

ENTWICKLUNG NACHHALTIGER PRODUKTE UNTER ÖKOBILANZIELLEN GESICHTSPUNKTEN

Julia Dose, Bruno Gries, Günter Fleischer, Lucienne Blessing

Kurzfassung

Bei der Entwicklung nachhaltiger Produkte müssen ökologische Aspekte im Konstruktionsprozess berücksichtigt und beurteilt werden [1]. Die Einhaltung von Gestaltungsrichtlinien zum demontage- und recyclinggerechten Konstruieren geschieht in diesem Zusammenhang mit der Absicht, eine Steigerung der Nachhaltigkeit zu erreichen. Klassische konstruktionsmethodische Bewertungsverfahren zeigen zwar auf, inwieweit diese Gestaltungsrichtlinien umgesetzt wurden, erlauben jedoch nur eine sehr eingeschränkte Aussage darüber, ob das eigentliche Ziel der Nachhaltigkeit erfüllt ist.

Die international anerkannte Methode des Life Cycle Assessment (LCA) – im deutschen wird auch der Begriff Ökobilanz verwendet - bietet hingegen die Möglichkeit, ökologisch unvorteilhafte Aspekte sowie deren Ursachen auch inhaltlich zu identifizieren und hinsichtlich der Umweltwirkungspotenziale zu quantifizieren. Dem Vorteil des ganzheitlichen Ansatzes der Methode des LCA und der umfassenden Berücksichtigung potenzieller Umweltwirkungen über den Produktlebensweg stehen jedoch eine Reihe von Nachteilen gegenüber, allen voran der hohe Zeitaufwand zur Durchführung sowie die Komplexität der Methode.

In diesem Beitrag wird die in einem gemeinsamen Forschungsvorhaben innerhalb des Sonderforschungsbereichs 281 „Demontagefabriken“ durchgeführte Entwicklung demontage- und umweltgerechter Baugruppen eines Waschmaschinenprototypen vorgestellt. Ausgangsbasis war ein LCA einer vergleichbaren Waschmaschinenbaugruppe, die in der Vergangenheit vorrangig mit dem Ziel der Demontagegerechtigkeit entwickelt wurde und bei der weiteres Optimierungspotenzial nachgewiesen werden konnte.

Hierauf aufbauend werden die unterschiedlichen Probleme bei der Integration der Methode des LCA in den Entwicklungsprozess nachhaltiger Produkte dargelegt und gleichzeitig interdisziplinäre Lösungsansätze skizziert, die sowohl auf die Anpassung der Produktentwicklungsmethoden als auch der ökologischen Bewertungsverfahren abzielen.

1 Motivation

LCA als Produktentwicklungsmethode für umweltgerechte Produkte wird zwar u.a. in [2] vorgeschlagen, ist für den Konstrukteur jedoch schwer beherrschbar. Die Beschaffung und Aufbereitung notwendiger Daten sowie die Modellierung des Produktlebensweges sind komplexe und zeitaufwändige Tätigkeiten [3]. Fehlen zudem gesicherte Daten, beispielsweise über die tatsächliche Nutzung oder Entsorgung des Produkts, ist das Aufwand-Nutzenverhältnis fraglich. Hinzu kommt, dass die Ergebnisse einer LCA aus Sicht des Konstrukteurs schwer interpretierbar sind.

Zahlreiche Arbeiten verfolgen daher den Ansatz, vereinfachte ökologische Bewertungsverfahren zu verwenden und/oder die Betrachtung auf die Nutzungsphase zu beschränken, die bei den meisten Produkten im Vergleich zur Herstellungs- und Entsorgungsphase für den überwiegenden Großteil der Umweltbelastungen verantwortlich ist [4], [5]. Dennoch dürfen bei der Entwicklung umweltgerechter Produkte Aspekte des Recyclings und der Demontage nicht ausgeklammert werden.

