

Produktökobilanz –

Verfahren für eine ganzheitliche Beurteilung, beispielsweise von Bauprodukten aus Zement und Beton*)

Product ecobalance –

a method for complete assessment of, for example, building products made of cement and concrete*)

Bilan écologique du produit –

Procédé pour une évaluation globale, par l'exemple de produits de construction à base de ciment et de béton

Balance ecológico del producto –

Procedimiento para una evaluación i ntegral, por ejemplo de productos de cemento y de hormigón

Von K. Kuhlmann, Forschungsinstitut der Zementindustrie, Düsseldorf/Deutschland

Fachbericht 4.2 · Zusammenfassung – Seit einigen Jahren arbeiten staatliche Organisationen, Industrie, Verbraucher- und Umweltverbände an Verfahren, mit denen analog zu betriebswirtschaftlichen Bilanzen die bei der Herstellung von Produkten entstehenden Umweltbelastungen erfaßt und mit dem Ziel bewertet werden, Produkte ökologisch vergleichbar zu machen. Angewendet wurden bislang Bilanzmodelle und Begriffe mit unterschiedlichstem Sachinhalt, wie „Ökobilanz“, „Produktlinienanalyse“ (PLA) oder im amerikanischen Sprachraum „Product-Life-Cycle-Assessment“ (LCA). In der PLA sollten alle umweltbelastenden Faktoren während des Lebenswegs eines Produkts zusammengefaßt und beurteilt werden. Die Bewertung soll allerdings über den Umweltbereich hinausgehen und insbesondere ökonomische, soziale und gesellschaftliche Kriterien mit einbeziehen. Ein konsensfähiges Konzept liegt bislang hierfür jedoch noch nicht vor. Sowohl in der LCA als auch in der Ökobilanz wird innerhalb eines exakt definierten Bilanzrahmens der Lebensweg des Produkts von der Rohmaterialgewinnung bis zur Entsorgung dargestellt. Auf der Einnahmenseite steht der Verbrauch an Energie, Rohmaterial, Wasser und Luft ebenso wie die Inanspruchnahme von Grund und Boden. Die Ausgabenseite enthält die luftgetragenen Emissionen, die Lärmemissionen, den Anfall an Abfall, Abwasser und Abwärme sowie an verwertbaren Rohstoffen. Die Bewertung soll auf die Umweltinanspruchnahme beschränkt bleiben; sie wird im Vergleich zu derjenigen bei der komplexen PLA allerdings nur teilweise einfacher, da es derzeit noch keine allgemein akzeptierten „ökologischen“ Verrechnungseinheiten gibt. In der Ökobilanz für Beton werden die Normierung unterschiedlicher Umwelteinheiten in Anlehnung an das Vorgehen des schweizerischen Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) durchgeführt und dimensionslose Verhältniszahlen auf der Basis von tatsächlichen und maximal möglichen Belastungen (Grenzwerte) zusammengefaßt. Die Abwägung zwischen ökologischer Belastung durch das Produkt und dessen Nutzen für die Umwelt erfolgt in Form einer Nutzwertanalyse. Diese vor allem aus Planungsprozessen bekannte Entscheidungstechnik erlaubt es, mehrere Gesichtspunkte gleichzeitig in die Entscheidungsfindung mit einzubeziehen. Dabei können unterschiedliche quantitative, aber auch qualitative Daten in Form gewichteter dimensionsloser Nutzwerte berücksichtigt werden.

Produktökobilanz –

Verfahren für eine ganzheitliche Beurteilung, beispielsweise von Bauprodukten aus Zement und Beton

Product ecobalance –

a method for complete assessment of, for example, building products made of cement and concrete

Special report 4.2 · Summary – For some years government organizations, industry, and consumer and environmental organizations have been working on methods with which, like industrial management balances, the environmental burden resulting from the manufacture of products are measured and assessed with the object of making products ecologically comparable. Balance models and terms with widely differing factual content have been used, such as “ecobalance”, “product line analysis” (PLA) or in the American language sphere “Product-Life-Cycle-Assessment” (LCA). The PLA is supposed to combine and assess all the factors affecting the environment during the life of a product. The evaluation is intended to extent beyond the environmental sphere and also incorporate economic, social and communal criteria. However, no scheme has as yet been agreed for this. Both in the LCA and in the ecobalance the life of the product is described from raw material extraction to final disposal within an exactly defined balance framework. On the input side are the consumption of energy, raw materials, water and air, as well as the demands on land. The output side contains the airborne emissions, the noise immission, the waste material, waste water and waste heat, as well as useful raw materials produced. The evaluation is to be confined to environmental demands; however, it is only in some respects that it is simpler than that of the complex

*) Überarbeitete Fassung eines Vortrages zum VDZ Kongreß '93, Düsseldorf (27. 9. – 1. 10. 1993)

Revised text of a lecture to the VDZ Congress '93, Düsseldorf (27. 9. – 1. 10. 1993)

PLA, as at present there is still no generally accepted "ecological" calculation unit. In the ecobalance for concrete various environmental units are standardized on the basis of the procedure used by the Federal Swiss Office for Environment, Forests and Land, and dimensionless proportional numbers are compiled on the basis of actual and maximum possible loadings (limit values). The ecological loading caused by the product is weighed against its benefit to the environment in the form of a utility analysis. This decision technique familiar mainly from planning processes makes it possible to include several points of view at once arriving at a decision. Differing quantitative, and also qualitative, data can be taken into account in the form of weighted dimensionless utility values.

