einnahmen an eine Projektgemeinschaft zum Schutz und der Erhaltung alter Obstwiesen in Schleswig Holstein (vgl. Lübbermann 2007a). Zudem wird das Abfallaufkommen gering gehalten, indem die Cola ausschließlich in Glas-Mehrwegflaschen abgefüllt wird und die Flaschen nach Aussagen des Abfüllers bis zu sechzig Mal in die Abfüllung zurückgeführt werden (vgl. Lübbermann 2007b).

3.1.2 Warum LCA für Premium Cola?

Premium Cola ist in seiner Rechtsform ein Einzelunternehmen. Initiator und Koordinator von Premium Cola ist Uwe Lübbermann, auf den die Marke Premium Cola eingetragen ist. Das Unternehmen besitzt keinen eigenen Unternehmenssitz oder -standort. Die Beteiligten befinden sich an unterschiedlichen Orten und nehmen dort meist organisatorische und koordinierende Tätigkeiten wahr. Premium Cola weist viele Charakteristika eines virtuellen Unternehmens auf: Es ist eine Kooperationsform rechtlich unabhängiger Unternehmen, Institutionen und Einzelpersonen, die eine Leistung auf Basis eines gemeinsamen Geschäftsverständnisses erbringen. Die kooperierenden Einheiten beteiligen sich vorwiegend mit ihren Kernkompetenzen an der Zusammenarbeit; die

⁵ Der Forest Stewardship Council ist eine internationale, gemeinnützige Organisation, welche Prinzipien für eine nachhaltige Waldwirtschaft aufgestellt hat und auf dieser Grundlage ein FSC-Siegel für Holz vergibt (vgl. <http://www.fsc-deutschland.de/>).

Koordination erfolgt über Informations- und Kommunikationstechnologien (vgl. Arnold et al. 1995: 3).

Das Unternehmen Premium Cola unterhält geschäftliche Beziehungen mit diversen anderen Unternehmen, welche Stoffströme direkt beeinflussen. Die Supply Chain umfasst die Beteiligten der Organisation Premium Cola, die Lieferanten der Zutaten und Bestandteile der Cola, den Getränkeabfüller, die Großhändler und Händler sowie die Spediteure. Premium Cola koordiniert und regelt das Zusammenspiel dieser Akteure. Somit nimmt das Unternehmen mit seinen Entscheidungen realen Einfluss auf umweltrelevante Stoffströme in der Supply Chain.

Gemäß dem Verursacherprinzip des Umweltrechts, nach dem der Verursacher von Umweltbeeinträchtigungen auch die Folgen zu tragen habe, müsste Premium Cola die Verantwortung der von ihnen ausgelösten Stoffströme übernehmen (vgl. Jänicke et al. 2003: 187). Diese Verantwortungsübernahme ist gemäß dem Verhaltenskodex aus intrinsischer Motivation angestrebt. Problematisch ist hierbei die maximale Auslagerung von Einkaufs-, Produktions- und Distributionsaktivitäten. Mit der Abgabe betrieblicher Aufgaben und Funktionen und starker interorganisationaler Arbeitsteilung geht ein Verlust an umweltorientiertem Wissen einher. Informationen über Stoffströme sowie die Verantwortung für den Umweltschutz bei der Herstellung eines Produktes verteilen sich auf immer mehr in sich abgeschlossene, selbständige Wertschöpfungseinheiten (vgl. Sommer 2007: 70).

Ein standortbezogenes Umweltmanagementkonzept ist für die Organisationsform von Premium Cola nicht zweckmäßig, da es keinen zentralen Standort gibt. Um die Unternehmensaktivitäten ökologisch verträglich zu gestalten, ist es notwendig, einen produktlebenszyklusorientierten Managementansatz wie das Environmental Supply Chain Management zu betreiben. In der Durchführung des ESCM bestehen jedoch auf Grund fehlender umweltrelevanter Informationen Unsicherheiten. So ist beispielsweise unklar, ob der gezahlte CO₂-Ausgleichsbetrag die tatsächlich verursachten klimarelevanten Emissionen des Produktsystems abdeckt und welche weiteren Umweltwirkungen entlang des Lebensweges auftreten. Ebenso fehlt eine Informationsgrundlage für Fragen der Produktentwicklung, zum Beispiel ob eine Umstellung auf ökologisch angebaute Zutaten den korrespondierenden erhöhten Transportaufwand aufwiegen würden. Ein Life Cycle Assessment der Cola könnte geeignet sein, um zum einen Informationen, die über die Wertschöpfungskette verteilt sind, zu aggregieren und zu systematisieren. Zum anderen

könnte ein LCA Anhaltspunkte bei Zielkonflikten und Kosten-Nutzen-Abwägungen geben und somit Entscheidungen im ESCM unterstützen.

3.2 Life Cycle Assessment Premium Cola

Die Durchführung des Life Cycle Assessments erfolgt in Anlehnung an die ISO-Normen 14040 bis 14044. Dies bedeutet, dass sich die Untersuchung in Definition von Ziel und Untersuchungsrahmen, Sachbilanz, Wirkungsabschätzung und Auswertung gliedert und dabei nach Möglichkeit wesentliche Anforderungen der Norm berücksichtigt. Auf Grund des begrenzten Umfangs der Studie ist es erforderlich, einzelne Bestandteile einer vollständigen Ökobilanz auszulassen oder zu begrenzen. Auf solche Abweichungen von der Norm wird an entsprechender Stelle gesondert hingewiesen.

Die Modellierung der untersuchten Prozessketten erfolgte in dieser Untersuchung mit der Software Umberto Version 5.5. Die Kernfunktion der Software liegt in der Unterstützung der Erstellung eines Stoffstrommodells, auf dessen Grundlage Sachbilanz und Wirkungsabschätzung erstellt werden können.

3.2.1 Ziel und Untersuchungsrahmen

Ziel der Studie

Die LCA-Studie wurde in Kooperation mit dem Unternehmen Premium Cola durchgeführt. Ziel der Untersuchung ist es, einen systematischen Überblick über die Umweltwirkungen der von Premium Cola produzierten Cola zu erlangen und herauszufinden, an welcher Stelle im Lebenszyklus das größte Potenzial für Verbesserungen der Gesamtbilanz zu finden sind. Das Unternehmen strebt eine Verbesserung der Umweltperformance der Supply Chain an; ihm liegen jedoch bisher unzureichende Informationen über die Umweltwirkungen der einzelnen Wertschöpfungsprozesse vor. Die Studie wurde durchgeführt, um Umweltinformationen über die Wertschöpfungsprozesse zu sammeln und zu systematisieren und eine Informationsgrundlage für umweltrelevante Unternehmensentscheidungen zu erarbeiten.

Die Studie richtet sich an die Unternehmensleitung (das Kollektiv) und soll als analytisches Instrument vorwiegend intern für Einkaufs- und Logistikplanungsentscheidungen genutzt werden. Die Ergebnisse sollen insbesondere Auskunft über Möglichkeiten der Verminderung von Treibhausgasemissionen geben. Wo das nicht möglich ist, soll die

Studie als Grundlage für die Entscheidung über die Höhe von CO₂-Kompensationszahlungen genutzt werden. Zudem soll sie allen interessierten Stakeholdern zur Verfügung gestellt werden; dazu zählen Kunden, Lieferanten, Spediteure und interessierte Wettbewerber (vergleichbare Getränkehersteller).

Untersuchungsrahmen

Der Untersuchungsgegenstand der Studie ist das Produktsystem zur Herstellung von 0,33 Liter Premium Cola in einer Longneck-Glasflasche. Die funktionelle Einheit ist der Genuss einer definierten Menge von 0,33 Liter eines koffeinhaltigen Erfrischungsgetränk mit Kolanussextrakt aus einer Flasche. Der Referenzfluss ist 0,33 Liter Premium Cola in einer Longneck-Glasflasche mit einem Gewicht von 0,33 Kilogramm.

Das zu untersuchende Produktsystem umfasst die folgenden Lebenswegabschnitte:

- Rohstoffextraktion
- Herstellung der Grundzutaten der Cola (Zucker, Grundstoff)
- Herstellung der Glasflasche, des Etiketts und des Kronenkorkens
- Transporte der Bestandteile zum Abfüller
- Abfüllung
- Transporte im Vertrieb der Cola
- Nutzung
- Entsorgung

In die Betrachtung einbezogen werden auch die Vorketten für die Bereitstellung von Hilfs- und Betriebsstoffen wie Dieseltreibstoff, Erdgas und Strom bis zur Rohstoffentnahme aus der Umwelt. Bei der Modellierung der Vorketten kommen hauptsächlich verallgemeinerte Module aus der Ecoinvent-Datenbank⁶ zum Einsatz. Infrastrukturprozesse, wie die Herstellung und Wartung von Produktionsanlagen, wurden nicht in die Untersuchung eingeschlossen.

Alle berücksichtigten Teilprozesse werden in Kapitel 3.2.2 dargestellt. Bei der Auswahl der zu erfassenden Teilprozesse und Stoffströme wurden abweichend von der ISO-Norm keine konkreten quantitativen Abschneidekriterien definiert, sondern im Einzelfall eine Abwägung von Bilanzierungsaufwand und zu erwartetem Beitrag zu den untersuchten Umweltwirkungen durchgeführt.

⁶ Ecoinvent ist eine vom Schweizer Zentrum für Ökoinventare erstellte Datenbank. Sie enthält qualitätsgesicherte, konsistente Stoffstromdaten zu zahlreichen industriellen Prozessen, die für schweizerische und westeuropäische Verhältnisse gelten (vgl. Frischknecht et al. 2005: 4).

Aus der Betrachtung ausgegrenzt wurden Transportverpackungen (Kiste, Schutzfolie, Palette), der Lack sowie die Innenbeschichtung des Kronenkorkens und der Leim, mit dem das Etikett auf die Flasche geklebt wird. Koffein und Vanilleextrakt wurde nicht bis an die Systemgrenzen zurückverfolgt. Im Kapitel 3.2.2 wird an den relevanten Stellen auf Einschränkungen des Modells hingewiesen und diese begründet.

In der vorliegenden Studie erfolgt keine Beschränkung der Datensammlung auf spezielle Datenkategorien. Sowohl Masse- als auch Energie- und Umweltqualitätskriterien werden einbezogen. Das beschränkende Kriterium ist die Datenverfügbarkeit. Bei der Zusammenstellung von Input- und Outputströmen wurden auf der Inputseite die Oberkategorien primäre und sekundäre Energieträger, Wasser, Naturrohstoffe und Abfälle zur Wiederverwertung und auf der Outputseite die Kategorien Produkte sowie Emissionen in Luft, Wasser und Boden eingeschlossen.

Für die Modellierung der Hintergrundprozesse (zum Beispiel die Herstellung von Papier und Druckfarbe) wird überwiegend auf Module des aktuellen Ecoinvent-Datenbestandes (Version 2.01) zurückgegriffen, deren Datentypen und -quellen in den jeweiligen Reports aufgeführt sind. Bei den aus Ecoinvent verwendeten Prozessen handelt es sich immer um Result-Prozesse, das heißt, dass alle relevanten Vorketten des jeweiligen Prozesses mit einbezogen wurden und so die Stoffströme bis zur Übernahme/ Abgabe in die natürliche Umwelt zurückverfolgt wurden. Für die Modellierung der Transportmodule wird auf das Berechnungsmodell von Borken et al. (1999) zurückgegriffen, dessen Daten sich auf den realen LKW-Bestand und die Fahrleistungen in Deutschland zum Bezugsjahr 1996 beziehen.

Die Daten der Kernprozesse, wie die Abfüllung der Cola, die Herstellung des Grundstoffes und der Etikettendruck, sind Standortdaten und stammen von den Lieferanten von Premium Cola. Die Daten beziehen sich auf die aktuell genutzte Technik an den Standorten in Deutschland und stammen aus den Jahren 2008 und 2009. Informationen zu den Transporten im Vertrieb stammen vom Unternehmen Premium Cola aus dem Jahr 2008.

Allokationsmethoden für die Hintergrundprozesse werden in der jeweiligen Literatur, aus welcher die Daten entnommen wurden, beschrieben. Bei der Abfüllung der Cola sowie bei der Herstellung des Grundstoffs beruht die Allokation des Aufwandes von Strom, Wärme und Wasser auf der Masse. Die Inputs wurden errechnet aus dem Gesamtbezug des Standortes in Relation zu ein Kilogramm des am Standort hergestellten Produkts (Cola bzw. Grundstoff).

Zur Wirkungsabschätzung wird in der vorliegenden Untersuchung die Methode des Centrums voor Milieukunde Leiden (siehe Abschnitt 3.2.3) angewendet. Die Kategorie Klimawandel findet auf Grund der Interessenlage des Unternehmens Premium Cola besondere Berücksichtigung. Die Abschätzung schließt neben den nach ISO-Norm obligatorischen Schritten der Auswahl von Wirkungskategorien, der Klassifizierung und der Charakterisierung auch eine Normierung mit ein.

In der Sachbilanz verwendete Daten und Informationen sind teilweise durch die Datenlieferanten validiert worden. Die Durchführung eines externen Reviews war nicht vorgesehen.

3.2.2 Sachbilanz

Modellbildung/ Berechnung

Um eine Sachbilanz generieren zu können, ist zunächst eine Erstellung eines Stoffstrommodells des untersuchten Produktsystems erforderlich. Die Modellierung erfolgt auf Basis von Stoffstromnetzen, die auf einem speziellen Netztyp der theoretischen Informatik – den sogenannten Petrinetzen – beruhen. Die Struktur des Stoffstrommodells, das Systemfließbild, wurde mit Hilfe von Umberto grafisch dargestellt (siehe Anhang A und B). Zu sehen sind die Elementklassen Transitionen, Stellen und Verbindungen, die jeweils unterschiedliche Funktionen erfüllen.

Transitionen (grafisch als Quadrate dargestellt) stellen einzelne Prozesse und damit Orte der Stoff- und Energieumwandlung dar. Dies kann beispielsweise ein Verbrennungsprozess sein, der einen zugeführten Rohstoff in Wärme und Luftemissionen umsetzt.

Stellen (grafisch dargestellt als Kreise) sind Lager, die Stoff- und Energieströme aufnehmen und verteilen. Grüne Input- und rote Output-Stellen bilden die Systemgrenzen, das heißt die Übergabepunkte von Stoff- und Energieströmen in die natürliche Umwelt. An diesen Stellen erfahren die Ströme keine menschliche Beeinflussung mehr. Doppelt umrandete Verbindungsstellen führen Stoffe und Energie lediglich unverändert an die nächste Transition weiter.

