Netzwerk Lebenszyklusdaten

Arbeitskreis PRODUKTENTWICKLUNG / IPP

Studien zum AK Produktentwicklung / IPP

Projektbericht

im Rahmen des Forschungsvorhabens FKZ 01 RN 0401 im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Universität Stuttgart

PE International GmbH

ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg

Technische Universität Berlin

Technische Universität Darmstadt

Ifu Hamburg GmbH

Stuttgart Leihenfeld-Echterdingen Heidelberg Berlin, Darmstadt
Hamburg Karlsruhe – Oktober 2007

Hrsg.: Forschungszentrum Karlsruhe
Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse –
Zentralabteilung Technikbedingte Stoffströme

Forschungszentrum Karlsruhe
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Vorwort

Der vorliegende Projektbericht wird herausgegeben vom Netzwerk Lebenszyklusdaten (www.netzwerk-lebenszyklusdaten.de).

Das Netzwerk Lebenszyklusdaten ist die gemeinsame Informations- und Koordinationsplattform aller in die Bereitstellung und Nutzung von Lebenszyklusdaten in Deutschland involvierten Gruppen – von Wissenschaft und Wirtschaft über Politik und Behörden hin zu Verbraucherberatung und allgemeiner interessierter Öffentlichkeit. Ziel des Netzwerks Lebenszyklusdaten ist es, das umfangreiche Knowhow auf dem Gebiet der Lebenszyklusdaten innerhalb Deutschlands zusammenzuführen und als Basis zukünftiger wissenschaftlicher Weiterentwicklung und praktischer Arbeiten für Nutzer in allen Anwendungsgebieten von Lebenszyklusanalysen bereitzustellen.

Das Netzwerk Lebenszyklusdaten wird getragen vom Forschungszentrum Karlsruhe. Die vorliegende Studie wurde im Rahmen der Projektförderung (2004 – 2008) des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) „Förderung der Wissenskooperation zum Aufbau und Umsetzung des deutschen Netzwerks Lebenszyklusdaten“ erstellt. Weitere im Rahmen dieser Projektförderung erstellte Studien sind erhältlich unter http://www.netzwerk-lebenszyklusdaten.de/cms/content/Projektberichte.

Kontakt Netzwerk Lebenszyklusdaten:

E-Mail: info@netzwerk-lebenszyklusdaten.de

Anschrift: Forschungszentrum Karlsruhe GmbH
Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse,
Zentralabteilung Technikbedingte Stoffströme (ITAS-ZTS)
Postfach 3640
76021 Karlsruhe
www.netzwerk-lebenszyklusdaten.de

Das Netzwerk Lebenszyklusdaten wird gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung

Bundesministerium für Bildung und Forschung

Studien zur AK Produktentwicklung / IPP

Autoren:

Matthias Fischer (Projektleitung und AP 7)

Maya Shibasaki (AP 7)
Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Bauphysik, Abteilung ganzheitliche Bilanzierung

Jürgen Giegrich (AP 1)
ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelbeg

Tobias Brinkmann (AP 2)
Uwe König (AP 2)
Jan Hedemann (AP 2)
ifu Hamburg Gmbh

Sigrun Kittelberger (AP 3)
Johannes Kreißig (AP 2)
PE International GmbH

André Greif (AP 4)
Technische Universität Berlin, Institut für Technischen Umweltschutz, Fachgebiet Systemumwelttechnik

Prof. Reiner Anderl (AP 5)
Kristian Platt (AP 5)
Katharina Melk (AP 5)
Technische Universität Darmstadt, Fachbereich 16 Maschinenbau, Fachgebiet Datenverarbeitung in der Konstruktion

Udo Hermenau (AP 6)
Technische Universität Darmstadt, Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen

INHALT

Einleitung *9*

Arbeitspaket 1 ..... *10*

1 Anforderungen an Ökobilanz-Daten aus Sicht der Produktentwickler 11

1.1 Einleitung 11
1.2 Wahl bestimmter Indikatoren 12
1.2.1 Indikatoren als Repräsentanten 13
1.2.2 Aggregierte Indikatoren 15
1.2.3 Einschätzung zur Indikatorenauswahl 16
1.3 Betrachtung einzelner Umweltaspekte 16
1.4 Nutzung von Umweltprofilen 18
1.5 Anforderungen an die Schritte im Lebenszyklus eines Produktes 19
1.6 Zusammenfassende Anforderungen aus Sicht der Produktentwicklung 21

Arbeitspaket 2 ..... *23*

2 Branchenspezifische LCA-Inventaranforderungen 24

2.1 Hintergrund 24
2.2 Technische Aspekte von Filtern für Ökoinventare 26
2.2.1 Filter-Verfahren 27
2.2.2 Filter auf Datenbeständen 28
2.2.3 Technische Umsetzung von Filtern 29
2.2.4 Beispiel: Filter für Datensätze in einer relationalen Datenbank 30
2.3 Skizzierung einer Filtererstellung für ein Fallbeispiel 32
2.3.1 Datensatzdarstellung auf Fluss- und Prozessebene in Umberto® 33

2.3.2 Filtererstellung 34
2.4 Ergebnis 36
2.5 Ausblick 38

Arbeitspaket 3 41

3 Nicht-technische Fragen / IPP 42

3.1 Aufgabenstellung 42
3.2 Einleitung 43
3.3 Die Rolle der Integrierten Produktpolitik (IPP) 43
3.4 Umweltdeklarationen nach ISO Typ III 44
3.5 Die Bauproduktenrichtlinie (BPR) 47
3.6 Das deutsche Bauproduktengesetz 49
3.7 Zusammenspiel von Bauproduktenrichtlinie und Umweltdeklarationen (eindeutige Zuständigkeit) 49
3.8 Einfluss der laufenden Normung zu gefährlichen Substanzen auf die Programme für Umweltdeklarationen 52
3.9 Zusammenfassung 53
3.10 Fazit 54

Arbeitspaket 4 55

4 Vereinfachte Nutzung von LCA-Daten in der Produktentwicklung 56

4.1 Einleitung und Zielsetzung 56
4.2 Bedeutung der Datenqualität in der LCA 56
4.2.1 Qualitätsdimensionen von LCI-Daten 57
4.2.2 Einfluss der Datenqualität auf die Ergebnisqualität 59
4.2.3 Datendokumentation und -formate 59
4.3 Bestimmung geeigneter Datensätze mittels anwendungsbezogener Datenqualitätsparameter 60
4.3.1 Festlegung der Datenqualitätsparameter und Bewertungsskala 60
4.3.2 Bedeutung der Datenqualitätsparameter in Abhängigkeit von der Anwendung 61

4.3.3 Zusätzliche Anforderungen neben den Datenqualitätsparametern 63
4.4 Schematische Vorgehensweise zur Auswahl geeigneter Datensätze 63
4.5 Schlussfolgerungen und Ausblick 65

Arbeitspaket 5 66

5 Nutzung von Lebenszyklusdaten in der virtuellen Produktentwicklung 67

5.1 Abstract 67
5.2 Ausgangssituation 67
5.3 Stand der Technik 70
5.3.1 IT-Systeme in der virtuellen Produktentwicklung 70
5.3.2 Umweltbilanzierung, Kostenbilanzierung und Konformitätschecks 76
5.3.3 Netzwerk Lebenszyklusdaten 81
5.4 Vorarbeiten und bereits mögliche Lösungen 82
5.4.1 PDM/PLM 82
5.4.2 SFB 392 83
5.4.3 TFB 55 C5 83
5.4.4 SLC 84
5.5 Entwicklungspotentiale 85
5.5.1 Allgemeine Anforderungen 85
5.5.2 Anforderungen an beteiligte Applikationen 86
5.5.3 Anforderung an die Nutzung von Lebenszyklusdaten 86
5.5.4 Anforderungen von Anwenderseite 87
5.6 Konzeptioneller Ansatz 87
5.6.1 Nutzersicht 88
5.6.2 Systemabläufe 89
5.7 Fazit 92

Arbeitspaket 6 94

6 Nutzung von Lebenszyklusdaten in der industriellen Produktentwicklungspraxis 95

6.1 Hintergrund 95
6.1.1 Transferbereich 55 95
6.1.2 Informationsgrundlage 95
6.1.3 Betrachtungsrahmen 96
6.2 Ökologische Produktbeurteilungen in der Produktentwicklung 97
6.2.1 Rahmenbedingungen im Unternehmen 97
6.2.2 Hemmnisse 100
6.2.3 Nutzung von Sachbilanzdaten in der Entwicklungspraxis 101
6.2.4 Anforderungen der Anwender 102
6.2.5 Fazit 102
6.3 Lösungsansätze für ökologische Beurteilungen in der Praxis 103
6.3.1 Integration in die Produktentstehungsprozesse 103
6.3.2 Anpassung der ökologischen Beuteilung an die Anforderungen der Praxis 104
6.3.3 Anforderungen an die Datengrundlage 106
6.4 Fazit 108
6.5 Ausblick 109

