

MODELLIERUNG DES PRODUKTLEBENSWEGS IN DER ENTWICKLUNGSPHASE

Reiner Anderl, Ola. Bernard Faneye

Einleitung

Der Konstruktionsprozess ist gekennzeichnet durch eine ständig steigende Komplexität der zu entwickelnden Produkte. Die Forderung nach umweltgerechten Produkten über alle Phasen des Produktlebenszyklus erhöht noch den Umfang der zu berücksichtigenden Informationen. Beispielsweise verlangt die Optimierung eines Produkts das frühzeitige Einbeziehen von Expertenwissen aus den nachgelagerten Phasen des Produktlebenszyklus, um Folgekosten und schädliche Auswirkungen auf die Umwelt zu minimieren und gleichzeitig die größtmögliche Marktakzeptanz zu erreichen. Hinzu kommen eine Vielzahl von Systemen der Informationstechnologie, die in allen Bereichen des Produktentwicklungsprozesses eingesetzt werden, ohne jedoch hinreichend auf eine methodische Arbeitsweise abgestimmt zu sein.

Für die Entwicklung umweltgerechter Produkte ist die Betrachtung der Lebenszyklusprozesse von zentraler Bedeutung. Umweltbelastungen resultieren aus den Prozessen in der Herstellung und nachgelagerten Phasen (Nutzung, Recycling, Entsorgung) eines Produkts und seiner Komponenten. Um eine ganzheitliche Beurteilung in Form einer produktbezogenen Ökobilanz vornehmen zu können, müssen deshalb diese Prozesse und ihre Energie- und Stoffströme bekannt sein. Für den Einsatz in der Entwicklungsphase muss jedoch der Zusammenhang zwischen Produktmerkmalen und den mit ihnen verbundenen Prozessen hergestellt werden. Auf Basis eines virtuellen Prototypen kann in der rechnergestützten Produktentwicklung eine solche Ökobilanz durchgeführt werden.

Im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 392 der TU Darmstadt wird eine Produktentwicklungsumgebung entwickelt, die die ganzheitliche Beurteilung von Produkten unterstützt. Durch die Integration von Expertenwissen der gesamten Lebensphasen in die Systemumgebung ermöglicht sie eine prospektive Bewertung und Optimierung von technischen Produkten schon in der Entwicklungsphase. Die Umgebung schließt unter anderem ein 3D-CAD-System, einen Lebenslaufmodellierer sowie ein Beurteilungssystem ein.

1 Methodik zur ökologischen Beurteilung von Produkten

Zur Beurteilung der Umweltgerechtigkeit eines Produkts besteht eine Reihe von Methoden. Wichtig ist, die angewandte Methodik soll der Produktentwickler in die Lage versetzen, Produkte mit optimiertem Lebensweg entwickeln zu können. Das in ISO 14040 standardisierte LCA (Life Cycle Assessment, dt. Ökobilanz) ist das umfassendste Verfahren und wird in 3 Teilschritten durchgeführt. Bild 1.1 zeigt die Teilschritte in Anlehnung an [4]. Insbesondere ist zwischen LCI (Life Cycle Inventory, dt. Sachbilanz) und LCIA (Life Cycle Impact Assessment, dt. Wirkungsabschätzung) zu unterscheiden. Das LCI bietet ein erhebliches Potential zur Vereinfachung durch Rechnerunterstützung [6], da es aus einer großen Anzahl von Sachkennzahlen besteht, die für alle betrachteten Prozesse im Lebenslauf ermittelt werden müssen. Sachkennzahlen stellen die datenseitige Grundlage für die anschließende Wirkungsabschätzung und Auswertung (LCIA) dar. Das LCIA ist im

Wesentlichen eine Gruppierung und Gewichtung der Sachkennzahlen des LCI, die sich je nach gewählter Methode zur Wirkungsabschätzung unterscheidet und subjektiven Einflüssen unterliegt.