Hierbei handelt es sich in der Regel um einen Optimierungsprozess, bei dem ein Ausgangsprodukt bereits existiert. Soll dessen Umweltverträglichkeit durch Verbesserung der Demontage- und Recyclingeigenschaften gesteigert werden, ist es zulässig, die Nutzungsphase zu vernachlässigen, sofern abzusehen ist, dass sich die während der Nutzung anfallenden Umweltbelastungen auf Grund der Optimierungsmaßnahmen nicht ändern. Davon ausgehend, dass dies in den meisten Fällen zutrifft, entfällt aus Sicht des Konstrukteurs die Bereitstellung von Daten für die Modellierung dieses am schwierigsten vorherzusagenden Lebenszyklusabschnittes. Angefangen bei der Nutzungsdauer basiert diese Modellierung oftmals auf schwer zu verifizierenden Daten bzw. auf Annahmen zum individuell unterschiedlichen Nutzerverhalten. Zwar stellt bei der Modellierung der Entsorgungsphase die tatsächliche Art der Entsorgung (Deponierung, thermische Verwertung, Recycling, usw.) ebenfalls einen Unsicherheitsfaktor dar, doch wird dieser durch die Betrachtung einer begrenzten Anzahl möglicher und wahrscheinlicher Optionen relativiert.

Demontage- und recyclinggerechtes Konstruieren als Teil der umweltgerechten Produktentwicklung profitiert besonders durch das Werkzeug LCA. Es ermöglicht zum einen einen quantitativen Nachweis, ob Maßnahmen zur Steigerung der Recycling- und Demontagegerechtheit tatsächlich im übergeordneten Sinne der Nachhaltigkeit erfolgreich waren und lässt hierbei zum anderen – durch die Betrachtung einer überschaubaren Anzahl von Entsorgungsoptionen – eine vergleichsweise hohe Aussagesicherheit erwarten.

2 Entwicklung demontage- und umweltgerechter Baugruppen einer demontagegerechten Waschmaschine

2.1 Ventilbaugruppe

Die Ventilbaugruppe einer Waschmaschine fasst mehrere Magnetventile zusammen, die dazu dienen, die unterschiedlichen Wasserströme zu steuern. Das Ausgangsprodukt ist in Bild 1 links dargestellt.

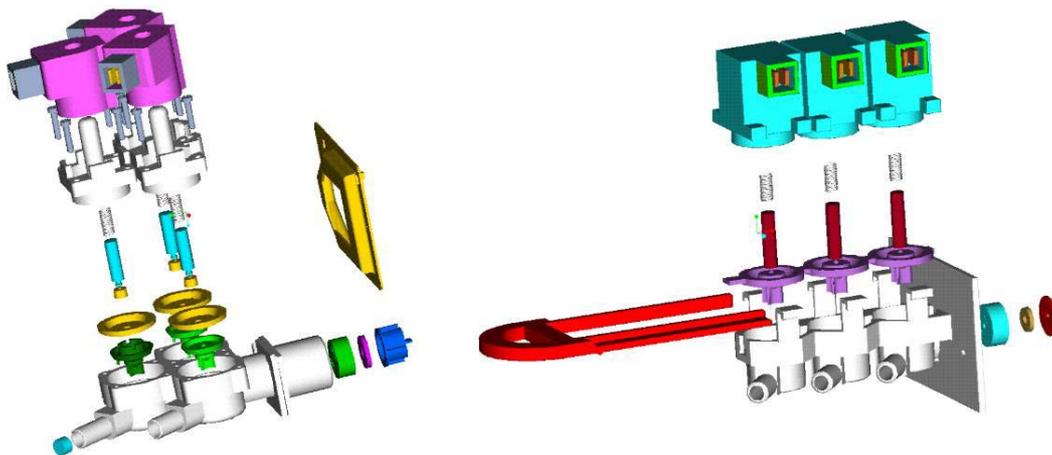


Bild 1: Explosionsdarstellungen der Ausgangs- (links) und demontagegerecht umgestalteten Ventilbaugruppe (rechts)

Der Umgestaltungsprozess dieser Baugruppe, die zu der in Bild 1 rechts dargestellten Konstruktion führte, ist in [2], ausführlicher in [6] beschrieben.