Rapport spécial 4.2 · Résumé – Depuis quelques années, organismes d'Etat, industrie, confédérations de consommateurs et associations de protection de l'environnement travaillent conjointement sur des procédés, permettant, de manière analogue aux bilans d'économie industrielle, d'enregistrer les charges de l'environnement se produisant lors de la fabrication de produits, et de les évaluer en rendant comparables les produits sur le plan écologique. Jusqu'à ce jour, il a été mis en oeuvre des modèles de bilan et des concepts d'une teneur des plus variées comme „bilan écologique“, „analyse de ligne de produit“ (PLA) ou ce qu'appellent les américains „Product-Life-Cycle-Assessment“ (LCA). Le PLA se propose de regrouper et d'apprécier tous les facteurs de pollution de l'environnement durant toute la vie d'un produit. L'appréciation, quant à elle, doit cependant dépasser le cadre de l'environnement et intégrer notamment des critères économiques, sociaux et de société. Un concept consensuel n'est cependant pas encore disponible jusqu'ici. Tant dans le LCA que dans le bilan écologique on trouve, à l'intérieur d'un cadre de bilan extrêmement précis, le „curriculum vitae“ du produit de l'extraction de la matière première jusqu'au traitement des déchets. Côté recette on trouve la consommation d'énergie, la matière première, l'eau et l'air ainsi que la prise en compte du terrain et du sol. Côté dépenses on range les émissions polluantes l'air, les nuisances sonores, la formation de déchets, d'eaux résiduaires, de chaleur perdue ainsi que de matières premières récupérables. L'appréciation reste limitée à la prise en compte des questions d'environnement. Elle est en comparaison avec celle de PLA qui est complexe, plus simple du fait qu'il n'existe actuellement encore aucune unité de décompte „écologique“ reconnue par tous. Dans le bilan écologique du béton il est procédé à une normalisation des unités les plus variées en matière d'environnement s'appuyant sur la procédure de l'Office fédéral Suisse pour l'environnement, les forêts et le paysage (BU-WAL), et des coefficients sans dimension basés sur des charges (valeurs-limites) effectives, maximales possibles y sont regroupées. L'appréciation entre la charge écologique due au produit et son exploitation pour l'environnement est réalisée sous forme d'analyse de rentabilité des coûts. Cette technique de prise de décision connue surtout dans les processus de planification permet d'intégrer simultanément plusieurs points de vue dans la recherche de décision. Pour cela on peut prendre en compte diverses données quantitatives mais aussi qualitatives sous forme de valeurs utiles pondérées sans dimension.

Informe de ramo 4.2 · Resumen – Desde hace varios años, algunos organismos estatales, la industria, los consumidores y las organizaciones de protección del medio ambiente están elaborando métodos que permitan – análogamente al balance económico – registrar y evaluar las repercusiones de los productos sobre el medio ambiente, con el fin de conseguir que tales productos sean comparables desde el punto de vista ecológico. Hasta ahora se han aplicado modelos y términos de muy diferente significado, tales como „balance ecológico“, „análisis de líneas de productos“ (ALP) o, en el área norteamericana, „Product-Life-Cycle-Assessment“ (LCA). Mediante el ALP se pretendía reunir y evaluar todos los factores perjudiciales para el medio ambiente durante la vida útil del producto. Pero la evaluación tenía que pasar más allá del ámbito medioambiental, incluyendo, especialmente, criterios económicos y sociales. Para ello no se dispone, hasta la fecha, de ningún concepto susceptible de ser generalmente aceptado. Tanto en el LCA como el balance ecológico se representa la vida del producto, dentro del marco de un balance exactamente definido, desde la obtención de las materias primas hasta la eliminación de los desechos. En el lado „entradas“ figura el consumo de energía, materias primas, agua y aire, lo mismo que la utilización del suelo. En el lado „salidas“ se apuntan las emisiones que afectan al aire, las emisiones sonoras, las emisiones en forma de desechos, aguas residuales y calor residual así como las materias primas aprovechables. La evaluación debe quedar limitada al medio ambiente, pero sólo será en parte más sencilla, en comparación con el ALP, que es bastante complejo, ya que de momento todavía no existen unidades de cuenta „ecológicas“, generalmente aceptadas. En el balance ecológico del hormigón, se lleva a cabo la normalización de diferentes unidades del medio ambiente, siguiendo el ejemplo de la Oficina Suiza del Medio Ambiente, Bosques y Paisaje, mediante la combinación de cifras proporcionales, adimensionales, sobre la base de las cargas efectivas y de las cargas máximas posibles (valores límite). La ponderación de la carga ecológica, debida al producto, y su utilidad para el medio ambiente se efectúa en forma de análisis del valor útil. Esta técnica, conocida sobre todo de los procesos de planificación, permite incorporar varios aspectos a la vez, para llegar a una decisión. A este respecto, se pueden tener en cuenta diferentes datos cuantitativos y también cualitativos, en forma de valores útiles ponderados, adimensionales.

Bilan écologique du produit – Procédé pour une évaluation globale, par l'exemple de produits de construction à base de ciment et de béton

Balance ecológico del producto – Procedimiento para una evaluación integral, por ejemplo de productos de cemento y de hormigón

1. Einleitung

Jährlich werden in der Bundesrepublik Deutschland mehr als 600 Mio. Tonnen mineralische Baustoffe produziert. Das Bauvolumen in Deutschland betrug 1992 488 Mrd. DM. Dabei entfielen 412 Mrd. DM auf die alten Bundesländer. Sie verteilen sich zu 43 % auf das Bauhauptgewerbe, zu 29 % auf das Ausbaugewerbe und zu 28 % auf andere Produzentengruppen. Im Bauhauptgewerbe ist im wesentlichen die Rohbautätigkeit (86 %) enthalten, in der der Beton- und Mauerwerksbau dominieren. Wertmäßig entfallen rund zwei Drittel des Rohbaus auf die Betonbauart (**Tabelle 1**). Insgesamt stellt die Bautätigkeit einen erheblichen Anteil von knapp einem Fünftel am Bruttosozialprodukt der Bundesrepublik Deutschland dar [1].