Arbeitspaket 7 111

7 Datenqualität zur Anwendung von Lebenszyklusdaten in der Produktentwicklung 112

7.1 Einleitung und Problemstellung 112
7.2 Qualitätsanforderungen an Lebenszyklusdaten zur Anwendung in der Produktentwicklung 113
7.2.1 Qualitätsanforderung an Datensätze 113
7.2.2 Qualitätsanforderung an Dokumentation 118
7.3 Datenqualitätsindikatoren 119
7.4 Reviewanforderungen seitens der Industrie 120
7.5 Schlussfolgerungen und Ausblick 121

Literatur 122

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1 Die Informationspyramide zur Auswahl der Indikatoren 12
Abbildung 2 Korrelation von Treibhauseffekt und aquatischer Eutrophierung mit KRA 14
Abbildung 3 Korrelation von Treibhauseffekt und aquatischer Eutrophierung mit KEA 15
Abbildung 4 Relevante Schritte eines Lebensweges 20
Abbildung 5 Darstellung der Datensatzreduktion durch Verwendung von Filtern 25
Abbildung 6 Filter als Datenmakler zwischen Datenbestand und Anwendung ... 30
Abbildung 7 Datenproxy mit Filterfunktion 31
Abbildung 8 brachenspezifische Gliederung der Datensätze in ecoinvent für die Result-Prozessdatensätze 33
Abbildung 9 Aggregation der Eco-Indicator 99 Kennzahl [56] 35
Abbildung 10 gewichtete Elementarströme des Ecoinvent – Datenbankinventars für das Fallbeispiel 37
Abbildung 11 gewichtete Elementarströme des Ecoinvent-Datenbankinventars mit Filter für das Fallbeispiel 37
Abbildung 12 Verteilung der Ecoindicator-Kennzahl auf die Prozessebene 39
Abbildung 13 Verteilung der Ecoindicator-Kennzahl auf die gefilterte Prozessebene 39
Abbildung 14 Ablaufschema nach AUB 46
Abbildung 15 Funktionalität und Funktionsumfang moderner CAD-Systeme (nach [64]) 73
Abbildung 16 Konzeptioneller Ansatz der Systemarchitektur 89
Abbildung 17 Schematische Darstellung eines Produktionsmixes 116
Abbildung 18 Schematische Darstellung eines Verbrauchsmixes 116
Abbildung 19 Schematische Darstellung der Diversität der Datensätze 118

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1 Übersicht über Einzelparameter und Zuordnung von Umweltwirkungen 17
Tabelle 2 Vorschlag eines Parameter- und Wirkungsprofils für Materialien und Produkte 19
Tabelle 3 Folgen von Filterungsvorgängen 28
Tabelle 4 Struktur ausgewählter Result-Datensätze aus Ecoinvent 1.2 34
Tabelle 5 Ergebnisse der Eco-Indicator 99 Methode 36
Tabelle 6 Nationale EPD-Programme existieren in Schweden, Japan, Südkorea, Norwegen, China, Deutschland, England, Frankreich, Niederlande, Finnland und Katalonien 45
Tabelle 7 Datenqualitätsparameter mit qualitativer Bewertungsskala 61
Tabelle 8 Einflussfaktoren auf die Datenqualitätsparameter 62
Tabelle 9 Zu überprüfenden Konsistenzkriterien 114

EINLEITUNG

Hintergrund der Arbeiten im Arbeitskreis Produktentwicklung / IPP

Im Bereich der Nutzung von Lebenszyklusinformationen ist die Produktentwicklung der entscheidende Bereich, in dem tatsächlich Verbesserungen im Sinne nachhaltiger Produktion in Lebenswegsicht umgesetzt werden. Anstelle lediglich nachbetrachtend auf dem Markt befindliche Produkte zu vergleichen und festzustellen, wie sich die quantitativen Umweltauswirkungen darstellen, erlaubt erst die frühzeitige Einbeziehung von Lebenszyklusinformationen in die Produktentwicklung und -vorentwicklung die gezielte umweltliche Verbesserung der Produkte auf dem Wege zu einer nachhaltigen Produktion. Diese frühzeitige Einbeziehung stellt besondere Anforderungen an die Datensätze und Meta-Informationen zu diesen, die in dem hier angebotenen Tätigkeitsfeld adressiert werden.

Auf politischer Ebene hat der Bereich der Integrierten Produktpolitik (IPP) in den letzten Jahren zunehmende Bedeutung erlangt. Es kann erwartet werden, dass hier entscheidende Weichen für nachhaltige Produktion und nachhaltigen Konsum auf europäischer Ebene und damit auch für die deutsche Industrie gestellt werden. In der IPP Communication der EU wird die Orientierung am Lebenszyklus von Produkten als Vorgabe genannt. Die umweltliche Lebensweg-Performance von Produkten soll Basis für die Beschaffung der öffentlichen Hand werden und Eingang in weitere Direktiven finden, so dass hierdurch der Bedarf an und die Nutzung von Lebensweginventaren in Europa eine starke Steigerung erfahren wird. Im hier geschilderten Tätigkeitsfeld soll die Nutzung von solchen Lebensweginformationen für die Unternehmen effizient und zielgerichtet unterstützt werden. Gleichzeitig gilt es, Erfahrungen aus der Anwendung von Lebenszyklusinformationen in der Produktentwicklung zur Politik zurück zu spiegeln.

ARBEITSPAKET 1

Bearbeitung: IFEU
Observer: SUT

1 Anforderungen an Ökobilanz-Daten aus Sicht der Produktentwickler

1.1 Einleitung

Produktentwickler stehen oft vor grundsätzlichen Entscheidungen zum Beispiel bei der Auswahl von Rohstoffen und Grundmaterialien aber auch vor Entscheidungen im Detail, die ihrerseits große Auswirkungen auf den Lebenszyklus haben können. Diese Entscheidungen betreffen nicht nur die Herstellungsphase, sondern können Auswirkungen auf die Nutzungsphase (z. B. Kraftstoffeinsparungen bei leichteren Materialien bei Pkw) und in der Entsorgungsphase (z. B. stoffliche oder energetische Nutzung) haben. Auf der anderen Seite dürfen lebenszyklus-bezogene Daten und Informationen auch nicht zu komplex sein, um in schnellen Entscheidungsprozessen überhaupt Eingang finden zu können.

Vor diesem Hintergrund werden Anforderungen an Ökobilanz-Daten formuliert, die es erlauben, sie zielgenau einzusetzen. So kann etwa die Art der Entscheidung Einfluss darauf haben, wie die die Auswahl des oder der Bewertungsindikatoren vorgenommen wird oder wie die hinterlegte Datenqualität und Repräsentativität der verwendeten Informationen beschaffen sein muss.

Anforderungen an Ökobilanz-Daten in diesem Sinne umfassen Aspekte wie:

- ⇨ Welche Daten und Informationen überhaupt benötigt werden
- ⇨ grundlegende Datenprofile, die z. B. materialspezifisch ausgerichtet sind und grobe Antworten erlauben
- ⇨ räumlich spezifizierte Daten, die Antworten zu Produktentwicklungen vor spezifischen Situationen wie einer nationalen Energieversorgung (Energieträgermix) oder Entsorgungssituation ermöglichen
- ⇨ zeitlich spezifizierte Daten, die entweder gesicherte momentan gültige Daten umfassen oder Prognose für zukünftige Entwicklungen mit einbeziehen (z. B. beste verfügbare Technik)

Das Handlungsfeld für einen Entwickler soll vor dem Hintergrund dieser Fragen überprüft werden und grundsätzliche Empfehlungen sollen dabei vorgenommen werden. Die Anforderungen ergeben sich dabei aus den speziellen Fragestellungen der Entwickler, die in den Empfehlungen berücksichtigt werden sollen.

Zunächst wird auf die Auswahl der Bewertungsindikatoren eingegangen, die Umweltaspekte repräsentieren oder möglichst umfassend abbilden sollen. Schließlich wird der Wert material- oder produktbezogener Umweltprofile demonstriert.

Ein Blick auf die Stufen eines Lebenszyklus ermöglicht es dem Entwickler letztendlich, zu verstehen, ob alle wichtigen Randbedingungen berücksichtigt worden sind. Daraus werden einige abschließende Anforderungen formuliert.

1.2 Wahl bestimmter Indikatoren

Ausgangspunkt der Überlegungen ist es, einen adäquaten Indikator oder Indikatorensatz zu finden, mit der ein Entwickler sein System am effizientesten bewerten kann. Je nach Reife der Entscheidung bzw. Fragestellung wird es notwendig sein, einen oder mehrere Indikatoren heranzuziehen.

Hilfreich ist dabei ein Blick auf die Informationspyramide. Sie verdeutlicht, wie vielfältige Informationen an der Basis zu immer weiter aggregierten Informationsbündeln zusammengefasst werden können. Entsprechend der Fragestellung kann unterschiedlich vorgegangen werden:

- ⇨ Für grobe erste Einschätzungen genügt es meist, mit einem einzelnen Indikator erste Orientierungswerte für eine Materialauswahl oder Zusammensetzung eines Produktes zu gewinnen.
- ⇨ Zur Identifizierung umweltbezogener Schwachstellen nach den ersten Entscheidungen bedarf es einer Analyse einzelner Parameter, um die umweltrelevanten Verbesserungspotenziale zu erkennen und zu nutzen.