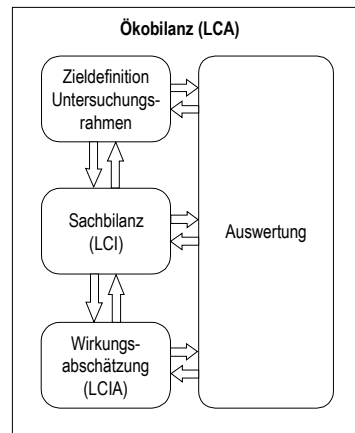


Bild 1: Bestandteile einer Ökobilanz

1.1 Wirkungsabschätzungsmethode in der Produktentwicklung

Die Datentypen der Sachbilanz werden einer Wirkungsabschätzung unterzogen. Zunächst werden sie nach Relevanz für die Umwelt in 8 Wirkungskategorien klassifiziert und charakterisiert (Bild 2). Die Ergebnisse einzelner Wirkungskategorien werden dann in Kennzahlen „Wirkungskategorien-Indizes“ überführt, welche ihre Ausprägungen widerspiegeln. Dies geschieht durch eine regelbasierte Gewichtung der ökologischen Bedeutung der einzelnen Wirkungskategorien [3]. Die Einstufung der Indizes erfolgt mit der Kardinalskala [0;100], wobei die Interpretation „Je größer der Index, desto größer die verursachte Umweltbeeinträchtigung“ gilt.

Als übergreifendes Ziel der Abschätzungsmethode ist die rasche und unkomplizierte Anwendung in der Produktentwicklung, auch ohne fundiertes ökologische Know-how, zu sehen. Doch das Ableiten einer zusammenfassenden Schlussfolgerung für die gesamte ökologische Beurteilung aus jeweils acht Wirkungskategorien-Indizes pro untersuchtem Produkt erscheint aus Sicht der Produktentwickler als nicht praktikabel. Daher wird im Rahmen des SFB 392 Projekts eine weitergehende Aggregation von wirkungskategorienbezogenen Ergebnissen zu einem zusammenfassenden eindimensionalen „Öko-Index“ vorgenommen. Die Aggregation der Ergebnisse erfolgt dabei in zwei Stufen (Bild 2):

1. Aggregation der einzelnen Wirkungskategorien-Indizes zu Wirkgruppen-Indizes, unterschieden nach räumlicher Relevanz (lokale, regionale und globale Wirkgruppe).
2. Aggregation der drei Wirkgruppen-Indizes zu einem umfassenden „Öko-Index“.

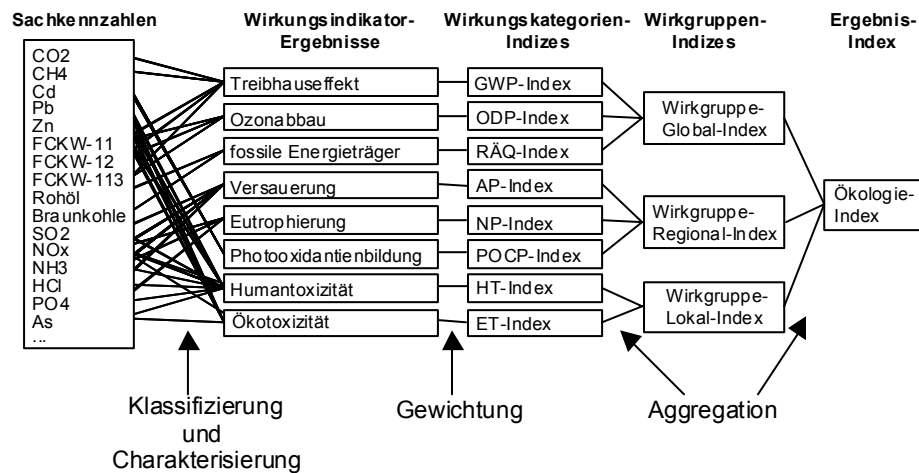


Bild 2: Angewandte ökologische Bewertungsmethode [10]

1.2 Modellarchitektur

Die informationstechnologische Grundlage für die integrierte Entwicklungsumgebung wird durch ein sog. Informationsmodell geschaffen, das die einheitliche Spezifikation aller im Produktlebensweg auftretende Prozesse sowie relevanter Produktdaten ermöglicht. Nicht nur wird das Modell zur Repräsentation von Produkt- und Prozessdaten genutzt - durch funktionale Zusammenhänge über Operationen kann es weitere Daten generieren [5, 9].

