

S. Feifel  
W. Walk  
S. Wursthorn  
L. Schebek  
(Hrsg.)

# Ökobilanzierung 2009

Ansätze und Weiterentwicklungen  
zur Operationalisierung  
von Nachhaltigkeit

# **Ökobilanzierung 2009 – Ansätze und Weiterentwicklungen zur Operationalisierung von Nachhaltigkeit**

Tagungsband Ökobilanz-Werkstatt 2009 —  
Campus Weihenstephan, Freising, 5. bis 7. Oktober 2009

S. Feifel,  
W. Walk ,  
S. Wursthorn,  
L. Schebek  
(Hrsg.)

## Impressum

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
KIT Scientific Publishing  
Straße am Forum 2  
D-76131 Karlsruhe  
www.uvka.de

KIT – Universität des Landes Baden-Württemberg und nationales  
Forschungszentrum in der Helmholtz-Gemeinschaft



Diese Veröffentlichung ist im Internet unter folgender Creative Commons-Lizenz  
publiziert: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/de/>

KIT Scientific Publishing 2009  
Print on Demand

Gedruckt auf Recyclingpapier

ISBN: 978-3-86644-421-8

## **Inhaltsverzeichnis**

*Walter Klöpffer, LCA Consult & Review, Frankfurt am Main*

Wirkungsabschätzungsmethoden und Querverbindungen – Unterschiede zum Risk Assessment ..... 1

*Michael Srocka, GreenDeltaTC GmbH, Berlin*

openLCA: Open Source Software für Life Cycle Assessments – Stand und Weiterentwicklung..... 11

*Mario Schmidt, Hochschule Pforzheim*

Die Allokation in der Ökobilanzierung vor dem Hintergrund der Nutzenmaximierung ..... 21

*Heinz Stichnothe, University of Manchester/ von Thünen-Institut, Braunschweig*

Carbon Footprint - Der britische „Standard“ PAS 2050 im Spiegel der Ökobilanz-Methodik und weitere Normierungsbestrebungen..... 39

*Tobias Viere, Andreas Möller und Martina Prox, Leuphana University of Lüneburg*

Materialflusskostenrechnung – ein Ansatz für die Identifizierung und Bewertung von Verbesserungen in der Ökobilanzierung ..... 45

### **Holz als Ressource**

*Silke Feifel, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)*

Systemanalytische Betrachtung der energetischen und stofflichen Nutzung forstlicher Ressourcen in Deutschland – das Beispiel der leichten Plattenwerkstoffe ..... 55

*Janine Fischbach, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg*

Integrierte Nachhaltigkeitsanalyse für Prozessketten ausgewählter Energieholzprodukte . 61

*Anne Rödl, von Thünen-Institut, Hamburg*

Bewirtschaftung von Kurzumtriebsplantagen – eine ökologische und ökonomische Optimierung ..... 71

*Stefan Diederichs, von Thünen-Institut, Hamburg*

Ökobilanz Basisdaten für Bauprodukte aus Holz ..... 79

### **LCA im betrieblichen Rahmen**

*Benjamin Boehnke, Volkswagen AG, Wolfsburg*

Stoffstrommanagement zur ökologischen und ökonomischen Bewertung von Produktionsprozessketten ..... 85

*Boris Dresen, Fraunhofer UMSICHT, Oberhausen; Melanie Herzog, RWTH Aachen*

Carbon Footprint von Produkten (CFP) – Bilanzierung in kleinen und mittleren Unternehmen ..... 91

*Heidi Hottenroth, Hochschule Pforzheim; Martin Schottler, M+W Zander FE GmbH*

Behandlung von NMVOC-Abgasen in der Halbleiterbauelement- und Solarzellenfertigung – gesamtökologisch sinnvoll? ..... 97

## **Allokation und Systemraumerweiterung**

*Maria Bystricky, Gabriele Weber-Blaschke, TU München*

Die Nutzenkorbmethode als Ansatz zum Vergleich der Strom-, Wärme- und Kraftstoffproduktion aus Energiepflanzen ..... 105