Sowohl die Ausgangs- als auch die demontageoptimierte Baugruppe wurden nun im Rahmen eines LCA auf ihre potenziellen Umweltwirkungen untersucht. Aufgrund fehlender Daten für die Ausgangskonstruktion wurden die Massenanteile der einzelnen Bauteile durch Wie-

gen bestimmt. Bei der optimierten Baugruppe wurden hierfür Geometriedaten aus dem CAD-System herangezogen. Die Modellierung des Produktlebensweges erfolgte im Rahmen der Sachbilanzierung (Life Cycle Inventory Analysis = LCI), die die Grundlage zur Durchführung eines LCA bildet. Hierauf bauten die weiteren Schritte der Ökobilanz auf.

Es wurden Informationen und erforderliche Daten der Lebenswegabschnitte Rohstoffgewinnung, Fertigungsprozesse und Entsorgung in das jeweilige Modell integriert. Verschiedene Entsorgungsoptionen, die aufgrund der Eigenschaften und der Konstruktion der untersuchten Baugruppen und durch die Verfahrenstechnik im Entsorgungsbereich möglich sind, wurden analysiert, mit ihren ökologisch relevanten Daten modelliert und als Optionen in die Lebenswegmodelle der zu bewertenden Baugruppen integriert, vgl. [7].

Das Modellieren verschiedener Entsorgungsoptionen war notwendig, da zum einen der tatsächliche Entsorgungsweg der Baugruppen in der Entwicklungsphase nicht detailliert festgelegt ist. Zum anderen ist dies aus methodischer Sicht notwendig, um zu untersuchen, inwieweit Umweltbelastungen, die über den Lebensweg der demontagegerecht konstruierten Baugruppe entstehen, von den Eigenschaften der Baugruppe selbst oder den Prozessen im Entsorgungsbereich in Wechselwirkung mit dem Gesamtprodukt abhängen [6].

Die Ergebnisse der ökologischen Bewertung werden beispielhaft für drei von insgesamt neun Wirkungskategorien in Bild 2 dargestellt. Die CML 2 baseline method 2000 wurde zur Generierung der Wirkungskategorien genutzt [8]. Der demontagegerecht konstruierte Ventilblock schneidet in der Bewertung in allen untersuchten Wirkungskategorien, mit Ausnahme der Kategorie Klimaänderung, besser ab. Dies ist vor allem auf den geringeren Materialverbrauch sowie auf die aufgrund der Demontageoptimierung ermöglichten günstigeren Entsorgungsszenarios zurückzuführen.

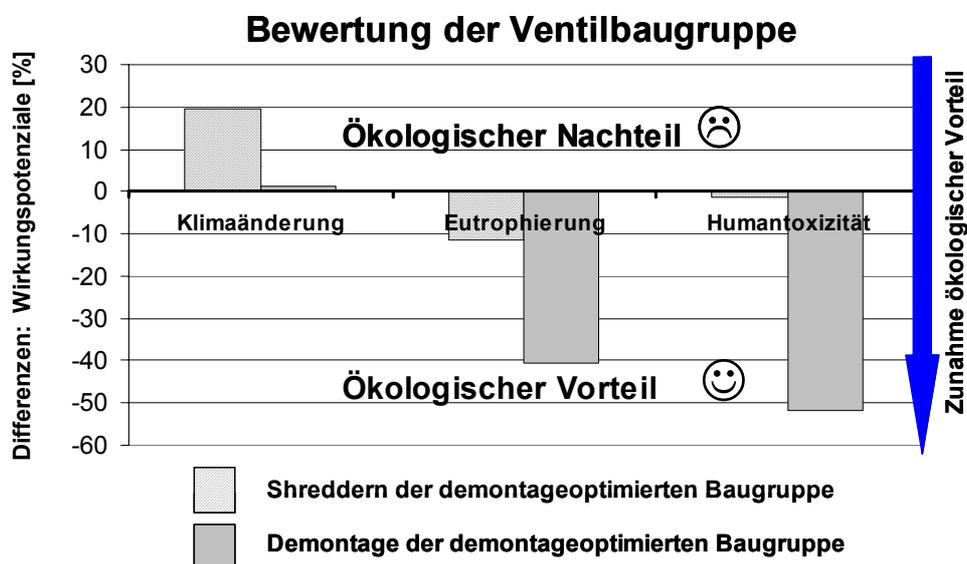


Bild 2: Ergebnisse der ökologischen Bewertung der Ventilbaugruppe (Auswahl von Wirkungskategorien). Vergleichsbasis: Shreddern der Ausgangsbaugruppe

