



Die Methode der Ökobilanz

Zusammenfassung

Die Methode der Ökobilanzierung ist eine standardisierte Methode, die es erlaubt, die mit einem Produkt, einem Verfahren oder einer Dienstleistung verknüpften Umweltlasten ganzheitlich zu erfassen, zu quantifizieren und im Zusammenhang der gegebenen Fragestellung auszuwerten. Unter ganzheitlicher Betrachtung wird dabei die Berücksichtigung aller vor- und nachgelagerten Prozessschritte verstanden (Striegel, 2000). Wie eine solche Ökobilanz zu erstellen ist, wurde in der Normenreihe DIN/ISO 14040 ff. beschrieben. In einem ersten Schritt ist gefordert, dass das Untersuchungsziel festgelegt und der für die Untersuchung geltende Untersuchungsrahmen definiert wird. Im Anschluss an die Festlegung des Untersuchungsziels und -rahmens muss in einem zweiten Schritt die Sachbilanz erstellt werden. Dabei werden die, auf eine den Nutzen quantifizierende Größe (Nutzeneinheit) bezogenen Stoff- und Energieflüsse der jeweiligen Prozessschritte unter Berücksichtigung bestimmter Regeln erfasst. Nach Erstellung der Sachbilanz kann in einem dritten Arbeitsschritt die Wirkungsauswertung durchgeführt werden. Die Wirkungsauswertung dient damit dem Erkennen, der Zusammenfassung und der Quantifizierung der potenziellen Umweltauswirkungen der untersuchten Systeme und liefert wesentliche Informationen für die sich in einem vierten Arbeitsschritt anschließende Auswertung. In der Auswertung werden die Ergebnisse aus Sachbilanz und Wirkungsabschätzung in Hinblick auf die Zielstellung zusammengefasst, diskutiert und ausgewertet. Um Schlussfolgerungen, Handlungsempfehlungen und Entscheidungen in Bezug auf die Fragestellung abzuleiten, können neben den Ergebnissen auch subjektive Elemente, wie z.B. Wertvorstellungen, technische Machbarkeit sowie gesellschaftspolitische und wirtschaftliche Aspekte einfließen.

Hintergrund

Die wissenschaftliche Methode der Ökobilanzierung ermöglicht es, die Umweltlasten von Produkten, Verfahren oder Dienstleistungen zu quantifizieren. „Sie dient dabei dem Vergleich der Umweltauswirkungen zweier oder mehrerer unterschiedlicher Produkte, Produktgruppen, Systeme, Verfahren oder Verhaltensweisen und unterstützt dadurch die Offenlegung von Schwachstellen, die Verbesserung der Umwelteigenschaften der Produkte, den Vergleich



alternativer Verhaltensweisen und die Begründung von Handlungsempfehlungen“ (Umweltbundesamt, 1992). Ursprünglich entwickelt wurde das Instrument der Ökobilanzierung mit dem Ziel, möglichst quantitative Aussagen über den gesamten Lebensweg eines Produktes zu erhalten. Bereits um 1970 wurden in den Vereinigten Staaten und in Deutschland mit vergleichenden Systemanalysen von Produkten - vor allem von Getränkeverpackungen - begonnen. Bereits zu dieser Zeit standen die auch heute noch wichtigen Punkte Rohmaterialien, Energiebedarf, Emissionen und Abfallbeseitigung bei der ganzheitlichen Bilanzierung im Mittelpunkt. Erste Ansätze, die ermittelten Stoffströme auch nach ihren Umweltauswirkungen auszuwerten, waren damals ebenfalls schon vorhanden. Sie wurden aber erst in den 80er Jahren zu größerer Aussagekraft weiter entwickelt (Umweltbundesamt, 1996). Nach langjähriger Entwicklungsarbeit liegt nun seit 1997 eine breit anerkannte Rahmenmethodik für Ökobilanzen vor (ISO/EN/DIN 14040, 1997). Durch intensive internationale Normungsbestrebungen wurde mittlerweile Konsens über die Konkretisierung einzelner Teilbereiche z.B. Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens sowie die Sachbilanz (ISO/EN/DIN 14041, 1998) erzielt, während andere Teilbereiche wie z.B. die Wirkungsabschätzung (ISO/EN/DIN 14042, 2000) oder auch der Bereich der Auswertung (ISO/EN/DIS 14043, 2000) noch immer rege diskutiert werden.