Unbestritten trägt das Bauen dazu bei, wesentliche Bedürfnisse unserer Gesellschaft zu befriedigen, wie etwa das Wohnen, das Erzeugen von Nahrungsmitteln und Gebrauchsgütern sowie die Mobilität. Aber auch Ver- und Entsorgung sind in einer modernen Industriegesellschaft ohne Bauen mit Beton nicht möglich. Eine entsprechende Anerkennung findet das Bauen, insbesondere der Wohnungsbau, auch in der Bevölkerung, wie Ergebnisse einer 1992 durchgeführten Meinungsumfrage zeigen (**Tabelle 2**). Das Bauen rangiert danach in der Prioritätenliste auf den vorderen Plätzen [2]. Aus der Zusammenstellung geht hervor, daß Umweltschutz und Wohnungsbau als etwa gleichrangige politische Aufgaben und Ziele in der Öffentlichkeit eingestuft werden. Daraus ergibt sich zwangsläufig ein Spannungsfeld, denn das Bauen und die Herstellung von Baustoffen sind unweigerlich mit Eingriffen in Natur und Umwelt verbunden. Die Frage, inwieweit diese Eingriffe jedoch gerechtfertigt sind, bildet oftmals Gegenstand von Auseinandersetzungen mit der Bevölkerung, die Bauen für unabdingbar hält.

Was bislang fehlt, sind allgemein akzeptierte Regeln, um komplexe Prozesse oder Produkte unter ökologischen Gesichtspunkten ganzheitlich zu bewerten. In diesem Zusammenhang werden Ökobilanzen zukünftig besondere Bedeutung erlangen. Allerdings darf sich eine solche Bilanz nicht nur auf eine Zusammenstellung der Umweltbelastungen beschränken, sondern es muß auch deren Bewertung erfolgen [3, 4]. Lediglich eine Liste mit quantitativ ermittelten Umweltbelastungen gilt nicht als Ökobilanz. Zudem muß Einigkeit darüber bestehen, daß Ökobilanzen keine Instrumente sind, mit denen man Materialien gegeneinander ausspielen kann. Plakative Aussagen wie „Baustoff A ist besser als Baustoff B“ sind auf Basis seriöser Ökobilanzen nicht zu erwarten.

TABELLE 1: Aufteilung des Bauvolumens auf die wesentlichen Baugewerbe (1992)

Bezeichnung	Bauvolumen in	
	Mrd. DM	%
Bauvolumen 1992 (alte Bundesländer)	412	100
Bauhauptgewerbe	177	43
Ausbaugewerbe	121	29
Andere Produzentengruppen	114	28

TABELLE 2: Ergebnis einer Umfrage nach den wesentlichen politischen Aufgaben und Zielen in der Bundesrepublik (1992)

Bezeichnung	Angaben in %
Umweltschutz	72
Wohnungsbau	68
Renten	70
Asylmißbrauch	64
Arbeitsplätze	68
Wirtschaftsstabilität	65

1. Introduction

More than 600 million tonnes of mineral building materials are produced every year in Germany. The volume of construction in Germany in 1992 amounted to 488 billion DM, of which 412 billion DM were accounted for by the former West Germany. This broke down into 43 % for the building industry proper, 29 % for the finishing trade, and 28 % for other producer groups. Most of the carcass work (86 %), in which concrete and masonry construction are predominant, is covered by the building industry proper. Concrete construction accounts for about two-thirds of the carcass work in terms of value (**Table 1**). In total, construction work represents the considerable proportion of just under one fifth of Germany's gross national product [1].

It is undisputed that the construction industry contributes to satisfying some of the essential needs of our society such as, for example, accommodation and the production of food and consumer durables, as well as mobility. Nor are supply and waste disposal possible in a modern industrial society without concrete construction work. Construction, especially of housing, is also duly recognized by the population, as is shown by the results of an opinion poll carried out in 1992 (**Table 2**). This shows that building occupies one of the top places in the list of priorities [2]. It can be seen from the table that public opinion classifies environmental protection and the building of housing as political duties and objectives of roughly equal rank. This inevitably leads to a conflict of interests, as building and the manufacture of building materials are unavoidably associated with interference in nature and the environment. However, the question as to how far this interference is justified often causes arguments among the population which considers construction to be indispensable.

What has been lacking so far are generally acceptable rules for evaluating complex processes or products as a whole from the ecological point of view. Ecobalances are going to become particularly important in this connection in the future. However, such a balance must not be confined just to compiling the adverse environmental effects; it must also evaluate them [3, 4]. A mere list with quantitatively measured environmental damage does not constitute an ecobalance. There must also be general agreement that ecobalances are not instruments for playing off materials against each other. Serious ecobalances should not be expected to produce simplistic statements such as "Construction material A is better than construction material B".

