

ENTWICKLUNGSBEGLEITENDE ÖKOBILANZIERUNG

Alexander Seitz

Kurzfassung

Mit der Ökobilanz, wie sie in DIN ISO 14040ff /1/ - /4/ formuliert ist, steht ein umfangreiches und leistungsfähiges Instrument zur Verfügung, um ökologische Produktbewertungen durchzuführen, d.h. potentielle Umweltauswirkungen zu erfassen. Hierbei sind die relevanten Eingangs- und Ausgangsflüsse zu betrachten. Die Beurteilung der mit diesen Inputs und Outputs verbundenen potentiellen Umweltwirkungen liefert die Gesamtwirkung hinsichtlich der Zielstellung der Studie. Diese Bewertungsmethode wird heute überwiegend zur ökologischen Untersuchung von existierenden d.h. bereits fertig entwickelten Produkten eingesetzt. Da der Einfluss auf die Produkteigenschaften jedoch in den frühen Entwicklungsphasen am größten ist, liegt es auf der Hand derartige Studien konstruktionsbegleitend in frühe Phasen zu integrieren. In diesem Beitrag wird gezeigt, inwieweit sich derartige Ökobilanzen entlang des Produktentwicklungsprozess anwenden lassen und die Aussagekraft der resultierenden Ergebnisse untersucht.

1 Einleitung

Im Laufe des Entwicklungs- und Konstruktionsprozesses werden die wesentlichen Eigenschaften eines Produkts für dessen gesamten Lebensweg – von der Wiege bis zur Bahre – festgelegt. Neben Produkteigenschaften wie Größe, Gewicht, Leistung oder Aussehen ist darin auch die ökologische Verträglichkeit des Produkts inbegriffen. Dementsprechend spielt die Entwicklung und Konstruktion eine Schlüsselrolle für die Umweltverträglichkeit von Produkten. Im heutigen Konstruktionsprozess sind physikalische, ökonomische und technische Aspekte bereits feste Bestandteile /15/. Ebenso ist eine Integration von ökologischem Know-how in den Entwicklungsprozess erforderlich. Wann kann ein Produkt jedoch als „umweltfreundlich“ bezeichnet werden? Um die ökologische Verträglichkeit zu beziffern, sind entsprechende Methoden und Werkzeuge notwendig.

Die Ökobilanz gemäß DIN ISO 14040ff ermöglicht zwar derartige umweltorientierte Produktbewertungen, zielt jedoch weniger auf eine Entwicklungsbegleitende ökologische Produktbewertung, als auf die Beurteilung fertiger Produkte ab. Während sich die Bewertungsmethoden im Entwicklungsprozess üblicherweise auf technische und wirtschaftliche Beurteilungen beschränken, existieren zur umweltgerechten Produktgestaltung vorwiegend unterschiedliche Handlungsempfehlungen /13/. Um herauszustellen zu welchem Zeitpunkt im Entwicklungsprozess Ökobilanzen am effektivsten eingesetzt werden können, zeigen die folgenden Untersuchungen, wie sich der Informationszuwachs mit dem Voranschreiten des Produktentwicklungsprozess ändert, und welchen Einfluss dieser auf die Ergebnisse dieser Studien hat.

2 Ökobilanzierung nach DIN ISO 14040ff

2.1 Aufbau einer Ökobilanz

Die Ökobilanz, im internationalen Sprachraum als ‚Life-Cycle-Assessment‘ (LCA) geführt, wird heute als ein Instrument zur Beschreibung der ökologischen Folgen unternehmerischen Handelns angesehen. Sie werden dazu eingesetzt, um die mit der Umwelt wechselwirken-

den Energie- und Stoffströme sowie sonstige umweltrelevante Tatbestände, die von einem Produkt oder einem Prozess verursacht werden, in ihrer Gesamtheit zu ermitteln, zusammenzustellen und anschließend zu bewerten.

Ökobilanzen bestehen aus den in Bild 1 links dargestellten vier miteinander verknüpften Schritten: der *Zieldefinition*, der *Sachbilanz*, der *Wirkungsabschätzung* und schließlich der *Auswertung* oder *Interpretation*. Die wechselseitige Beziehung der Phasen besteht dabei auf zwei Ebenen. Zum einen ergibt sich eine chronologische Abhängigkeit mit der Zieldefinition als ersten und der Interpretation als abschließenden Bilanzierungsschritt. D.h. die Zieldefinition bildet die Basis für die Sachbilanz, die wiederum als Grundlage für die Wirkungsabschätzung dient, ehe der gesamte Prozess mit der Interpretation abgeschlossen wird.

Zum anderen sind Ökobilanzen als iterative Methoden anzusehen. Nach dem ersten Durchlaufen der einzelnen Phasen ist zu überprüfen, ob beispielsweise die Festlegungen in der Zieldefinition modifiziert werden müssen. Aber auch bereits während der Bearbeitung der einzelnen Schritte bestehen häufig Rückkopplungen. So ist es möglich, dass etwa bei der Durchführung der Wirkungsabschätzung ein Bedarf für nicht erhobene oder bewusst vernachlässigte Sachbilanzdaten festgestellt wird.