*Hildegund Mötzl, IBO und BOKU, Wien*

Entsorgung von Gebäuden und Gebäudekomponenten – Methodische Fragestellungen 113

*Wolfgang Walk, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)*

Softwareunterstützung zur Erteilung von Verwertungs-Gutschriften in „attributiven“ Ökobilanzen ..... 117

## **Bewertung der Ressourceninanspruchnahme Wasser und Land**

*Georg Schöner, BASF SE und Karlsruher Institut für Technologie (KIT)*

Bewertung des Wasserverbrauchs in der Ökoeffizienz-Analyse der BASF ..... 125

*Annekatriin Lehmann, TU Berlin und Karlsruher Institut für Technologie (KIT)*

Qualitative und quantitative Indikatoren zur Nachhaltigkeitsbewertung (eines integrierten Wasserressourcenmanagementsystems in einer indonesischen Karstregion)..... 131

*Barbara Urban, von Thünen-Institut, Braunschweig*

Biologische Vielfalt in Ökobilanzen – vom Konzept zur Umsetzung ..... 139

*Sebastian Schmuck, Universität Duisburg-Essen*

Entwicklung eines Verfahrens zur ökobilanziellen Bewertung von Adaptationsmaßnahmen an den Klimawandel ..... 145

## **Material- / Produktinnovationen: entwicklungsbegleitendes LCA**

*Kristian Kuhlmann, RWTH Aachen*

Total Efficiency Control – Ressourceneffiziente Werkzeuge stärken den Werkzeugbau .. 151

*Timo Fleschutz, Technische Universität Berlin*

Berücksichtigung der ökologischen Dimension in Investitionsentscheidungen bei Montageanlagen ..... 157

*Max Marwede, Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT), Berlin*

Rückführung strategischer Metalle – Schließen von Stoffkreisläufen durch Recycling ..... 167

*Barbara Brüggemann, Bergische Universität Wuppertal*

Verfahrens- und Produktentwicklung für die Vulkanfiberproduktion – ein Anwendungsfeld für Ökobilanzen ..... 173

*Eva Zschieschang, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)*

Beiträge der Mikroverfahrenstechnik zu einer nachhaltigen Energieversorgung – eine Systemanalyse ..... 179

*Nico Pastewski, Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation, Stuttgart*

Einsatz neuer Technologien zur ressourceneffizienzorientierten Produktoptimierung ..... 185

## **Methodenerweiterung: LCA und darüber hinaus**

*Daniela Kölsch, BASF SE und Karlsruher Institut für Technologie (KIT)*

Sozioökonomische Bewertung von Chemikalien unter REACH ..... 193

<i>Robert Ilg und Jan Paul Lindner, Universität Stuttgart</i>	
Vernetzungsmöglichkeiten von LCA und MFA – Nutzung von Synergieeffekten beider Methoden.....	199
<i>Kathy Reimann, Technische Universität Berlin</i>	
Suitability of process-based LCA, input-output LCA, MFA and hybrid approaches for policy and decision making support.....	207
<i>Kyra Seibert, Süddeutsches Kunststoff-Zentrum, Würzburg</i>	
Lebenszyklusmanagement für KMU der kunststoffverarbeitenden Industrie am Beispiel Holz/Kunststoff-Verbundwerkstoffe .....	211
<i>Britta Stratmann, Öko-Institut e.V., Freiburg</i>	
Analyse der Umweltauswirkungen der Kaffeezubereitung mittels verschiedener Zubereitungssysteme .....	219
<b>LCA Datenformate und Datenaustausch</b>	
<i>Kristian Jurić, Universität Wien</i>	
pb2es – Konvertierung von Sachbilanzdaten einer öffentlichen Online-Datenbank in ein übliches Datenaustauschformat.....	225
<i>Oliver Kusche, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)</i>	
International Reference Life Cycle Data Format – Stand und Perspektiven für eine verteilte Datenhaltung.....	231
<b>LCA über Nutzung und Anbau biogener Energierohstoffe</b>	
<i>Elisa Dunkelberg, Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW), Berlin</i>	
Umweltbewertung von Biokraftstoff-Systemen: eine kritische Analyse von Annahmen und Systemgrenzen.....	239
<i>Maria Stenull, Universität Stuttgart</i>	
Treibhausgaspotenzial des Energiepflanzenanbaus für Biogasanlagen .....	245
<i>Torsten Mielecke, Technische Universität Darmstadt</i>	
Der Baustoff Holz als CO <sub>2</sub> -Senke. Ist das möglich? .....	253
<i>Katharina Edler, Frank Schuchardt, Ulf Prüße, von Thünen-Institut, Braunschweig</i>	
Vergleichende Ökobilanz eines fermentativ produzierten Chemie-Rohstoffes aus verschiedenen Biomassen.....	259
<b>Datenqualität und Datenaktualität</b>	
<i>Frank Ritter, Technische Universität Darmstadt</i>	
Generierung von Lebensdauer kennwerten .....	265
<i>Sibylle Wursthorn, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)</i>	
Nutzung von EPER Daten für die produktbezogene Umweltbewertung.....	271
<b>Die Ökobilanz-Werkstatt 2009 als Diskussionplattform.....</b>	<b>279</b>