TABLE 1: Breakdown of the volume of construction work between the main buildings trades (1992)

Designation	Construction volume in	
	billion DM	%
Construction volume 1992 (former West Germany)	412	100
Building industry proper	177	43
Finishing trade	121	29
Other producer groups	114	28

TABLE 2: Results of an opinion poll about essential political tasks and objectives in Germany (1992)

Designation	Data in %
Environmental protection	72
Housing	68
Pensions	70
Misuse of asylum	64
Jobs	68
Economic stability	65

2. Verfahren der Bilanzierung

Die Ökobilanz (international: Life Cycle Assessment, LCA) ist keine neue Methode. Schon in den 70er Jahren wurden umweltbezogene Systemanalysen von Verpackungsmaterialien und chemischen Prozessen durchgeführt [5–9]; Ökobilanz als Begriff tauchte erstmals in den 80er Jahren auf [10–13]. Fraglos handelt es sich dabei um eine fast geniale Wortschöpfung, die sprachlich geschickt Ökologie und Ökonomie miteinander verbindet. Zudem entsteht der Eindruck, daß bislang mehr qualitativ behandelte Aspekte quantifizierbar und bilanzierbar geworden sind. Es erstaunt also nicht, daß Ökobilanzen als umfassendes ökologisches Beurteilungsmittel bei allen gesellschaftlichen Gruppen sofort hoch im Kurs standen und auch noch stehen, ohne daß anfangs einheitliche Methoden für ihre Erstellung vorlagen. Als Folge davon ist ein Teil der bislang erstellten Ökobilanzen hinsichtlich ihrer Aussage einseitig geprägt und für eine akzeptable Beurteilung ungeeignet.

Inzwischen besteht jedoch weitgehend Einigkeit, wie die ökologische Bewertung von Produkten international erfolgen soll. Das Standardmodell [14] einer solchen Ökobilanz umfaßt vier Schritte: die Zielsetzung (Scoping), die Sachbilanz (Inventory), die Wirkungsanalyse (Impact assessment) und die Bewertung (Evaluation) (Bild 1).

2.1 Zielsetzung

Im Rahmen der Zielsetzung der Ökobilanz muß zunächst eine Aufgabe formuliert werden. Beispielsweise muß vorher klar sein, ob ein Vergleich zweier oder mehrerer Produkte für einen bestimmten, genau definierten Anwendungsfall oder eine Optimierung eines Produktes unter ökologischen Gesichtspunkten durchgeführt werden soll. Von besonderer Bedeutung ist dabei die Definition einer sogenannten „Funktionalen Einheit“, die verhindert, daß Baustoff A mit Baustoff B verglichen wird, ohne auf gleiche Leistungsmerkmale zu achten. Gegenüberzustellen sind stattdessen z. B. zwei Bauteile oder Bauwerke gleicher Funktion und Leistungsfähigkeit aus unterschiedlichen Baustoffen für einen ganz konkreten Einsatz. Schließlich ist im Rahmen der Zielsetzung auch die Genauigkeit vorzugeben, mit der die Bilanz erhoben werden soll. Meßwerte führen zu gänzlich anderen Ergebnissen als mittlere Emissionsfaktoren, so daß in einer Bilanz nicht beides Eingang finden kann.

2.2 Sachbilanz

In der Sachbilanz werden der Bedarf an Rohstoffen, an Energie, die Emissionen sowie die Abfall- und Abwasserströme quantitativ beschrieben. Dabei ist es erforderlich, den Lebensweg des Produktes exakt zu kennen, um sachgerechte Bilanzgrenzen festlegen zu können (Bild 2). Energie, Rohmaterial, Luft, Wasser und Landschaft können sowohl bei der Gewinnung und Aufbereitung der Produktausgangsstoffe, bei seiner Produktion, seiner Distribution und seinem Gebrauch als auch bei seiner Entsorgung benötigt werden. Zu definieren ist, welche Stoff- oder Energieströme bzw. Lebenslaufphasen von untergeordneter Bedeutung und nicht zu betrachten sind.

Auf der Ausgabenseite der Sachbilanz stehen die Emissionen aller relevanten Schadstoffe, angefangen von Staub und Staubinhaltsstoffen über gasförmige anorganische und organische Abgaskomponenten bis hin zu hochtoxischen Stoffen wie Dioxinen und Furanen. An dieser Stelle tritt in

-
- Zielsetzung der Ökobilanz
(= Scoping)
 - Sachbilanz
(= Life Cycle Inventory)
 - Wirkungsanalyse
(= Environmental Impact Assessment)
 - Bewertung
(= Life Cycle Evaluation)
-

Bild 1: Teilschritte einer Ökobilanz

2. The procedure for drawing up the balance

The ecobalance (internationally: Life Cycle Assessment, LCA) is not a new method. Environmentally related system analyses were being carried out on packaging materials and chemical processes as early as the 70s [5–9]; the term “ecobalance” first emerged in the 80s [10–13]. Without doubt this is an almost inspired piece of word coinage which skilfully links ecology with economy. It also gives the impression that it has become possible to quantify and balance aspects which could previously only be treated qualitatively. It is not surprising that ecobalances immediately became, and still are, highly regarded in all social groups as a tool for comprehensive ecological assessment, without at first there being any consistent methods for drawing them up. As a result, some of the ecobalances which have been drawn up so far are markedly one-sided in their message and are unsuitable for acceptable assessment.

However there is now substantial agreement as to how the ecological evaluation of products is to be carried out internationally. The standard model [14] of such an ecobalance encompasses four steps: setting the objective (Scoping), the material balance (Inventory), the analysis of effects (Impact Assessment) and the Evaluation (Fig. 1).

2.1 Setting the objective (Scoping)

When setting the objective for the ecobalance it is first necessary to formulate the problem. For example, it must be clear in advance whether a comparison of two or more products is to be carried out for a certain, precisely defined, application or for optimization of a product from the ecological point of view. Of particular importance is the definition of a “functional unit”; this prevents construction material A from being compared with construction material B without taking the same performance features into account. The comparison should instead be made between, for example, two components or two structures of the same function and capabilities made of different construction materials for an entirely specific use. As a part of the objective it is also necessary to specify the accuracy with which the balance is to be made. Measured values lead to very different results from average emission factors, so they cannot both be included in one balance.