Verbindungen (dargestellt als Pfeile) zeigen die Stoff- und Energieströme zwischen Transitionen und Stellen und deren Flussrichtungen an (vgl. Soukup 2008: 37f).

Die Transitionen wurden mit Verhältniszahlen oder benutzerdefinierten Funktionen spezifiziert. Verhältniszahlen beschreiben lineare Zusammenhänge zwischen Inputs und

Outputs. Sie geben an, in welchem Mengenverhältnis die am Umwandlungsprozess beteiligten Stoffe zueinander stehen. Wenn nicht lineare Zusammenhänge oder Stoffmengen in Abhängigkeit von einzelnen Parametern (zum Beispiel Transportentfernungen) berechnet werden sollen, wurden Funktionen definiert, die diese Beziehungen beschreiben.

Die zur Transitionsspezifikation notwendigen Daten wurden entweder selbst erhoben und zusammengestellt oder sie wurden als vollständig spezifizierte Module einer Datenbank, wie Ecoinvent oder der Umberto-eigenen Moduldatenbank, entnommen.

Die Berechnung der Sachbilanzergebnisse erfolgte mit der Software Umberto: Mit Hilfe der Transitionsspezifikationen werden nach Eingabe eines manuellen Flusses, zumeist der Produktoutput in Kilogramm, alle anderen unbekanntes Flüsse berechnet. Der definierte manuelle Fluss wird von der angrenzenden Transition gelesen und dem übereinstimmenden Material in seiner Spezifikation zugeordnet. Die Berechnung basiert auf dem Lokalisierungsprinzip, das heißt jede Transition wird einzeln berechnet, wobei ausschließlich die Flussgrößen in den direkt angrenzenden Transitionen einbezogen werden. Ist die Transitionsspezifikation mit Verhältniszahlen erfolgt, wird der ankommende Wert durch seinen Koeffizienten dividiert und dann mit den Koeffizienten aller anderen Materialien multipliziert, um deren Flussgrößen zu berechnen. Wurden Transitionen mit Funktionen spezifiziert, wird in einem iterativen Verfahren versucht, die Variablen auf der linken Seite der Rechnung mit dem Ausdruck auf der rechten Seite zu berechnen. Die Funktionen werden so oft durchlaufen bis in einem Durchgang keine Variable mehr bestimmt werden kann (vgl. Möller 2000: 105ff).

Stoffstrommodell

Im Folgenden werden alle Prozesse beschrieben, die im Stoffstrommodell untersucht wurden und es werden relevante Annahmen und Einschränkungen dokumentiert.

T1: Abfüllung

Die Abfüllung ist der Kernprozess des Produktsystems. Das Modul umfasst die Abfüllung der Cola, also der Zusammenführung aller Produktkomponenten zur fertigen, befüllten Flasche. Einbezogen wurden die Packung/ Entpackung der Kisten, Sortierung der Leergutflaschen, Waschen der Leergutflaschen und Kisten, Transport über Transportbänder, Mischung und Abfüllung der Cola, Etikettieren und Verkorken der Flaschen. Die Daten stammen vom Standort des Abfüllers. Einbezogen wurden beim Input die Bestandteile der Cola, der Verbrauch an Trinkwasser, der Stromverbrauch und der

Verbrauch an Erdgas (welches größtenteils für die Erhitzung des Wassers in der Flaschenwaschmaschine gebraucht wird). Der Abfüller hat den Gesamtstrom-, Erdgas- und Wasserverbrauch des Standorts erfasst und auf die Abfüllung eines Hektoliters Fertiggetränk heruntergerechnet. Beim Output wurden Abwasser und Abfälle in Form von Etikettenpapier, zerstörten Kronenkorken und Glasflaschen berücksichtigt. Die Abfallmengen wurden vom Abfüller geschätzt; die Abwassermengen sind für den ganzen Standort erfasst. Emissionen entstehen nur durch die Verbrennung von Erdgas und durch die Produktion von Strom.

Koffein und Citronensäure sind in diesem Modul nicht separat aufgeführt, obwohl sie im Abfüllungsprozess separat beigemischt werden. Die Koffeinmenge wurde zur Vereinfachung in die Transition T11 „Grundstoffherstellung“ einbezogen, da die Lieferung des Koffeins vom Grundstoffhersteller erfolgt. Citronensäure wurde analog als Phosphorsäure angenommen und in die Transition T28 „Herstellung Phosphorsäure“ einbezogen.

Der Leim, mit dem das Etikett auf die Flasche geklebt wird, wurde nicht berücksichtigt, da er massenmäßig einen sehr geringen Anteil am Produkt hat. Zudem wird der auf Milchsäure-Casein basierende Leim als wenig umweltbelastend eingestuft (vgl. Bayerische Architektenkammer 2009).

In der grafischen Darstellung des Stoffstrommodells (siehe Anhang A) ist ersichtlich, dass dem Abfüllungsprozess diverse Prozesse vorgelagert sind. Hierbei handelt es sich um die Herstellung der Produktkomponenten, die im Weiteren beschrieben werden.

T11: Grundstoffmischung

Der Grundstoff zum Anmischen der Cola besteht aus einem konzentrierten Gemisch von Kolanussextrakt, Vanilletinktur, Ammonsulfit-Zuckerulör, Phosphorsäure und Koffein. Das Modul umfasst die Extraktion von Kolanuss und Vanille mit einem Alkohol-Wassergemisch sowie die Mischung der Zutaten und deren Homogenisierung und Pasteurisierung. Im Modul wurde der Strom-, Erdgas- und Wasserverbrauch zur Durchführung der genannten Prozesse sowie die hieraus entstehenden Emissionen einbezogen. Die Daten stammen vom Standort des Grundstoffherstellers. Es wurde vereinfachend angenommen, dass Erdgas als Energieträger genutzt wird, obwohl der Grundstoffhersteller Heizöl verwendet. Der Staplerverkehr zum internen Rohstoff- und Fertigprodukttransport wurde nicht modelliert, da die hier verursachten Emissionen einen vernachlässigbaren Anteil von unter 0,01% der Gesamtemissionen der Cola ausmachen. Die Mengen von Kolanuss- und Vanilleextrakt sind vertraulich. Daher wurde die Diffe-

renz zwischen 100 kg Grundstoff und allen anderen Zutaten inklusive Wasser gebildet und als Kolanussmenge angenommen. Vanilleextrakt wurde nicht separat aufgeführt sondern in die Kolanussmenge integriert. Auf diese Weise soll der Anbau von Vanille in der Transition T19 „Kokosnussernte“ und der Transport über den Seeweg grob mit einberechnet werden. Ammonsulfit-Zuckerulör wurde stark vereinfachend als Zucker angenommen und entstammt aus der Transition T27 „Zuckerraffinierung mit Vorketten“. Da Zuckerulör auf der Basis von Zucker gewonnen werden kann, sind die Vorketten zur Herstellung der beiden Stoffe bis nach der Zuckerraffinierung gleich. Ausgelassen wurde hier die Umwandlung von Zucker in Ammonsulfit-Zuckerulör. Die Stoffströme des Inputs Koffein wurden aus mangelnder Datenverfügbarkeit und aus Gründen des zeitlich begrenzten Umfangs der Studie nicht bis an die Systemgrenzen zurückverfolgt. Die gleiche Einschränkung gilt für Vanilletinktur. In Zukunft sind die Herstellungsprozesse dieser Stoffe noch zu modellieren.

Der Kolanussanbau, welcher der Grundstoffmischung vorgelagert ist, wurde stark vereinfachend mit Daten zum Kokosnussanbau in der Transition T19 „Kokosnussernte mit Vorketten“ modelliert. Kolanussextrakt ist Bestandteil des Grundstoffs zum Anmischen der Cola und wird nach Aussagen des Grundstoffherstellers in Westafrika angebaut. Der Anbau von Kolabäumen (Malvengewächs) ist nur sehr entfernt vergleichbar mit dem Anbau von Kokosnuss. Da keine Ökoinventar-Daten zum Anbau von Malvengewächsen zugänglich waren, wurde der Kokosnussanbau als Hilfskonstruktion verwendet. Die Daten dieses Moduls stammen aus der Ecoinvent-Datenbank und repräsentieren Daten der philippinischen Kokosnussproduktion in den 1990er Jahren (vgl. Zah 2003).

Da Phosphorsäure ebenfalls zum Anmischen des Grundstoffs verwendet wird, ist die Transition T28 „Herstellung Phosphorsäure“ der Grundstoffmischung vorgelagert. Das Modul ist ein Result-Prozess aus der Ecoinvent-Datenbank zur industriellen Herstellung von 85%iger Phosphorsäure (H_3PO_4). Die Daten stammen von einem Standort in Großbritannien aus den Jahren 1990 bis 1994 (vgl. Althaus et al. 2003).

Transitionen T12 und T18: Seeschiff-Transporte

Das Modul wurde mit einem Umberto-eigenen Modell berechnet und beschreibt die Emissionen und den Kraftstoffverbrauch beim Transport von Koffein und Phosphorsäure mittels Hochseeschiff (vgl. Borken et al. 1999). Die Transportentfernungen in der Transition T18 (Kolanuss) repräsentieren die Entfernungen von Ghana nach Hamburg auf dem Seeweg, da die Kolanuss aus Westafrika bezogen wird. Zu der Entfernung wurde auch der Seeweg von Madagaskar nach Hamburg hinzugerechnet, da hier die

Vanille für die Vanilletinktur herkommt (Vanilletinktur wird aber im weiteren Modell als Kolanuss angenommen, siehe Transition T11). Die Transportentfernungen in der Transition T12 (Koffein) repräsentieren die Entfernungen von Hong Kong nach Hamburg auf dem Seeweg durch den Suezkanal, da das Koffein nach Angaben des Grundstoffherstellers aus China bezogen wird. Die Entfernungen wurden grob mit GoogleEarth berechnet. Es wurde angenommen, dass ein Motortanker mit einer Tragfähigkeit von 50 000 bis 200 000 Tonnen zum Transport genutzt wird. Seeschiffe werden zumeist mit Schweröl betrieben; im Modell wurden aber die Materialien Schweröl und Diesel vereint, da sie die gleichen Vorketten haben (Schweröl ist ein Abfallprodukt der Dieselraffinerie (vgl. OPEC 2009)). Schweröl verursacht bei der Verbrennung andere Emissionen als Diesel. Diese Emissionen werden im Modell von Borken et al. (1999) berechnet.

Transition T27: Zuckerraffinierung mit Vorketten

Das Modul ist ein Result-Prozess aus der Ecoinvent-Datenbank und repräsentiert die Zuckerraffinierung aus Zuckerrüben mit allen Vorketten. Die Daten stammen von Zuckerproduzenten aus der Schweiz aus den Jahren 1998 bis 2005 (vgl. Jungbluth et al. 2007).

Transition T10: Kohlensäureherstellung

Das Modul umfasst den Energieaufwand (und die entstehenden Emissionen) bei der Aufbereitung und Verflüssigung von Kohlendioxid. Verunreinigtes gasförmiges Kohlendioxid wird in der Regel per Rohrleitung an den Kohlensäureproduzenten geliefert. Hier wird es – abhängig von den Verunreinigungen – durch Entschwefelung, Verwendung von Aktivkohle und Nachverbrennung brennbarer Spurenkomponenten gereinigt. Der Grad der Verunreinigung in der Rohkohlendioxid ist in der Regel sehr gering. Die mit der Reinigung verbundenen Stoffströme (verbrauchte Aktivkohle, anfallender Schwefel) sind nach Aussagen der Kohlensäureindustrie so gering, dass sie nicht erfasst werden und wurden daher nicht modelliert. Mit Hilfe von Ammoniak wird das CO₂ verflüssigt und anschließend mittels Rektifikation aufkonzentriert. Der als Kältemittel dienende Ammoniak wird in einem getrennten Kreis geführt und somit nicht verbraucht, daher wurde der Stoff im Modell nicht aufgeführt. In der Transition wurde als Input nur der Energieaufwand, der zur Verflüssigung des CO₂ benötigt wird, angegeben. Der Energieverbrauch ist stark abhängig vom Vordruck des zu reinigenden und verflüssi-

genden CO₂. Im Modell wurde der maximal nötige Energieaufwand angegeben, um so die maximal entstehenden Umweltwirkungen zu erfassen.

Nach Angaben der Kohlensäureindustrie stammt das Rohkohlendioxid aus verschiedenen Quellen. Größtenteils entstammt es Prozessen in anderen Unternehmen, zum Beispiel Unternehmen der Chemiebranche. Es entsteht beispielsweise als Abfallprodukt bei der partiellen Oxidation von Kohlenwasserstoffen, bei der Ammoniakherstellung, der Synthese von Ethylenoxid und weiteren chemischen Prozessen. Ein Anteil von ca. 25 – 30 % wird aus natürlichen Quellen durch Erdbohrungen gewonnen. Bei einer Produktökobilanzierung werden lediglich die Umweltwirkungen untersucht, die ursächlich durch das untersuchte Produkt entstehen (vgl. Heijungs 1994: 8). Da das Kohlendioxid als Abfallstoff beim Herstellungsprozess eines anderen Produktes anfällt, sind die korrespondierenden Emissionen nicht ursächlich auf die untersuchte Cola zurückzuführen. Somit wurde die Vorkette der CO₂-Entstehung an dieser Stelle nicht weiter verfolgt. Problematisch ist hierbei, dass potenzielle Umweltwirkungen in der Kategorie „Abbau abiotischer Ressourcen“, die durch die Auszehrung fossiler Quellen bei der Erdbohrung entstehen, nicht erfasst werden.

Transition T9: Etikettendruck

Das Modul beschreibt den Etikettendruck und umfasst die Prozesse der Gestaltung der Druckvorlagen am Computer, den Druck mit einem Laser-Rasterdrucker, das Rütteln der bedruckten Papiere zur Vorbereitung des Schneidevorgangs und das Schneiden. Die Daten wurden beim Etikettendruckunternehmen erhoben. Im Modul wurde der Stromverbrauch der Maschinen, der Verbrauch an Druckfarbe und Papier sowie die anfallenden Papierabfälle berücksichtigt. Der Stromaufwand wurde von den Herstellerangaben auf den Maschinen und deren Laufzeiten bei einem Druckvorgang von Premium-Cola-Etiketten abgeleitet. Die Papierabfälle wurden gewogen. Der Verbrauch von Druckfarbe wurde geschätzt auf Basis des Gewichts der Druckpatrone und unter der Angabe, dass der Inhalt einer Druckpatrone beim Druckvorgang verbraucht wird. Im Modell wird angenommen, dass die komplette Druckfarbe auf das Etikett aufgetragen wird, da die Abstreifung von Druckfarbe nach Schätzung des Etikettendruckunternehmens unter 0,01% der gesamten im Druckvorgang verbrauchten Farbe beträgt.