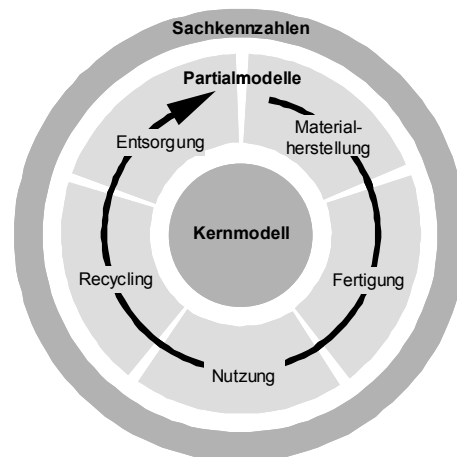


Bild 3: Informationsmodell des SFB 392

Die im Informationsmodell zu repräsentierenden Inhalte können nach Eingangs- und Ausgangsgrößen der eingesetzten Werkzeuge charakterisiert werden. Entsprechend der Betrachtung des Produktentwicklungsprozesses, des Produktlebenslaufs und der Sachbilanz ergeben sich Produktdaten, Prozessdaten und Sachkennzahlen als Kategorien [11]. Bild 3 stellt die Architektur des Informationsmodells in 3 Schichten dar. Die erste Sicht (Kernmodell) beinhaltet die Produktdaten und eine Grundstruktur für Prozessdaten. Diese wird in der zweiten Sicht für alle Produktlebensphasen um Prozessdaten erweitert. Da zudem Prozesse aus allen Lebensphasen betrachtet werden sollen und somit der Umfang des benötigten Prozesswissens sehr groß und vielfältig ist, wird eine Segmentierung der zweiten Sicht in Partialmodelle als notwendig angesehen. Die Aufteilung in klar abgegrenzten Modellen ermöglicht ihre simultane Integration in das Informationsmodell. Jedes Partialmodell stellt eine Lebensphase dar und fasst alle zu ihm gehörenden Prozesse zusammen. Durch funktionale Zusammenhänge zwischen dem Kernmodell und den

Partialmodellen werden Produkt- und Prozessdaten zu Sachkennzahlen in der dritten Sicht verarbeitet. Die Modellarchitektur stellt die Basis für die Modellierungstechnik CoOM dar, die zur Entwicklung des Informationsmodells im SFB 392 eingesetzt wurde [5, 9].

2 Produktentwicklungsumgebung

Von besonderer Bedeutung ist das CAD-System, das zur Beschreibung der Produktmerkmale dient. Hierzu zählen die Baugruppenstruktur, gestaltspezifische Informationen über die Bauteile und Gestaltelemente sowie die verwendeten Materialien. Dem CAD-System liegt featurebasierte und parametrisierte 3D-Geometriemodelle zugrunde. Der Input des Informationsmodells erfolgt weitgehend durch dieses System. Durch die Verknüpfung von Produkt- und Prozessdaten werden Sachkennzahlen im Informationsmodell generiert und sind somit Output des Modells (Bild 4).

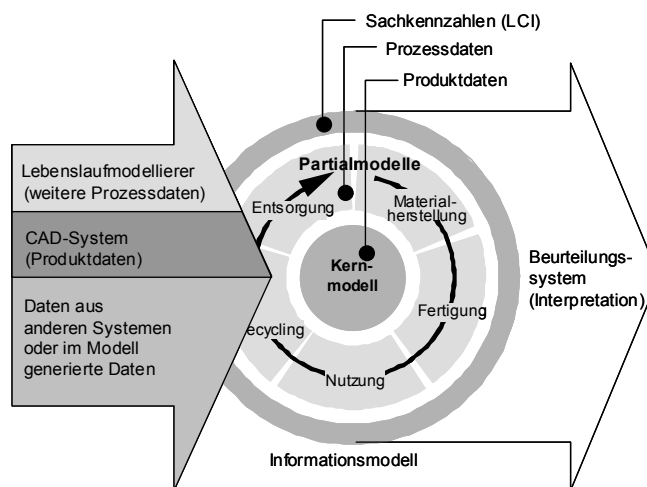


Bild 4: Input und Output des Informationsmodells

Das Beurteilungssystem präsentiert die Ergebnisse der Sachbilanz in einer geeigneten Form und beinhaltet die Wirkungsabschätzungsmethode. Es ermöglicht eine vergleichende ökologische Beurteilung von Lösungsalternativen [3].