# Softwareunterstützung zur Erteilung von Verwertungs-Gutschriften in „attributiven“ Ökobilanzen

*Wolfgang Walk, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)*

## 1 Einleitung

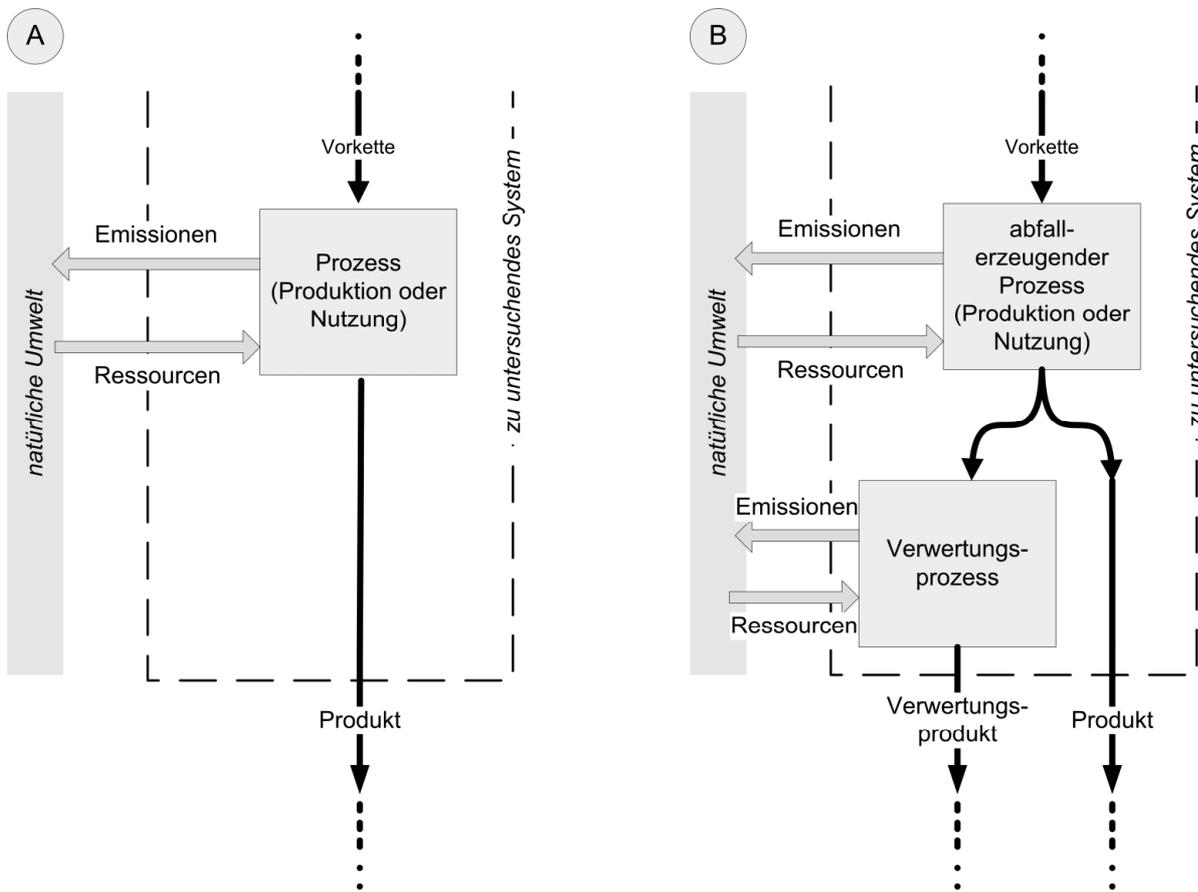
Untersuchungen von Produktlebenszyklen münden häufig in Prozessen, in denen Materialien und/oder Energie aus Abfällen zurückgewonnen wird. Ob und in welcher Höhe vermiedene Umweltlasten dem untersuchten Produktsystem gutgeschrieben werden sollen, wird seit über zehn Jahren unter Experten diskutiert, und die Diskussion ist nicht abgeschlossen.