Abbildung 1 Die Informationspyramide zur Auswahl der Indikatoren

An der Basis der Informationspyramide stehen einzelne Umweltbelastungen, die in der Sprache der Ökobilanz den Sachbilanzparametern entsprechen. Sie dienen einer vertieften Analyse, wenn es mehr um die Vollständigkeit als um grobe Orientierung

geht. Auf der Ebene der Umweltwirkungen finden schließlich die meisten Diskussionen im politisch/gesellschaftlichen Umfeld statt, die heranzuziehen sind, wenn ein Produkt in einem speziellen Zusammenhang betrachtet wird. Momentan etwa ist der Treibhauseffekt eines Produktes von erhöhtem Interesse, oft als einzelne Wirkung aus dem Gesamtbild herausgetrennt und kommuniziert wird.

Für orientierende Bewertungen schließlich kommen einzelne Indikatoren in Frage, die entweder den Anspruch erheben, die Umweltwirkungen eines Systems möglichst gut zu repräsentieren oder als Aggregat vieler Informationen möglichst viele Umweltwirkungen in sich zu vereinen. Auf beide Arten soll im Weiteren eingegangen werden.

1.2.1 Indikatoren als Repräsentanten

Für die orientierende Umweltbewertung möchte ein Entwickler möglichst einen Indikator, der ihm hilft, richtungssichere Entscheidungen in einer frühen Phase der Entwicklung zu treffen. Dieser Indikator sollte möglichst geringen Aufwand bei seiner Erhebung und Bearbeitung erfordern aber auf der anderen Seite keine Fehlurteile erlauben. Als typische Vertreter dieser Art sind zwei Indikatoren in der Diskussion:

- ⇨ der kumulierte Primärenergieaufwand (KEA)
- ⇨ der kumulierte Rohstoffaufwand (KRA oder MIPS)

1.2.1.1 Der kumulierte Rohstoffaufwand

Der Kumulierte Rohstoffaufwand (KRA) wird erzeugt, in dem alle Rohstoffaufwendungen entlang der Gewinnungsphase jedes Rohstoffes – ausgedrückt in Rohstoffmengen in Tonnen pro funktionaler Einheit – aufaddiert werden. Bei Metallen wird das jeweilige Erz als Ausgangsmaterial berücksichtigt und alle mineralischen und energetischen Rohstoffe ebenso als Ausgangsmaterial dazugerechnet. Das erweiterte Konzept der Materialintensitäten pro Serviceeinheit (MIPS) schließt dabei auch die entnommenen, aber nicht verwerteten Materialmengen mit ein. Bei einem Metall als Beispiel werden auch die Abraummengen pro Tonne erzeugtem Metall gezählt.

Die Annahme dahinter ist, dass die Summe aller verwendeten Rohstoffe die Umweltauswirkungen repräsentieren, die während der Gewinnung, Herstellung, Nutzung und Entsorgung eines Produktes auftreten. Im Allgemeinen bestätigen die Untersuchungen diese Annahme, wobei es jedoch einzelne Materialien zu deutlichen Abweichungen in der Korrelation mit einigen Umweltwirkungen führen. Die nachfolgende Abbildung korreliert den kumulierten Rohstoffaufwand bei der Herstellung von ca. 50 verschiedenen Materialien mit den Umweltauswirkungen Treibhauseffekt und aquatischer Eutrophierung (Überdüngung von Gewässern), zweier sehr unterschiedlicher Wirkungskategorien.

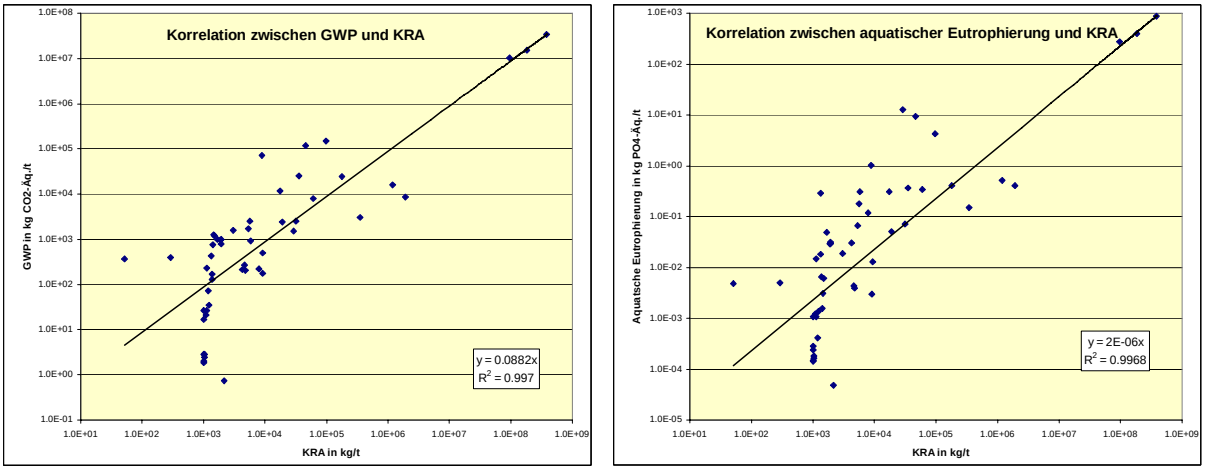

Abbildung 2 Korrelation von Treibhauseffekt und aquatischer Eutrophierung mit KRA

Bei Materialien und Produkten mit hohem Gewicht und geringem Herstellungs- und Anwendungsaufwand (z. B. nichtgebrannte mineralische Baustoffe) ist nur eine geringe Repräsentativität gegeben.

1.2.1.2 Der kumulierte Primärenergieaufwand

Analog dem kumulierten Rohstoffaufwand werden beim kumulierten Energieaufwand – KEA – nun nicht die Rohstoffe entlang den Lebenszyklusphasen aufaddiert, sondern die Energieaufwendungen. Sie werden in Energiegrößen z. B. als GJ pro funktionaler Einheit ausgedrückt. Der kumulierte Primärenergieaufwand soll dabei genauso ebenso für eine orientierende Bewertung die Umweltauswirkungen repräsentieren. Dies ist wiederum je nach betrachteter Umweltwirkung mehr oder weniger der Fall.

In Abbildung 3 ist der kumulierte Primärenergieaufwand wiederum mit den Umweltwirkungen Treibhauseffekt und aquatischer Eutrophierung (Überdüngung von Gewässern) mit der Herstellung von ca. 50 Materialien korreliert worden. Es zeigt sich, dass die Korrelation mit dem Treibhauseffekt recht gut ist, während die weniger an der Energiebereitstellung gekoppelte Gewässerbelastung nur mäßig korreliert. Ebenso ist darauf hinzuweisen, dass selbst die Korrelation des KEA mit Treibhauseffekt nicht gegeben ist, falls bedeutende Anteile erneuerbarer Materialien im Lebenszyklus verwendet werden. Dennoch erscheint die notwendige Korrelation des KEA besser als beim KRA gegeben zu sein.

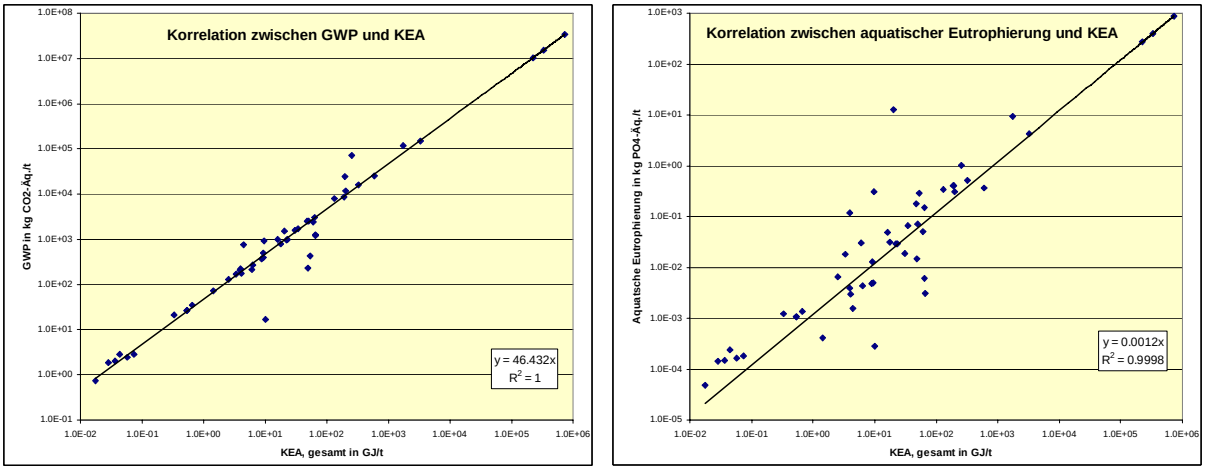

Abbildung 3 Korrelation von Treibhauseffekt und aquatischer Eutrophierung mit KEA