Der in diesem Beitrag betrachtete Ansatz der prozessbegleitenden Ökobilanzierung ist in Bild 1 so dargestellt, dass die simultan zur Produktentwicklung durchzuführende Ökobilanz einen entscheidenden Einfluss auf alle Phasen des Konstruktionsprozesses hat.

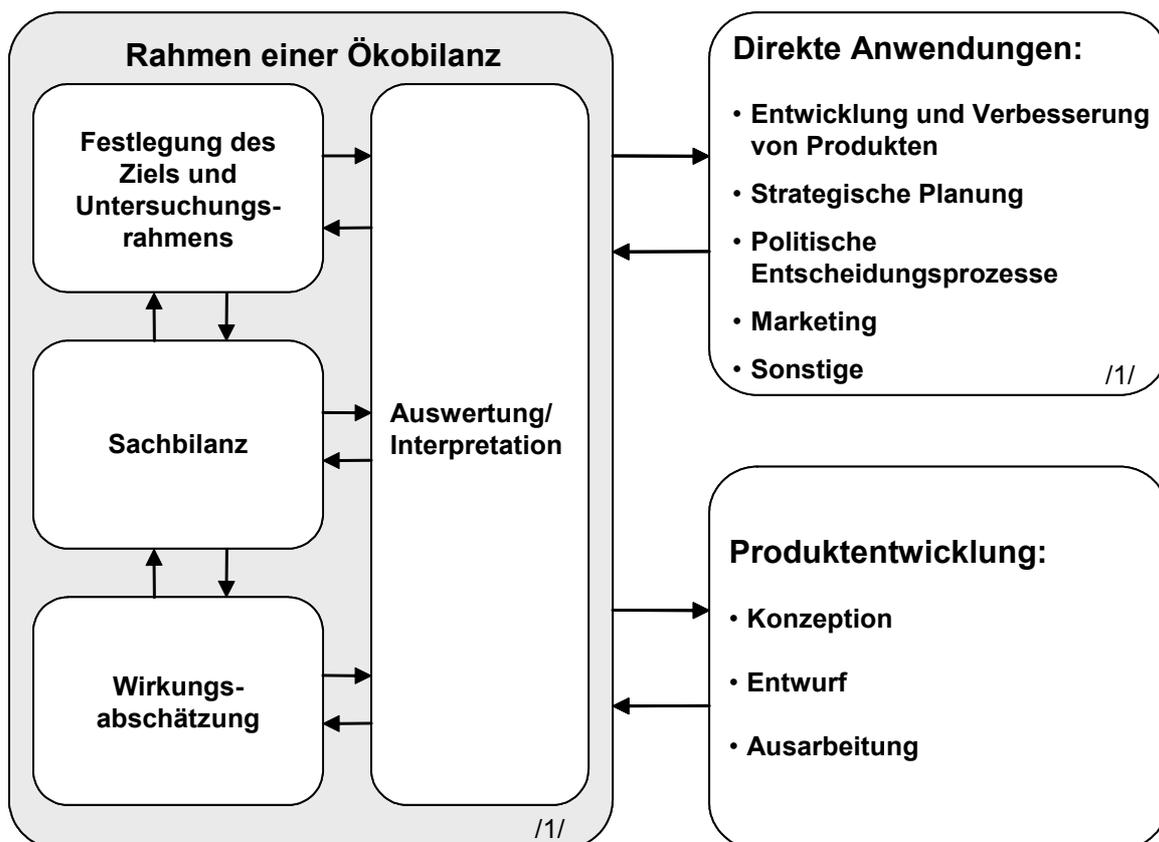


Bild 1: Prozessbegleitende Ökobilanzierung

2.2 Probleme und Grenzen von Ökobilanzen

Bei der Durchführung von Ökobilanzierungen kristallisieren sich jedoch Probleme und Einschränkungen heraus, wodurch deren Anwendung heute noch Grenzen gesetzt werden.

2.2.1 Problemfelder und Fehlerquellen bei der Durchführung von Ökobilanzen

Die Problemfelder lassen sich nach /16/ in fünf Schlüsselbereiche aufgliedern, wobei sich die ersten vier Punkte hauptsächlich auf Problematiken beziehen, die sich bei der Durchführung der Bilanzierungsphasen Zieldefinition und Sachbilanz ergeben. Der letzte Punkt bezieht sich dagegen vor allem auf die Phasen Wirkungsbilanz und Bilanzbewertung.

Festlegung des Untersuchungsrahmens

Durch eine hohe Komplexität von Produktsystemen ergeben sich stark vernetzte Produktstrukturen. Dies und oftmals fehlende Daten haben zur Folge, dass nicht alle Umweltbelastungen über den gesamten Lebenszyklus betrachtet werden können, d.h. die Durchführung der Ökobilanz beschränkt sich auf die Hauptkomponenten, während einige Bereiche unberücksichtigt bleiben.