Aufgrund dieser Expertendiskussion ist zunächst zu erörtern, unter welchen Bedingungen Recyclinggutschriften sinnvoll sind. Weiterhin stellt sich die Frage der Umsetzung. Eine Lösung zur softwareunterstützten Erteilung von Gutschriften mittels der Ökobilanz-Software Umberto vorgestellt.

## 2 Möglichkeiten zum Umgang mit Verwertung

Während der Produktionsphase und nach der Nutzungsphase eines Produkts entstehen Abfälle, die einer Entsorgung (Verwertung und/oder Beseitigung) zugeführt werden. Verwertung umfasst die Rückgewinnung von Bauelementen, Materialien und/oder Energie aus Abfällen. Einerseits ist Entsorgung mit Aufwendungen verbunden, die dem untersuchten Produkt oder Produktionsprozessen zuzuschreiben sind. Dabei entstehen aber auch mitunter Materialien, Energie oder Komponenten, die einer weiteren Verwendung zugeführt werden und somit Bestandteil eines weiteren Produktsystems mit zusätzlichem Nutzen werden (vgl. Abb. 1). Verwertungsprozesse bringen es häufig mit sich, dass dem System neben dem eigentlich als Untersuchungsgegenstand definierten Produkt weitere gekoppelte Verwertungsprodukte entspringt [vgl. Ekvall 2001]. Mit anderen Worten: die

vom System bereitgestellte Gesamtheit an Nutzen (Nutzenkorb) erweitert sich unbeabsichtigt.



*Ausgangssystem ohne Verwertungsprozess: Der Produktfluss erfüllt die funktionelle Einheit, die in der Zielsetzung der Untersuchung definiert ist. Eine Bewertung geschieht anhand der Flüsse, die die Systemgrenze überschreiten: Emissionen und Ressourcen je Produkt.*

*Ein System mit Verwertungsprozess generiert Zusatznutzen durch Verwertungsprodukte. Um das eigentlich zu untersuchende Produktsystem freizuschneiden muss das System um die Umweltwirkung korrigiert werden, die dem Zusatznutzen für ein folgendes Produktsystem zuzuschreiben ist.*

**Abb. 1: Schematische Überlegungen zum Zusatznutzen durch Verwertungsprozesse (B) im Vergleich zum einfachen Ausgangssystem (A) ohne Verwertung**

Die Zuweisung von Umweltwirkungen auf mehrere Produktflüsse in Prozessen, die mehr als einen Nutzen generieren, wird als Allokation bezeichnet. Es gibt verschiedene Lösungsansätze, jedoch keine allgemeingültig beste Lösung dieser Zuweisung [Klöpffer 2009, S. 101ff.]. Gerade bei Verwertungsprozessen ist die Frage der Allokation nach wie vor Gegenstand von Expertendiskussionen [Weidema 2007] [Reap 2008] [Yellishetty 2009].

Sofern mit vertretbarem Aufwand möglich, ist Allokation nach physischen oder ökonomischen Schlüsseln im Allgemeinen zu vermeiden, indem die Systemgrenzen angepasst werden [ISO 14044:2006, Abschnitte 4.3.4.2 / 4.2.4.3] [Klöpffer 2009, S. 101].