1.2.2 Aggregierte Indikatoren

Neben relativ schlichten Indikatoren wie dem KRA und dem KEA, die eine näherungsweise Repräsentativität mit den meisten Umweltwirkungen abbilden sollen, gibt es andere Ein-Index-Indikatoren, die möglichst viele Umweltwirkungen in sich vereinen. Dazu müssen die jeweiligen Umweltwirkungen aggregiert, gewichtet und in einer gemeinsamen Einheit ausgedrückt werden. Beispiele dafür sind:

- ⇨ EcoIndicator
- ⇨ Ökologischer Fußabdruck
- ⇨ Monetarisierung (Internalisierung externer Effekte)
- ⇨ Ökopunkte
- ⇨ die UEBEL-Methode

Sie alle beinhalten eine Reihe normativer Festlegungen, wie Auswahl der berücksichtigten Teilaspekte, ihre Gewichtung und Methode der Verrechnung zu einem Wert. Je nach normativer Festlegung kann ein solcher Indikator als mehr oder weniger richtungssicher gelten. Meist gibt es Verständigungen über solche Normen in einem nationalen Zusammenhang. Damit hängt die Verwendung stark an dem gesellschaftlichen Kontext ab.

Ein Ein-Index-Wert wie der EcoIndicator ist speziell für rasche Entscheidungsfindungen in der Produktentwicklung erarbeitet und angewendet worden. Leider liegen keine Erfahrungsberichte vor, die solche Entscheidungen dokumentieren und vor allen Dingen die Richtigkeit ihrer abschätzenden Bewertung im Nachhinein nachgewiesen haben.

1.2.3 Einschätzung zur Indikatorenauswahl

Die Anforderungen and Ökobilanz-Daten aus Sicht der Produktentwickler lassen sich für den Bereich der Auswahl eines einfachen Bewertungsindexes wie folgt zusammenfassen:

- ⇨ Für die Entscheidung in einer frühen Phase der Produktentwicklung ist die Verwendung eines einfachen Indikators unabdingbar.
- ⇨ Für aggregierte Indizes sind bereits eine Reihe von Informationen notwendig, die schließlich in einer Zahl aufgehen. Auch wenn solche Kennzahlen für viele Rohstoffe und Produktionsschritte (z. B. Energiebereitstellung, Transport) vorberechnet und tabelliert werden, können sie im Einzelfall doch aufwendig zu gewinnen sein. Damit lässt sich die Verwendung aggregierter Indikatoren z. B. für die Auswahl von Materialien heranziehen.
- ⇨ Aggregierte Indizes beinhalten immer normative Schritte. Je besser die Bedeutung und die Auswahl von Umweltwirkungen und Umweltbelastungen sich aus einem legitimierten Zusammenhang (z. B. staatlich vorgegebene Bewertungen) ergeben, desto besser lassen sich mit einem solchen Index auch richtungssichere und schnelle Entscheidungen z. B. in der Produktentwicklung treffen.
- ⇨ Mit deutlich niedrigerem Erhebungsaufwand sind die zwei vorgestellten Kennzahlen KRA und KEA verbunden, die tabelliert ebenso für einfache Anwendungen zur Verfügung stehen können. Meist ist der Energieaufwand zur Herstellung eines Materials oder eines Produktes, als auch der seiner Nutzungsphase bekannt oder leichter erhebbar als der Rohstoffaufwand.
- ⇨ In der Abwägung von Erhebungsaufwand und möglichst gutem Abbild der Umweltauswirkungen eines Produktes kann daher am ehesten der Kumulierte Primärenergieaufwand als Indikator für einfache Anwendungen vertreten werden.

1.3 Betrachtung einzelner Umweltaspekte

Die Diskussion um den Carbon-Footprint eines Produktes als Indikator für die Auswirkungen der Herstellung und Verwendung dieses Produktes auf den Klimawandel hat gezeigt, dass nicht immer eine einzelne, integrierende Kennzahl ausreicht. Die vielfachen Bemühungen um diesen Indikator zeigen, dass je nach Fragestellung des Entwicklers durchaus andere Parameter herangezogen werden müssen. So bedingt etwa der Einsatz eines nachwachsenden Rohstoffes zur Substitution fossiler Rohstoffe unbedingt der Bewertung mit Hilfe des Treibhausgaspotenzials. Für eine eingehende Schwachstellenanalyse in der Entwicklungsphase eines Produktes ist daher durchaus eine aufwändigere Erhebung und Betrachtung von Umweltinformationen notwendig. Umweltinformationen

beinhalten die Belastungen mit Emissionen auf die Umweltmedien, es existieren aber auch Belastungen wie Flächenbelegungen, Lärm, etc.

Die in der so genannten Sachbilanz ermittelten Daten und Informationen zu Umweltbelastungen sind ihrerseits mit Umweltwirkungen verbunden. In manchen Fällen mag die Ermittlung der Belastungen ausreichend sein, in manchen Fällen – etwa für die Kommunikation über ein Produkt mit Politik und Öffentlichkeit – müssen die Belastungen in Wirkungen übersetzt werden. Dazu müssen zunächst die zu betrachtenden Umweltwirkungskategorien (z. B. Treibhauseffekt) festgelegt werden. Anschließend wird die Zuordnung von Einzelparametern zu den jeweiligen Umweltwirkungskategorien vorgenommen. Im nächsten Schritt wird dann der Beitrag der einzelnen Parameter zu den ausgewählten Umweltwirkungskategorien ermittelt.

Tabelle 1 Übersicht über Einzelparameter und Zuordnung von Umweltwirkungen

Treibhauseffekt	Sommersmog	Eutrophierung	Versauerung	Humantox.	Ökotox.
CH_4	CH_4				
CO_2					
CO				CO	
NO_x	NO_x	NO_x	NO_x	NO_x	NO_x
	VOC				
		SO_2	SO_2	SO_2	SO_2
		NH_4^+	NH_4^+		NH_4^+/NH_3
			HCl	HCl	HCl
			HF	HF	HF
				PM 10	
				B(a)P	B(a)P
				Benzol	
				Dioxin	
				As	As
				Cd	Cd
				Cr	Cr
				Cu	Cu
				Hg	Hg
				Ni	Ni
				Pb	Pb
					AOX
					Sn
					Zn

Tabelle 1 listet eine Reihe von Umweltwirkungen auf, die in der öffentlichen Diskussion genannt werden. Sie sind für eine eingehendere Betrachtung von Schwachstellen gerade in der Produktentwicklung nicht zu vernachlässigen. Um allerdings den Umfang zu reduzieren, sollte man sich auf eine überschaubare, aber relevante Anzahl von Einzelparametern beschränken. In Tabelle 1 ist ein Vorschlag unterbreitet, welche Wirkungskategorien und welche Einzelsubstanzen für eine Lebenszyklusbetrachtung bekannt sein sollten, falls eine eingehendere Schwachstellenanalyse in der Entwicklungsphase benötigt wird.

Selbstverständlich ist es notwendig, sich über weitere, systemspezifische Parameter und Indikatoren auch als Entwickler Gedanken zu machen, falls sie mit einer speziellen Produktion verbunden sind. So wäre etwa bei der PVC-Produktion das Vinylchlorid-Monomer zu beachten, auch wenn es nicht explizit in einer kurzgefassten Liste benannt wird. Eine Hilfestellung für die Erhebung umweltrelevanter Einzelsubstanzen bieten auch die einschlägigen gesetzlichen Regelungen wie z. B. die Festlegung prioritärer Stoffe nach Wasserrahmenrichtlinie oder IPPC-Richtlinie.

Die Anforderungen zur Einbeziehung einzelner Umweltaspekte können neben der Differenzierung hinsichtlich einzelner Parametern allerdings auch den Bezug zu möglichen Freisetzungsorten oder generell Produktionsstätten beinhalten. So ist etwa der Wasserverbrauch, in einem ariden Gebiet als relevant einzustufen, während er für Aktivitäten in der humiden Klimazone als vernachlässigbar angesehen werden kann. Leider lassen sich daraus keine allgemeingültigen Regeln ableiten, da die jeweilige Fragestellung des Entwicklers als Ausgangspunkt zu verschiedenen Anforderungen der Daten im Detail führen wird.

1.4 Nutzung von Umweltprofilen

Bei der Formulierung der Anforderungen an Indikatorwerte und einzelne Parameter zu Bewertungszwecken des Produktentwicklers wurde bereits mehrfach darauf hingewiesen, dass es hilfreich ist, für manche Produktionsschritte Faustzahlen an die Hand zu geben. Insbesondere für die Materialauswahl könnten wichtige Umweltkennzahlen in tabellarischer Form zur Verfügung stehen.