Qualität der Daten

Die erwähnte Komplexität, die bereits bei der Festlegung des Untersuchungsrahmens zu Problemen führt, spiegelt sich auch in der Qualität der Daten wider. Daher ist es aufgrund von Datenlücken bzw. Datenmangel oft nicht möglich, dass bei Produktökobilanzen alle Einzelmaterialien einbezogen werden, was zu Untersuchungslücken führt, auf welche oft nicht aufmerksam gemacht wird. Zudem besteht ein offenkundiger Mangel vorliegender Ökobilanzen in der häufig nicht transparenten Herkunft der Daten, ihrer zeitlich und räumlich bedingten Inhomogenität und ihrer fehlenden oder nicht kompatiblen Messgrundlage. /12/

Beschreibung des Produktsystems

Beachtet man, dass sich technische Prozess- und Produktinnovationen auf nahezu alle Stufen des Produktlebenszyklus auswirken und es im Bereich der Produktherstellung eine Reihe von Prozesstechnologien gibt, deren ökologische Auswirkungen stark voneinander abweichen, kommt dem technologischen Entwicklungsstand eine große Bedeutung hinsichtlich Fehlerquellen zu. Außerdem entstehen bei der Produktion oft Kuppelprodukte, die nutzbare Nebenprodukte darstellen, aber nicht Ziel des Produktionsprozesses sind. Vorwiegend werden die ökologischen Auswirkungen nach Gewicht oder Energieinhalt verteilt, wobei diese unterschiedlichen Maßstäbe jedoch auch zu ungleichen Ergebnissen führen.

Eine weitere Fehlerquelle bei der Beschreibung des Produktsystems sind nicht genau fassbare Transportvorgänge, die zwischen den einzelnen Bearbeitungs- und Nutzungsstufen eines Produkts stattfinden. Dies rührt daher, dass sich die Transporte nicht eindeutig einem oder mehreren Verkehrsmitteln zuordnen lassen oder erst gar nicht berücksichtigt werden. Die Entfernungen und das gewählte Distributionssystem sind für das Emissionsaufkommen und den Energiebedarf nicht unbedeutende Einflussgrößen.

Da nach der Gebrauchsphase von Produkten eine Vielzahl von bestehenden Alternativen, wie z.B. Wiederverwendung, Recycling, Downcycling existieren, kann die Ökobilanz durch das gewählte Abfallverwertungssystem immens beeinflusst werden. So hat beispielsweise der Recyclinganteil besonders bei energieintensiver Produktion (z.B. Aluminium, Glas) starken Einfluss auf das Ergebnis der Ökobilanz.

Beachtung der funktionellen Äquivalenz

Wird eine Ökobilanz-Studie zum Vergleich unterschiedlicher Produkte erstellt, so ist darauf zu achten, dass alle die gleiche Eignung vorweisen, also funktional äquivalent sind. Um diese Vergleichbarkeit herzustellen, können Korrekturen bzw. Umrechnungen auf eine einheitliche Bezugsgröße nötig sein. Dabei wird jedoch häufig nicht auf unterschiedliche Leistungsfähigkeiten (z.B. Nutzungs- bzw. Lebensdauer) geachtet.

Zusammenfassung und Bewertung der Ergebnisse

In einer Sachbilanz ist eine Fülle von Daten enthalten. Um diese überschaubar und aussagefähig zu gestalten, müssen diese verdichtet werden. Dabei gehen jedoch Informationen verloren, wodurch sich ein Konflikt zwischen Operationalität und Komplexität ergibt.

2.2.2 Grenzen der Aussagefähigkeit

Im Rahmen einer Produktbilanz soll im Idealfall eine ganzheitliche Betrachtung und Bewertung aller Umweltwirkungen hinsichtlich des Untersuchungsobjekts ermöglicht werden. Nach dem heutigen Wissensstand sind diesem Bestreben allerdings Grenzen gesetzt.

Einerseits sind Umweltbelastungen aufgrund der vernetzten Produktionsstrukturen und der daraus resultierenden Komplexität der Produkte nur teilweise ermittel- und zuordenbar. Andererseits werden die Grenzen von Ökobilanzen dadurch deutlich, dass man sich bei der praktikablen Durchführung auf die wesentlichen Komponenten beschränken muss. Würde diese Beschränkung nicht erfolgen, müssten alle Vorprodukte bis an deren Anfang zurückverfolgt werden, was letztlich eine Analyse der Weltwirtschaft zur Folge hätte. Daneben sind viele potentielle Anwendungsmöglichkeiten von Ökobilanzen allein schon dadurch entscheidend eingeschränkt, dass ein wichtiger Teil – die Wirkungsbilanz – mit dem heutigen Wissen nicht durchführbar ist.

Trotz dieser aufgeführten Problemfelder und Einschränkungen von Ökobilanzen, überwiegt deren Nutzen. Unter anderem können Ökobilanzen helfen, Möglichkeiten zur Verbesserung der Umweltaspekte von Produkten in den verschiedenen Phasen ihres Lebenswegs aufzuzeigen. Damit können sie als Entscheidungshilfen für Regierung und Industrie dienen oder beim Marketing wie beispielsweise bei Umweltaussagen oder Umweltkennzeichnung unterstützend wirken.