2.1 Systemintegration

Wie im Bild 5a dargestellt, setzt sich die Systemarchitektur aus fünf logischen Sichten zusammen. Die Architektur unterstützt die flexible Erweiterbarkeit und Veränderbarkeit, die kohärente und konsistente Nutzung sowie die redundanzfreie Verwaltung der Daten. Die Anwendungssicht beinhaltet die Anwendungskomponenten, die die Interaktionen mit dem Produktentwickler durchführen. Die Kommunikationssicht besteht aus dem Nachrichtenbus eines Object Request Broker [7] und Anfragen und Ergebnisse dieser Anfragen zwischen dem Client und dem Server. Die Dienstsicht setzt sich aus Zugriffskomponenten zur Realisierung des Datenaustausches zwischen der Datenbank und Anwendungskomponenten zusammen. Komponenten der Datensicht übernehmen Funktionen wie Speicherung, Archivierung und Verwaltung der in der ökologischen Beurteilung erzeugten oder benötigten Daten. Aus dem Informationsmodell wird das Schema der objektorientierten Datenbank abgeleitet. Das Datenbankschema stellt die Grundlage für die Datenverwaltung innerhalb der Produktentwicklungsumgebung dar.

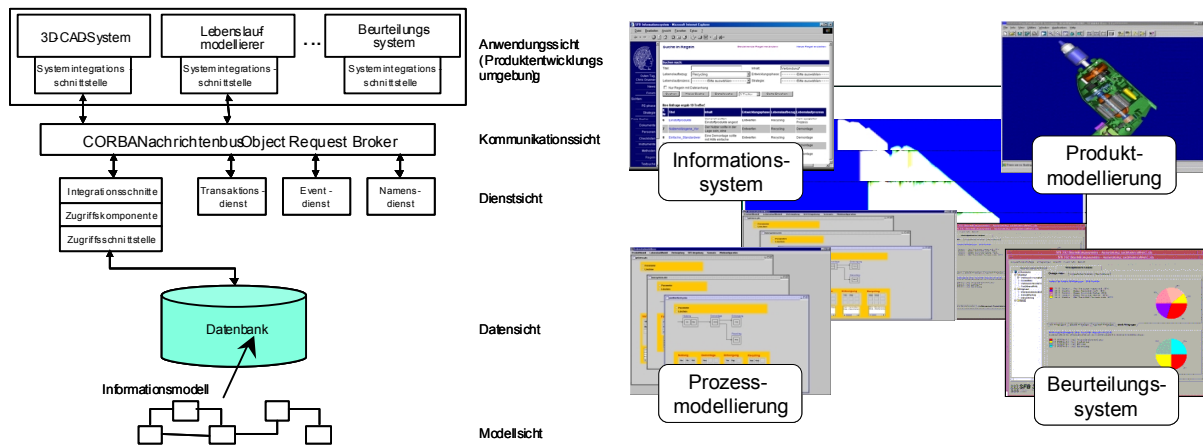


Bild 5a, b: Gesamtsystemarchitektur, Produktentwicklungsumgebung (Prototyp)

2.2 Konkretisierung des Produktlebenslaufs

Bei der Anwendung der Produktentwicklungsumgebung werden zunächst Produktdaten, hauptsächlich Baustruktur und –gestalt, durch das CAD-System über eine Schnittstelle in der Datenbank instanziiert. Die aus Produktdaten ableitbaren Prozesse (aus Bauteil-Features lassen sich mögliche Herstellungsprozesse usw. ableiten) werden in den Partialmodellen festgelegt. Folgend werden diese Prozesse instanziiert, sofern vordefinierte Informationen in der Datenbank vorliegen. Über den Lebenslaufmodellierer besteht die Möglichkeit, vordefinierte Prozesse zu ändern, zu detaillieren oder gar zu löschen [1, 2]. Hier werden auch Prozesse, die nicht aus Produktdaten ableitbar sind (z.B. Leistungsaufnahme, und Lebensdauer des Produkts, Recyclingmix der eingesetzten Werkstoffe) definiert. Die Manipulation umfasst neben der Festlegung prozessspezifischer Input- und Outputgrößen auch die Zuordnung der notwendigen Ressourcen wie z. B. der Werkzeugmaschine. Erst bei vollständiger Beschreibung des Produkts über den gesamten Lebensweg liegt ein Lebenslaufzenario vor, aus dem die Sachkennzahlen für die Wirkungsabschätzung des Produkts generiert werden können.