Die Methode der Ökobilanz findet nicht nur für Produkte, sondern prinzipiell auch für technische Prozesse Anwendung (Burgess und Brennan, 2001, Curran, M.A. 2000) wenngleich es hierzu noch keine standardisierten Vorgaben für die Durchführung gibt. In den nachfolgenden Kapiteln werden die einzelnen Teilbereiche der Ökobilanz (siehe Abb. 2) näher beschrieben werden. Zuvor allerdings soll die hinter der Methode stehende Idee der ganzheitlichen Sichtweise kurz erläutert werden.



Ganzheitliche Betrachtung

Grundidee der Ökobilanzmethode ist die Erfassung aller mit einem Produkt, einem Prozess oder einer Dienstleistung verknüpften Stoff- und Energieströme. Dabei wird der gesamte Lebensweg von Produkten oder Produktsystemen von „der Wiege bis zur Bahre (cradle to grave)“ berücksichtigt. Dies bedeutet, dass nicht nur die Umweltauswirkungen an der Produktionsstätte, sondern die gesamte Herstellung des Produktes, ausgehend von der Förderung der Rohstoffe aus der Lagerstätte, über die Distribution und den Gebrauch/Verbrauch bis zur Verwertung/Beseitigung erfasst werden. Dieser Ansatz ist deshalb wichtig, weil durch eine zu eng gefasste Betrachtung die Aussagen über Vor- bzw. Nachteile von Produkten oder Verfahren verfälscht werden können. Unter Zuhilfenahme der ganzheitlichen Sichtweise können Verfahren, aber auch Produkte, zu ihrem naturwissenschaftlichen Minimum hin optimiert werden. Die nebenstehende Grafik und die sich anschließende Erläuterung soll diese Denkweise für den Bereich chemischer Reaktionen veranschaulichen.

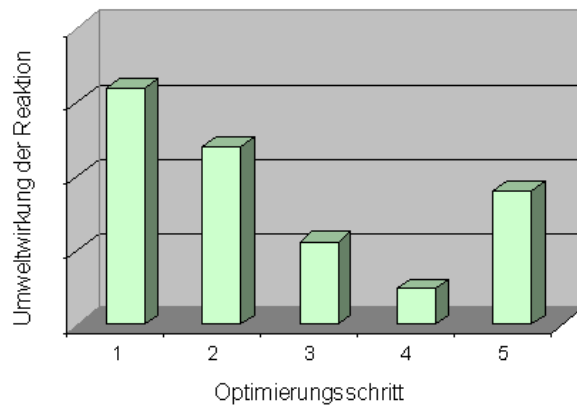


Abb. 1: Umweltlasten einer Reaktion ohne/mit Optimierung

Die Umweltauswirkung einer Reaktion sei in Säule ① zusammengefasst. Betrachtet man die Reaktion ganzheitlich - d.h. unter Berücksichtigung der vorgelagerten Produktionsschritte von Edukten, Hilfsstoffen und Energie – und tauscht z.B. das verwendete Lösungsmittel aufgrund dessen hoher Umweltlasten in der Vorkette aus, dann kann der durch Säule ② beschriebene Zustand erreicht werden. Sind alle möglichen Bereiche optimiert, ist das naturwissenschaftliche Minimum dieser Reaktion (Säule ③) erreicht und eine weitere Verbesserung bezüglich ihrer Umweltlast nicht mehr möglich. Nun müssen deutliche Veränderungen an der Reaktion vorgenommen werden, um ein noch niedrigeres Niveau (z.B. Säule ④) zu erreichen. Eine wesentliche Veränderung (z.B. der Einsatz von Katalysatoren oder ein Wechsel der Ausgangsstoffe) könnte dieses weitere Minimum ermöglichen. Aufgrund der Komplexität muss die Umweltlast nach einer Optimierung stets überprüft werden, denn es kann auch eine erneute Erhöhung der Umweltlasten (z.B. Säule ⑤) eintreten.



Die Methode

Wie bereits erwähnt, ist der Aufbau und die Anforderungen an die Durchführung von Ökobilanzen in den DIN/ISO Normen 14040 -14043 festgelegt. Nach diesen Normen gliedern sich Ökobilanzen in die vier Teilbereiche

- Festlegung des Untersuchungsziels- und Untersuchungsrahmens
- Erstellung der Sachbilanz
- Wirkungsabschätzung
- Auswertung.

Nachfolgend werden diese vier Teilbereiche im Detail besprochen.