Ökologische Produktbewertungen nach DIN ISO 14040ff eignen sich somit zur Schwachstellenanalyse von Produkten hinsichtlich ihrer ökologischen Eigenschaften. Da jedoch die Produkteigenschaften bereits im Laufe des frühen Produktentwicklungsprozess festgelegt werden und somit die Einflussmöglichkeiten dort am größten sind, dürfen die Schwachstellen nicht erst am fertigen Produkt bestimmt werden.

3 Die Ökobilanz im Produktentwicklungsprozess

3.1 Daten- und Informationsbasis

Die Aussagefähigkeit und die Qualität der Ergebnisse von Ökobilanzen hängen entscheidend von den Daten und Informationen ab, die über ein Produkt verfügbar sind. Dementsprechend ist es für eine prozessbegleitende LCA von Interesse, welche Informationen zu welchem Zeitpunkt des Entwicklungsprozesses zur Verfügung stehen. In diesem Beitrag wird deshalb einerseits herausgestellt welche Produktdaten im Laufe des Konstruktionsprozesses zur Verarbeitung in einer LCA greifbar sind. Andererseits wird diskutiert, welche Informationen zur Modellierung der Produktlebensphasen erforderlich sind. Auf Basis dieser Ergebnis-

se wird herausgestellt, in welchem Ausmaß sich die Aussagekraft einer LCA in den unterschiedlichen Phasen des Produktentwicklungsprozesses verändert (Bild 2).

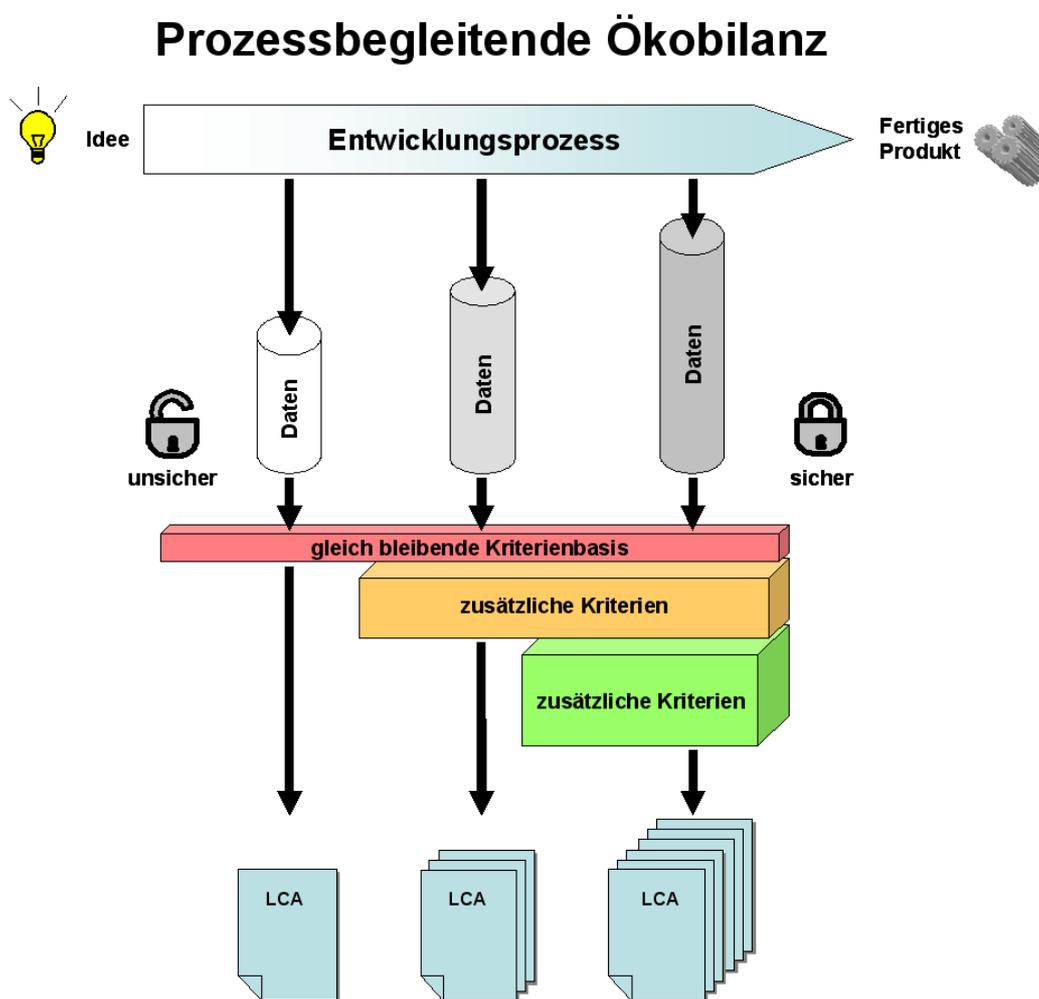


Bild 2: Prozessbegleitende Ökobilanzierung

Die Veränderungen des Informationsflusses mit dem Voranschreiten des Konstruktionsprozesses werden analog der in VDI 2221 formulierten Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte untersucht /9/. Dabei werden die Informationsbasen jeweils nach der Beendigung der Entwicklungsphasen Planen, Konzipieren, Entwerfen (Vorwurf und Gesamtentwurf) und Ausarbeitung analysiert.