Eine der Möglichkeiten um den Zusatznutzen durch das Verwertungsprodukt mit in die Bewertung einzubeziehen und Allokation zu vermeiden, besteht darin, den Systemrahmen um ein Komplementärsystem zu erweitern. Dabei wird dem System Umweltwirkung in dem Maß gutgeschrieben, wie dies dem Verwertungsprodukt gemessen in komplementärer alternative Produktion (i.d.R. Primärproduktion) entspricht. Dadurch wird der Nutzenkorb des Systems wieder auf das Produkt reduziert, das den eigentlichen Untersuchungsgegenstand darstellt. [Fleischer 2002, S. 42ff.]

### **3 Beschränkung auf „attributive“ Ökobilanzen**

Im englischen Sprachraum existieren die Bezeichnungen „attributional LCA“ und „consequential LCA“. Es gibt keine allgemeingültigen Definitionen dieser Begriffe und auch keine etablierte deutschsprachige Entsprechung. An dieser Stelle werden die Bezeichnungen „attributive Ökobilanz“ und „handlungskonsequenzorientierte Ökobilanz“ (hk-Ökobilanz) als deutsche Entsprechungen eingeführt und gemäß Tab. 1 abgegrenzt (vgl. [Ekvall 2002] [Frischknecht 2006] [Bauer 2007] [Sandén 2007]).

Wie der Titel verspricht, beschränkt sich dieser Beitrag auf attributive Ökobilanzierung. Das Verständnis von Recycling-Gutschriften als vermiedene Produktion ist eine Eigenheit von hk-Ökobilanzen [Frischknecht 2006, S. 6].

Gutschriften im Kontext attributiver Ökobilanzen basieren auf einem abweichenden Gedanken: Es geht um die Herstellung des Nutzenkorbs gemäß der in der Zielsetzung der Studie definierten funktionellen Einheit. Dazu ist eine Bereinigung des Systems um einen „ökologischen Gegenwert“ des Verwertungsprodukts erforderlich, das einen Zusatznutzen darstellt. Dieser ökologische Gegenwert kann anhand komplementärer Bereitstellung gleichwertiger Primärprodukte bemessen werden und darf nicht mit dem Gedankenkonzept vermiedener Produktion verwechselt werden.

**Tab. 1: Abgrenzungsversuch attributiver und handlungskonsequenzorientierte (hk) Ökobilanzen**

	attributive Ökobilanzen	hk-Ökobilanzen
untersuchtes Produkt	repräsentative Abbildung für die Gesamtheit gleichartiger Produkte (z.B. anhand Durchschnittsbildung)	untersuchter Produktfluss wird als marginale Änderung des bestehenden Systems angesehen
Markt	Markt wird vereinfachend als sehr träges Gleichgewicht angenommen und als statische Modellumgebung i.d.R. nicht in die Modellierung einbezogen.	Einbeziehung von Marktdynamiken z.B. Verschiebung von Gleichgewichtszuständen, Nachfrageelastizitäten, Substitutionen
Aussage	Zustandsbeschreibung der Umweltwirkungen, die einem durchschnittlichen Produkt zugeschrieben ("attribuiert") werden	Konsequenz aus Handlungen, die ein Produktsystem betreffen (z.B. Änderungen des Produktdesigns oder des Produktionsvolumens)

## 4 Umsetzung mit ecoinvent/Umberto

Es stellt sich die Frage, wie solche Gutschriften mittels einer Ökobilanz-Software in Stoffstromnetzen effizient umgesetzt werden können. Die erarbeitete Lösung bezieht sich auf die Software Umberto 5 in Kombination mit dem Datenbestand ecoinvent [ifu Hamburg 2007] [ecoinvent centre 2007].

### 4.1 Ansprüche

Mit den "result" Modulen der ecoinvent-Datenbank liegen aggregierte Stoffstrommodelle zahlreicher Produktionsprozesse vor. Es ist naheliegend, diese Informationen auch für die Komplementärmodule zu nutzen.

Die Gutschrift soll möglichst weitgehend separat ausgewiesen werden und erst bei der letzten Aggregation zu Wirkungsabschätzungsergebnissen mit Umweltlasten verrechnet werden. Dies erleichtert die Interpretation der Ergebnisse.