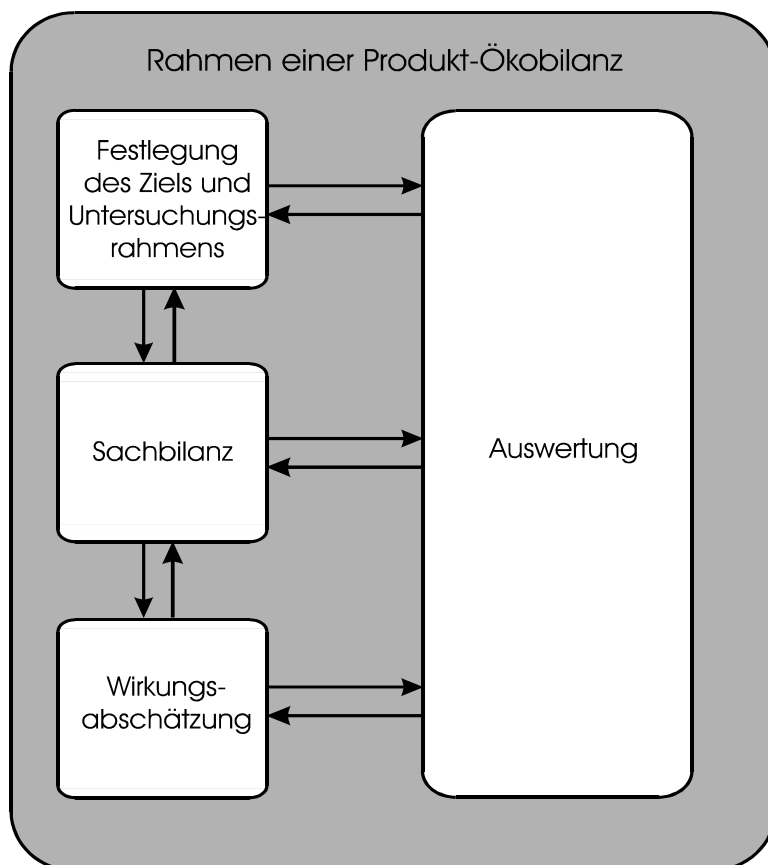


Abb. 2: Bestandteile einer Ökobilanz



Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens

Der Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens einer Ökobilanzstudie kommt eine entscheidende Bedeutung zu, da in dieser Phase die wesentlichen Festlegungen getroffen werden. Ausgehend von den Zielen und dem Erkenntnisinteresse wird der Untersuchungsrahmen festgelegt und die Anforderungen für die weiteren Phasen abgeleitet. Dies kann etwa die Tiefe der Datenerhebung und die erforderliche Datenqualität oder die Auswahl der im Rahmen der Wirkungsabschätzung zu betrachtenden Wirkungsparameter und die Interpretationsmöglichkeiten im Rahmen der Auswertung sein. Rückkopplungen ergeben sich aus dem iterativen Charakter der Ökobilanzierung. Ferner ist festzulegen, ob und in welcher Form eine externe Fachbegutachtung (kritische Prüfung) durch ein Expertengremium erfolgen soll, wie es die Norm ISO 14040 für vergleichende Studien vorsieht, die für die Öffentlichkeit bestimmt sind.

Zieldefinition

Im Schritt der Zieldefinition sind die konkreten Ziele und das Erkenntnisinteresse der Ökobilanz festzulegen; die Auftraggeber und die Zielgruppen sind zu benennen. Gegebenenfalls ist darauf hinzuweisen, welche Rolle der Ökobilanz in einem Entscheidungsprozess zukommt bzw. ob sie mit weiteren Untersuchungen (z.B. Ökonomie, Technik, Soziales) verknüpft wird. Bei der Kommunikation der Ergebnisse sollte klargestellt werden, für welche Fragestellungen die Ökobilanz geeignet ist und für welche nicht.

Festlegung des Untersuchungsrahmens

Ausgehend von den zuvor definierten Zielen der Ökobilanz ist der Untersuchungsrahmen festzulegen. Dabei sind die zur Verfügung stehenden Mittel, der zeitliche Rahmen und die Verfügbarkeit der notwendigen Daten zu berücksichtigen. Im Einzelnen ist der zeitliche, räumliche, sachliche und technische Erfassungsbereich und damit die Tiefe und die Breite des Bilanzraums festzulegen. Dabei beschreiben die Systemgrenzen die Schnittstellen zur Umwelt und zu anderen Produktsystemen und legen fest, welche Prozesse in die Untersuchung einbezogen bzw. ausgegrenzt werden. Hinsichtlich der Datenerhebung sind Umfang, Art (spezifisch, durchschnittlich) und Qualität der erforderlichen Daten festzulegen.