Die Ursache für das schlechtere Abschneiden in der Wirkungskategorie Klimaänderung liegt materialbedingt am ausgewählten Polyamid in den Magnetspulen, das im Lebenswegabschnitt Rohstoffgewinnung zu einer höheren Belastung in dieser Kategorie führt. Die noch verhältnismäßig guten Ergebnisse, die die konventionelle Ventilbaugruppe bei den momentan herkömmlichen Entsorgungsoptionen erzielt, lassen sich durch den höheren Metallanteil erklären. Dieser Anteil erzeugt zwar bei der Herstellung höhere Umweltbelastungen als Kunststoffe, führt jedoch beim derzeitigen Stand der Technik zu geringeren Umweltbelastungen.

gen über die Entsorgung. Insgesamt schneiden Metalle im Vergleich günstig ab, da sie infolge ihrer Werkstoffstruktur hochwertiger recyclebar sind und infolge gängiger Recyclingverfahren tatsächlich Primärressourcen ersetzen, und so die hohen Umweltbelastungen im Bereich Rohstoffgewinnung eingespart werden können.

2.2 Laugenpumpe

Basierend auf den konstruktiven Erkenntnissen, die beim Ökobilanzvergleich der konventionellen und der demontageoptimierten Ventilbaugruppe gewonnen wurden, nämlich:

- Vermeidung bestimmter Werkstoffe (z.B. PA 6),
- Anstreben einer möglichst leichten Bauweise,
- wo möglich: Substitution von Kunststoffen durch Metalle,

wurde eine demontage- und umweltgerechte Laugenpumpe als Baugruppe einer demontagerechten Waschmaschine entwickelt (Bild 3 rechts).

Neben verbesserten allgemeinen Produkteigenschaften (Masse -5,9%, Werkstoffvielfalt -12,5%, Einzelteilvielfalt -21,1%) ergab ein entwicklungsbegleitend durchgeführtes LCA für bestimmte Entsorgungsszenarien im Vergleich zum Ausgangsprodukt (Bild 3 links) durchschnittlich ca. 50% geringere potenzielle Umweltwirkungen. Unabhängig vom Entsorgungsszenario schnitt das optimierte Produkt in jeder Wirkungskategorie besser ab als das Ausgangsprodukt.

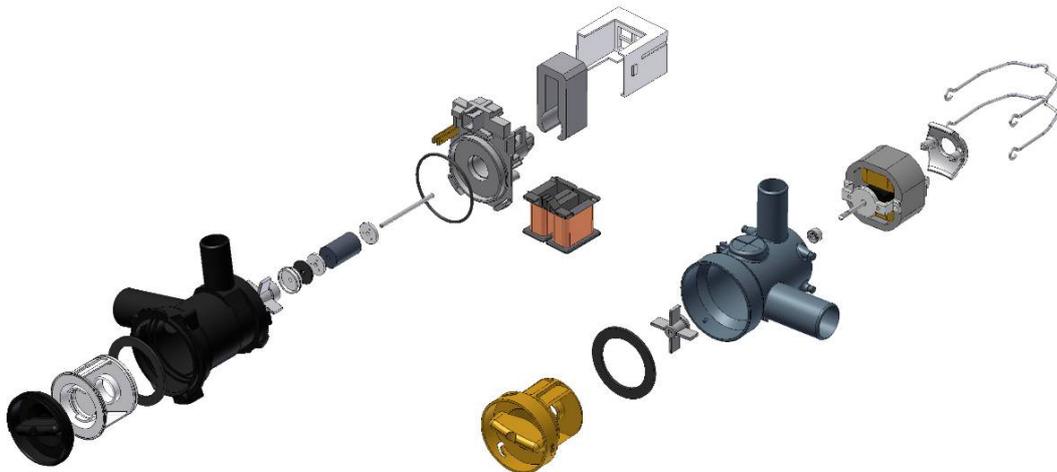


Bild 3: Explosionsdarstellungen der Ausgangs- (links) und demontagegerecht umgestalteten Laugenpumpe (rechts)