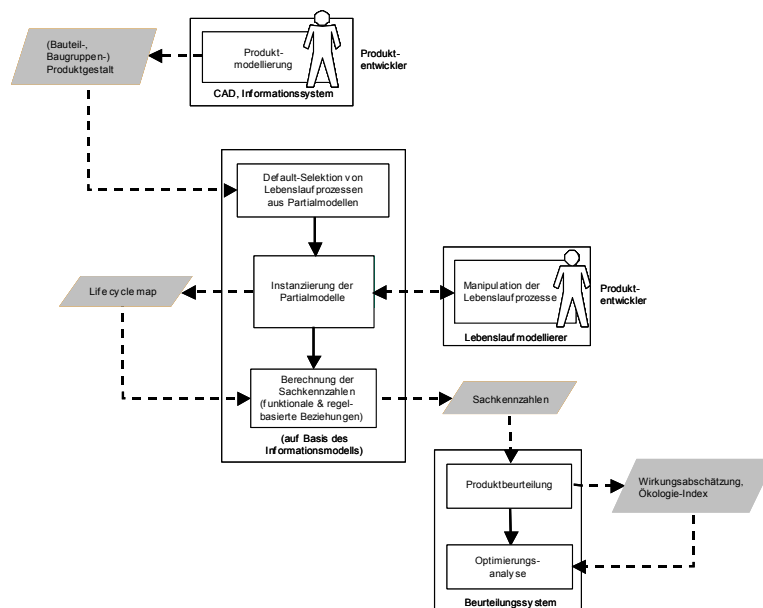


Bild 6: Anwendung der Produktentwicklungsumgebung

3 Zusammenfassung

Die Gestaltung eines Produkts trägt entscheidend zur Eignung für einen optimalen Lebensweg. Funktionale Zusammenhänge zwischen Produktmerkmalen und Umwelteinflüssen, die aus einzelnen Prozessen resultieren, lassen sich für alle Produktlebensphasen vordefinieren. Dadurch ist es möglich, Prozesse im Lauf des Produktlebens zu antizipieren und zu optimieren. Aufgrund dessen können Umweltbeeinträchtigungen schon im Entwicklungsprozess weitgehend gemieden werden.

Die Entwicklung umweltgerechter Produkte erfordert Methoden und Werkzeuge, welche eine entwicklungsbegleitende Beurteilung von Lösungsvarianten erlaubt. Die Produktentwicklungsumgebung stellt dem Entwickler mit solchen Methoden und Werkzeugen bereit, welche ihn bei der Identifizierung ökologischer Auswirkungen seines Handelns unterstützen.

4 Literaturverzeichnis

- [1] Anderl, R.; Faneye, O.: A systematic Approach to Concurrent Product and Life Cycle Modelling, in: Proceedings of ECEC, Valencia 2001
- [2] Anderl, R.; Faneye, O.: Collaborative Product and Life Cycle Modelling, in: Proceedings of PDT Europe Days, Belgium 2001
- [3] Atik, A.: Entscheidungsunterstützende Methoden für die Entwicklung umweltgerechter Produkte, Shaker Verlag, Aachen 2001
- [4] Deutsches Institut für Normung (Hrsg.): Umweltmanagement – Ökobilanz, Beuth Verlag, Berlin 1997
- [5] John, H.: Modellierungstechnik zur Integration von Prozesswissen in ein Produktmodell, Shaker Verlag, Aachen 2001
- [6] Mueller, K.; Besant, G.: Evaluating Life Cycles of Design Concepts, in: Proceedings of the 12th ICED, München 1999
- [7] OMG: CORBA Services Specification 1999, <http://www.omg.com>
- [8] Pahl, G.; Beitz W.: Engineering Design – a systematic Approach, Springer Verlag, London 1996
- [9] Pütter, C.: Kooperative Informationsmodellentwicklung, Shaker Verlag, Aachen 2000
- [10] Schulz, H.; Atik, A.; Pant, R.; Jager, J.: A Decision-supporting Tool for Environmentally Conscious Product Design, in Proceedings of EcoDesign, Tokyo 1999
- [11] SFB-392: Entwicklung umweltgerechter Produkte – Methoden, Arbeitsmittel und Instrumente. Arbeits- und Ergebnisbericht, TU Darmstadt 1998

Ola. Bernard Faneye
Fachgebiet Datenverarbeitung in der Konstruktion
Technische Universität Darmstadt
Petersenstr. 30, D-64287 Darmstadt
Tel: 49 6151 16 5445
Fax: 49 6151 16 6854
Internet: faneye@dik.tu-darmstadt.de