2.2 The material balance (Life Cycle Inventory)

The material balance provides a quantitative description of the consumption of raw materials and energy, the emissions, and the waste and waste water flows. It is necessary to have precise knowledge of the life cycle of the product in order to be able to specify proper boundaries for the balance (Fig. 2). Energy, raw material, air, water, and land can be required during the extraction and preparation of the basic materials for the product, in its production, its distribution and its use, as well as in its final disposal. It is necessary to define which material and energy flows, or life cycle phases, are of secondary importance and are not to be taken into account.

On the output side of the material balance are the emissions of all relevant pollutants, starting from the dust and the substances contained in it, through gaseous inorganic and organic exhaust gas components, right up to highly toxic substances like dioxins and furans. In most cases it is at this point that the first difficulty appears, as it is only in exceptional cases that these data are available. Noise, wastes,

-
- Setting the objectives for the ecobalance
(= Scoping)
 - Material balance
(= Life Cycle Inventory)
 - Analysis of effects
(= Environmental Impact Assessment)
 - Evaluation
(= Life Cycle Evaluation)
-

Figure 1: Stages in an ecobalance

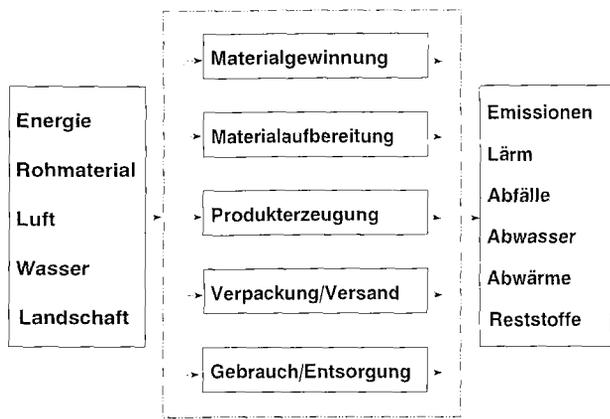


BILD 2: Bilanzrahmen für die Sachbilanz einer Ökobilanz

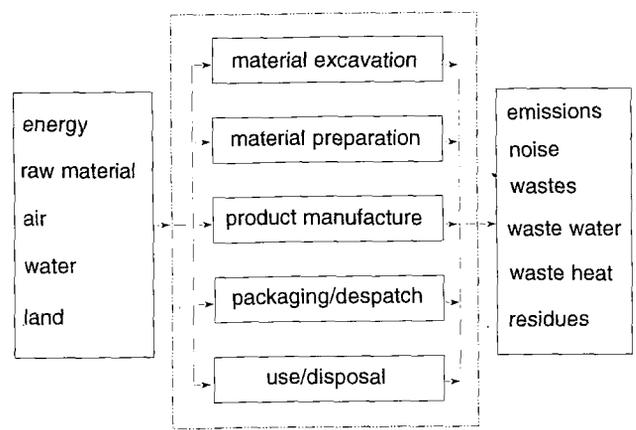


FIGURE 2: Framework of the material balance within an ecobalance

den meisten Fällen bereits die erste Schwierigkeit auf, da diese Daten nur in Ausnahmefällen vorliegen. Ferner sind zu erfassen: Lärm, Abfälle, Abwasser, Abwärme und Reststoffe. Diese Reststoffe können im eigenen oder in anderen Produktionsprozessen wiederverwertbar sein. Ihre Behandlung innerhalb einer Ökobilanz bedarf daher einer Konvention [14]. Handelt es sich um ein Recycling, also eine produktionsinterne Wiederverwertung, kann Rohmaterial eingespart werden, und die damit verbundene Einsparungsmöglichkeit auf der Einnahmen- und Ausgabenseite muß gutgeschrieben werden. Bei der Verwertung von sekundären Stoffen aus anderen Prozessen müssen die Umweltbelastungen des Prozesses, bei dem sie entstehen, in geeigneter Form auf den Reststoff verteilt werden. Die Aufteilung kann z. B. proportional zum Erlös erfolgen, der aus Haupt- und Abfallprodukten erzielt wird.

Zielsetzung und Sachbilanz sind vergleichsweise einfache Teilschritte der Ökobilanz, da man sich dabei auf weitgehend abgesicherte Grundlagen der Bilanzierung abstützen kann; das gilt nicht mehr für die Wirkungsanalyse und die Bewertung. Um jedoch ein handhabbares Ökobilanzergebnis zu erzielen, sind zusammenfassende Rechenoperationen unumgänglich. Im Idealfall ist die Basis dafür eine ökologische Verrechnungseinheit, wie die Währung in betriebswirtschaftlichen Bilanzen. Allerdings muß die Herleitung nachvollziehbar und die Bewertung transparent sein, um eine breite Akzeptanz beim Adressaten der Ökobilanz zu erreichen.

2.3 Wirkungsanalyse

In der Wirkungsanalyse der Ökobilanz muß die Relevanz der Umweltbelastung, die mit dem Produkt oder dem Produktionsprozeß verbunden ist, im einzelnen eingeschätzt und beurteilt werden. Ziel ist es, die Hauptbelastungsfaktoren herauszuarbeiten. Eine vergleichbare Fragestellung ergibt sich auch im Rahmen von Umweltverträglichkeitsprüfungen, die gemäß EG-Richtlinie vom 27. Juli 1985 bei Vorhaben durchzuführen sind, die erhebliche Umweltauswirkungen haben können. Dazu zählen unter bestimmten Voraussetzungen auch der Bau bzw. die Änderung des Betriebs von Anlagen zur Herstellung von Zementklinker. Insbesondere bei der Festlegung des Untersuchungsrahmens der Umweltverträglichkeitsprüfung, d. h. beispielsweise bei der Auswahl relevanter Emissionskomponenten, kommt dieser Analyse besondere Bedeutung zu.