Die Herstellung des Papiers, das für die Etiketten verwendet wird, wurde mit einem Ecoinvent-Result-Prozess in der Transition T15 „Papierherstellung mit Vorketten“ modelliert.

Das Modul repräsentiert die Herstellung von holzhaltigem LWC-Papier (light weighted coating) mit allen Vorketten. Die Daten repräsentieren die durchschnittlichen Technologien zur Produktion von LWC-Papier in Europa aus dem Jahr 2000 (vgl. Hirschier 2003).

Die Transition T16 „Herstellung Druckfarbe mit Vorketten“ ist ebenfalls ein Result-Prozess aus der Ecoinvent-Datenbank und repräsentiert die Herstellung von Druckfarbe mit 55% Toluol-Gehalt für das Tiefdruckverfahren. Die Daten stammen aus dem Jahr 2000 (vgl. Hirschier 2003).

Transition T17: Herstellung weißes Verpackungsglas mit Vorketten

Das Modul beschreibt die Herstellung von weißem Verpackungsglas und deren Formung und ist als Result-Prozess der Ecoinvent-Datenbank entnommen worden. Die Daten repräsentieren die in Deutschland genutzte Technologie und stammen aus dem Jahr 1996 (vgl. Hirschier 2003). Das weiße Verpackungsglas wird im weiteren Modell mit der Glasflasche, in der die Cola abgefüllt wird, gleich gesetzt.

Transition T20: Kronenkorkenherstellung

Das Modul führt die beiden Transitionen „Herstellung Chromstahl m.V.“ (T13) und „Bearbeitung Chromstahl“ (T21) zusammen. Zur Herstellung von Kronenkorken wird nach Auskunft eines Kronenkorkenproduzenten Chromstahl verwendet. Die Transition T13 „Herstellung Chromstahl mit Vorketten“ beschreibt die Herstellung von Chromstahl und deren Vorketten. Die Daten entstammen der Ecoinvent-Datenbank und beziehen sich auf Standorte in Europa aus den Jahren 2000 bis 2002 (vgl. Althaus et al. 2003a).

Die Transition T21 „Bearbeitung Chromstahl, Blech walzen“ soll die Arbeitsschritte repräsentieren, die von der Konvertierung von Stahl in den fertigen Kronenkorken nötig sind. Das Modul, ebenfalls ein Ecoinvent-Modul, beschreibt die Prozessschritte zur Bearbeitung von Chromstahl; das bearbeitete Material wird im Modul nicht mit eingeschlossen. Die Daten sind repräsentativ für Europa in den Jahren 1997 bis 2000 (vgl. Werner et al. 2003).

Bei der Kronenkorkenherstellung werden nach Auskunft des ehemaligen Kronenkorkenherstellers von Premium Cola 52% Stahlschrott verwendet. Im Modell wurde vereinfachend angenommen, dass der Schrott komplett aus Kronenkorken stammt, die per Magnetabscheidung aus dem Hausmüll sortiert wurden. 52% der in der Entsorgungstransition T14 ankommenden Kronenkorken werden somit als Stahlschrott zu-

rückgeführt zur Transition T20. Die Aufbereitung des Kronenkorkens zu neuem Grundmaterial wurde aus Gründen des begrenzten Zeitumfangs der Studie nicht modelliert, ist aber in späteren Untersuchungen noch einzubauen.

Die restlichen 48% an Stahl, welche in der Transition T20 verarbeitet werden, sind neuer Stahl aus der Transition T13. Die Bearbeitung des Bleches, die in Transition T21 beschrieben ist, bezieht sich sowohl auf Schrott als auch auf neuen Stahl.

Bei der Konvertierung von Stahl zum fertigen Kronenkorken fallen nach Aussagen des Kronenkorkenherstellers ca. 10% Schrott an. Dieser wird als Grundmaterial weiterverkauft und wurde daher im Modul nicht als Stahlabfall aufgeführt.

Der Lack und die Innendichtung des Kronenkorkens wurden aus der Untersuchung ausgeschlossen, da sie massenmäßig einen Anteil von unter 0,001% am Gesamtprodukt ausmachen. Die Hauptbestandteile des Lackes auf dem Kronenkorken sind Polyesterharze. Die Innendichtung des Kronenkorkens ist aus Polyethylen. Sie verursachen bei der Verbrennung in Verbrennungsanlagen kaum Rückstände. Problematisch ist hier lediglich, dass für die Herstellung beider Substanzen werden fossile Rohstoffe wie Erdöl und Erdgas verwendet werden (vgl. Bayerische Architektenkammer 2009a/2009b).

Transitionen T2, T4, T5, T6, T7, T8: Transporte der Zutaten

Die Transporte wurden mit einem Modell aus der Umberto-eigenen Modulbibliothek berechnet, dessen Datensatz auf Standardemissionsdaten beruht (vgl. Borken et al. 1999; Knörr et al. 1997; Schmidt et al. 1998). Die berechneten Emissionen und Verbräuche beziehen sich auf das Gewicht des Transportgutes. Das Gewicht des Transportgutes dividiert durch die maximale Zuladung des betreffenden Fahrzeuges und durch den Auslastungsgrad ergibt die erforderliche Anzahl an LKW-Fahrten. Der Kraftstoffverbrauch sowie die Emissionen von Stickoxiden, Kohlenmonoxid und Partikeln wurden in Abhängigkeit des Auslastungsgrades berechnet. Alle anderen Emissionen beziehen sich direkt auf den Kraftstoffverbrauch oder die Emissionen. Die LKWs sind in Klassen eingeordnet, die sich nach dem Gewicht und der Nutzlast der Fahrzeuge bemessen. Die im Modell beschriebene Klasse „LKWs mit einem Gewicht von 14–20 Tonnen und einer maximalen Nutzlast von 10,5 Tonnen“ entspricht nach Aussagen der Spediteure nicht mehr der aktuellen Situation. Auf Grund der höheren Maut-Gebühren für LKWs ab 12 Tonnen passen Spediteure und Händler ihre Flotten an die Maut-Sätze bis 12 Tonnen an. LKWs mit geringfügig höheren Gewichten, wie zum Beispiel 14 Tonnen, sind kaum noch in Gebrauch. Zukünftig sind die hier verwendeten Modelldaten den aktuellen Bedingungen anzupassen.

Die Transportentfernungen repräsentieren die Entfernungen vom Lieferanten des Bestandteils (Etikett, Kohlensäure, Zucker, Glasflasche, Kronenkorken, Grundstoff) zum Abfüller. Als Transportmittel wurde bei allen Transitionen ein 40t-LKW angenommen, zum Transport der Etiketten wurde ein LKW mit einer maximalen Nutzlast von 10,5 Tonnen angenommen. Die Entfernungen und die Anteile an Autobahn-, Landstraßen- und Stadtverkehr wurden mit einer internetgestützten Routenberechnung berechnet (map24.com). Es wurde pauschal eine Auslastung von 60% auf der Hinfahrt und 40% auf der Rückfahrt angenommen.

In die Transportentfernungen des Etikettentransports wurden die Transportentfernungen vom Papierproduzenten zum Etikettendrucker sowie vom Lieferanten der Druckfarbe zum Etikettendrucker einberechnet. In die Transportentfernungen des Grundstofftransports wurden die Transportentfernungen von Phosphorsäure und Koffein vom Lieferanten zum Grundstoffhersteller einberechnet (für Phosphorsäure wurde eine pauschale Transportentfernung von 500 km angenommen, da sie von wechselnden Lieferanten in Deutschland bezogen wird).

Transportverpackungen wie die Cola-Kisten sind nicht primäre Bestandteile des Produktes und wurden auf Grund des begrenzten Umfangs der Studie im Modell vernachlässigt. Kisten haben nach Angaben des Abfüllers eine Nutzungsdauer von 20 Jahren und somit einen geringen Anteil an den Umweltwirkungen des Produktes.

Transition T3: Vertrieb Cola

Die Transition repräsentiert den Transport der Cola vom Abfüller in die Städte und Läden, wo die Cola vertrieben wird. Innerhalb dieser Transition wurde ein Subnetz mit weiteren spezifizierten Transitionen angelegt, um den Transport im Vertrieb auf einem höheren Detaillierungsgrad zu modellieren. Die grafische Darstellung des Subnetzes findet sich in Anhang B.

Die Transporte wurden, ebenso wie die Transporte der Zutaten, mit einem Modell aus der Umberto-eigenen Modulbibliothek berechnet (vgl. Borken et al. 1999; Knörr, W. et al. 1997; Schmidt, M. et al. 1998).

Im Subnetz wurde zunächst eine Verteiltransition angelegt (T19). Hier wurde mit Hilfe von Koeffizienten angegeben, welcher prozentuale Anteil von den aus der Abfüllung kommenden, befüllten Cola-Flaschen in die jeweiligen Städte transportiert werden. Grundlage zur Berechnung der Koeffizienten bildeten die an die Großhändler verkauften Kistenmengen in 2008, welche vom Unternehmen Premium dokumentiert wurden.

Die Transitionen mit Städtenamen repräsentieren die Transporte vom Abfüller zu den Großhändlern in den Städten, die wegen ihrer zentralen Stellung zur Weiterverteilung der Cola auch Knotenpunkte genannt werden. Die in diesen Transitionen angegebenen Entfernungen repräsentieren die Entfernungen vom Abfüller bis zum Großhändler in der jeweiligen Stadt. Die Distanzen und die Anteile an Autobahn-, Landstraßen- und Stadtverkehr wurden mit der internetgestützten Routenberechnung map24.com berechnet. Als Transportmittel wurde auf Grund der Angaben von Premium Cola ein 40t-LKW mit einer maximalen Nutzlast von 28 Tonnen angenommen. Es wurde ein Auslastungsgrad der Transportmittel von 90% auf der Hinfahrt und 70% auf der Rückfahrt angenommen. Nach Aussagen der Spediteure sind diese Auslastungsgrade eine eher pessimistische Schätzung, sollen somit aber den „worst case“ und die hierdurch maximal verursachte Umweltbelastung abbilden.

Von den Knotenpunktstädten wird die Cola durch Händler weiterverteilt in umliegende Städte. Die in diesen Transitionen (zum Beispiel T12: Hamburg Umgebung) modellierten Transportentfernungen repräsentieren das arithmetische Mittel der Transportstrecken vom Großhändler in der jeweiligen Knotenpunktstadt zu den Händlern oder Läden der Orte außerhalb der Knotenpunktstadt. Die Distanzen wurden wieder mit map24.com berechnet. Als Start wurde die Adresse des jeweiligen Großhändlers am Knotenpunkt eingegeben und als Ziel die Adresse des Händlers oder – wenn nicht vorhanden – eines Ladens in der jeweiligen Stadt. Die so berechneten Entfernungen wurden gemittelt und repräsentieren damit die Strecke, die eine Flasche Premium Cola durchschnittlich bei der Verteilung durch Händler gefahren wird. Zur Vereinfachung wurde immer von den Knotenpunkten als Start ausgegangen, auch wenn manche Läden von anderen Orten aus beliefert werden. Es wurde pauschal für alle Transporte ein Anteil von 40% Autobahnverkehr, 40% an Landstraßenverkehr und von 20% an Stadtverkehr angenommen. Als Transportmittel wurde ein 14t-Diesel-LKW mit einer maximalen Nutzlast von 10,5 Tonnen angenommen.

Für Fahrten innerhalb der Knotenpunktstädte wurden weitere Transitionen angelegt (zum Beispiel T32: Hamburg Innerorts). Hier wurde bestimmt, dass eine Cola-Flasche durchschnittlich eine Strecke von 8 km vom Händler zu den einzelnen Läden in der Stadt gefahren wird (die Informationen zu Vertriebsstädten und Läden basieren auf den Angaben von Premium Cola). Der Anteil an Stadtverkehr wurde auf 100% gesetzt. Als Transportmittel wurde ein 7,5t-Diesel-LKW mit einer maximalen Nutzlast von 3,72 Tonnen angenommen.

Transition T29: Genuss, Entsorgung

Dieses Modul beschreibt den Genuss des Produktes Cola und die Entledigung der Abfallstoffe durch den Kunden. Die befüllte Cola-Flasche wird hierbei wieder in ihre Bestandteile zerlegt, die bei der Abfüllung zusammengefügt wurden. Kohlendioxid von der Kohlensäure entweicht in die Luft. Das Getränk geht in die Abwasserbehandlung. Es wird angenommen, dass das Etikettenpapier vollständig in der Müllverbrennung entsorgt wird. Der Stahlschrott der Kronenkorken und die Glasflaschen gelangen ohne Verluste in die nächste Transition T14.

Transition T14: Entsorgung, Recycling

Diese Transition beschreibt die Rückführung eines Teils der Glasflaschen in die Abfüllung sowie die Rückführung des gesamten Stahlschrotts der Kronenkorken in die Kronenkorkenherstellung. Die Rückführungsanteil der Glasflaschen beträgt nach Angaben des Abfüllers 95%. Es wurde angenommen, dass der Rest des Glases 5% in die Müllverbrennung gelangen. Die Rücktransporte sind bereits im Vertrieb modelliert, da Spediteure bei der Auslieferung der Cola die Leergutflaschen abholen. Der Transport des Stahlschrotts wurde vernachlässigt, ebenso wie die Modellierung einer Müll-Sortieranlage, ist bei einer Erweiterung des Modells aufzunehmen.