Die verfügbare Daten- und Informationsbasis eines Entwicklungsprodukts hängt maßgeblich von dessen Art ab. Ebenso differenziert sich die Wichtigkeit von Produktdaten und Informationen für Ökobilanzen unterschiedlicher Produkte. Aus diesem Grund wird hier zwischen *aktiven* und *passiven* Produkten unterschieden. Unter aktiven Produkten werden derartige verstanden, deren Hauptteil während ihres gesamten Lebenszyklus benötigten Energieressourcen ihrer Nutzungsphase zuzuschreiben ist. Im Gegensatz dazu sind passive Produkte dadurch charakterisiert, dass der Hauptteil ihrer Umweltbelastungen durch alle übrigen Lebensphasen hervorgerufen wird, d.h. durch Herstellung, Reduktion sowie den damit verbundenen Distributionen.

Im Zusammenhang mit der Daten- und Informationsbasis wird hier eine Unterscheidung zwischen einer *sicheren* und einer *unsicheren* Datenbasis getroffen. Dabei werden unter der sicheren Datenbasis die Informationen verstanden, die sich während des Entwicklungspro-

zesses nicht mehr verändern. Zur Erhöhung der Aussagekraft einer frühzeitigen ökologischen Produktbewertung und damit verbesserten Beeinflussung des Konstruktionsprozesses, werden neben der sicheren Datenbasis auch Produktinformationen genutzt, die im Laufe des Entwicklungsprozesses durchaus noch variieren. Als unsichere Produktdaten werden im Folgenden die Produktspezifikationen bezeichnet, über die zwar verwertbare Aussagen machbar sind, die aber nur einen gewissen Wertebereich widerspiegeln.

Entwicklung der sicheren Datenbasis:

Die *Planungsphase* liefert nur wenige feste, für eine LCA sichere Angaben über das Produkt selbst. Es liegen keine Informationen über dessen Struktur und erforderliche Komponenten vor. Dennoch bietet bereits die Anforderungsliste für die umweltorientierte Produktbewertung wichtige Informationen, die sich im Laufe des Entwicklungsprozesses nicht oder nur unbedeutend verändern. Diese Daten betreffen vor allem ‚organisatorische‘ Aspekte, die zur Festlegung des Ziels – dem einleitenden Schritt einer Ökobilanz – herangezogen werden können, wie beispielsweise die Definition der in der Bilanz zu berücksichtigenden Produktlebensphasen. Zudem besteht auch hier bereits die Möglichkeit erste sichere Angaben zur Sachbilanz zu machen, welche durch definierte Montageorte mittels Transportwege gegeben sind.

Auch die *Konzeptphase* liefert noch keine gravierenden Verbesserungen hinsichtlich einer sicheren Datenbasis. Bei der Funktionsstruktur kann hier nicht davon ausgegangen werden, dass sich deren einzelne Teilfunktionen in den späteren realen Produktkomponenten widerspiegeln. Sind jedoch für einzelne Teilfunktionen existierende Lösungen und entsprechende Fertigkomponenten durch das gewählte Konzept vorgegeben, so können die Produktdaten für diese Komponenten als haltbar angesehen werden. Somit sind ökologische Teilbilanzierungen derartiger einzelner Baugruppen in dieser Phase durchaus bereits realisierbar, die sowohl deren Herstellung, als auch Reduktion und Transportprozesse beinhalten.

Mit den verarbeitbaren Produktgrößen der *frühen Entwurfsphase* stehen alle erforderlichen Komponenten, die zur Erfüllung der Gesamtfunktion erforderlich sind, zur Verfügung. Für diese existieren jedoch zu diesem Zeitpunkt noch keine exakten Lösungen, wodurch aber dennoch die Datenbasis der fixen Informationen vergrößert wird. Durch die Transparenz der Gesamtstruktur werden sich zum einen weitere bestehende Teillösungen für einzelne Module herauskristallisieren, die, wie auch schon in der Konzeptphase, vollständig in die LCA integrierbar sind. Zum anderen sind Verfeinerungen der bereits in der Planungsphase angesetzten Distribution der Fertigprodukte erreichbar. Mit den Hauptabmessungen und den Teileanordnungen des Entwicklungsprodukts sind für den Transport notwendige Verpackungsmaterialien und damit auch entsprechende Transportmittel und deren Auslastungen endgültig benennbar. Zudem erweitert die Transparenz über die Art der gewählten Werkstoffe die sichere Datenbasis im Hinblick auf Werkstoffgewinnung als auch der damit verbundenen Aufbereitung der Werkstoffe im Rahmen der Reduktion.

Erst in der *späten Entwurfsphase*, d.h. nach dem Vorliegen des Gesamtentwurfs, steht eine wesentlich breitere unveränderliche Datenbasis für die LCA zur Verarbeitung bereit. Diese Datenbasis enthält sämtliche Informationen die zur Beschreibung der Zieldefinition sowie der Herstellung des Produkts erforderlich sind. Dabei ist wichtig anzumerken, dass herstellungsseitig die Sicherheit der Informationsbasis lediglich auf unterschiedliche Berechnungen von Bauteilabmessungen und Fertigungsprozessen beruhen. D.h. die für die Fertigungsverfahren benötigten Energie- und Stoffmengen werden aufgrund von Erfahrungswerten mit ausreichender Genauigkeit spezifizierbar sein, während Nebenflüsse wie beispielsweise anfallende Mengen an hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen in diesem Entwicklungsstadium noch nicht in der Datenbasis inbegriffen sind.