Aus der Erfahrung vieler Ökobilanzen sind es meist die Rohmaterialien und Grundstoffe, deren Gewinnung bzw. Herstellung mit relativ hohen Umweltauswirkungen verbunden sind. Demnach ist die in einem Produkt eingesetzte Menge oft ausschlaggebend für das gesamte Produktsystem. Mit Hilfe von materialspezifischen Umweltprofilen für die wichtigsten Materialien wird es so dem Produktentwickler ermöglicht, schnell die Materialalternativen vor dem Hintergrund verschiedener Materialmengen zu vergleichen. So könnte etwa beim Einsatz von Katalysatoren schnell verglichen werden, ob etwa ein Gramm Platin mit mehr oder weniger Umweltbelastungen verbunden ist als ein Alternativsystem aus 20 g Antimon.

In der Tabelle 2 wird ein Vorschlag eines solchen Umweltprofils präsentiert, das sowohl Faustzahlen für repräsentative Indikatoren wie KEA und KRA, aber auch aggregierte Indikatoren und Einzelparameter enthalten könnte. Es ist allerdings darauf zu achten, ein solches Profil nicht zu überfrachten, da damit die leichte Zugänglichkeit und Anwendbarkeit leiden könnte.

Tabelle 2 **Vorschlag eines Parameter- und Wirkungsprofils für Materialien und Produkte**

Umweltprofil	**z.Bsp. Kupfer**	
Parameter	Wert	Einheit
Beschreibung des Materials		
Kennzahlen Materialherstellung		
Einzelindikatoren		
Kumulierter Energieaufwand		GJ/t
Kumulierter Materialaufwand		t/t
z.B. Ecoindicator		
Belastungen durch Abgasemissionen		
Treibhauseffekt		kgCO2/t
Ozonloch		kgFCKW/t
Versauerung		kgSO2/t
Sommersmog		kgPOCP/t
terrestrische Eutrophierung		kgPO4/t
kanzerogenes Potenzial		g As/t
Feinstaub PM 10		g/t
Quecksilber		g/t
andere		g/t
Belastungen durch Abwasseremissionen		
aquatische Eutrophierung		gPO4/t
Cadmium		g/t
Quecksilber		g/t
AOX		g/t
Abfälle		
mineralische Abfälle		t/t
gefährliche Abfälle		t/t
Sonstige umweltrelevante Einzelaspekte:		

Solche Umweltprofile wären nicht nur für Rohmaterialien hilfreich, sondern auch für relevante Leistungen in einem Produktsystem wie z. B. der Energiebereitstellung oder des Transports. Allerdings stößt das Konzept an seine Grenzen, wenn sehr komplexe Produktsysteme zu untersuchen sind.

1.5 Anforderungen an die Schritte im Lebenszyklus eines Produktes

Anforderungen and Ökobilanzdaten wurden zuerst an Parameterauswahl und -umfang orientiert. Daraus folgen mehr oder weniger aufwändige Arbeiten zur

Datenerhebung, die wiederum durch Instrumente wie vereinheitlichten Umweltprofilen vereinfachten werden können.

Es ist jedoch die wichtige Errungenschaft von Ökobilanzen, dass ein Produkt nicht nur in seiner Herstellung gesehen wird, sondern das gesamte Produktsystem von der Gewinnung der Rohmaterialien über die Nutzung bis zur Entsorgung. Für einen Produktentwickler bedeutet es, dass er insbesondere die außerhalb seines unmittelbaren Einflussbereichs gelegenen Schritte im Lebenszyklus berücksichtigt. Je nach Produkt können die Nutzung und die Entsorgung beträchtlich zur Gesamtumweltbelastung durch ein Produkt oder eine Serviceleistung beitragen. Abbildung 4 verdeutlicht die wichtigsten Schritte in dem Lebenszyklus eines Produktes.

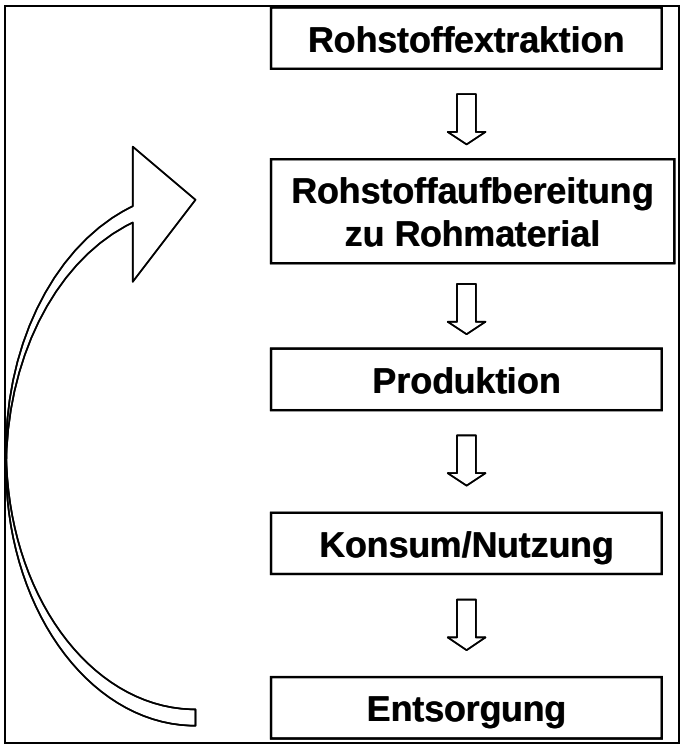

Abbildung 4 Relevante Schritte eines Lebensweges

Der Produktentwickler benötigt für seine Arbeit die Ökobilanzdaten aller relevanten Rohstoffe und Energieträger, die seinen Produktionsbereich betreten. Für die Produktion in seinem Verantwortungsbereich sind insbesondere die Material- und Energiemengen relevant. Dadurch lässt sich – bezogen auf ein Stück Produkt oder eine Gewichtseinheit Produkt – der gewählte Umweltindikator berechnen (cradle-to-gate-Analyse).

Zur Einbeziehung der Lebenszyklusschritte nach der Produktion werden insbesondere Angaben über die Funktion des Produktes gebraucht. Dabei sind

Angaben zu Lebensdauer, Einsatzhäufigkeit und möglicher Verbrauch anderer Güter und Energie zu beachten. Im Rahmen der Entwicklung eines Produktes sollten solche Angaben erhoben werden oder unter Umständen mit Hilfe der Szenarientechnik abgeschätzt und berechnet werden. Damit werden nicht nur wichtige Erkenntnisse über die Produktperformance gewonnen, sondern diese können nun in dem oder den Umweltindikatoren ausgedrückt werden.

Ähnliches gilt für die Betrachtung der end-of-life Phase. Aus der Element-Zusammensetzung des gebrauchten Produkts und weiteren Informationen wie Heizwert, Wassergehalt, Verunreinigungen, etc. lässt sich auf Umweltauswirkungen schließen, indem das Produkt hypothetisch mit verschiedenen Entsorgungstechniken wie Verbrennung, Deponierung oder stofflicher/energetischer Verwertung in Beziehung gebracht wird. Für eine allgemeine Betrachtung eines Produktes in seiner Entwicklungsphase sollte ein Entsorgungsmix für ein spezielles Entsorgungsgebiet (Land, Region) zur Verfügung stehen, um den mengenmäßigen Beitrag der Entsorgung zum Gesamtlebensweg für den jeweiligen Parameter abschätzen zu können.

Um die Betrachtung eines ganzen Lebensweges zu erhalten und seine Einbeziehung in Entscheidungen zu gewährleisten, bietet sich eine Darstellung des oder der Bewertungsindikatoren im Tortendiagramm an. Ein Tortendiagramm lässt auf den ersten Blick erkennen, welches die umweltrelevantesten Schritte im Lebenszyklus und welches die umweltrelevantesten Materialien sind.

1.6 Zusammenfassende Anforderungen aus Sicht der Produktentwicklung

Die Anforderungen an Ökobilanzdaten aus der Sicht der Produktentwickler ergeben sich aus dem Arbeitsstand der Entwicklung des Produkts.

In einem frühen Stadium der Produktentwicklung sollten mit einem minimalen Aufwand an Datenerhebung einfachste Zusammenhänge ermittelt werden. Mit einem Umweltindikator – am besten geeignet erscheint der „Umweltrepräsentant“ Kumulierter Primärenergieaufwand – können schnell verschiedene Varianten und Materialzusammensetzungen überprüft werden. Mit Hilfe von Primärenergiekennzahlen für Materialien (z. B. in Umweltprofilen) und Annahmen über Nutzung und möglichen Entsorgungswegen können orientierende Abschätzungen gerechnet werden.