## 4.2 Lösungsansatz und softwaretechnische Umsetzung

Zusätzlich zu den herkömmlichen Material- und Energieflüssen werden komplementäre "Gutschriftenflüsse" eingeführt. Einerseits ist dies durch den oben genannten Anspruch auf weitgehend getrennte Ausweisung von Gutschriften begründet. Andererseits ergibt sich eine Notwendigkeit für separate Gutschriftenflüsse daraus, dass die Software Umberto derzeit nicht mit negativen Flüssen rechnet. Gutschriftenflüsse entstehen, wenn herkömmliche Module durch Vertauschung von Input- und Outputflüssen in Gutschriftenmodule umgewandelt werden. Tab. 2 gibt einen Überblick über die notwendigen Vertauschungen.

**Tab. 2: Übersicht der Vertauschungen zur Erteilung von Gutschriften**

	konventionelles Modul	umfunktioniertes Modul für Gutschrift
Emissionen	Elementarflüsse outputseitig aus Modul	Elementarflüsse inputseitig in Modul
Ressourceneinsatz	Elementarflüsse inputseitig in Modul	Elementarflüsse outputseitig aus Modul
Produktfluss	outputseitiger ökonomischer Fluss	Produkt-komplementärer Fluss inputseitig in Gutschriftenmodul
Bewertung der Elementarflüsse	Charakterisierungsfaktor i.d.R. mit positiven Vorzeichen	Vorzeichenwechsel der entsprechenden Charakterisierungsfaktoren

Die softwaretechnische Umsetzung umfasst folgende Punkte:

- Ein Python-Skript, das durch Vertauschung von Input- und Outputflüssen aus konventionellen Modulen Gutschriftenmodule generiert
- Ergänzung der konventionellen Charakterisierung von Elementarflüssen durch korrespondierende Charakterisierungen der Gutschriften-Elementarflüsse anhand von sechs SQL Statements
- Verrechnung der Gutschriften mit herkömmlichen Wirkungsabschätzungsergebnissen durch einmalige manuelle Anpassung im Bewertungssystem.

Der erste Punkt muss zur Erstellung jeden neuen Gutschriftenmoduls wiederholt angewendet werden. Die Durchführung ist per Mausklick in Sekunden vollzogen und ermöglicht eine einfache und schnelle Generierung von Gutschriftenmodulen aus herkömmlichen Modulen.

Die beiden letztgenannten Punkte müssen etwas aufwändiger bei jedem neuen Bewertungssystem durchgeführt werden. Gemessen daran, dass derzeit noch häufig die Bewertungssysteme Eco-indicator 99 und CML 2001 eingesetzt werden, ist die Aktualisierung von Bewertungssystemen eine eher selten vorkommende Aufgabe.

## 5 Diskussion und Zusammenfassung

Die vorgestellte Softwarelösung erleichtert die Erteilung von Verwertungs-Gutschriften hinsichtlich der folgenden Punkte:

- **Konsistenz:** Gutschriftenmodule beruhen auf den entsprechenden Modulen der Produktionsprozesse und sind konsistent hinsichtlich Bezugszeitraum, Technologie und Detaillierungsgrad der Modellierung.
- **Transparenz:** Gutschriften werden separat in Stoffstrommodellen und Sachbilanzen ausgewiesen und erst im allerletzten Schritt der Aggregation der Wirkungsabschätzungsergebnisse verrechnet.
- **Aktualisierbarkeit:** Die Softwareunterstützung ermöglicht einfache und schnelle Aktualisierung von Gutschriften in dem Maße, wie der Datenbestand im Allgemeinen überarbeitet wird.

Die arbeitstechnische Erleichterung darf nicht zu einem leichtfertigen Erteilen von Gutschriften missbraucht werden. Insbesondere die folgenden wichtigen Randbedingungen sind zu beachten:

- Gutschriften sind nicht die universelle Lösung aller Allokationsfragen wenn es um Verwertungsprozesse geht. Insbesondere beim closed-loop Recycling (d.h. bei stofflicher Verwertung innerhalb desselben Produktsystems) und wenn der genaue Verwertungspfad in einzelne Folgeprodukte dezidiert bekannt ist, kann eine Differenzierung nach einzelnen technischen Prozessschritten und Kausalitäten die angemessenere Lösung sein. Auf Allokation muss zurückgegriffen werden, falls Datenlücken bezüglich des Komplementärprodukts bestehen oder falls kein Primärprodukt identifiziert werden kann, das dem Verwertungsprodukt entspricht.
- Äquivalenz verschiedener Produkte und technologische Repräsentativität sind allgemeine Themen der Ökobilanzierung, nicht nur wenn es um Verwertungsprozesse geht. Die Wahl von Primärprodukten, die dem Verwertungsprodukte entsprechen, und die dahinterliegenden Modelle primärer Produktion können nicht beliebig gewählt werden, sondern müssen dem Eignungsanspruch hinsichtlich Zielsetzung der Studie und Entscheidungssicherheit entsprechen – wie

auch allgemein in Ökobilanz-Studien. Gleichwohl ist die Wahl geeigneter Gutschriften eine mögliche Quelle von Unsicherheiten.

- Es ist legitim, irrelevante Teile von Produktsystemen im Zuge einer Vereinfachung von der Modellierung auszunehmen, sofern die Richtungssicherheit der Gesamtaussage nicht beeinträchtigt wird. Bei solchen reduzierten Modellen kann es vorkommen, dass sich durch Gutschriften sowohl in Sach- als auch in Wirkungsbilanzen negative Werte ergeben. Allen Nutzern der betreffenden Ökobilanzstudien muss klar vermittelt werden, dass die falsche Interpretation "je mehr Abfall zur Verwertung, desto umweltfreundlicher" unzulässig ist, weil mit dem ökobilanziellen Prinzip der fixen funktionellen Einheit gebrochen wird und die Voraussetzungen der Modellvereinfachungen missachtet werden.

## Referenzen

- [Bauer 2007] Bauer, C; Poganietz, W.-R.: Prospektive Lebenszyklusanalyse oder die Zukunft in der Ökobilanz. Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis (TATUP) Jg. 16, Nr. 3 (2007)
- [ecoinvent centre 2007] elektronische Daten: The Life Cycle Inventory Data – ecoinvent data v2.0. Dübendorf, CH (2007)
- [Ekvall 2001] Ekvall, T., Finnveden, G., 2001. Allocation in ISO 14041 – a critical review. Journal of Cleaner Production 9 (2001) 197–208
- [Ekvall 2002] Ekvall, T., 2002. Cleaner production tools: LCA and beyond. Journal of Cleaner Production 10 (2002) 403–406
- [Fleischer 2002] Fleischer, G.; Hake, J.-F.: Aufwands- und ergebnisrelevante Probleme der Sachbilanzierung. Schriftenreihe des Forschungszentrums Jülich, Reihe Umwelt, Band Nr. 30 (2002). ISBN 3-89336-293-2
- [Frischknecht 2006] Frischknecht, R.: Modelling of product systems in life cycle inventory analysis: Synopsis of Attributional and Consequential LCI Models – Properties and Differences. Projektbericht Deutsches Netzwerk Lebenszyklusdaten, Arbeitskreis Methodik, Karlsruhe (2006)
- [ifu Hamburg 2007] Software Umberto, Version 5.5. ifu Institut für Umweltinformatik Hamburg GmbH (2007)
- [ISO 14044:2006] Norm: Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines. International Standard ISO 14044:2006
- [Klöpffer 2009] Klöpffer, W.; Grahl, B.: Ökobilanz (LCA). Wiley VCH Verlag, Weinheim (2009). ISBN 978-3-527-32043-1
- [Reap 2008] Reap, J. et al.: A survey of unresolved problems in life cycle assessment – Part 1: goal and scope and inventory analysis. Int J Life Cycle Assess (2008) 13:290–300
- [Sandén 2007] Sandén, B. A.; Karlström, M.: Positive and negative feedback in consequential life-cycle assessment. Journal of Cleaner Production 15 (2007) pp.1469-1481
- [Weidema 2007] Weidema, B.P. et al. (Ed.): Allocation in Recycling – Documentation of an Online LCA Forum discussion. 2.0 LCA consultants, Aalborg East, Denmark. Oct. 2007

[Yellishetty 2009] Yellishetty, M. et al.:Life cycle assessment in the minerals and metals sector: a critical review of selected issues and challenges. *Int J Life Cycle Assess* (2009) 14:257–267