Den größten ökologischen Vorteil erzielt die demontage- und umweltoptimierte Baugruppe in einem Entsorgungsszenario, in dem der Pumpenmotor, der sich mit wenigen Handgriffen und ohne Werkzeug demontieren lässt, wiederverwendet wird. Die so im Vergleich zur Standardentsorgung des Ausgangsprodukts verringerten Umweltbelastungen sind in Bild 4 veranschaulicht. Hierbei wurde angenommen, dass jeder zweite Motor wiederverwendet wird.

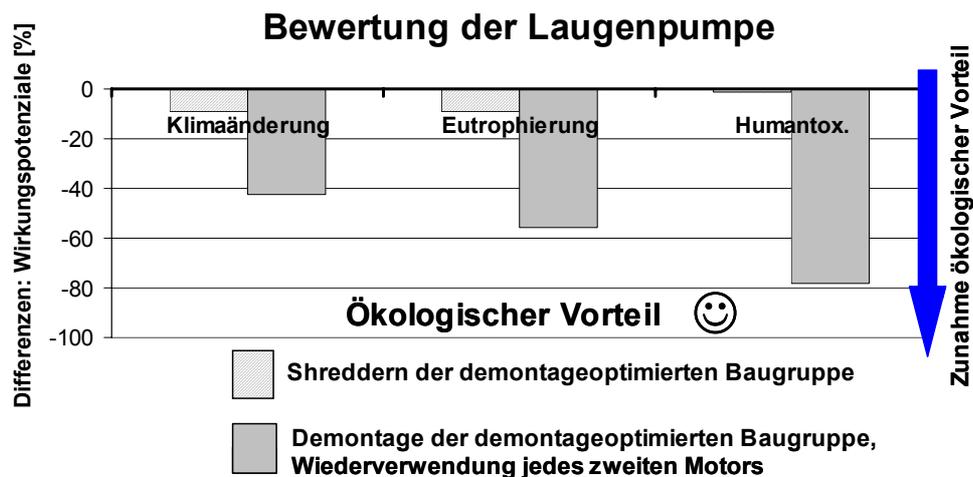


Bild 4: Ergebnisse der ökologischen Bewertung der Laugenpumpe (Auswahl von Wirkungskategorien). Vergleichsbasis: Shreddern der Ausgangsbaugruppe

3 Überlegungen zur Integration ökobilanzieller Methoden in den Produktentwicklungsprozess

3.1 Ableitung allgemeiner Gestaltungsregeln

Es ist vorstellbar, dass bestimmte Gestaltungsregeln existieren, deren Anwendung im Sinne der Nachhaltigkeit stets vorteilhaft ist. Die ursprünglich durchgeführte Vergleichsstudie an den beiden Ventilbaugruppen zielte auch darauf ab, die Gültigkeit dieser These zu untersuchen. Da das schlechtere Abschneiden in nur einer Wirkungskategorie auf eine ungünstige Werkstoffwahl zurückzuführen ist, ist diese These zumindest nicht widerlegt.

Die bei der Entwicklung der Laugenpumpe angewendeten Gestaltungsregeln, die Leichtbau und Wiederverwendbarkeit zum Ziel haben, haben zu einem Produkt geführt, bei dem im Vergleich zu seinem Vorgänger ein größeres Maß an ökologischem Verbesserungspotenzial freigesetzt werden konnte, als bei der Ventilbaugruppe.