Die Herkunft der Daten der Hintergrundprozesse, wie die Bereitstellung von Strom, Erdgas und Treibstoff sowie die Abfallentsorgungsverfahren, sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Tabelle 1: Quellen der Transitionen für Hintergrundprozesse

Transition	Modulname Ecoinvent	Quelle
T23: Dieselpreparierung m.V. („mit Vorketten“)	Diesel, ab Regionallager	Jungbluth 2003
T24: Erdgasbereitstellung m.V.	Erdgas, in Heizkessel Gebläsebrenner <100kW	Faist Emmenegger et al. 2003
T25: Strombereitstellung m.V., Mittelspannung	Strom, Mittelspannung, ab Netz	Frischknecht/Faist Emmenegger 2003
T22: Trinkwasserbereitstellung m.V.	Trinkwasser, ab Hausanschluss	Althaus et al. 2004
T30: Glas Müllverbrennung	Entsorgung, Glas, 0% Wasser, in Kehrichtverbrennung	Doka 2003
T31: Papier Müllverbrennung	Entsorgung, Papier, 11.2% Wasser, in Kehrichtverbrennung	Doka 2003
T32: Abwasserbehandlung	Behandlung, Abwasser, in Abwasserreinigung, Gr.Kl. 3	Doka 2003
T33: Weißblech Müllverbrennung	Entsorgung, Weissblech, 0% Wasser, in Kehrichtverbrennung	Doka 2003

Das Ergebnis der Erstellung der Sachbilanz sind die berechneten Input- und Outputströme der einzelnen Prozesse bezogen auf den Referenzfluss von 0,66 kg befüllter Premium-Cola-Flasche (zum Beispiel Strominput pro Flasche). Die Sachbilanzdaten werden auf Grund der Vertraulichkeit der Daten und ihrer geringen Aussagekraft für Umweltwirkungen nicht näher behandelt, sondern direkt in der Wirkungsabschätzung weiter verarbeitet.

3.2.3 Wirkungsabschätzung

Zur Durchführung der Wirkungsabschätzung wurde die von Guinée beschriebene CML-Methode verwendet, die die Schritte der Auswahl von Wirkungskategorien, Wirkungsindikatoren und Charakterisierungsmodellen umfasst (vgl. Guinée 2002: 63ff). Eine Intervention in die Umwelt löst in der Regel eine Reihe von nacheinander auftretenden Effekten aus (primäre, sekundäre, tertiäre Effekte). Die CML-Methode erfasst Umweltwirkungen auf einer niedrigen Stufe in der Wirkungskette von Umweltmechanismen (Midpoint-Indikatoren). In der Kategorie Klimaerwärmung wird die Verstärkung der Infrarotstrahlung als Wirkungsindikator angelegt. Im Gegensatz zu einer schadensorientierten Methode werden somit potenzielle Umweltwirkungen erfasst und nicht die letztendliche Auswirkung einer Intervention auf die Umwelt (Endpoint-Indikatoren) (vgl. Guinée 2002: 132). Die problemorientierte CML-Methode wird angewendet, da noch erhebliche Unsicherheiten in der Modellierung der Wirkungskette von Umweltmechanismen bestehen und finale Auswirkungen schwer abgeschätzt werden können. Mid-Point-Indikatoren können relativ sicher bestimmt werden und lassen sich leichter für umweltpolitische Zielsetzungen operationalisieren. Zudem verfügt die CML-Methode über eine breite internationale Anwenderschaft (vgl. Guinée 2002: 532).

Die Charakterisierungsfaktoren sind im Umberto-Stoffstrommodell in den Eigenschaften der Materialien hinterlegt. Die CML-Methode kann in der Software Umberto implementiert werden und ermöglicht die einfache Weiterverarbeitung der Sachbilanzdaten. Die Schritte der Klassifizierung und Charakterisierung lassen sich somit automatisch durchführen. Hierbei werden die Materialien in der Sachbilanz Wirkungskategorien zugeordnet und mit den jeweiligen Charakterisierungsfaktoren multipliziert (vgl. Soukup 2008: 70). Als weiterer optionaler Bestandteil der Wirkungsabschätzung wird eine

Normierung, das heißt der Bezug der Daten auf Referenzwerte, durchgeführt. Gruppierung und Gewichtung sind nicht Bestandteil dieser Studie.

In der Auswertung wird die Kategorie Klimawandel näher untersucht, daher soll kurz auf das zugrundeliegende Charakterisierungsmodell eingegangen werden: Klimawandel ist im Rahmen der Wirkungsabschätzung definiert als die Auswirkung von durch den Menschen verursachten Emissionen auf die Infrarotstrahlung der Atmosphäre. Die sogenannten Treibhausgasemissionen verstärken die Infrarotstrahlung, was zu einer Erwärmung der Erdoberfläche führt und Konsequenzen für die Funktion von Ökosystemen, wie Korallenriffe, hat (vgl. Guinée 2002: 571). Um die Auswirkungen verschiedener Treibhausgasemissionen vergleichen zu können, wurde jedem Gas nach dem Charakterisierungsmodell des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) ein Global Warming Potential Index zugewiesen. Dieser setzt das Ausmaß der Verstärkung der Infrarotstrahlung verursacht durch ein Kilogramm der Substanz ins Verhältnis zu dem Effekt einer gleichwertigen Emission von Kohlenstoffdioxid. Ein zeitlicher Parameter wird in die Berechnung ebenfalls mit einbezogen, da beispielsweise OH-Radikale Treibhausgasemissionen abbauen und somit deren Klimawirksamkeit über die Zeit abnimmt (vgl. Guinée 2002: 572). Beim in dieser Studie untersuchten GWP100a wird der kumulative Effekt der Emissionen auf die Infrarotstrahlung über 100 Jahre betrachtet. Die Indikatorergebnisse der Wirkungsabschätzung drücken das Klimaerwärmungspotential in CO₂-Äquivalenten aus.

3.2.4 Auswertung

Die in der Studie vorliegende Datenlage erlaubt nur eine Annäherung an tatsächlich vom Produktsystem ausgehende Umweltwirkungen. Dennoch kann die Qualität, der Detaillierungsgrad und die Aktualität der Daten als ausreichend gesehen werden, um dem Ziel der Studie – einen Überblick über die von der Cola ausgehenden Umweltwirkungen und die Relevanz einzelner Lebenswegabschnitte zu erlangen – gerecht zu werden.

In der folgenden Auswertung werden die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung zunächst für alle Umweltkategorien dargestellt und die jeweiligen Wirkungskategorien erläutert. Die Kategorie Klimawandel steht bei der Auswertung auf Grund des speziellen Interesses von Premium Cola im Fokus. Die Hauptquellen der klimarelevanten Emissionen werden identifiziert und den Bereichen des ESCM von Premium Cola zugeordnet. In zwei Sensitivitätsanalysen wird zum Einen untersucht, welchen Einfluss

eine Umstellung auf Zucker aus ökologischem Anbau auf das Klimaerwärmungspotential haben könnte. Zum Anderen wird getestet, wie sich eine Reduktion des Gewichtes der Glasflasche auf die Höhe der Treibhausgasemissionen auswirken würde. Im vierten Abschnitt der Auswertung wird eine Normierung der Indikatorergebnisse durchgeführt. Dies dient dazu, die Umweltbelastungen einer Flasche Cola ins Verhältnis zu den globalen Umweltbelastungen zu setzen und aufzuzeigen welche weiteren Wirkungskategorien zukünftig untersucht werden sollten. Die Ursachen für die Umweltbelastungen in den herausragenden Kategorien werden genannt aber auf Grund des Umfangs und des Ziels der Studie nicht näher untersucht.

Ergebnisse der Wirkungsabschätzung

Die in Tabelle 2 aufgelisteten Ergebnisse drücken aus, wie viel Umweltgefährdungspotential von 0,33 Liter Premium Cola in einer Longneck-Glasflasche ausgeht. Bei allen Zahlen gilt das Prinzip „less is better“, das heißt, je niedriger das Indikatorergebnis ist, desto geringer ist die Umweltbelastung in dieser Kategorie. Die Ergebnisse drücken die Auswirkungen in den jeweiligen Wirkungskategorien im globalen Rahmen und über einen unendlichen Zeithorizont aus. Bei der Kategorie Klimawandel wird abweichend ein Zeithorizont von 100 Jahren betrachtet, da längerfristige Effekte nur mit großen Unsicherheitsfaktoren bestimmt werden können.

Tabelle 2: Ergebnisse der Wirkungsabschätzung bezogen auf die funktionelle Einheit 0,33l Premium Cola in einer Longneck-Glasflasche (Gewicht 0,33kg)

Wirkungskategorie	Wert	Einheit
Klimawandel	00,1	kg CO ₂ -Äq
Aquatische Seewasser-Ökotoxizität	30,25	kg 1,4 DCB-Äq
Aquatische Süßwasser-Ökotoxizität	00,019	kg 1,4 DCB-Äq
Boden-Ökotoxizität	00,00028	kg 1,4 DCB-Äq
Humantoxizität	00,11	kg 1,4 DCB-Äq
Land, Inanspruchnahme	00,043	m ² /a
Photochemische Oxidation (Sommersmog) Hoch-NO _x	00,000015	kg Ethylen-Äq
Erschöpfung abiotischer Ressourcen	00,00061	kg Antimon-Äq
Sedimentäre Seewasser-Ökotoxizität	18,81	kg 1,4 DCB-Äq
Sedimentäre Süßwasser-Ökotoxizität	00,045	kg 1,4 DCB-Äq
Stratosphärischer Ozonabbau	00,00	kg CFC-11-Äq
Versauerungspotenzial	00,00049	kg SO ₂ -Äq
Überdüngungspotenzial	00,00018	kg PO ₄ -Äq

Klimawandel: Diese Kategorie gibt die Verstärkung der Infrarotstrahlung in der Atmosphäre infolge der durch den Menschen verursachten Emissionen an. Die Wirkung wird ausgedrückt in CO₂-Äquivalenten.

Ökotoxizität (aquatische, sedimentäre, Boden-): Die Ökotoxizitätskategorien beschreiben den Einfluss toxischer Substanzen wie Schwermetalle, organische Lösungsmittel oder Pestizide auf aquatische, sedimentäre oder terrestrische Ökosysteme. Die berücksichtigten Stoffe können auf unterschiedliche Arten toxisch sein: Sie können unter anderem Hautirritationen hervorrufen sowie krebserregend, fruchtschädigend oder erbgutschädigend sein (vgl. Baumann/Tillmann 2004: 151). Das Ausmaß der Schädigung eines Schadstoffs wird berechnet, indem die prognostizierte Konzentration des Stoffes im jeweiligen Umweltkompartiment ins Verhältnis gesetzt wird zu der harmlosen („no-effect“) Konzentration. Diese Kennzahl wird wiederum in Relation gesetzt zur Kennzahl der Referenzsubstanz 1,4-Dichlorbenzol. Dies ist ein gängiges Pestizid, welches in der Umwelt schlecht abbaubar ist, bei tierischen Organismen vorwiegend Leber und Nieren schädigt und karzinogen wirkt (Sepeur 2004). Durch Akkumulation im Fettgewebe kann es sich über die Nahrungskette verbreiten. Das beschriebene Wirkungsmodell wird bei allen Ökotoxizitätskategorien (aquatische, sedimentäre und Boden-Ökotoxizität) angewandt. In den Ökotoxizitätskategorien werden Emissionen in die Luft, in Süß- und Salzwasser und in agrikulturelle und industrielle Böden sowie die Distribution der Stoffe berücksichtigt.

Humantoxizität: Diese Kategorie beschreibt die Auswirkungen von toxischen Stoffen in der Umwelt auf die menschliche Gesundheit. Das Ausmaß der Gesundheitsschädigung eines Stoffes wird berechnet, indem die prognostizierte täglich aufgenommene Menge des Stoffes ins Verhältnis gesetzt wird zu der harmlosen täglichen Dosis; diese Kennzahl wird wiederum in Relation gesetzt zur Kennzahl der Referenzsubstanz 1,4-Dichlorbenzol.

Land, Inanspruchnahme: Diese Kategorie beschreibt den zeitweiligen Verlust von Naturfläche als Ressource infolge menschlicher Inanspruchnahme. Der Verlust von Land wird ausgedrückt in Quadratmetern pro Jahr.

Photochemische Oxidation (Sommersmog): Photooxidantienbildung ist die Bildung reaktiver Substanzen (hauptsächlich Ozon), die für Mensch und Ökosystem schädlich sind. Hohe Konzentrationen von flüchtigen organischen Substanzen (VOC) und Stickoxiden in der Troposphäre, wie sie zum Beispiel bei Verbrennungsprozessen in Kraftfahrzeugen entstehen, sind die Hauptursache für Sommersmog. Das Potential der Photooxidantienbildung wird berechnet, indem die Veränderung der Ozonkonzentration verursacht durch die veränderte Konzentration eines bestimmten VOC ins Verhältnis gesetzt wird zu der Veränderung der Ozonkonzentration verursacht durch eine gleich-

wertige Emission von Ethylen. Eine bestimmte Hintergrundkonzentration von Stickoxiden wird hierbei vorausgesetzt, da diese als Katalysatoren die Ozonbildung erst ermöglichen.

Erschöpfung abiotischer Ressourcen: Unter abiotischen Ressourcen werden nichtlebende Materialien wie Eisenerz oder fossile Brennstoffe verstanden. Um das Erschöpfungspotential einzelner abiotischer Ressourcen zu bestimmen, wird die derzeit vorhandene Masse der Ressource im Umweltmedium (z.B. der Erdkruste) und die Extraktionsrate dieser Ressource in Kilogramm pro Jahr in Relation gesetzt zu der vorhandenen Masse und Extraktionsrate des seltenen Elements Antimon.

Stratosphärischer Ozonabbau: Hierbei handelt es sich um den Abbau des stratosphärischen Ozons durch vom Menschen verursachte Emissionen. Die Ozonschichtzerstörung hat zur Folge, dass ein größerer Anteil von UV-B-Strahlung auf die Erdoberfläche gelangt mit negativen Auswirkungen auf die menschliche und tierische Gesundheit, terrestrische und aquatische Ökosysteme sowie biochemische Kreisläufe. Das Ozonzerstörungspotential wird berechnet, indem die Veränderung der Ozonkonzentration relativ zum Gleichgewichtszustand verursacht durch die jährliche Emission eines Stoffes (kg pro Jahr) ins Verhältnis gesetzt wird zu der Kennzahl des Fluorchlorkohlenwasserstoffes CFC-11.

Versauerungspotential: Stoffe wie Schwefeldioxid, Stickoxide und NH_x (Ammoniak, Ammonium) können eine Vielzahl von Auswirkungen auf Böden, das Grundwasser, Oberflächengewässer, Organismen und Ökosysteme haben. Mögliche Konsequenzen sind Saurer Regen, Fischsterblichkeit in Seen und der Rückgang von Wäldern. Das Versauerungspotential eines Stoffes bemisst sich an der Anzahl von H^+ -Ionen, die er pro Kilogramm freisetzen kann. Die Wirkung von versauernden Substanzen ist abhängig von dem Ausgangszustand des Ökosystems, in welches die Substanz abgelagert wird (z.B. basischer oder saurer Boden). Deshalb wird bei der Berechnung des Versauerungspotential die durchschnittliche Sensitivität von Ökosystemen in Europa zugrunde gelegt. Das Versauerungspotential wird ausgedrückt in Schwefeldioxid-Äquivalenten.