In der Praxis hat sich eine Vorgehensweise zur Beurteilung der Erheblichkeit von anlagenbedingten Umweltauswirkungen bewährt. Danach wird eine zusätzliche Umweltbelastung nicht als relevante Risikoerhöhung und damit auch nicht als ursächlicher Beitrag zu schädlichen Umwelteinwirkungen angesehen, wenn sie 1% eines schadstoffspezifischen Schwellenwertes unterschreitet. Die Umweltrelevanz ist wie folgt definiert:

$$R_E = \frac{II_Z}{S_w} \cdot 100 \text{ in } \% \quad (1)$$

waste water, waste heat and residues also have to be covered. These residues may be re-usable in the same or other production processes. Their treatment within an ecobalance therefore requires the use of a convention [14]. If recycling is involved, i.e. re-use within the production system, then raw material can be saved, and the associated possible saving must be credited on the input and output sides. When utilizing secondary materials from other processes the environmental pollution caused by the processes in which they are produced must be allocated in appropriate form to the residues. The allocation can, for example, be made proportional to the profit which is obtained from the main and waste products.

Setting the objective and carrying out the material balance are comparatively simple stages in the ecobalance, as they are based on substantially factual foundations; this no longer applies to the analysis of effects and the evaluation. All-embracing computation operations are unavoidable if a manageable ecobalance is to be achieved. In the ideal case the basis for this is an ecological accounting unit, like the currency in an industrial management balance. However, its derivation must be reconstructible, and the evaluation must be transparent, to achieve broad acceptance with those for whom the ecobalance is intended.

2.3 Analysis of effects (Environmental Impact Assessment)

In the ecobalance's analysis of effects the relevance of the environmental impact which is associated with the product or production process must be estimated and assessed in detail. The aim is to bring out the principal pollution factors. A comparable problem also arises in the context of environmental compatibility tests which have to be carried out in accordance with EC guidelines of 27th July 1985 for projects which could have considerable environmental effects. This also includes, with certain preconditions, the construction or the change of operation of plants for manufacturing cement clinker. This analysis is of particular importance, especially when the investigative framework of the environmental compatibility testing is being specified, i.e. for example when selecting relevant emission components.

A procedure for assessing the relevance of environmental effects caused by industrial plants has proved successful in practice. According to this, additional environmental pollution is not regarded as a relevant increase in risk, and therefore also not as a causal contribution to harmful environmental effects, if it is less than 1% of a threshold value specific to the pollutant. The environmental relevance is defined as follows:

$$R_E = \frac{II_Z}{S_w} \cdot 100 \text{ in } \% \quad (1)$$

In Gleichung (1) bedeuten:

- R_E: Umweltrelevanz
- Sw: Schwellenwert
- IIZ: Zusatzbelastung

Für R_E ≤ 1% ist die Zusatzbelastung vernachlässigbar.

Dieses Schwellenwertkonzept zur Umweltrelevanz läßt sich auf alle Emissionen in die Umweltmedien Luft, Boden und Wasser übertragen. Anerkannte Schwellenwerte für die wichtigsten Stoffe sind im Schrifttum enthalten. Die Zusatzbelastung im Quotienten zur Ermittlung der Umweltrelevanz kann rechnerisch ermittelt werden. Überträgt man dieses Schwellenwertkonzept auf die Wirkungsanalyse der Ökobilanz, kann damit auch die Relevanz der Umweltbelastung eines Produktes eingeschätzt werden.

Hilfreich für die weitere Bewertung der Ergebnisse der Sachbilanz ist die Aggregation der relevanten Umweltbelastungen in normierter Form. Damit hat sich sehr eingehend das schweizerische Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) in Bern befaßt. Die Arbeiten haben zu einer pragmatischen Konvention geführt, die einer einheitlichen Ökoeinheit sehr nahe kommt. Entwickelt wurden zwei Modelle: das „Kritische Volumen“ und die „Ökologische Knappheit“. Bei der Berechnung ökologischer Knappheiten werden die Öko-Punkte ermittelt, wobei dem Verhältnis von tatsächlicher Belastung und der maximal tolerierbaren Belastung besondere Bedeutung zukommt [15]. Eine breitere Anwendung, nicht nur in der Schweiz, sondern auch in den Niederlanden und den skandinavischen Ländern, findet die Berechnung von kritischen Volumina [16]. Danach wird für jeden Schadstoff der Quotient aus seiner in ein Umweltmedium abgegebenen Menge und einem Grenzwert (z.B. Emissionsgrenzwert, MIK- oder MAK-Wert) gebildet. Aufsummiert über alle Schadstoffe ergibt sich das sogenannte „Kritische Volumen“, das nötig ist, um das Umweltmedium, beispielsweise Luft oder Wasser, bis zu einer unbedenklichen Konzentration zu verdünnen. Je größer dieses Volumen ist, um so höher muß die Umweltbelastung eingeschätzt werden.

Mathematisch ist das „Kritische Volumen“ wie folgt definiert:

$$V_K = \sum_{i=1}^N \frac{m_i}{G_i} \quad (2)$$

Darin bedeuten:

- V_K: kritisches Volumen
- m_i: Menge des Schadstoffs i
- G_i: Grenzwert des Schadstoffs i

2.4 Bewertung

Abschließender Baustein der Ökobilanz ist die zusammenfassende Bewertung aller wesentlichen Merkmale des betrachteten Produkts. Die ökologische Belastung, die sich aus der Sachbilanz ergibt, stellt dabei lediglich einen Teil der Gesamtbilanz dar; andere Merkmale müssen ebenso mit berücksichtigt werden. Bei einem Betonbauteil können das beispielsweise die Dauerhaftigkeit, die Feuerwiderstandsfähigkeit oder Tragfähigkeit, bei einem Klärwerk aber auch die Abwasserreinigungskapazität sein. Wesentlich ist, daß diese Merkmale in der Zieldefinition zu Beginn der Ökobilanz festgelegt werden. Sie bestimmen entscheidend die funktionale Einheit, für die die Ökobilanz erstellt wird.