Die Anwendung dieser Gestaltungsregeln, deren Validität durch weitere Ökobilanzstudien allgemein nachgewiesen werden müsste, würde es in einem vereinfachten Produktentwicklungsprozess umweltgerechter Produkte erlauben, auf die Durchführung eines vollständigen LCA zu verzichten.

3.2 Zugriff auf eine gemeinsame Produktdatenbasis

In der Ökobilanzierung komplexer Produkte müssen verzweigte und gleichzeitig vielschichtige Systeme analysiert und modelliert werden. Hierfür definiert der Konstrukteur sowohl produkt- als auch prozessspezifische Daten. Zu den produktspezifischen Daten gehören Angaben hinsichtlich Art und Masse der zu verwendenden Werkstoffe, zur Verbindungsstruktur sowie zur Nutzungsphase des Produktes. Zu den prozessspezifischen Daten gehören Angaben zu Fertigungs- und Demontageprozessen usw. Weitere Daten, z.B. geplante Entsorgungsoptionen, müssen ebenfalls ausgetauscht werden.

Der Austausch dieser Daten erfordert standardisierte Schnittstellen zwischen CAD- und LCA-Softwareanwendungen. Diese stellen heute im Allgemeinen noch Insellösungen dar. Das im Sfb 281 entwickelte Konstruktionsunterstützungssystem für die demontagegerechte

Produktentwicklung bietet hier einen Lösungsansatz, da es sowohl solche Schnittstellen als auch ein einheitliches Produktmodell bereit stellt, mit dem sowohl konstruktiv als auch ökologisch relevante Produkt- und Prozessaspekte abgebildet werden können [7].

Der Zugriff auf eine einheitliche gemeinsame Produktdatenbasis würde die Modellierung der Produktentstehungsphase vereinfachen, die zu einem Zeitpunkt statt findet, an dem viele produkt- und prozessspezifische Daten (Massen, Werkstoffe, Fertigungsverfahren) schon durch den Konstrukteur definiert wurden. Die denkbare Teilautomatisierung dieser Modellierung ließe für die Phase der Sachbilanzierung eine bedeutende Aufwandsreduzierung erwarten.

3.3 Modulare LCA

Zur Integration der Methode des LCA in den Konstruktionsprozess wird eine modulare LCA entwickelt, die auf einer Weiterentwicklung des ökologischen Bewertungsverfahrens im Rahmen der Norm basiert [9]. Ziel ist es, die Komplexität, die die Lebensweganalyse eines Produktes mit sich bringt, handhabbar zu gestalten und gleichzeitig Ergebnisse mit hinreichender Aussagesicherheit zu liefern.

Der Lebensweg eines Produktes wird zu diesem Zweck in einem LCI-Modell abgebildet, das sich aus einer Verknüpfung von LCI-Modulen von Produktkomponenten und deren Abhängigkeiten untereinander zusammensetzt. Für die LCI-Module auf Basis von Produktkomponenten werden Modellierungsvorschriften entwickelt. Diese setzen auf Ebene der Sachbilanz (LCI) an und dienen der effizienteren Erstellung des LCI-Modells. Da die Modellierung des Produktlebensweges eines der ersten Elemente bei der Erstellung eines LCA ist, wirkt sich eine Beschleunigung in diesem Bereich erheblich auf die folgenden Elemente des LCA aus. Dies bezieht sich auch auf die Aussagesicherheit der Bewertung [10]. Vereinfachungen im Element Wirkungsabschätzung durch eine Reduzierung der Anzahl von Wirkungskategorien z.B. können wichtig sein, um dem Konstrukteur das Ergebnis eines LCAs verständlicher zu machen. Da die Sachbilanz der Wirkungsabschätzung vorgeschaltet ist, erscheint eine Aufwandsreduzierung, die an diesem Element des LCA ansetzt, am wirkungsvollsten.