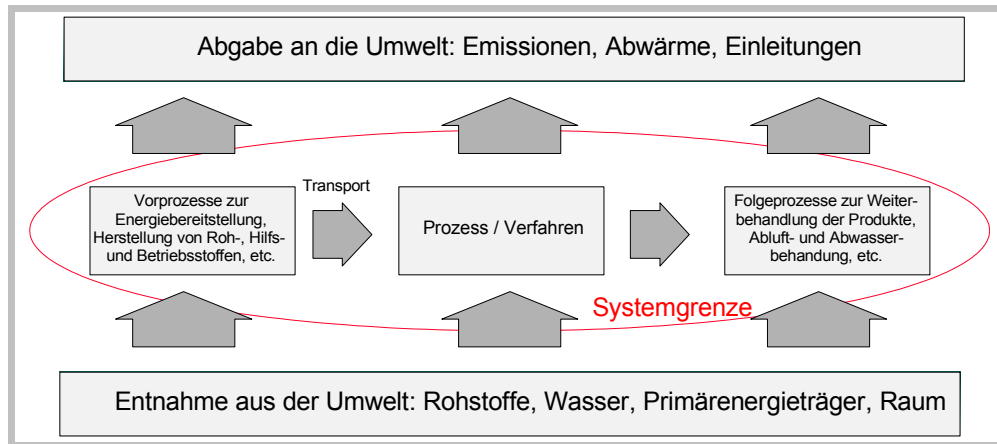


Abb. 3: Idealtypischer Abbildungsraum einer Ökobilanz (nach ^Kuhenn, 1997)

Zwei Problemstellungen, die sich bei der Festlegung des Bilanzraums ergeben, sind die Definition von Abschneidekriterien und Allokationsverfahren bei Kuppelprodukten für die einzelnen in der Bilanz betrachteten Prozesse. Zudem sind die Funktionen der untersuchten Systeme und die funktionelle Einheit festzulegen. Bei zu vergleichenden Systemen sind Unterschiede und mögliche Einschränkungen zu dokumentieren.

Abschneidekriterien

Um den Umfang und die Komplexität des Untersuchungsraums auf ein handhabbares Maß zu reduzieren, wird der Bilanzraum auf einen in Bezug auf die Fragestellung sachgerechten Untersuchungsumfang eingegrenzt. Mit Hilfe von Sensitivitätsanalysen und Abschneidekriterien wird festgelegt, ob ein Stoffstrom abgeschnitten werden kann. Dabei können unter anderem nebenstehende Kriterien herangezogen werden.

Abschneidekriterien

Massenkriterium

Nur wenn der Massenanteil eines Stoffstroms am Gesamtinput bzw. am Gesamtoutput eine definierte Geringfügigkeitsschwelle unterschreitet, darf die Herstellung des Stoffes abgeschnitten werden.

Energiekriterium

Analog zum Massenanteil muss der Anteil eines Stoffes am Gesamtenergieinhalt aller Inputstoffe eine bestimmte Geringfügigkeitsschwelle unterschreiten, damit er abgeschnitten werden darf.

Umweltrelevanz

Der abgeschnittene Einzelstoff darf in seinem Herstellungsweg kein wesentliches Umweltgefährdungspotenzial und keinen wesentlichen Beitrag zu den im Rahmen der Wirkungsabschätzung betrachteten Kategorien aufweisen.



Allokationsverfahren

Allokationen müssen angewendet werden, wenn im untersuchten Produktsystem Kuppelproduktionen auftreten. Unter Kuppelproduktionen werden Produktionsprozesse verstanden, in denen neben dem gewünschten Produktoutput weitere Produkte, die in anderen Prozessen Verwendung finden können, entstehen. Die Umweltauswirkungen, die durch einen solchen Prozess verursacht werden, sind allen Kuppelprodukten des Prozesses nach einem bestimmten Verfahren anteilig zuzurechnen. Abfälle sind keine Kuppelprodukte.