Überdüngungspotential: Diese Kategorie umfasst die möglichen Effekte von überdurchschnittlich hohen Konzentrationen von Nährstoffen wie Phosphor und Stickstoff in Böden oder Gewässern. Überdüngung kann eine ungewollte Veränderung der Artenzusammensetzung und eine übermäßige Produktion von Biomasse sowohl in aquatischen als auch in terrestrischen Ökosystemen zur Folge haben. In aquatischen Ökosystemen kann ein starkes Pflanzenwachstum zu einer Verringerung des Sauerstoffgehalts

im Wasser führen und andere aquatische Lebewesen schädigen, da Sauerstoff zum Abbau abgestorbener organischer Materie benötigt wird. Das Überdüngungspotential eines Stoffes wird in der Fähigkeit ausgedrückt, Biomasse aufzubauen und wird in Phosphat-Äquivalenten beschrieben. Hierbei wird von der durchschnittlichen, chemischen Zusammensetzung von aquatischen Lebewesen ausgegangen, dessen Wachstum in erster Linie vom Vorhandensein von Phosphor und Stickstoff limitiert wird (vgl. Guinee 2002: 525ff).

Wirkungskategorie Klimawandel

Klimawandel ist im Rahmen der Wirkungsabschätzung definiert als die Auswirkung von durch den Menschen verursachten Emissionen auf die Infrarotstrahlung der Atmosphäre. Der Wert in der Tabelle 2 drückt aus, dass die Emissionen einer Flasche Premium Cola Auswirkungen auf das Klima haben, welche äquivalent zu 100 Gramm CO₂ sind.

Der Beitrag der einzelnen Transitionen zur Klimawirkung des Gesamtsystems wurde den Arbeitsbereichen des Environmental Supply Chain Managements von Premium Cola zugeordnet. Die Ergebnisse sind in der Abbildung 1 zu sehen.

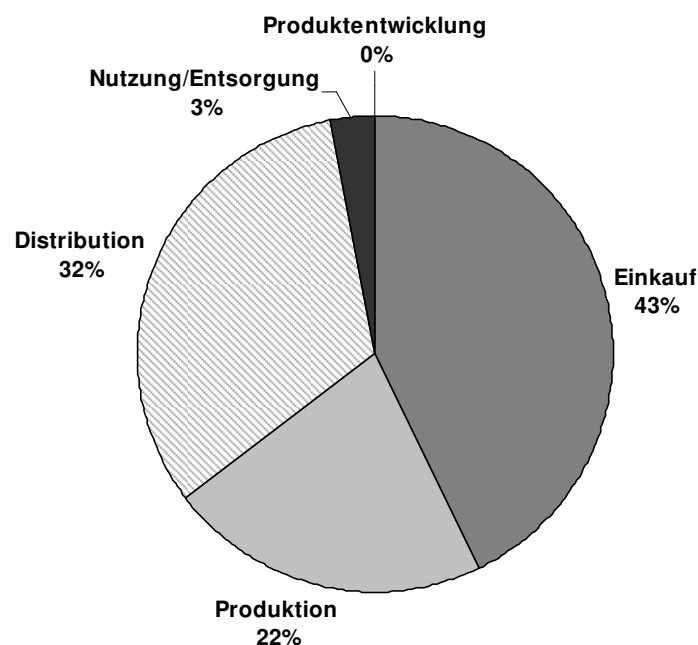


Abbildung 1: Beiträge der ESCM-Bereiche zum Klimaerwärmungspotential

Produktentwicklung: Bei der Produktentwicklung werden alle aus späteren Phasen resultierenden Umweltwirkungen festgelegt, weshalb dieser Phase eigentlich eine große Bedeutung zukommt. Die Produktentwicklung hat allerdings keinen korrespondierenden Prozess im Stoffstrommodell, daher können dieser Phase in der Modellberechnung keine Umweltwirkungen zugeordnet werden.

Einkauf: Der Einkauf umfasst alle Lebenswegabschnitte, die der Abfüllung der Cola vorangehen. Dies sind die Herstellung und der Transport der Komponenten Papier, Druckfarbe, Etiketten, Kolanuss, Phosphorsäure, Zucker, weißes Verpackungsglas, Chromstahl und Kronenkorken. Diese Prozesse wurden dem Bereich Einkauf zugeordnet, da aus Sicht von Premium Cola, alle Komponenten aus denen sich die Cola zusammensetzt, eingekauft werden. Auf Grund der Modellstruktur wurden die Prozesse der Grundstoffmischung (Transition T11) und des Etikettendrucks (Transition T9) nicht unter den Einkauf sondern unter den Bereich Produktion gefasst.

Die Modellberechnung ergab, dass die Klimawirkungen zum überwiegenden Teil, zu 43%, von den Lebenswegabschnitten ausgehen, die der Abfüllung der Cola vorangehen. Die Treibhausgasemissionen im Bereich Einkauf sind zum größten Teil auf die Zuckerherstellung aus Zuckerrüben zurückzuführen. Mit 0,025 kg CO₂-Äquivalenten ist der Zuckerproduktion ein Viertel der gesamten klimawirksamen Emissionen des Produktsystems Premium Cola zuzuschreiben. Bei der Herstellung von weißem Verpackungsglas und der Chromstahlproduktion werden zusammengenommen 0,015 kg CO₂-Äquivalente pro Flasche Premium Cola emittiert.

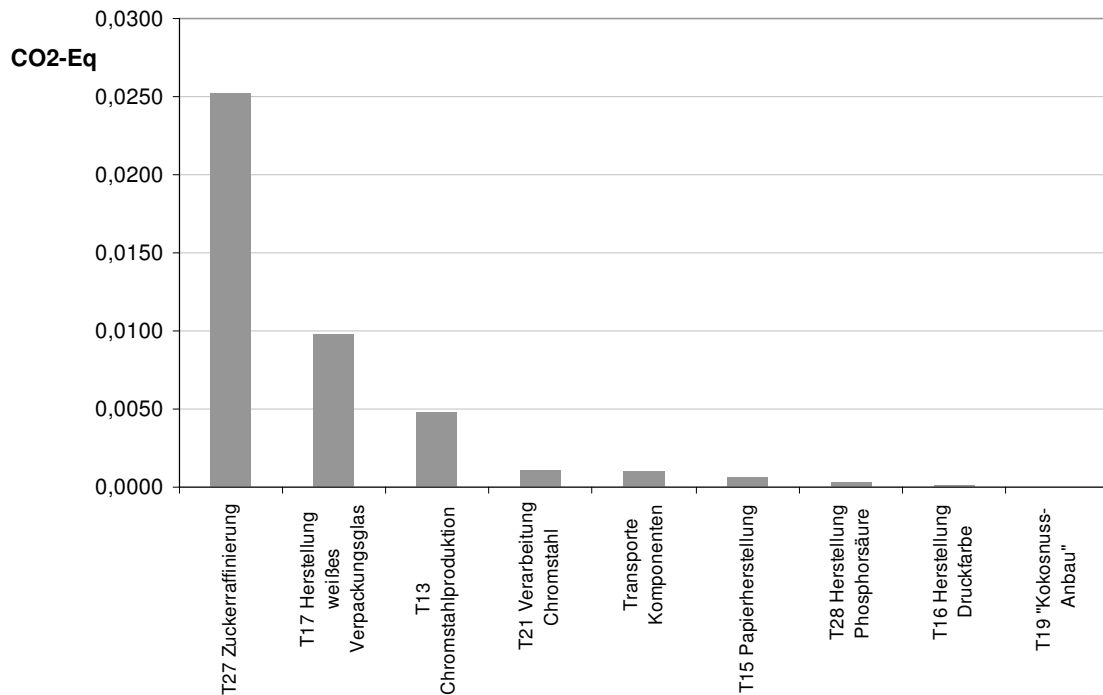


Abbildung 2: Beiträge der Prozesse im Bereich Einkauf zum Klimaerwärmungspotential

Distribution: Die Distribution der Cola, welche in der Transition T3 modelliert wurde, ist der Vertrieb der Cola vom Abfüller in die Vertriebsstädte. Die Distribution der Cola trägt zu 32 % zu den Klimawirkungen des Produktsystems bei. Die Treibhausgasemissionen stammen aus den Vorketten der Dieselbereitstellung und der Verbrennung des Treibstoffs bei den Transporten.

Der Vertrieb der Cola lässt sich in drei Abschnitte einteilen:

- Die Transporte vom Abfüller zu den Großhändlern in Knotenpunktstädten
- Die Weiterverteilung der Cola von den Großhändlern zu Händlern und Läden in Städten außerhalb der Knotenpunkte
- Die Transporte zu Läden innerhalb der Knotenpunkte

Abbildung 3 stellt den Beitrag dieser Transportabschnitte zur Klimawirkung des Vertriebs dar.

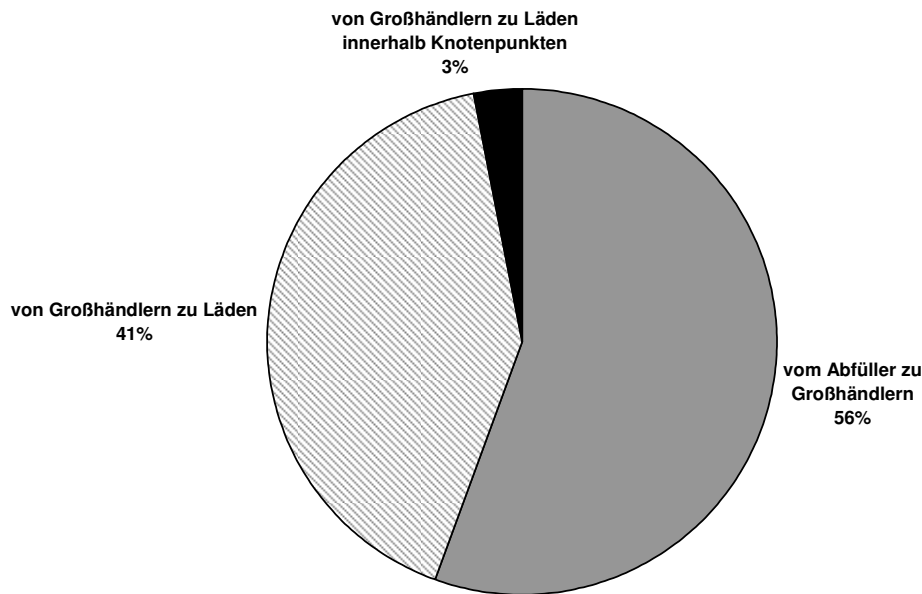


Abbildung 3: Beiträge der Transportabschnitte im Vertrieb zum Klimaerwärmungspotential des Vertriebs

Die Langstreckentransporte vom Abfüller in Süddeutschland zu den Großhändlern in den Knotenpunktstädten (Städte, von denen aus die Cola weiterverteilt wird) tragen den Großteil zu den klimawirksamen Emissionen des Vertriebs bei (56%), da hier die längsten Strecken zurückgelegt werden. Die Transporte von den Großhändlern zu Läden in Städten außerhalb der Knotenpunkte machen 41% der Vertriebsemissionen aus. 3% werden bei Stadtfahrten innerhalb der Knotenpunktstädte emittiert.

Produktion: Die Produktion umfasst die Prozesse der Abfüllung (Transition T1), der Grundstoffmischung (Transition T11) und des Etikettendrucks (Transition T9).

22% des Klimaerwärmungspotentials einer Cola gehen vom Bereich Produktion aus. Die Entstehung der Emissionen ist in diesen Prozessen auf die Vorketten der Strombereitstellung und auf die Verbrennung von Erdgas zurückzuführen. Der Erdgasverbrauch verursacht hierbei den Großteil der Emissionen. Das Erdgas wird im Modell ausschließlich in der Abfüllung zur Erhitzung des Wassers in der Flaschenwaschmaschine gebraucht. Pro Flasche Premium Cola entfallen also 0,014 kg CO₂-Äquivalente auf den Prozessschritt der Erhitzung des Waschwassers.

Nutzung/Entsorgung: Zum Bereich Nutzung/Entsorgung zählen die Abwasserbehandlung sowie die Müllverbrennung von Glas-, Blech- und Papiermüll. Nutzungs- und Ent-

sorgungsprozesse verursachen in diesem Modell einen geringen Teil der Emissionen (3%).

Sensitivitätsanalysen Klimawandel

Da gemäß den Modellberechnungen in den Bereichen Einkauf und Distribution die meisten Treibhausgasemissionen entstehen, wurde in zwei Sensitivitätsanalysen der Einfluss zweier Parameter auf die Klimabilanz untersucht. Im Bereich Einkauf wurde getestet, inwieweit sich eine Umstellung auf Zucker aus ökologisch angebauten Zuckerrüben auf die Klimabilanz auswirken würde. Im Bereich Distribution wurde untersucht, wie viel Emissionen durch eine Gewichtsreduktion der Glasflasche eingespart werden könnten.

Einkauf: Ein Viertel aller klimarelevanten Emissionen, die von einer Flasche Premium Cola ausgehen, stammen aus der Zuckerherstellung mit allen Vorketten. Der Zuckerrübenanbau verursacht hierbei 0,0066 kg CO₂-Äquivalente pro Flasche Premium Cola, das entspricht 7% der gesamten klimarelevanten Emissionen. Eine Reduktion der Treibhausgase könnte sich durch eine Umstellung auf Zuckerrüben aus ökologischem Anbau erreichen lassen. Verschiedene Studien haben bereits die Klimawirkungen des konventionellen Anbaus mit jenen des ökologischen Anbaus verglichen. Die Studien kommen zu dem Ergebnis, dass der ökologische Landbau in der Regel klimafreundlicher ist als der konventionelle Landbau. Dies liegt in erster Linie an dem Einsatz großer Mengen mineralischen Stickstoffdüngers in der konventionellen Landwirtschaft, welcher bei Produktion und Einsatz hohe Treibhausgasemissionen verursacht (vgl. Hirschfeld et al. 2008; Haas/Köpke 1994). Das errechnete Reduktionspotential des ökologischen Anbaus variiert allerdings von Studie zu Studie. Hirschfeld et al. kommen bei der Untersuchung des Winterweizenanbaus zu dem Ergebnis, dass das Klimaerwärmungspotential pro Kilogramm produzierter Trockenmasse beim ökologischen Anbau 55% unter jenem des konventionellen Anbaus liegt (vgl. Hirschfeld et al. 2008: 61). Hülsbergen und Küstermann untersuchten den Fruchtfolgenanbau ökologischer und integrierter⁷ Betriebe und sehen ein Treibhausgasreduktionspotential von 26% pro Kilogramm Trockenmasse (vgl. Hülsbergen/Küstermann 2007: 18). Haas und Köpke errechneten für den Zuckerrübenanbau mit Blattgerbung einen 36,7% geringeren Energieeinsatz pro Tonne produzierter Trockenmasse beim ökologischen gegenüber dem konventionellen

⁷ Beim integrierten Anbau werden im Vergleich zum konventionellen Anbau weniger Pestizide und Herbizide verwendet und es wird auf eine ausgeglichene Nährstoffbilanz geachtet. Der integrierte Anbau erfüllt jedoch nicht die Anforderungen des ökologischen Anbaus (vgl. Nemecek/Kägi 2007: 127).