Als Bewertungsmaßstab für eine Entscheidung bei mehreren gleichrangigen Merkmalen, die nicht gegeneinander abwäglich sind, also nicht die gleiche Verrechnungseinheit haben, wurde in der Betriebswirtschaftslehre die Theorie der Nutzwertanalyse entwickelt, die auch im Rahmen von Ökobilanzen anwendbar ist [17–20]. Dabei werden die Merkmale anhand einer Werteskala eingeordnet. Das Produkt mit der höchsten Umweltbelastung erhält den Zielerfüllungsgrad 0, für die niedrigste Belastung wird der Wert 1 vergeben. Dazwischen wird proportional abgestuft. Ferner werden die Merkmale nach ihrer Bedeutung gewichtet,

In Equation (1)

- R_E: environmental relevance
- S_w: threshold value
- IIZ: additional pollution

The additional pollution can be neglected for R_E ≤ 1%.

The threshold concept for environmental relevance can be applied to all emissions in the environmental media of air, soil and water. Recognized threshold values for the most important substances are contained in the literature. The additional pollution in the quotient for determining the environmental relevance can be determined by calculation. If this threshold concept is applied to the analysis of effects in the ecobalance then it is also possible to estimate the relevance of the environmental pollution of a product.

The aggregate of the relevant environmental pollutions in normalized form is helpful for further evaluation of the results of the material balance. The Swiss Federal Office for the Environment, Forests and Land in Bern have studied this very thoroughly. The work has led to a pragmatic convention which comes very close to being a consistent ecounit. Two models were developed: the “Critical volume” and the “Ecological scarcity”. Eco points are determined when calculating ecological scarcity, particular importance being given to the ratio of actual pollution to maximum tolerable pollution [15]. The calculation of critical volumes is being applied more widely, not only in Switzerland but also in the Netherlands and the Scandinavian countries [16]. A quotient is formed for each pollutant from the quantity discharged into an environmental medium and a limit value (e.g. emission limit, maximum immission concentration or maximum workplace concentration). The sum for all the pollutants produces the “critical volume” which is required to dilute the environmental medium, e.g. air or water, down to a harmless concentration. The greater this volume the higher is the estimate of the environmental pollution.

The “critical volume” is defined mathematically as follows

$$V_K = \sum_{i=1}^N \frac{m_i}{G_i} \quad (2)$$

in which

- V_K: critical volume
- m_i: quantity of pollutant i
- G_i: limit value for pollutant i

2.4 Evaluation

The final building block in the ecobalance is the comprehensive evaluation of all essential features of the product under consideration. The ecological pollution given by the material balance represents only one part of the overall balance; other features must also be taken into account. For a concrete component this could, for example, be the durability, the fire resistance, or the load-bearing capacity, and for a sewage works the waste water purifying capacity. It is important that these features are specified in the target definition at the start of the ecobalance. They are decisive in determining the functional unit for which the ecobalance is being drawn up.

The theory of utility analysis, which can also be applied in ecobalances, was developed in business management science as an evaluation criterion for reaching a decision where there are several equal-ranking features which cannot be weighed against one another, i.e. which are not in the same accounting units [17–20]. The features are classified with the aid of a value scale. The product with the highest environmental impact is given the target-fulfilment coefficient of 0, and the value 1 is awarded to the lowest impact. Proportional values are allocated between them. The features are also weighted in accordance with their importance, usually with factors between 0 and 100. For a component where fire resistance is absolutely essential, this feature is given the factor 100. The other features are given lower graduated values.

üblicherweise mit Faktoren zwischen 0 und 100. Bei einem Bauteil, dessen Feuerwiderstandsfähigkeit unabdingbar notwendig ist, wird dieses Merkmal mit dem Faktor 100 bewertet. Die anderen Merkmale werden abgestuft geringer bewertet.

Auf diese Art und Weise erhält man eine Matrix aus Zielerfüllungsgraden einzelner Merkmale, die entsprechend ihrer Bedeutung für das Produkt gewichtet sind. Die Summe der einzelnen, gewichteten Zielerfüllungsgrade, also der Wert der Matrix, ist der Nutzwert. Vorteil dieser Vorgehensweise ist es, eine subjektiv geprägte Entscheidung nachvollziehbar zu strukturieren.

Der Nutzwert eines Produktes ist definiert nach:

$$N = \sum_{i=1}^M n_i \quad (3)$$

Der Teilnutzen einzelner Merkmale nach:

$$n_i = \sum_{i=1}^Q Z_i \cdot g_i \quad (4)$$

Darin bedeuten:

N: Nutzwert des Produktes

n_i : Teilnutzen einzelner Merkmale

Z_i : Zielerfüllungsgrad des Merkmals i

g_i : Gewichtungsfaktoren für das Merkmal i

3. Schlußbemerkungen

Das Handwerkszeug für Produktökobilanzen liegt vor. Es besteht aus den vier Teilschritten Zieldefinition, Sachbilanz, Wirkungsanalyse und Bewertung. Es fehlen jedoch bislang für die meisten Produktausgangsstoffe überprüfbare Angaben über Emissionen, Energieverbräuche und andere Grundlagen der Sachbilanz. Einigkeit muß darüber herrschen, daß Produktökobilanzen immer für einen speziellen Anwendungsfall, eine „Funktionale Einheit“, erstellt werden. Aussagen gelten ausschließlich für diesen Fall, eine Verallgemeinerung ist nicht zulässig. Deshalb sind von sachgerechten Produktökobilanzen keine plakativen Aussagen zu erwarten, wie „Baustoff A ist besser als Baustoff B“.