Die LCI-Module werden so abgelegt, dass sie mehrfach genutzt werden können. Bestehende LCI-Module für Produktkomponenten können so unter Berücksichtigung der relevanten Schnittstellen und Fragestellung der Untersuchung für LCA-Modelle weiterer Produkte und Baugruppen genutzt werden. Für eine Mehrfachnutzung der LCI-Module ist u.a. eine Entwicklung von Übertragungsalgorithmen notwendig, um die Wechselwirkungen der LCI-Module von Produktkomponenten im LCI-Modell des komplexen Produktes abzubilden. Hierbei gelten für die einzelnen Produktlebenswegabschnitte jeweils andere Übertragungsalgorithmen.

Die Übertragungsalgorithmen der Nutzungsphase z.B. orientieren sich am Anwendungsmuster des zu untersuchenden Produktes. Hierfür werden Produkte in Abhängigkeit von ihrem Anwendungsmuster klassifiziert. So wirken sich Veränderungen an der Masse einer Baugruppe eines Produktes deutlich stärker auf die potenziellen Umweltwirkungen aus, die durch das untersuchte Produkt in der Nutzenphase entstehen, wenn sich dieses Produkt selbst fortbewegt.

3.4 Interdisziplinäre Zusammenarbeit

Die Durchführung eines LCA gilt als komplex und zeitintensiv. Für die Erstellung von Ökobilanzen existieren zwar Software-Tools, LCA-Modelle müssen jedoch, da die Produktkomponenten zahlreichen Wechselwirkungen ausgesetzt sind, für jeden Anwendungsfall, unter

Einhaltung des methodischen Rahmens neu modelliert werden. Die Aufstellung solcher Modelle und die Interpretation der Ergebnisse setzen Erfahrung und Expertenwissen voraus.

Der Konstrukteur benötigt hingegen unkompliziert handhabbare und aussagekräftige Bewertungsverfahren. Bei der Verwendung vereinfachter LCA-basierter Methoden, die auch Nicht-Experten zugänglich sein sollen, ist allerdings stets mit einer verringerten Aussagesicherheit zu rechnen.

Die gezielte Förderung einer interdisziplinären Zusammenarbeit zwischen LCA-Experten und Produktentwicklern im Sinne des Simultaneous bzw. Concurrent Engineering [1] würde bei arbeitsteiliger Herangehensweise den Vorteil gesicherterer Ergebnisse bei gleichzeitiger Entlastung des Konstrukteurs bieten. Dabei wäre auch die Tatsache berücksichtigt, dass Produktentwicklung selten eine Einzelleistung darstellt. Die Umsetzung der in 3.2 und 3.3 geschilderten Überlegungen würde den möglichen Effizienzgewinn noch steigern.

4 Schlussfolgerungen und Ausblick

Ausgangsfrage der in diesem Beitrag vorgestellten Untersuchungen war, ob die demontageorientierte Umgestaltung eines Produkts auf dessen ökologische Nachhaltigkeit einen positiven Einfluss ausübt. Im Fall der Ventilbaugruppe, bei der sich verringerte Umweltwirkungen in den meisten Wirkungskategorien feststellen ließen, kann diese Frage bejaht werden. Ferner haben Leichtbau und Modularität bei gleichzeitiger Vermeidung von Problemwerkstoffen – Gestaltungsziele, die bei der Konstruktion der Laugenpumpe verfolgt wurden – zu einer Baugruppe geführt, bei der bei hoher Funktionalität und leichter Demontierbarkeit im Vergleich zum Ausgangsprodukt sogar ein noch höheres Maß an ökologischem Verbesserungspotenzial freigesetzt werden konnte, als bei der Ventilbaugruppe.

Es konnte gezeigt werden, dass Demontagegerechtheit und ökologische Nachhaltigkeit kein Widerspruch sein müssen. Die Maßnahmen, die zu den erzielten Produktverbesserungen führten, erheben jedoch nicht den Anspruch einer allgemeinen Vorgehensweise. Insbesondere die Ableitung konstruktiver Maßnahmen aus identifizierten negativen Umweltwirkungspotenzialen erfolgte teilweise intuitiv.