Anbau (vgl. Haas/Köpke 1994: 18). Der Energieeinsatz korreliert in der Untersuchung mit den Treibhausgasemissionen, weshalb an dieser Stelle auch von einer Reduktion der Treibhausgase um 36,7% ausgegangen werden soll.

Die Umstellung auf ökologisch angebauten Zucker ist für Premium Cola generell möglich, allerdings wäre der ökologische Zuckerproduzent wesentlich weiter vom Abfüller entfernt. Um zu überprüfen, ob eine Umstellung auf Biozucker trotz eines längeren Transportweges sinnvoll wäre, wurde das Klimaerwärmungspotential zweier Szenarien im Modell berechnet und verglichen: Im Szenario „Konventionell angebauter Zucker“ wird der Zucker über einen Transportweg von 40,89 km zum Abfüller transportiert. Im Vergleichsszenario „Ökologisch angebauter Zucker“ wird der Zucker über einen Transportweg von 588,26 km zum Abfüller transportiert. Der Zuckerrübenanbau wurde in beiden Szenarien mit Daten vom integrierten Anbau von Zuckerrüben in der Schweiz modelliert (vgl. Nemecek/Kägi 2007). Daten zum ökologischen Anbau waren nicht verfügbar. Daher wurden im Szenario „Ökologisch angebauter Zucker“ vom Klimaerwärmungspotential des Zuckerrübenanbaus die in der Literatur genannten Klimavorteile des ökologischen Landbaus von 26%, 36,7% und 55% abgezogen. Zu den reduzierten Werten wurde jeweils das Klimaerwärmungspotential des Transportes über 588,26 km addiert und mit dem Klimaerwärmungspotential des Anbaus und Transportes vom Szenario „Konventionell angebauter Zucker“ verglichen. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 3 aufgeführt.

Tabelle 3: Klimaerwärmungspotential in kg CO₂-Äquivalenten in den Szenarien „Konventionell angebauter Zucker“ und „Ökologisch angebauter Zucker“

Szenario „Konventionell angebauter Zucker“ Transportstrecke: 40,89 km		0,0067	kg CO ₂ -Äq
Szenario „Ökologisch angebauter Zucker“, Transportstrecke: 588,26 km	Klimavorteil des ökologischen Anbaus von 26%	0,0071	kg CO ₂ -Äq
	Klimavorteil des ökologischen Anbaus von 36,7%	0,0064	kg CO ₂ -Äq
	Klimavorteil des ökologischen Anbaus von 55%	0,0052	kg CO ₂ -Äq

Aus diesen Berechnungen ergibt sich, dass eine Umstellung auf ökologisch angebauten Zucker trotz längeren Transportweges aus Klimaschutzgründen sinnvoll wäre, wenn die Klimavorteile des ökologischen Anbaus bei 36,7% oder darüber liegen würden. Die Treibhausgaseinsparungen liegen in diesem Szenario bei 0,0003 kg CO₂-Äquivalenten pro Flasche Premium Cola. Zusätzlich ist zu bedenken, dass mit der Umstellung auf

Zucker aus ökologischem Anbau weitere ökologische Vorteile wie ein vermindertes Versauerungs- und Überdüngungspotential einhergehen würden (vgl. Haas 2003: 130).

Vertrieb: Vom Vertrieb der Cola gehen 32% der gesamten im Lebensweg der Cola entstehenden Treibhausgasemissionen aus. Die transportbedingten Treibhausgasemissionen sind abhängig von dem Gewicht des Transportgutes, von der Größe des Transportfahrzeuges und von dessen Auslastungsgrad sowie der zurückgelegten Entfernung. Generell wirken sich ein hoher Auslastungsgrad und die Wahl eines großen, ausgelasteten Transportfahrzeugs positiv auf die Klimabilanz aus. Bei gleichbleibenden Bedingungen (gleiche Auslastung und Größe) ändern sich die Umweltbelastungen linear mit der Transportentfernung (Schonert et al. 2002: 146).

Das Gewicht des Transportgutes wirkt sich auf den Kraftstoffverbrauch des Transportfahrzeugs und damit auf die Emissionen aus. Im Fall von Premium Cola hat das Transportgut, eine Flasche Premium Cola, ein Gewicht von 660 Gramm. Die Hälfte des Gewichtes entfällt hierbei auf die Glasflasche, die andere Hälfte ist das Gewicht des Füllgutes Premium Cola. Während das Gewicht des Füllgutes nicht verändert werden kann, könnte eine Gewichtsreduktion der Verpackung möglich sein. Es sei verwiesen auf die Studie des Umweltbundesamtes zur Ökobilanz von Getränkeverpackungen. Nach Erkenntnis der Studie ist der fossile Energieverbrauch (über den gesamten Lebensweg) einer 0,7l-Glas-Mehrwegflasche ab einer Transportentfernung von ca. 300 km höher als jener einer 1,5l-PET-Rücklaufflasche. Bei einer Transportentfernung unter 300 km überwiegen allerdings die ökologischen Vorteile der Glas-Mehrwegflasche (Schonert et al. 2002: 222). Das Verhältnis von Verpackungsgewicht zu Füllgewicht ist bei der untersuchten 0,7l-Mehrwegflasche ähnlich wie bei der 0,33l-Premium-Cola-Flasche (50% des Transportgewichts entfällt auf die Verpackung, 50% auf das Füllgut), weshalb die Erkenntnisse der Studie des Umweltbundesamtes auf Premium Cola übertragbar sein könnten (Schonert et al. 2002 :89).

Eine Umstellung auf PET-Flaschen ist für Premium Cola aus Qualitätsgründen wahrscheinlich nicht denkbar. Um eine Reduktion des Transportgewichtes zu erreichen, könnte alternativ über eine Umstellung auf Leichtglasflaschen nachgedacht werden. Nach Aussagen der Glasindustrie hat eine gängige 0,33l-Mehrweg-Leichtglasflasche ein Gewicht von 290 bis 310 Gramm und kann 50 bis 60 Mal neu befüllt werden. Diese Möglichkeit wurde im Stoffstrommodell in einem Szenario untersucht. Bei einer Reduktion des Transportgewichtes um 20 Gramm würden sich die gesamten Emissionen

um 7,4 Gramm pro Flasche Premium Cola senken lassen. Dies entspräche bei einem Flaschenumsatz wie im Jahr 2008 rund 2030 Kilogramm CO₂-Äquivalenten pro Jahr.

Weitere Wirkungskategorien

Neben den Auswirkungen der Produktion und des Vertriebs von Premium Cola auf die Klimaerwärmung, trägt das Produktsystem zu anderen Umweltbelastungen wie zum Beispiel der Ökotoxizität bei. Um einen Anhaltspunkt für die relative massenmäßige Bedeutung der Emissionen des Produktsystems zu erhalten, wurde eine Normierung durchgeführt. Dafür wurden die Ergebnisse aus Tabelle 2 dividiert durch die weltweiten Emissionen in den Umweltkategorien im Jahr 2000 (Daten vom CML 2008). Abbildung 4 zeigt die Beiträge der Umweltwirkungen einer Flasche Premium Cola zu den weltweiten Emissionen.

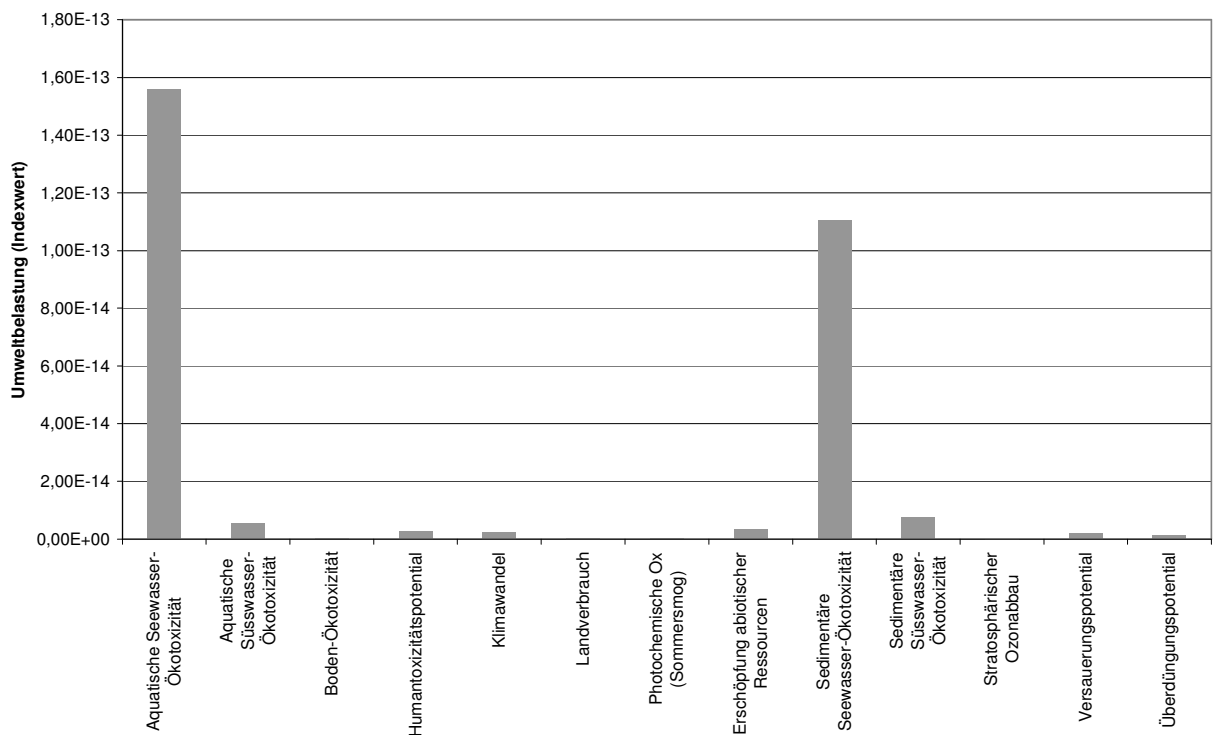


Abbildung 4: Ergebnisse der Normierung: Beiträge der Umweltwirkungen einer Flasche Premium Cola zu den globalen Umweltwirkungen

Aus der Abbildung 4 ist ersichtlich, dass eine Flasche Premium Cola in relativ großem Ausmaß zu den globalen Umweltbelastungen in den Kategorien Aquatische Seewasser-Ökotoxizität und Sedimentäre Seewasser-Ökotoxizität beiträgt. Die Umweltbelastungen in den Kategorien Humantoxizität, Erschöpfung abiotischer Ressourcen sowie Versauerung und Überdüngung sind massenmäßig auf einer Stufe mit dem Klimaerwärmungs-

potential. Die bedeutendsten Emissionsquellen in diesen Kategorien sollen im Folgenden genannt werden. Die Kategorien Aquatische und Sedimentäre Süßwasser-Ökotoxizität sowie Sedimentäre Seewasser-Ökotoxizität werden nicht separat aufgeführt, da die Umweltbelastungen in diesen Kategorien von den gleichen Emissionen wie in der Kategorie Aquatische Seewasser-Ökotoxizität verursacht werden.

Aquatische Seewasser-Ökotoxizität: Die toxischen Belastungen von Premium Cola stammen mit zu 42% (12,66 kg 1,4-DCB-Äquivalente) aus der Produktion des Chromstahls, welcher Hauptbestandteil des Kronenkorkens ist. 5,54 kg 1,4-DCB-Äquivalente werden bei der Herstellung des weißen Verpackungsglases emittiert. 3,67 kg 1,4-DCB-Äquivalente stammen aus den Vorketten der Strombereitstellung.

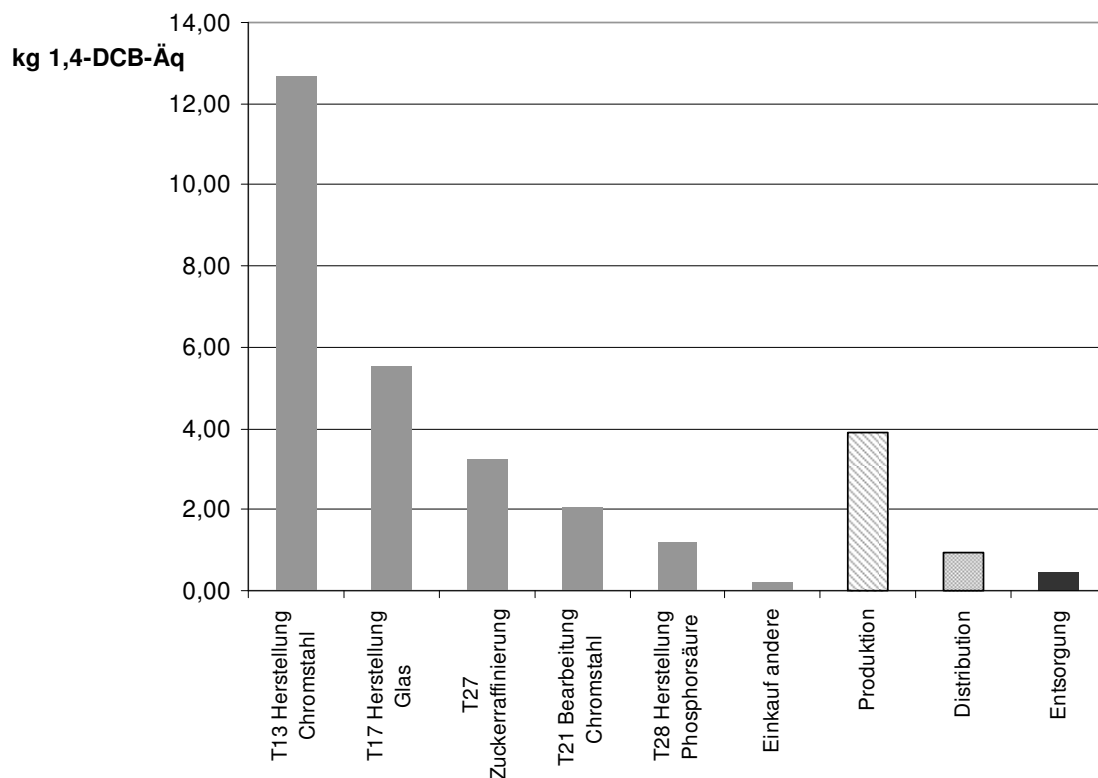


Abbildung 5: Beiträge einzelner Prozesse und ESCM-Bereiche zur Aquatischen Seewasser-Ökotoxizität

Erschöpfung abiotischer Ressourcen: Die Erschöpfung abiotischer Ressourcen ist zu 34% auf den Verbrauch von Dieseltreibstoff zum Transport der Cola im Vertrieb zurückzuführen. 18% des Ressourcenverbrauchs ist der Verbrauch von Erdgas zur Erhitzung des Wassers in der Flaschenwaschmaschine. Weitere 18% des Ressourcenverbrauchs gehen auf die Vorketten der Zuckerproduktion zurück.