Ist die Produktentwicklung fortgeschritten, so ist das Augenmerk auch auf andere Umweltindikatoren zu erweitern, um mögliche Zielkonflikte zu erkennen. Die Umweltindikatoren sollten sich aus Umweltwirkungen und ggfs. aus einzelnen Belastungsparametern zusammensetzen. Ihre Auswahl hängt eng mit dem jeweiligen Produkt selbst zusammen und bedarf eines ungefähren Wissens um die möglichen relevanten Parameter. Eine Liste an allgemein anwendbaren Wirkungskategorien

und Belastungsparametern wurde vorgeschlagen. Eine solche Liste ist immer an Hand der im speziellen Produktfall bekannten Parameter zu ergänzen (oder zumindest sollte auf spezielle Umweltaspekte geprüft werden).

Zu einem bestimmten Zeitpunkt sollte mit Hilfe der Szenarientechnik analysiert werden, ob die Nutzungs- und Entsorgungsphase unter bestimmten Randbedingungen große Bedeutung erlangen kann. Danach ist zu prüfen, ob nicht vorteilhafte Randbedingungen beim Nutzen und Entsorgen des Produkts durch entsprechende Materialwahl oder Performanceeigenschaften reduziert oder verhindert werden können.

Wichtig für den Produktentwickler ist das Denken in einem System, dem Produktsystem. Die Anforderungen an Informationen und Daten sollten dem Blickwinkel „System“ angepasst werden und unterstützende Materialien zur Verfügung gestellt werden. Informationsdefizite rechtfertigen nicht den Verzicht auf Lebenszyklusbetrachtungen.

ARBEITSPAKET 2

Bearbeitung: ifu
Observer: PE

2 Branchenspezifische LCA-Inventaranforderungen

Damit Ökobilanzen Verfahren und Produkte möglichst realitätsnah abbilden können, ist eine Vollständigkeit des Inventars, also der erfassten Ressourcenverbräuche und umweltrelevanten Emissionen, wünschenswert. Die Praxis zeigt, dass die Methode der Ökobilanzierung in vielen Betrieben nicht angewendet wird. Ein wesentlicher Grund hierfür ist in dem hohen zeitlichen Aufwand für die Datenerhebung fehlender Datensätze und dem damit verbundenen hohen Kostenaufwand zu sehen. Diese Vervollständigungen von Inventaren durch den Anwender führen außerdem in der Regel zu Verlusten in der Datenqualität und der Symmetrie. Ein Bewertungssystem benötigt aber gleichförmig strukturierte Datensätze.

Branchenspezifische Filter zeigen im Idealfall nur die für den Industriebereich ökologisch bedeutsamen Elementarströme an und bewirken dadurch:

1. eine gute Übersicht über relevante Rohstoffe und Emissionen
2. eine ziel- und ergebnisorientierte Datenaquise
3. eine Verbesserung der Datenqualität und Symmetrie
4. Verkürzung von Berechnungs- bzw. Arbeitszeiten aufgrund einer Reduktion der Datenmengen

Damit wird die Durchführung von Ökobilanzen in der industriellen Produktentwicklung wesentlich vereinfacht. Der Einsatz von branchenspezifischen Filtern kann somit die Verlässlichkeit und Qualität von Ökobilanzen erhöhen, Arbeitszeiten verkürzen und für eine breitere Akzeptanz und Nutzung sorgen.

Die bedeutsamen Emissionen und Ressourcenverbräuche variieren von Branche zu Branche. Aus den bestehenden Projekterfahrungen von ifu Hamburg sollen die Branchen Druck, Chemie, Biotechnologie und Abfall herangezogen werden, um die praktischen Auswirkungen von Inventarfiltern zu untersuchen. Dazu wird exemplarisch ein geeignetes Projekt aus den bereits genannten industriellen Bereichen ausgewählt und bezüglich branchenspezifischer Materialien und Emissionen untersucht. Ziel ist es, anhand dieses Beispielprojekts zu untersuchen, ob durch den Einsatz eines Filters die Anzahl der Elementarströme signifikant reduziert werden kann, während die Qualität des Ergebnisses gesichert beibehalten werden soll. Es werden Anforderungen für das strukturelle Vorgehen zur Erstellung branchenspezifischer Filter formuliert.

2.1 Hintergrund

In der Praxis stehen für die Ökobilanzierung betriebsinterner Prozesse nur wenige der wichtigen In- und Outputs direkt zur Verfügung. Für den betrieblichen Anwender (z. B. einen Produktentwickler) besteht die Herausforderung, für die Prozessdaten Datensätze mit kompletten Vorketten aus verfügbaren Datenbanken zu

recherchieren. Oft werden hierfür große Dateninventare, wie z. B. die ecoinvent-Datenbank, genutzt. Doch in der Regel bleiben einige Prozessschritte übrig, für die keine Datensätze erfasst sind. Die Datenaquise für diese fehlenden Datensätze ist eine der zeitintensivsten Arbeitsbereiche bei der Erstellung von Ökobilanzen. Die Datensätze aus dem zur Recherche benutzten Dateninventar beinhalten zu jedem Datensatz ein beträchtliches Informationsvolumen, das für jeden Datensatz gleich groß ist. Für den betrachteten Prozess ist der größte Teil davon irrelevant. Dennoch muss der Anwender auch für den neuen Datensatz Informationen zu derselben Menge erzeugen, um einen fehlenden Datensatz für das bestehende Inventar zu generieren. Dies muss er tun, weil die Datenstruktur beibehalten werden muss, und die Anwendung (z. B. das Bewertungssystem) Datensätze desselben Formats benötigt. Hierbei leidet meist die Datenqualität aufgrund differenter Methoden zur Datenberechnung bzw. -ableitung. Außerdem führen diese Vervollständigungen von Inventaren durch den Anwender in der Regel zu Verlusten der Symmetrie, da die von diesen Inventaren geforderte sehr umfangreiche Datenmenge nur teilweise ermittelt werden kann. Die Erhebung aller geforderten Daten ist zeitlich und finanziell nicht leistbar. Um diesen Verlust an Datenqualität und Symmetrie zu vermeiden, und um den Vorgang der Datenermittlung insgesamt zu vereinfachen, ist die Entwicklung und Anwendung branchenspezifischer Inventarfilter hilfreich. Ihr Einsatz verringert die Komplexität der Datenaquise wesentlich durch Reduktion des zu handhabenden Datenvolumens. Die nachfolgende Abbildung verdeutlicht dies.

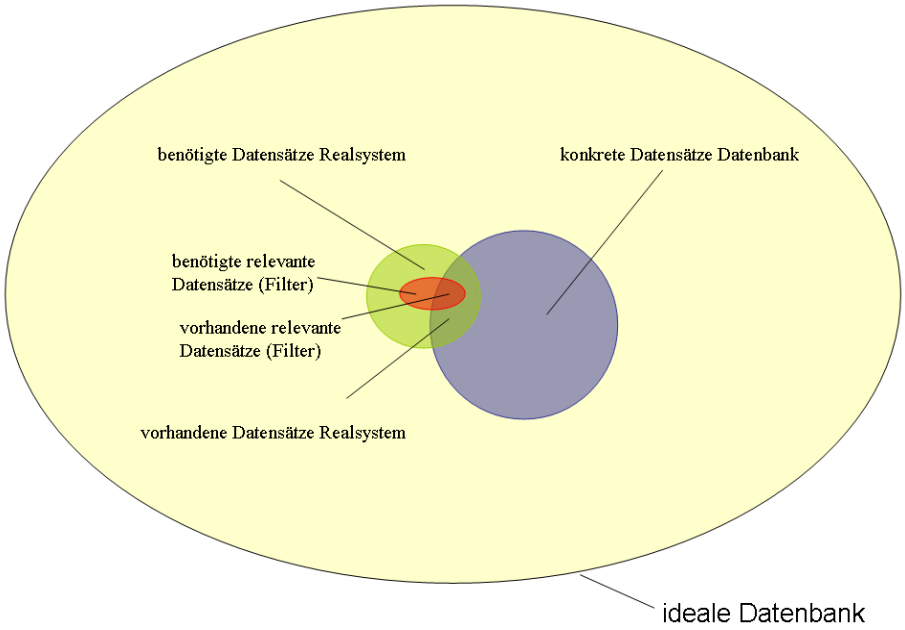

Abbildung 5 Darstellung der Datensatzreduktion durch Verwendung von Filtern

Die ideale Datenbank existiert noch nicht und in der Regel deckt die Menge an verfügbaren Datensätzen aus der Datenbank nicht die komplette Menge der für die

Prozessabbildung benötigten Datensätzen ab. Die vorhandenen Datensätze der Datenbank reichen nicht aus, um das Realsystem hinreichend genau beschreiben zu können.

Der Einsatz von Filtern kann hier die Menge der zu ermittelnden Daten wesentlich reduzieren, ebenso wie die Datenmenge, die insgesamt weiterverarbeitet wird.