Grundsätze bei der Allokation:

- *Wenn möglich sollte eine Allokation vermieden werden.*
- *Bei Unvermeidbarkeit sollen die Systeminputs und -outputs den verschiedenen Kuppelprodukten so zugeordnet werden, dass die zu Grunde liegenden physikalischen Beziehungen widerspiegelt werden. Dabei muss die Allokation sich nicht notwendigerweise auf das Massenkriterium stützen. Weitere physikalische Kriterien sind anwendbar.*
- *Wenn physikalische Beziehungen nicht oder nicht allein anwendbar sind, kann die Zurechnung auf der Basis anderer Beziehungen, z.B. ökonomischer Werte, erfolgen. Wenn mehrere Allokationsverfahren zulässig erscheinen, muss eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt werden.*
- *Die Summe der durch Allokation zugeordneten Inputs und Outputs muss gleich den Inputs und Outputs des nicht zugeordneten Moduls sein.*
- *Zugeordnete Prozesse müssen gekennzeichnet werden.*

Nutzen und funktionelle Einheit

Der Nutzen (bzw. die Funktionen) der untersuchten Produktsysteme muss eindeutig festgelegt werden. Für die Quantifizierung des angegebenen Nutzens muss eine funktionelle Einheit definiert werden (z.B. eine Tonne Produkt). Sie dient als Bezugsgröße für alle Input- und Outputströme und die potenziellen Umweltauswirkungen. Beim Vergleich unterschiedlicher Produkte oder Verfahren ist es von besonderer Bedeutung, dass das Kriterium der funktionellen Äquivalenz (gleiche Eigenschaften und Funktion von Produkten z.B. Getränkeverpackung für 1 Liter Getränk) der betrachteten Systeme erfüllt ist. Nur funktionell äquivalente Systeme dürfen über die funktionelle Einheit verglichen werden. Unterschiede in den Umweltauswirkungen alternativer Systeme können nur dann direkt den Produkten oder Verfahren zugeschrieben werden, wenn die Funktion der betrachteten Systeme äquivalent ist.



Sachbilanz

In der Sachbilanz werden die Stoff- und Energieströme über den gesamten Lebensweg erfasst und aufgelistet. Dazu werden in einem ersten Schritt Prozessstrukturen modelliert, auf deren Grundlage die Daten erhoben werden. Für jeden Teilprozess werden die Stoff- und Energieflüsse hinsichtlich der Systemgrenzen als Input-/Output-Größen bestimmt. Durch Verknüpfung aller Teilprozesse werden die Beziehungen zwischen den Modulen und zur Umwelt abgebildet und die Sachbilanz als Inventar des Gesamtsystems erstellt. Darin werden sämtliche Stoff- und Energieflüsse, die die Systemgrenzen passieren, als Flussgrößen in physikalischen Einheiten aufgelistet. Die Daten beziehen sich auf die funktionelle Einheit.

Wirkungsabschätzung

Aufgabe der Wirkungsabschätzung ist es, die in der Sachbilanz erhobenen Stoff- und Energieflüsse auf bestimmte, vorher festgelegte, Umweltwirkungen hin auszuwerten. Sie dient damit dem Erkennen, der Zusammenfassung und der Quantifizierung der potenziellen Umweltauswirkungen der untersuchten Systeme und liefert wesentliche Informationen für die Auswertung.

In unterschiedlichen Gremien wird noch an der Methodenentwicklung gearbeitet, ein erster internationaler Konsens zeichnet sich in der ISO DIN 14042 ab, der die Grundzüge der Empfehlungen der [SETAC](#) (SETAC, 1993) aufgreift. Im Folgenden werden die einzelnen Schritte der Wirkungsabschätzung, Festlegung der Wirkungskategorien, Klassifizierung und Charakterisierung näher erläutert.

Im Rahmen der „Klassifizierung“ werden die in der Sachbilanz ermittelten Stoff- und Energieströme den zuvor festgelegten Umweltwirkungen (Wirkungskategorien) zugeordnet. Nachfolgende Tabelle (Tab. 1) listet einige oft verwendete Wirkungskategorien auf. Die Wirkungskategorien beschreiben potenzielle Auswirkungen auf Mensch und Umwelt. Sie unterscheiden sich unter anderem in ihren räumlichen Bezügen (globale, regionale und lokale Wirkungen). Prinzipiell kann jede Umweltauswirkung in die Untersuchung eingeschlossen werden, sofern die erforderlichen Daten und ein geeignetes Modell zur Beschreibung und Parametrisierung der Wirkung vorhanden sind. Ein Stofffluss kann mehreren Umweltwirkungen zugeordnet werden.