Humantoxizitätspotential: Die gesundheitsschädigenden Emissionen die von einer Flasche Premium Cola ausgehen stammen zu 85% aus der Herstellung und Bearbeitung von Chromstahl.

Versauerungspotential: Wie aus Abbildung 6 ersichtlich entstammt ein Großteil der versauernden Emissionen aus dem Vertrieb der Cola. Dies ist damit zu erklären, dass die beim Verbrennungsprozess von Dieseltreibstoff entstehenden Emissionen wie Stickoxide und Schwefeldioxid durch Regen aus der Atmosphäre ausgewaschen werden und in Böden und Gewässer gelangen, wo sie den vorherrschenden pH-Wert erniedrigen können.

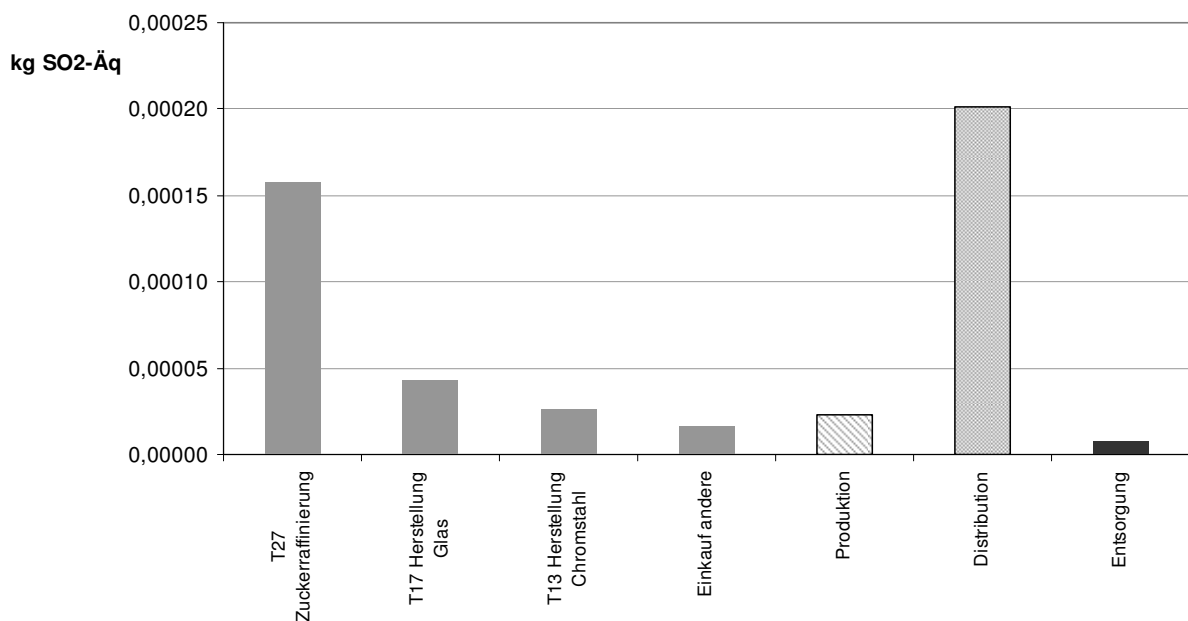


Abbildung 6: Beiträge einzelner Prozesse und ESCM-Bereiche zum Versauerungspotential

Überdüngungspotential: Das vom Produktsystem verursachte Überdüngungspotential ist zu 64% auf die Zuckerherstellung und deren Vorketten zurückzuführen. 21% der überdüngenden Wirkungen werden vom Vertrieb der Cola verursacht. Die Ursache ist hier der Eintrag der bei der Verbrennung von Diesel verursachten Stickoxide und Schwefeldioxid von der Atmosphäre in Gewässer und Böden.

Aus Gründen des begrenzten Umfangs und der Zielstellung der Studie mit der Fokussierung auf die Kategorie Klimawandel sollen die genannten Wirkungskategorien an dieser Stelle nicht näher untersucht werden. Die Normierung der Indikatorergebnisse sollte lediglich aufzeigen, dass zukünftig eine Untersuchung weiterer Umweltbelastungen insbesondere der aquatischen und sedimentären Seewasser-Ökotoxizität angestrebt werden sollte. Welche Umweltwirkungen letztendlich prioritär behandelt werden sollten, ist

vor Allem eine Frage gesellschaftlicher Werte und Wahrnehmungen und lässt sich kaum naturwissenschaftlich begründen. Dies muss daher von den Unternehmensbeteiligten im Diskurs erörtert werden.

4 Schlussfolgerungen

Die im Theorieteil beschriebenen Möglichkeiten und Grenzen des Life Cycle Assessments für eine Anwendung im Environmental Supply Chain Management finden sich größtenteils in der Fallstudie von Premium Cola wieder.

Als unbedingte Voraussetzung für das Gelingen eines Life Cycle Assessments wurde die Kooperation der Akteure der Supply Chain genannt. Im Fallbeispiel erwies sich die Zusammenarbeit mit den Zulieferern von Premium Cola als schwierig und wirkte auf die Studie einschränkend. Die anfängliche Kooperationsbereitschaft mancher Supply Chain-Akteure war niedrig. Teilweise waren geforderte Ökoinventar-Daten nicht im jeweiligen Unternehmen vorhanden, teilweise sah man keinen Nutzen sondern unnötigen Aufwand in der Beschaffung und Herausgabe der Daten. Zudem bestanden Bedenken bezüglich der Vertraulichkeit der Angaben. Durch intensive und fortdauernde Kommunikation mit den Beteiligten konnte ein Informationsaustausch letztendlich gelingen.

Als weitere Einschränkung des Life Cycle Assessments wurden Aufwand und Kosten einer LCA-Studie genannt. Der Aufwand zur Durchführung einer Produktökobilanzierung ist in der Tat groß. In der vorliegenden Fallstudie musste daher die Anwendung der umfassenden Methode des Life Cycle Assessments auf wesentliche Schritte begrenzt werden. Der Rückgriff auf verallgemeinerte Ökoinventar-Daten, die Ausgrenzung von Bestandteilen aus der Analyse und vereinfachende Annahmen beschränken zwangsläufig die Aussagekraft der Studie. Dennoch konnten neue Informationen und Erkenntnisse quantitativer und qualitativer Art erzielt werden. Zudem ist das Life Cycle Assessment ein iteratives Instrument und kann stetig weiterentwickelt werden. Das in der Studie erstellte Stoffstrommodell kann somit ausgebaut und für weitergehende Untersuchungen genutzt werden und rechtfertigt somit den Aufwand der Ersterstellung.

Als methodische Einschränkung der LCA wurde die Fokussierung auf den Ist-Zustand des Produktsystems genannt. Tatsächlich bildet die LCA für Premium Cola nur die derzeit mit dem Produkt verbundenen Stoff- und Energieströme ab und lässt Analysen des Produktsystems bei veränderten Bedingungen nur in beschränktem Umfang zu. Um die Auswirkungen möglicher Veränderungen abzubilden, wie zum Beispiel den Einsatz von Ökostrom in der Abfüllung, müsste erneut eine Datenerhebung erfolgen. Weiteren methodischen Einschränkungen des Instruments, wie Allokationsproblemen und Unsicher-

heiten der Wirkungsabschätzungsmethoden, ist nur mit Forschung und der Weiterentwicklung der Methodik des LCA beizukommen.

Wesentliche Leistung des Life Cycle Assessments ist, dass mit seiner Hilfe die Umweltrelevanz der Lebenswegabschnitte eines Produktes identifiziert werden kann. Im Fall Premium Cola konnte herausgestellt werden, dass in den Bereichen Einkauf und Distribution ein erheblicher Anteil der in der Supply Chain auftretenden Klimawirkungen entstehen. Für das Environmental Supply Chain Management von Premium Cola können diese Erkenntnisse genutzt werden. Im Bereich Einkauf könnte über eine Umstellung auf ökologisch angebauten Zucker nachgedacht werden. Trotz eines längeren Transportweges des Zuckers würden insgesamt Treibhausgasemissionen in geringem Maße eingespart werden. Im Bereich Distribution würde eine Reduktion des Gewichtes der Glasflasche Treibhausgasemissionen reduzieren. Dies könnte zum Beispiel durch die Verwendung von Mehrweg-Leichtglasflaschen erreicht werden. Bisher wurde von Premium Cola ein Beitrag von einem Cent pro Flasche für den Ausgleich der von der Cola verursachten Treibhausgasemissionen gezahlt. Die von einer Flasche Premium Cola verursachten Emissionen wurden vom Unternehmen auf 100 Gramm CO₂-Äquivalente geschätzt. In dieser Studie wurde ein Klimaerwärmungspotential von 100 Gramm CO₂-Äquivalenten pro Flasche Premium Cola berechnet. Die Höhe des gezahlten Ausgleichsbetrages scheint somit angemessen. Neben der Verminderung der negativen Auswirkungen der Wirtschaftsaktivitäten von Premium Cola auf das Klima, könnten zukünftig weitere Aspekte wie die ökotoxischen Belastungen der Kronenkorkenproduktion und deren Vorketten untersucht werden. Die Studie könnte hierbei als Anlass genutzt werden bestehende Probleme an interessierte Akteure in der Supply Chain zu kommunizieren und Anregung zur gemeinsamen Gestaltung der Produktkomponenten geben. Für Vergleiche mit anderen Produkten ist die LCA auf Grund der spezifischen Annahmen und Einschränkungen nicht geeignet. Ebenso wenig lässt sie Aussagen im Bereich der Produktion und der Entsorgung zu, die in dieser Studie als „Black Boxes“ modelliert wurden.

Das Life Cycle Assessment ist durch seinen umfassenden, produktorientierten Ansatz ein sinnvolles und geeignetes Analyseinstrument für Fragen des Environmental Supply Chain Managements. Die Eignung des Instruments ergibt sich nicht nur aus den quantitativen und qualitativen Informationen die ein LCA für die Arbeitsbereiche liefern kann. Entscheidend ist, dass die Durchführung einer LCA-Studie den Austausch und die Kommunikation zwischen den Akteuren der Supply Chain fördern kann. Kooperation

und Kommunikation sind Grundpfeiler des Environmental Supply Chain Managements. Um die Wertschöpfungskette umweltverträglich zu gestalten, müssen sich Unternehmen an betriebsübergreifenden Lösungen beteiligen und die Produktionsstufen gemeinsam optimieren. Bei der Anwendung des Life Cycle Assessments im ESCM sollten die Grenzen des Instruments allerdings bekannt und bewusst sein. Das Instrument darf auf Grund seiner Einschränkungen nicht alleinige Informationsgrundlage des Environmental Supply Chain Managements sein, sondern sollte in Kombination mit anderen Managementinstrumenten einem ganzheitlichen Konzept dienen.

5 Literaturverzeichnis

Althaus, Hans-Jörg/Chudacoff, Michael/Hischier, Roland/Jungbluth, Niels/Osses, Margarita/Primas, Alex (2003): Life Cycle Inventories of Chemicals: Final Report Ecoinvent 2000 no. 8. Dübendorf.

Althaus, Hans-Jörg/Blaser, Silvio/Classen, Mischa/Jungluth, Niels (2003a): Life Cycle Inventories of Metals: Final Report Ecoinvent 2000 no. 10. Dübendorf.

Arnold, Oksana/Faisst, Wolfgang/Härtling, Martina/Sieber, Pascal (1995): Virtuelle Unternehmen als Unternehmenstyp der Zukunft? In: Handbuch der modernen Datenverarbeitung (HMD) - Praxis der Wirtschaftsinformatik, Nr. 185, S. 8-23.

Ayers, James B. (2006): Handbook of Supply Chain Management. Boca Raton.

Baier, Ernst (2002): Umweltlexikon. Bochum.

Baumann, Henrikke/Tillmann, Anne-Marie (2004): The Hitch Hiker's Guide to LCA: An Orientation in Life Cycle Assessment Methodology and Application. Lund.

Bayerische Architektenkammer (2009): Leimfarben: Allgemeine Informationen. Unter: http://wecobis.iai.fzk.de/cms/content/site/wecobis/Home/Bauproduktgruppen/Oberflaechenbehandlungen/Farben_Lacke_Lasuren/Leimfarben (Stand: 04.07.2009)

Bayerische Architektenkammer (2009a): Polyester: Allgemeine Informationen. Unter: http://wecobis.iai.fzk.de/cms/content/site/wecobis/Home/Grundstoffe/Kunststoffe_GS/Polyester_GS (Stand: 04.07.2009)

Bayerische Architektenkammer (2009b): Polyethylen: Allgemeine Informationen. Unter: http://wecobis.iai.fzk.de/cms/content/site/wecobis/Home/Grundstoffe/Kunststoffe_GS/Polyethylen_GS (Stand: 04.07.2009)

Bergmann, Jens (2006): Die utopische Brause. In: BrandEins, Nr. 11, S. 106-110.