Die *Ausarbeitungsphase* vervollständigt schließlich die Datenbasis des Entwicklungsprojekts. Die letzte Phase des Entwicklungsprozesses liefert dabei vorwiegend Informationen über Kuppelprodukte, Recycling, interne Energieallokationen sowie Dienstleistungen, aber auch über die gesamte Nutzungsphase des Produkts und dessen Produktions- bzw. Montageprozess.

Entwicklung der unsicheren Datenbasis

Ähnlich wie die Entwicklung der sicheren Datenbasis, kann auch die Ausbildung einer unsicherer Datenbasis den Arbeitsschritten des Konstruktionsprozesses gegenübergestellt werden.

Dabei kristallisiert sich heraus, dass auch hier erste verwertbare Aussagen durch Aufbereitung der Inhalte der Anforderungsliste gelingen. Vor allem durch Informationen über geforderte Grenzwerte können Äußerungen für die Gruppe der aktiven Produkte gemacht werden. Diese gestatten Prognosen hinsichtlich des Energiebedarfs während der Produktnutzung wie auch Schätzungen bezüglich des Stoff- und Energieflusses, hervorgerufen durch Distributionen und den damit verbundenen Verpackungs- und Transportprozessen.

Durch das ausgearbeitete Konzept werden einzelne Komponenten oder Zukaufteile transparent, wodurch die für die Ökobilanzierung verwertbare Datenbasis um Inhalte wie Werkstoffart und Werkstoffmenge oder zur Aufstellung des Bilanzierungsziels erweitert wird.

Mit den Vorentwürfen sind erstmals alle erforderlichen Produktkomponenten in die ökologische Bilanzierung integrierbar. Durch die sichtbare Gesamtstruktur, den Hauptabmessungen sowie der Teile- und Baugruppenanordnungen, sind verhältnismäßig präzise Abschätzungen der Einzelkomponenten und den damit verbundenen Werkstoffbedarf und Fertigungsaufwand realisierbar.

Der Gesamtentwurf stellt bei der Betrachtung der unsicheren Produktdaten den letzten Schritt der Datenentwicklung dar. Dieser liefert zwar exakte Werte für Materialbedarf oder der Art von Betriebsstoffen, allerdings resultieren Stoff- und Energiemengen für einzelne Fertigungs- und Herstellungsprozesse lediglich aus Berechnungen und sind somit mit einer Unsicherheit behaftet. Außerdem bietet diese Phase Produkt- und Herstellungsdaten zur Abschätzung unterschiedlicher anfallender Produktionsabfälle und den damit verbundenen Transport- und Entsorgungsprozessen.

3.2 Bedeutung für die Wirkungsbilanz

Die Aussagekraft, die eine Wirkungsbilanz mit aufbereiteten Daten aus der Planungsphase enthält, ist vom Entwicklungsprojekt abhängig. Sind bereits in der Anforderungsliste Forderungen bezüglich Grenzwerte bestimmter Energieflüsse berechenbar, was beispielsweise durch gefordertes Höchstgewicht oder maximaler Geschwindigkeit der Fall ist, so sind Ausgagemöglichkeiten besonders bei aktiven Produkten gegeben.

Auch die Konzeptphase bietet bei dieser Produktgruppe nur im Sonderfall eine steigende Qualität der Wirkungsbilanz. Dieser ist dadurch gegeben, dass das erarbeitete Konzept bereits einige Komponenten fordert, für die existierende Lösungen zur Verfügung stehen. Dieser Sachverhalt erlaubt bereits in frühen Phasen erste Aussagen über die ökologische Verträglichkeit des Produkts.

Erst mit den Vorentwürfen als Resultat der frühen Entwurfsphase erreichen die Wirkungsbilanzen eine weitaus höhere Ergebnisqualität. Diese resultieren aus der Transparenz der Gesamtstruktur, den Hauptabmessungen sowie der Erkenntnis über einzusetzende Werkstoffe und den damit verbundenen Herstellungs- und Reduktionsprozessen. Die beiden abschlie-

ßenden Entwicklungsschritte verfeinern die Bilanzergebnisse durch einige Korrekturen der Parameterwerte sowie durch geringfügige Mengen noch nicht berücksichtigter anfallender Stoffmengen wie Produktionsabfälle.

Die Bedeutung der Gewichtung der verwertbaren Informationen, die aus den einzelnen Entwicklungsphasen resultieren, ist in Bild 3 veranschaulicht. Diese Abbildung zeigt entsprechend der Balkenlängen die Informationsinhalte hinsichtlich ihrer Relevanz in einer prozessbegleitenden Ökobilanz zu unterschiedlichen Stadien des Entwicklungsprozesses. D.h. je länger ein Diagrammbalken dargestellt ist, desto mehr nutzbare Informationen liefert eine Konstruktionsphase für die Ausarbeitung der Sachbilanz. Dieses Diagramm beruht einerseits auf Analysen der Konstruktions- und Entwicklungsmethodik, andererseits konnten diese Ergebnisse an zwei Beispielen bekräftigt werden.