Die vergleichsweise sichere Vorhersage der Entsorgungsphase eines Produkts, die sich in der Regel auf eine handhabbare Anzahl von Entsorgungsoptionen einschränken lässt, macht für den Konstrukteur LCA gerade als Werkzeug der demontage- und recyclinggerechten Produktentwicklung interessant. Diese Entsorgungsoptionen werden durch die Aktivitäten des Gesetzgebers (AltautoVO, WEEE) zudem weiter abnehmen. Zwar entstehen bei vielen Produkten die meisten Umweltbelastungen in der Nutzungsphase, jedoch liegen in der Gestaltung einer nachhaltigen Nachgebrauchsphase immer noch mehr Optimierungspotenziale brach.

Die Inhalte der künftigen Arbeiten werden sich auf die Weiterentwicklung der modularen LCA gestützt auf den Zugriff auf eine gemeinsame Produktdatenbasis, ermöglicht durch die Anpassung des Konstruktionsunterstützungssystems konzentrieren um die Voraussetzungen für eine effektivere interdisziplinäre Zusammenarbeit zu schaffen.

5 Danksagung

Die Forschungsarbeiten der Teilprojekte C4 und D2 des Sonderforschungsbereiches 281 „Demontagefabriken“ werden durch die Förderung der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) ermöglicht. Ihr sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

6 Literatur

- [1] Pahl G., Beitz W.: Konstruktionslehre, Methoden und Anwendungen. Springer-Verlag, Berlin, 1997
- [2] VDI Richtlinie 2243: Recyclingorientierte Produktentwicklung, VDI-Verlag, Düsseldorf, 2002
- [3] Wenzel, H. et al.: Environmental Assessment of Products, Chapman & Hall, London, Weinheim, New York, 1997
- [4] Ernzer, M., Birkhofer, H.: Environmental impact assessment in design or: is it worth to carry out a full LCA?, Proceedings of the 14th International Conference on Engineering Design, Stockholm, 2003
- [5] Dewulf, W., Duflou, J.: Eco-PaS – Estimating the environmental performance of conceptual designs using parametric modelling, Proceedings of the 14th International Conference on Engineering Design, Stockholm, 2003
- [6] Dose, J., Gries, B., Fleischer, G., Blessing, L.: Comparative Life Cycle Assessment of a Washing Machine Component Designed for Disassembly, in: Proceedings of Colloquium e-ecological manufacturing, Hrg.: Günther Seliger, S. 51 - 56, Berlin, 2003
- [7] Sonderforschungsbereich 281: Demontagefabriken zur Rückgewinnung von Ressourcen in Produkt- und Materialkreisläufen. Arbeits- und Ergebnisbericht, Berlin, 2003
- [8] Pré Consultants: SimaPro 5 User Manual, Introduction into LCA methodology and practice with SimaPro 5, Release 5, 1, Amersfoort, Niederlande, 2002
- [9] DIN EN ISO 14040: Umweltmanagement – Ökobilanz – Prinzipien und allgemeine Anforderungen, Beuth Verlag, Berlin, 1997
- [10] Fleischer, G., Hake, J.-F.: Aufwands- und ergebnisrelevante Probleme der Sachbilanzierung, Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Umwelt, Bd. 30, 2001

Prof. Dr.-Ing. Günter Fleischer
Dipl.-Ing. Julia Dose
Institut für Technischen Umweltschutz
Technische Universität Berlin, Sekr. Cr 2
Jebensstraße 1, D-10827 Berlin
Tel: +49-30-314-21184
Fax: +49-30-314-79503
Email: lca@itu301.ut.tu-berlin.de
dose@itu301.ut.tu-berlin.de
URL: <http://itu301.ut.tu-berlin.de/>

Prof. Dr.-Ing. Lucienne Blessing
Dipl.-Ing. Bruno Gries
Fachgebiet Konstruktionstechnik und Entwicklungsmethodik
Technische Universität Berlin, Sekr. H 10
Straße des 17. Juni 135, D-10623 Berlin
Tel: +49-30-314-23161
Fax: +49-30-314-26481
Email: blessing@ktem.tu-berlin.de
gries@ktem.tu-berlin.de
URL: <http://www.ktem.tu-berlin.de>