Borken, Jens/Patyk, Andreas/Reinhardt, Guido A. (1999): Basisdaten für ökologische Bilanzierungen: Einsatz mobiler Maschinen in Transport, Landwirtschaft und Bergbau. Braunschweig, Wiesbaden.

Bültmann, Alexandra (1997): Produktökobilanzen und ihre Anwendung in deutschen Unternehmen. In: IÖW – Institut für Ökologische Wirtschaftsforschung (Hrsg.): Schriftenreihe des IÖW 112/97. Berlin.

CML – Centrum voor Milieukunde Leiden (2008): CML-IA: Database that contains characterisation factors for Life Cycle Impact Assessment. Unter: <http://cml.leiden.edu/software/data-cmlia.html>

- Darnall, Nicole/Jolley, G. Jason/Handfield, Robert** (2008): Environmental Management Systems and Green Supply Chain Management: Complements for Sustainability? In: Business Strategy and the Environment, Bd. 17, Nr.1, S. 30-45.
- DIN EN ISO 14040** – Deutsches Institut für Normung (1997): Umweltmanagement – Ökobilanz: Prinzipien und allgemeine Anforderungen. Berlin.
- DIN EN ISO 14041** – Deutsches Institut für Normung (1998): Umweltmanagement – Ökobilanz: Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens sowie Sachbilanz. Berlin.
- DIN EN ISO 14042** – Deutsches Institut für Normung (2000): Umweltmanagement – Ökobilanz: Wirkungsabschätzung. Berlin.
- DIN EN ISO 14043** – Deutsches Institut für Normung (2000): Umweltmanagement – Ökobilanz: Auswertung. Berlin.
- Doka, Gabor** (2003): Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services: Final Report Ecoinvent 2000 no. 13. Dübendorf.
- Dold, Georg** (1996): Computerunterstützung der produktbezogenen Ökobilanzierung. Wiesbaden.
- Dold, Georg/Wörner, Claudia/Krcmar, Helmut** (1996): Anwendungspotentiale von produktbezogenen Ökobilanzen: Eine Analyse aus Nutzersicht. In: Krcmar, Helmut/Dold, Georg (Hrsg.): Aspekte der Ökobilanzierung: Ansprüche, Ziele und Computerunterstützung. Wiesbaden, S. 24-128.
- Dyckhoff, Harald/Souren, Rainer/ Keilen, Jens** (2004): The Expansion of Supply Chains to Closed Loop Systems: A Conceptual Framework and the Automotive Industry's Point of View. In: Dyckhoff, Harald/Lackes, Richard/Reese, Joachim (Hrsg.): Supply Chain Management and Reverse Logistics. Heidelberg, Berlin, S. 13-34.
- Faist Emmenegger, Mireille/Heck, Thomas/Jungbluth, Niels** (2003): Sachbilanzen von Energiesystemen, Erdgas: Final Report Ecoinvent 2000 no. 6. Dübendorf, Villigen.
- Frings, Ellen** (1995): Ergebnisse und Empfehlungen der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ zum Stoffstrommanagement. In: Schmidt, Mario/Schorb, Achim (Hrsg.): Stoffstromanalysen in Ökobilanzen und Öko-Audits. Berlin, S. 15-32.
- Frischknecht, Rolf/Faist Emmenegger, Mireille** (2003): Sachbilanzen von Energiesystemen, Strommix und Stromnetz: Final Report Ecoinvent 2000 no. 6. Dübendorf, Villigen.
- Frischknecht, Rolf/Jungbluth, Niels/Althaus, Hans-Jörg/Doka, Gabor/Dones, Roberto/Heck, Thomas/Hellweg, Stefanie/Hischier, Roland/Nemecek, Thomas/Rebitzer, Gerald/Spielmann, Michael** (2005): The Ecoinvent Database:

Overview and Methodological Framework. In: International Journal of Life Cycle Assessment, Bd. 10, Nr. 1, S. 3-9.

- Gemeinhardt, Max** (2008): Interview: Premium Cola. Unter:
<http://www.soundofsirens.net/index.php/interview-premium-cola> (Stand:
18.06.2009)
- Giegrich, Jürgen/Schmidt, Mario/Schorb, Achim** (1995): Produktökobilanzen:
Grundsätze und Vorgehensweisen. In: Schmidt, Mario/Schorb, Achim (Hrsg.):
Stoffstromanalysen in Ökobilanzen und Öko-Audits. Berlin, S. 121-132.
- Guinée, Jeroen B.** (Hrsg.) (2002): Handbook on Life Cycle Assessment. Operational
Guide to the ISO Standards. Dordrecht.
- Haas, Guido** (2003): Ökobilanz: wie ökologisch ist der ökologische Landbau? In: Ag-
rarBündnis e.V./AG Land- und Regionalentwicklung/Universität Gesamthoch-
schule Kassel (Hrsg.): Der Kritische Agrarbericht 2003. München, S. 128-134.
- Haas, Guido/Köpke Ulrich** (1994): Vergleich der Klimarelevanz ökologischer und
konventioneller Landbewirtschaftung. In: Enquete-Kommission (Hrsg.):
Schutz der Erdatmosphäre. Landwirtschaft. Band 1, Teilband 2, Bonn.
- Heijungs, Reinout** (1994): The problem of allocation: Some more complications. In:
SETAC - Society of Environmental Toxicology and Chemistry (Hrsg.): Allo-
cation in LCA: Proceedings of the European Workshop in Leiden 1994, S. 8-
12.
- Hirschfeld, Jesko/Weiß, Julika/Preidl, Marcin/Korbun, Thomas** (2008): Klimawir-
kungen der Landwirtschaft in Deutschland. In: IÖW – Institut für Ökologische
Wirtschaftsforschung (Hrsg.): Schriftenreihe des IÖW 186/08. Berlin.
- Hischier, Roland** (2003): Life Cycle Inventories for Packaging and Graphical Paper:
Final Report Ecoinvent 2000 no. 11. Dübendorf.
- Hülsbergen, Kurt-Jürgen/Küstermann, Björn** (2007): Ökologischer Landbau - Bei-
trag zum Klimaschutz. In: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
(Hrsg.): Angewandte Forschung und Beratung für den ökologischen Landbau
in Bayern. Öko-Landbau-Tag 2007. Freising.
- Jungbluth, Niels** (2003): Sachbilanzen von Energiesystemen, Erdöl: Final Report
Ecoinvent 2000 no. 6. Dübendorf, Villigen.
- Jungbluth, Niels/Chudacoff, Michael/Dauriat, Arnaud/Dinkel, Fredy/Doka, Ga-
bor/Faist Emmenegger, Mireille/Gnansounou, Edgard/Kljun, Nata-
scha/Spielmann, Michael/Stettler, Cornelia/Sutter, Jürgen** (2007): Life
Cycle Inventories of Bioenergy: Final Report Ecoinvent data v2.0. Dübendorf,
Uster.
- Klöpffer, Walter** (1997): Life Cycle Assessment: From the Beginning to the Current
State. In: Environmental Science and Pollution Research, Bd. 4, Nr.4, S. 223-
228.

- Knörr, Wolfram/Höpfner, Ulrich/Lambrecht, Udo/Nagel, H.-J. /Patyk, Andreas** (1997): Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1980-2020. Im Auftrag des Umweltbundesamtes.Ufoplan Nr. 10506057, Heidelberg.
- Kogg, Beatrice** (2004): Power and Incentives in Environmental Supply Chain Management. In: Reddy, Sumati/Seuring, Stefan (Hrsg.) (2004): Corporate Social Responsibility – Sustainable Supply Chains. Hyderabad: ICFAI Books, S. 32-50.
- Lübbermann, Uwe** (2007): Umwelt. Unter: http://www.premium-cola.de/neu/index.php?option=com_content&task=view&id=89&Itemid=69 (Stand: 28.06.2009)
- Lübbermann, Uwe** (2007a): CO2. Unter: http://www.premium-cola.de/neu/index.php?option=com_content&task=view&id=66&Itemid=69 (Stand: 28.06.2009)
- Lübbermann, Uwe** (2007b): (K)Einweg. Unter: http://www.premium-cola.de/neu/index.php?option=com_content&view=section&layout=blog&id=5&Itemid=69&limitstart=25 (Stand: 28.06.2009)
- Mampel, Ulrich** (1995): Zurechnung von Stoff- und Energieströmen: Probleme und Möglichkeiten für Betriebe. In: Schmidt, Mario/Schorb, Achim (Hrsg.): Stoffstromanalysen in Ökobilanzen und Öko-Audits. Berlin: Springer-Verlag, S. 133-145.
- McIntyre, Kristie** (2007): Delivering Sustainability through Supply Chain Management. In: Waters, Donald (Hrsg.): Global Logistics: New Directions in Supply Chain Management. 5. Auflage, London, Philadelphia, S. 238-252.
- Mezher, Toufic/Ajam, Maher** (2006): Integrating Quality, Environmental and Supply Chain Management into the Learning Organisation. In: Sarkis, Joseph (Hrsg.): Greening the Supply Chain. Heidelberg, S. 67-85.
- Möller, Andreas** (2000): Grundlagen stoffstrombasierter betrieblicher Umweltinformationssysteme. Bochum.
- Möller, Andreas** (2008): Skript: Stoffstromanalysen mit Umberto. Lüneburg.
- Mously, Sara** (2009): Das ist jetzt unser Bier! Wie Premium den Getränkemarkt aufmischt. In: Biorama, Nr. 9, S. 20-25.
- Mugler, Joseph** (1999): Betriebswirtschaftslehre der Klein- und Mittelbetriebe. Bd. 1, 3. Auflage, Heidelberg.
- Nemecek, Thomas/Kägi, Thomas** (2007): Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems: Final Report Ecoinvent no. 15. Zürich, Dübendorf.

- Nisius, Susanne/Scholl, Gerd/Rubik, Frieder** (1998): Anwendung von Produkt-Ökobilanzen in Unternehmen: Ein Praxisleitfaden mit Tips, Beispielen und Hintergrundinformationen. In: UVM – Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg/LFU – Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Hrsg.), Karlsruhe.
- OPEC** – Organization of the Petroleum Exporting Countries (2009): What are the uses of crude oil? Unter: <http://www.opec.org/library/FAQs/CrudeOil/q4.htm> (Stand: 21.06.2009)
- Osterhuis, Frans/Rubik, Frieder/Scholl, Gerd** (1996): Product Policy in Europe: New Environmental Perspectives. Dordrecht, Boston, London.
- Rebitzer, Gerald** (2002): Integrating Life Cycle Costing and Life Cycle Assessment for Managing Costs and Environmental Impacts in Supply Chains. In: Seuring, Stefan/Goldbach, Maria (Hrsg.): Cost Management in Supply Chains. Heidelberg, S. 127-146.
- Sarkis, Joseph** (2008): Environmental Supply Chain Management. In: Wankel, Charles (Hrsg.): 21st Century Management: A Reference Handbook. Thousand Oaks, California, S. 281-291.
- Schaltegger, Stefan** (Hrsg.) (1996): Life Cycle Assessment (LCA): Quo Vadis? Basel, Boston, Berlin.
- Schaltegger, Stefan/Sturm, Andreas** (1994): Ökologieorientierte Entscheidungen in Unternehmen: Ökologisches Rechnungswesen statt Ökobilanzierung: Notwendigkeit, Kriterien, Konzepte. Band 27, 2. Auflage, Bern, Stuttgart, Wien.
- Schaltegger, Stefan/ Herzig, Christian/Kleiber, Oliver/Müller, Jan** (2002): Sustainability Management in Business Enterprises: Concepts and Instruments for Sustainable Development. In: BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit/BDI – Bund Deutscher Industrien (Hrsg), 2. Auflage, Berlin, Bonn.
- Schmidt, Mario** (1995): Stoffstromanalysen und Ökobilanzen im Dienste des Umweltschutzes. In: Schmidt, Mario/Schorb, Achim (Hrsg.): Stoffstromanalysen in Ökobilanzen und Öko-Audits. Berlin, S. 3-13.
- Schmidt, Mario/Knörr, Wolfram/Patyk, Andreas/Höpfner, Ulrich** (1998): Evaluierung gängiger Datenmodelle zur Ermittlung verkehrlicher Umweltbelastungen. In: Umweltinformatik 98, Marburg.
- Schonert, Martina/Motz, Gunther/Meckel, Herrmann/Detzel, Andreas/Giegrich, Jürgen/Ostermayer, Axel/Schorb, Achim/Schmitz, Stefan** (2002): Ökobilanz für Getränkeverpackungen II: Phase 2. In: Umweltbundesamt (Hrsg): UBA-Forschungsbericht 000363. Berlin.
- Sepeur, André** (2004): Paradichlorbenzol. Unter: <http://www.umweltlexikon-aktuell.de/fp/archiv/RUBwerkstoffmaterialsubstanz/Paradichlorbenzol.php> (Stand: 20.09.2009)

- SETAC** – Society of Environmental Toxicology and Chemistry (Hrsg.) (1993): Guidelines for Life-Cycle Assessment: A ‘Code of Practice’. Edition 1, from the SETAC Workshop held at Sesimbra, Portugal, 31 March – 3 April 1993, Brüssel.
- Sharfman, Mark P./Shaft, Teresa M./Anex Jr, Robert P.** (2009): The Road to Cooperative Supply-Chain Environmental Management: Trust and Uncertainty Among Pro-Active Firms. In: Business Strategy and the Environment, Bd. 18, Nr. 1, S. 1-13.
- Sommer, Peggy** (2007): Umweltfokussiertes Supply Chain Management: Am Beispiel des Lebensmittelsektors. Wiesbaden.
- Soukup, Ole** (2008): Erstellung von Produktökobilanzen auf Basis von Stoffstromnetzen für die Bereitstellung von Biogas zur Einspeisung in das Erdgasnetz. Leuphana Universität Lüneburg: „Diplomarbeit“.
- Umweltbundesamt** (Hrsg.) (1992): Ökobilanzen für Produkte: Bedeutung, Sachstand, Perspektiven. Texte des Umweltbundesamts 38/92, Berlin.
- Werner, Frank/Althaus, Hans-Jörg/Künniger, Tina/Richter, Klaus** (2003): Life Cycle Inventories of Wood as Fuel and Construction Material: Final Report Ecoinvent 2000 no. 9. Dübendorf.
- Zah, Rainer** (2003): Life Cycle Inventories of Detergents. Final Report Ecoinvent 2000 no. 12. Dübendorf.

Anhang B: Subnetz Vertrieb Premium Cola