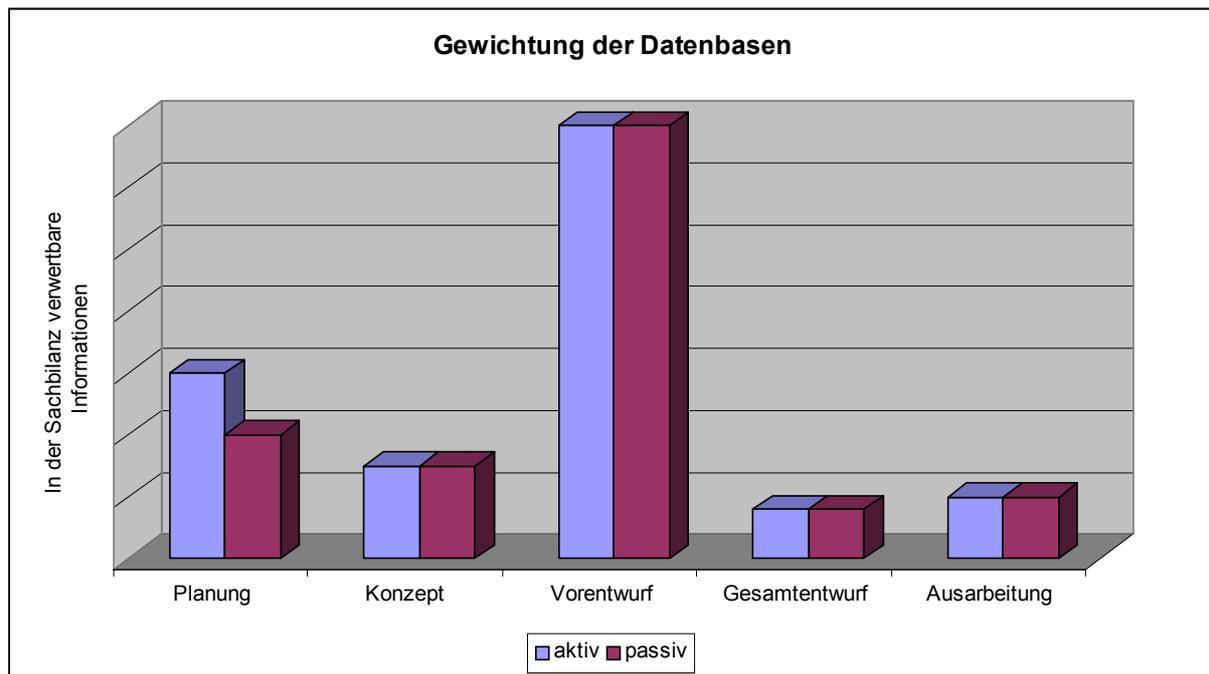


Bild 3: Aus den Entwicklungsphasen resultierender Informationsinhalt

Für aktive Produkte stellt vor allem der Energiebedarf während ihrer Nutzungsphase die größte Umweltbelastung dar. Wie aus der Entwicklung der Datenbasis mit dem Konstruktionsprozess hervorgeht, sind durch überschlägig berechnete Werte bereits in der Planungs- und Konzeptphase wichtige Informationen bezüglich des Energiebedarfs zu ermitteln. Es ist zu erkennen, dass ein Teil der bedeutenden Informationen schon mit Abschluss der Konzeptphase erreicht wird. Dieser setzt sich aus den in der Anforderungsliste geforderten Grenzwerten und den ersten Korrekturen und Erweiterungen zusammen, die das ausgewählte Konzept mit sich bringt.

Ein zweiter Informationsschub erfolgt durch Kenntnisse, welche die Vorentwürfe über das Entwicklungsobjekt liefern. Deren wichtigste Ergebnisse sind Hauptabmessungen, als auch Kenntnisse über einzusetzende Werkstoffe, wodurch einerseits wichtige Korrekturen der angenommenen Energiemengen realisierbar sind. Andererseits werden hier nicht zu vernachlässigende Herstellungs- und Reduktionsprozesse berücksichtigt.

Die beiden letzten Konstruktionsergebnisse – Gesamtentwurf und Ausarbeitung – steuern einen verhältnismäßig geringen Teil zur Berichtigung der Sachbilanz bei. Dieser beschränkt sich im Gesamtentwurf auf wenige Parameter-Korrekturen wie exakte Werkstoffmengen oder Berechnungen der Fertigungsprozesse. Die Gewichtung der Ergebnisse, die aus dem Fer-

tigprodukt gewonnen werden, ist aufgrund der Durchführbarkeit von Messungen und Versuchen an Prototypen oder Produktionsanlagen etwas höher anzusetzen. Dies ist durch die entsprechend höheren Diagrammbalken in der letzten Entwicklungsphase im Bild 3 veranschaulicht.