2.2 Technische Aspekte von Filtern für Ökoinventare

Dieser Abschnitt soll das Konzept von branchenspezifischen Filtern für Ökoinventare aus technischer Sicht beleuchten. Solche Filter haben die Reduktion von Komplexität zum Ziel. Es können drei Bereiche unterschieden werden, innerhalb derer Komplexität reduziert wird:

- Modellierung und Datenerhebung: Die Erhebung von Daten für Prozessdefinitionen ist sehr zeitaufwändig. Dieser Vorgang kann erheblich beschleunigt werden, wenn nur die relevanten Elementarflüsse betrachtet und alle anderen ausgeblendet werden. Ebenso können auch Prozesse ausgeblendet werden, welche in ihrer Gesamtwirkung auf das System ohne größere Bedeutung sind.
- Berechnung des Gesamtsystems:
  Werte für einzelne Prozessdefinitionen beziehen sich meistens auf Systeme mit strenger lokaler Abgrenzung. Dabei werden Vorketten von Produktionsprozessen außen vor gelassen, was wesentliche Einflussfaktoren für die Einschätzung der Wirkung des Prozesses ausblenden kann. Um diese Vorketten mit zu berücksichtigen, können Prozessdefinitionen mit Vorketten berechnet werden (vgl. [54]). Die Komplexität und damit die Dauer dieser Berechnung steigt in dritter Potenz mit wachsender Anzahl von Prozessdefinitionen. Ein Filter kann diesen Vorgang beschleunigen (näheres siehe Abschnitt „Filter auf Datenbeständen“)
- Bewertung der Ergebnisse:
  Bei Kennzahlensystemen und Bewertungsmethoden sind es häufig nur wenige Faktoren, welche großen Einfluss auf die Gesamtwirkung von Prozessen haben. Ein Filter kann hier die Ergebnisse einer Bewertung übersichtlicher gestalten und somit eine Wirkungsabschätzung auf die wesentlichen Zahlen reduzieren.

Definition Filter:

Ein Filter ist eine injektive Abbildung einer Menge von Elementen **U** auf eine Teilmenge **B**, also

$$U \rightarrow B \text{ mit } U \supseteq B$$

Für die Betrachtung technischer Umsetzung branchenspezifischer Filter sollten einige Annahmen getroffen werden.

Zum einen wird sinnvollerweise vorausgesetzt, dass ein Filter (die Abbildungsvorschrift) deterministisch ist und somit aus

$$U \rightarrow B \text{ und } U' \rightarrow B'$$

sowie U=U' folgt, dass B=B'. Da bei Filtern zu erwarten ist, dass Filtervorgänge sehr häufig vorgenommen werden, sollte die Berechnung der Abbildungsvorschrift schnell durchführbar sein.

Umgekehrt sollte nicht vorausgesetzt werden, dass aus der Bildmenge Rückschlüsse auf die Art des Filters gezogen werden können.

2.2.1 Filter-Verfahren

Zunächst stellt sich die Frage, auf welche Art und Weise Filter definiert werden können. Hierbei können zwei Verfahren unterschieden werden: Listenfilter und Prädikat-Filter.

Bei einem Listenfilter werden manuell einzelne Elemente der Menge U festgelegt. Beim sogenannten whitelist-filtering dürfen die festgelegten Elemente den Filter passieren, alle anderen hingegen nicht. Im Gegensatz hierzu steht das Verfahren des blacklist-filterings, bei dem die Elemente von U definiert werden, welche nicht berücksichtigt werden. Der Unterschied zwischen beiden Verfahren wird dann relevant, wenn neue Elemente zu U hinzugefügt werden. Beim whitelist-filtering hat dies solange keine Konsequenzen auf B, bis die neuen Elemente explizit auf die whitelist gesetzt werden. Beim blacklist-filtering hingegen sind neue Elemente in U implizit auch in B enthalten.

Die manuelle Filterung hat den Nachteil, dass sie sehr zeitaufwändig ist. Zudem muss bei neuen Elementen in U zeitnah entscheiden werden, ob diese relevant sind oder nicht und entsprechend auf die white- bzw. blacklist gesetzt werden müssen.

Als Alternative zur manuellen Filterung können Prädikatfilter betrachtet werden. Zur Benutzung von Prädikatfiltern werden eine Reihe von Elementar-Prädikaten P1, P2...Pn definiert, welche für jedes $D \in U$ effizient entschieden werden können. Ein Prädikatfilter besteht aus einem oder mehreren Prädikaten, die mit □ und □ verknüpft werden können. Damit kann für ein $D \in U$ effizient entschieden werden, ob es Element von B ist oder nicht. Insbesondere kann für einen Prädikatfilter F schnell die Menge B berechnet werden. Die notwendigen mathematischen Operationen für Prädikatfilter sind dabei so einfach gehalten, dass alle gängigen Rechnersysteme diese Berechnung vornehmen können.

Auch bei Prädikatfiltern stellt sich die Frage, ob die Definition einschließend (whitelists) oder ausschließend (blacklists) erfolgt. Im Unterschied zu manuell

erstellten Filterlisten kann jedoch bei neu hinzugekommenen Elementen sofort entscheiden werden, ob die neuen Elemente den Filter passieren oder nicht.

Filter können als Black-box betrachtet werden, welche eingehende Datenströme in ausgehende transformieren. In dieser Hinsicht können einzelne einfache Filter zu komplexen Filtersystemen kombiniert werden, auch wenn die Filter intern nach unterschiedlichen Prinzipien funktionieren.

2.2.2 Filter auf Datenbeständen

Die bisherigen Ausführungen hatten noch rein abstrakten Charakter. Im Weiteren steht U für ein konkretes Ökoinventar. Ein Ökoinventar ist ein Datenbestand, welcher einzelne Datensätze enthält. Jeder Datensatz steht hierbei für einen Prozess, bei dem mehrere Vorprodukte zu einem Produkt verarbeitet werden. Diese Verarbeitung kann verbunden sein mit Ressourcenentnahmen und Emissionen. Die Datensätze sind untereinander mittels Input- und Outputfaktoren verknüpft. Diese Faktoren besagen, wie viel Einheiten eines Prozesses oder einer Ressource zur Durchführung eines mit ihm verknüpften Prozesses benötigt wird bzw. welche Emissionen dabei entstehen. Innerhalb dieser Prozessdefinitionen kann unterschieden werden zwischen technologischem Bereich (Produkte und Vorprodukte) sowie dem Bereich der Elementarflüsse (Ressourcenentnahme und Emissionen).

Um den Einfluss von Prozessen auf die Umwelt abschätzen zu können existieren verschiedene Methoden der Wirkungsabschätzung. Diese sehen für bestimmte Elementarflüsse (beispielsweise Bodennutzung, CO_2-Emmissionen) Gewichtungsfaktoren vor, die festlegen, wie stark ein Elementarfluss in die Gesamtwirkung einfließt. Um Prozesse derart zu bewerten, werden die einzelnen Elementarflüsse mit den entsprechenden Faktoren multipliziert und die Summe gebildet. Es zeigt sich, dass für diese Anwendung von Ökoinventaren die Filterung besonders anschaulich ist: eine Filterung entspricht einer Beschränkung des Verfahrens auf bestimmte Elementarströme. Dies entspricht einer Reduktion der notwendigen mathematischen Operationen, was je nach Bereich unterschiedliche Vorteile hat:

Tabelle 3 Folgen von Filterungsvorgängen

Bereiche	Vorteile von Filtervorgängen
Reduktion der Prozessverknüpfungen	● Weniger Aufwand bei der Datenerfassung ● Merkliche Beschleunigung der Berechnung
Reduktion der betrachteten Elementarflüsse	● Weniger Aufwand bei der Datenerfassung ● Übersichtlichere Ergebnisse der Vorkettenberechnung
Reduktion der Wirkungsabschätzungs-Faktoren	● Übersichtlichere Ergebnisse der Wirkungsabschätzung Indikatoren

Zu bemerken ist, dass eine Reduktion der Prozessverknüpfungen abweichende Ergebnisse für die Vorkettenberechnung produziert, als sich aus einem ungefiltert modellierten System ergeben. Das Ausmaß der Abweichung kann dabei zwar vorher prinzipiell berechnet werden, diese Berechnung ist allerdings sehr komplex und stark von der Vernetzung der Prozesse untereinander abhängig. Aus diesem Grund ist eine einmalige Berechnung des ungefilterten Gesamtsystems empfehlenswert, um die Abweichungen gefilterter Ergebnisse abschätzen bzw. einordnen zu können.

2.2.3 Technische Umsetzung von Filtern

Technisch können Filter prinzipiell auf zwei Arten eingesetzt werden: entweder wird ein bestehender Datenbestand gefiltert und für spätere Anwendungen als unabhängiger, neuer Datenbestand benutzt. Nachteilig bei dieser Lösung ist, dass sich die verschiedenen Datenbestände bei Modifikationen und Ergänzungen unabhängig voneinander entwickeln. Eine Zusammenführung dieser einzelnen Datenbestände zu einem späteren Zeitpunkt wird damit nahezu unmöglich. Des Weiteren sind Korrekturen und Änderungen am ungefilterten ursprünglichen Datenbestand nicht automatisch in den abgeleiteten Datenbeständen enthalten, so dass hier Vorkehrungen zur Synchronisation getroffen werden müssen.