Bei der Bewertung der Umweltinanspruchnahme müssen ökologische Aspekte im Vergleich zu anderen Merkmalen des Produkts beurteilt werden. Ein geeignetes Hilfsmittel stellt die Nutzwertanalyse dar. Auf dieser Basis kann eine umfassende Beurteilung eines Produkts unter Berücksichtigung der Ökologie erfolgen, ohne sie jedoch zum alleinigen Maßstab zu erheben.

Literaturverzeichnis

- [1] Hauptverband der Deutschen Bauindustrie: Jahresbericht 1992, Wiesbaden 1993.
- [2] Umweltbundesamt: Umweltdaten – kurzgefaßt, Ausgabe 1993, Berlin 1993.
- [3] Wischers, G., und Kuhlmann, K.: Ökobilanz von Zement und Beton – Abwägende Gegenüberstellung von ökologisch entlastenden und belastenden Einwirkungen auf die Umwelt. Zement-Kalk-Gips 44 (1991) Nr. 11, S. 545–553.
- [4] Wischers, G.: Beton und Umwelt – Ökobilanz für Beton. Betonwerk + Fertigteil-Technik 57 (1991) Nr. 11, S. 33–40.
- [5] Oberbacher, B., et al.: Abbaubare Kunststoffe und Müllprobleme. Beiträge zur Umweltgestaltung, E. Schmidt, Berlin, Heft A 23 (1974).
- [6] Hunt, R. G., et al.: Resource and environmental profile analysis of nine beverage container alternatives. Report of Midwest Res. Inst. to U.S. Environmental Protection Agency (EPA) Washington, D.C. 1974.

This produces a matrix consisting of target-fulfilment coefficients for single features which are weighted according to their importance for the product. The total of the individual, weighted, target-fulfilment coefficients, i.e. the value of the matrix, gives the utility. The advantage of this procedure is that it gives a retraceable structure to a subjective type of decision.

The utility of a product is defined by:

$$N = \sum_{i=1}^M n_i \quad (3)$$

and the constituent benefits of individual features by:

$$n_i = \sum_{i=1}^Q Z_i \cdot g_i \quad (4)$$

in which

N: utility of the product

n_i : constituent benefit of individual features

Z_i : target-fulfilment coefficient of feature i

g_i : weighting factor for feature i

3. Final comments

The tool for product ecobalances is available. It consists of the four stages of definition of the objective, material balance, analysis of effects, and evaluation. However, so far for the majority of basic product materials there is a lack of checkable data on emissions, energy consumptions and other fundamental requirements for the material balance. There must be agreement that product ecobalances are always set up for one specific application, one “functional unit”. Statements apply to this case only, and generalization is not permissible. Simplistic statements such as “Construction material A is better than construction material B” are not to be expected from objective ecobalances.

In the evaluation of the environmental demands the ecological aspects must be assessed in comparison with other features of the product. Utility analysis is a suitable tool for this purpose. On this basis it is possible to carry out a comprehensive assessment of a product in which the ecology is taken into account, but without it being adopted as the sole criterion.

- [7] Boustead, I., und Hancock, G.F.: Handbook of Industrial Energy Analysis. Ellis Horwood Ltd. Chichester, England 1979.
- [8] Kindler, H., und Nikles, A.: Energiebedarf bei der Herstellung und Verarbeitung von Kunststoffen. Chem.-Ing.-Tech. 51 (1979) S. 1–3.
- [9] Kindler, H., und Nikles, A.: Energieaufwand zur Herstellung von Werkstoffen – Berechnungsgrundsätze und Energieäquivalenzwerte von Kunststoffen. Kunststoffe 70 (1980) S. 802–807.
- [10] Franke, M.: Umweltauswirkungen durch Getränkeverpackungen. Systematik zur Ermittlung der Umweltauswirkungen von komplexen Prozessen am Beispiel von Einweg- und Mehrweg-Getränkebehältern. E.F.-Verlag für Energie- und Umwelttechnik GmbH, Berlin 1984.
- [11] Bundesamt für Umweltschutz, Bern (Ed.): Ökobilanzen von Packstoffen. Schriftenreihe Umweltschutz, Nr. 24 (1984).

- [12] Lundholm, M.P., und Sundström, G.: Ressourcen- und Umweltbeeinflussung – Tetrabrik Aseptic Kartonpackungen sowie Pfandflaschen und Einwegflaschen aus Glas, Malmö 1985.
- [13] Lundholm, M.P., und Sundström, G.: Ressourcen- und Umweltbeeinflussung durch zwei Verpackungssysteme für Milch, Tetra Brik und Pfandflasche, Malmö 1986.
- [14] Umweltbundesamt: Ökobilanzen für Produkte – Bedeutung/Sachstand/Perspektiven, Berlin 1992.
- [15] Ahbe, S., Braunschweig, A., und Müller-Wenk, R.: Methodik für Ökobilanzen auf der Basis ökologischer Optimierung. Schriftenreihe Umwelt 133 des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern 1990.
- [16] Haberstatter, K.: Ökobilanzen für Packstoffe. Schriftenreihe Umwelt Nr. 132 des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern 1991.
- [17] Beckmann, A.: Nutzwertanalyse, Bewertungstheorie und Planung, Haupt, Bern und Stuttgart 1978.
- [18] Lillich, L.: Nutzwertverfahren, Physica-Verlag Heidelberg 1992.
- [19] Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVWK): Nutzwertanalytische Ansätze zur Planungsunterstützung und Projektbewertung, DVWK-Mitteilungen 19, Bonn 1989.
- [20] Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVWK): Pilotstudie zur Anwendung nutzwertanalytischer Verfahren, DVWK-Mitteilungen 22, Bonn 1991.