Umweltproblemfeld	Wirkungskategorien
Ressourcenverbrauch	Mineralische Rohstoffe Wasserentnahme
Energie	Energie, nicht erneuerbar Energie, erneuerbar
Treibhauseffekt	Treibhauspotenzial
Eutrophierung	Eutrophierungspotenzial
Versauerung	Versauerungspotenzial
Photooxidantienbildung	VOC, NMVOC
Abfall	Siedlungsabfall Sonderabfall Radioaktiver Abfall
Ökotoxizität	(Wirkfrachtpotenzial Wasser) (Wirkfrachtpotenzial Atmosphäre)
Humantoxizität	

Tab. 1: Liste möglicher Wirkungskategorien

Im Schritt der „Charakterisierung“ erfolgt die Quantifizierung der zugeordneten Größen. Mit Hilfe von Äquivalenzfaktoren werden die unterschiedlichen Beiträge der verschiedenen Stoffe zu einer Umweltwirkung aggregiert und bezogen auf eine Referenzsubstanz ausgedrückt. Hierzu werden die in der Sachbilanz aufgelisteten Flüsse mit den entsprechenden Äquivalenzfaktoren multipliziert und die einzelnen Beiträge addiert. Das ermittelte Wirkpotenzial stellt ein Maß für eine mögliche Schädigung der Umwelt dar. Die Beträge verschiedener Wirkpotenziale sind nicht direkt miteinander vergleichbar. Bei der „Normierung“ wird das Ergebnis der ermittelten Wirkpotenziale zu einem raumbezogenen Referenzwert ins Verhältnis gesetzt. Eine weitergehende Aggregation der Wirkungskategorien zu einer oder mehreren Kennzahlen wird nicht durchgeführt. Die hierzu notwendige Gewichtung der einzelnen Kriterien kann nur aus individuellen Entscheidungsrandbedingungen abgeleitet werden, die wissenschaftlich oft nicht zu erschließen sind.



Auswertung

Aufgabe der Auswertung ist es, die Resultate zu analysieren, sowie die Aussagefähigkeit und die Einschränkungen darzulegen. Die wesentlichen Sachverhalte, basierend auf den Ergebnissen von Sachbilanz und Wirkungsabschätzung, sind festzustellen und hinsichtlich ihrer Vollständigkeit, Sensitivität und Konsistenz der Ergebnisse zu überprüfen. Auf die in der Phase „Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens“ getroffenen Annahmen ist Bezug zu nehmen. Darauf aufbauend sind Schlüsse zu ziehen und Empfehlungen abzugeben.

Literatur

Striegel, G. (2000). *Entwicklung von Methodenbausteinen für die Ökobilanzierung technischer Verfahren am Beispiel von zwei Fallstudien*. Dissertation, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Institut für Technische Chemie und Umweltchemie, Chemisch-Geowissenschaftliche Fakultät.

Umweltbundesamt. (1992). *Ökobilanzen für Produkte, Bedeutung Sachstand–Perspektiven*. Berlin: Umweltbundesamt.

Umweltbundesamt. (1995). *Methodik der produktbezogenen Ökobilanzen – Wirkungsbilanz und Bewertung*. Berlin: Umweltbundesamt.

ISO/EN/DIN 14040. (1997). *Umweltmanagement, Ökobilanz, Prinzipien und allgemeine Anforderungen*.

ISO/EN/DIN 14041. (1998). *Umweltmanagement, Produkt-Ökobilanz, Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens sowie Sachbilanz*.

ISO/EN/DIN 14042. (2000). *Umweltmanagement, Ökobilanz, Wirkungsabschätzung*.

ISO/EN/DIS 14043. (2000). *Umweltmanagement, Ökobilanz, Auswertung*.



Burgess, A.A. und Brennan, D.J. (2001). Application of life cycle assessment to chemical processes. *Chemical Engineering Science*, 56(2001), 2589-2604.

Curran, M.A. (2000). Life Cycle Assessment: An International Experience. *Environmental Progress*, 19(2), 65-71.

Kuhenn, H. und Staudt, E. (Hrsg.). (1997). Ökobilanzen: Ursachen, Ausprägungen und Auswirkungen von Freiräumen auf den Einsatz von Ökobilanzen durch Unternehmen. Bochum: Institut für angewandte Innovationsforschung.

Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC): Guidelines for Life-Cycle Assessment, A "Code of Practice"; SETAC Workshop in Sesimbra 31.03.-03.04.1993, Brüssel, 1993