Passive Produkte lenken das Hauptaugenmerk hinsichtlich des Produktlebenszyklus auf deren Herstellungs- und Reduktionsprozesse, da dort die größten verursachten Umweltbelastungen zu erwarten sind. Der Energieverbrauch der bei aktiven Produkten eine entscheidende Rolle spielt und oftmals bereits relativ frühzeitig, überschlagartig bestimmt werden kann, ist damit bei passiven Produkten von untergeordneter Bedeutung. Daher sind im Gegensatz zu aktiven Produkten, hier erst zu fortgeschrittener Entwicklung relevante Aussagen über Wechselwirkungen mit der Umwelt möglich. Es ist jedoch zu erkennen, dass den beiden ersten Konstruktionsschritten verhältnismäßig wenig Informationsinhalt für die ökologische Produktbewertung zugemessen wird. Dies rührt daher, dass erst mit den ausgearbeiteten Vorentwürfen, durch bekannte Hauptabmessungen und Werkstoffangaben, überschlägige Berechnungen hinsichtlich des Rohstoffbedarfs, der Fertigungsprozesse und den damit verbundenen Stoff- und Energieflüssen erreicht werden. Wie auch bei aktiven Produkten dienen die beiden abschließenden Konstruktionsphasen hinsichtlich der Sachbilanz lediglich geringer Parameterkorrekturen, wodurch für deren Informationen eine entsprechend niedrigere Gewichtung resultiert.

3.3 Bedeutung für den Konstruktionsprozess

Für den Konstruktionsprozess bedeuten diese Ergebnisse, dass Ökobilanzen nach DIN ISO 14040ff vor allem nach der frühen Entwurfsphase – den Vorentwürfen – effektiv entwicklungsbegleitend eingesetzt werden können. Im Gegensatz zu Studien, die an Fertigprodukten ökologische Schwachstellen aufdecken, besteht durch die frühzeitige Bewertung die Möglichkeit noch in der Entwurfsphase potentielle Umwelteinwirkungen zu beseitigen. Betrachtet am Vorgehen nach VDI 2221 /9/ liegt der Haupteinfluss dabei in den Bereichen der Baugruppen und -Teileanordnung, der Hauptabmessungen, der Wahl von Zukaufteilen oder der Werkstoffwahl. Damit können durch den frühzeitigen Einsatz geeigneter Ökobilanzstudien die Umweltverträglichkeit von Produkten bereits während der Produktentwicklung beeinflusst werden, was nicht zuletzt Kostensenkungen durch frühzeitigere Produktänderungen zur Konsequenz hat.

4 Literatur

- [1] DIN EN ISO 14040: Ökobilanz, Prinzipien und allgemeine Anforderungen, Deutsche Norm, 1997
- [2] DIN EN ISO 14041: Ökobilanz, Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens sowie Sachbilanz, Deutsche Norm, 1998
- [3] DIN EN ISO 14042: Ökobilanz, Prinzipien Wirkungsabschätzung, Deutsche Norm, 2000
- [4] DIN EN ISO 14043: Ökobilanz, Auswertung, Deutsche Norm, 1997
- [5] Ehrlenspiel K.: Kostengünstiges Entwickeln und Konstruieren, Springer Verlag, Berlin, 1998
- [6] Pahl G., Beitz W., Konstruktionslehre, Springer Verlag, Berlin, 1997
- [7] H. Meerkamm: Methodisches und Rechnerunterstütztes Konstruieren, Vorlesungsskript, Universität Erlangen-Nürnberg, 2001
- [8] CUMPAN® - Computerunterstützte umweltorientierte Produktanalyse, Handbuch, WexTech Systems, New York, 2002

- [9] VDI 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Produkte, 1993
- [10] Finkbeiner Matthias: Zielabhängige Ökobilanzierung am Beispiel der industriellen Teilereinigung, Dissertation, Jena, 1997
- [11] Stölting P., Rubik F.: Übersicht über ökologische Produktbilanzen, Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) Regionalbüro Baden-Württemberg, Heidelberg, 1992
- [12] Leidich E., Maeder-Roppenecker B.: Ökologieorientiert Entscheiden im methodischen Konstruktionsprozess, In: Konstruktion S. 57-61, Springer Verlag 03/2000
- [13] VDI 2243: Recyclingorientierte Produktentwicklung, Verein Deutscher Ingenieure, 2000
- [14] Leidich E., Maeder-Nehls B.: Ökologieorientierte Bewertung von Systemkomponenten im methodischen Konstruktionsprozess, In: Kolloquium zur Entwicklung umweltgerechter Produkte, Chemnitz, 1998
- [15] Ehrenspiel K.: Integrierte Produktentwicklung, Hanser Verlag, München, 1995

Dipl.-Ing. Alexander Seitz
Lehrstuhl für Konstruktionstechnik
FAU Erlangen-Nürnberg
Martensstraße 9, D-91058 Erlangen
Tel: +49-9131-85-27984
Fax: +49-9131-85-27988
Email: alseitz@mfk.uni-erlangen.de
URL: <http://www.mfk.uni-erlangen.de>