Aus den angeführten Gründen ist es empfehlenswerter, einen zu filternden Datenbestand zentral zu belassen und die Daten bei der Übertragung zur Anwendung zu filtern. Als Filterverfahren können dabei sowohl Listenfilter als auch Prädikatfilter benutzt werden.

Es stellt sich des Weiteren die Frage, innerhalb welchen Systems ein Filtermechanismus implementiert wird. Hierfür kommen das System in Frage, welches die Daten verwaltet, die Anwendung oder eine eigene Filterkomponente, welche zwischen diesen beiden steht. Diese Möglichkeit bietet verschiedene Vorteile: der Filter kann auch mit bestehenden Kombinationen aus Datenbestand und Anwendung benutzt werden, wenn er für beide Systeme transparent arbeitet. Abbildung 5 verdeutlicht diese Konstruktion, welche im Folgenden als Filter-In-The-Middle (FITM) bezeichnet wird. Die Pfeile stellen die Datenflüsse dar.

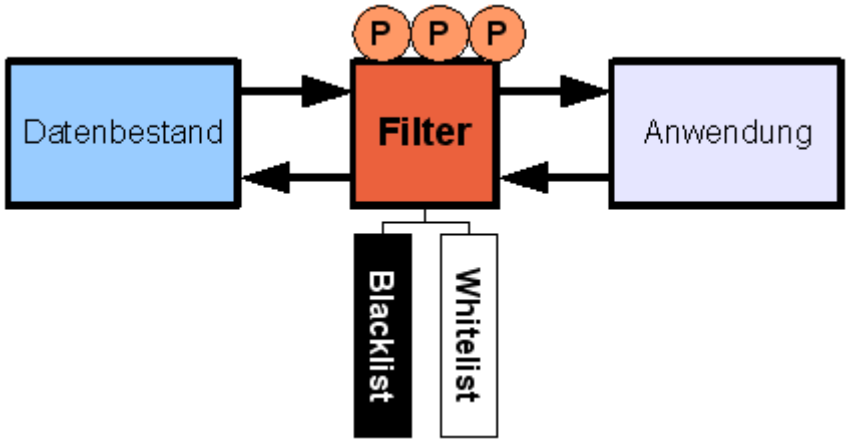

Abbildung 6 Filter als Datenmakler zwischen Datenbestand und Anwendung

Die technische Entwicklung eines Filters ist abhängig von der Technik, die zur Speicherung und Verwaltung des Datenbestandes benutzt wird. Hierfür kann jedes System benutzt werden, welches für die Verwaltung und Speicherung großer Datenmengen ausgelegt ist.

Für die Implementierung eines Listenfilters muss ein solches System ein Identitätskonzept für Datensätze haben, mit dem einzelne Datensätze bestimmt werden können. Der Filter kann anhand eines Datensatz-Identifikators und einer Liste entscheiden, ob der Datensatz den Filter passieren darf oder nicht.

Die Umsetzung von Prädikatfiltern setzt die Überprüfung der Prädikate für die Menge aller Datensätze voraus. Ein Identitätsmodell ist hierfür zwar nicht notwendig, wohl aber die Möglichkeit strukturierte Abfragen auf der Menge aller Datensätze des Datenbestands. Ein Boolescher Ausdruck aus Elementarprädikaten kann dann in eine Abfrage transformiert werden, mit welcher genau die Datensätze des Datenbestands zurückgeliefert werden, welche den Prädikatsausdruck des Filters erfüllen.

So gut wie jedes moderne System zur Datenverwaltung erfüllt die beiden Bedingungen. Beispiele hierfür sind relationale und objektorientierte Datenbankmanagementsysteme (im Folgenden RDBMS und OODBMS genannt), OLAP-Systeme oder XML-Dateien.

2.2.4 Beispiel: Filter für Datensätze in einer relationalen Datenbank

Am Beispiel einer relationalen Datenbank sollen die Möglichkeiten einer Filter-Implementierung erläutert werden.

Zunächst bieten RDBMS mit dem Konzept von Views die Möglichkeit, Daten gefiltert zu einer anfragenden Anwendung zurückzuliefern. Ein View ist die Definition einer Sichtweise auf Daten. Erlaubt sind dabei Komposition, Filterung und Verknüpfung von Datensätzen untereinander mittels der relationalen Abfragesprache SQL

(structured query language). Solche Sichtweisen stellen sich einer Anwendung als transparent dar, d.h. es kann nicht unterschieden werden, ob es sich um eine Tabelle oder einen View handelt. Um jedoch alle Möglichkeiten von RDBMS bezüglich der Datenmanipulation auch bei Views zu erlauben, ist die Definition von Views bei RDBMS beschränkt. Diese Beschränkungen sind je nach verwendetem RDBMS unterschiedlich.

Bei der skizzierten Umsetzung von Filtern mit RDBMS-Views liegt der Filter allerdings nicht zwischen Anwendung und Datenbestand. Die konkrete Definition von Filtern geschieht innerhalb des RDBMS.

Deshalb ist der Einsatz eines Datenproxys geeigneter. Ein Datenproxy ist eine eigenständige Softwarekomponente, welche sich in die Kommunikation zwischen Datenbestand und Anwendung einschaltet und dabei eine Filterung der Daten vornehmen kann. Abbildung 7 verdeutlicht den Aufbau. Die gestrichelten Pfeile stehen dabei für die Datenströme.

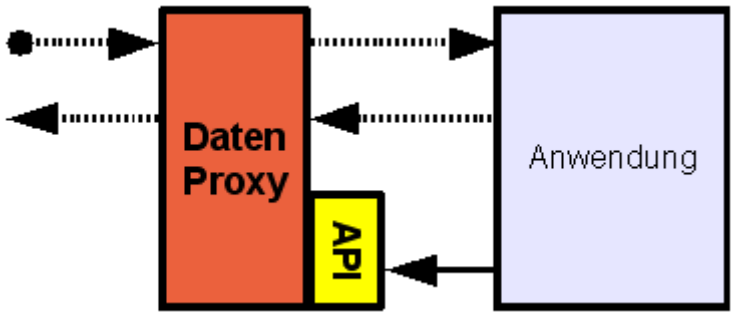

Abbildung 7 Datenproxy mit Filterfunktion

Der Datenproxy bietet über ein API (Application Programming Interface) für die Anwendung die Möglichkeit, den Filter zu konfigurieren, beispielsweise white- oder blacklists zu definieren. Durch diese Konfigurierbarkeit ist gewährleistet, dass eine Anwendung für unterschiedliche Branchen benutzt werden kann. Hierzu können vom Anwender im Vorfeld der Modellierung branchenspezifische Filter definiert und gespeichert werden. Für die Anwendung selbst geschieht die Filterung im späteren Verlauf transparent. Ihr muss nur das Filter-API des Datenproxys bekannt sein und sie sollte dem Anwender ermöglichen, eigene Filter definieren zu können. Ebenso sinnvoll ist die Möglichkeit, eine Anwendung mit vordefinierten branchenspezifischen Filtern auszuliefern. Ein Geschäftsfeld eröffnet sich bei der Umsetzung des obigen Modells auch für Drittanbieter, welche branchenspezifische Filter entwickeln und anbieten können.

2.3 Skizzierung einer Filtererstellung für ein Fallbeispiel

Nachdem in Kapitel 2 technische Anforderungen für die Filtererstellung beschrieben wurden, soll in diesem Kapitel der Kurzstudie das strukturelle und inhaltliche Vorgehen zum Erstellen eines Filters vereinfacht anhand eines Beispiels skizziert werden.

Filtervorgänge für Ökoinventare sind wie in Kapitel 2 erläutert zunächst auf drei Ebenen denkbar:

1 auf technologischer Ebene: das bedeutet die Ausblendung ökologisch irrelevanter Prozessschritte

2 auf Elementarflussebene: das bedeutet die Reduktion der betrachteten Elementarströme

3 auf der Ebene der Wirkungsabschätzung: das bedeutet die Reduktion der zu betrachtenden Wirkungskategorien

Zu 1: Für eine ganze Branche allgemeine Prozessschritte zu identifizieren, die ökologisch keinen Einfluss haben, ist kaum vorstellbar, auch wenn dies eine sehr gewünschte Reduktion des Datenvolumens bedeutete. Für die Prozessebene einer Branche einen Filter einzusetzen, ist mit Sicherheit nicht unkritisch zu betrachten. Die Entwicklung eines solchen Filters ist gewiss nicht für jede Branche realisierbar und benötigt im Vorfeld ausgiebige branchenspezifische Forschung. Ein solcher Filtervorgang wird hier nicht untersucht.

Zu 3: Filter auf der Ebene der Wirkungsabschätzung sind für Anwender sinnvoll, die sich nur für bestimmte Wirkungspotentiale interessieren. Wenn sich für eine Branche eine Dominanz gewisser Wirkungskategorien herausstellen sollte, könnte hier ein branchenspezifischer Filter entwickelt werden. Solche Filter werden hier ebenfalls nicht betrachtet.

Zu 2: In dieser Kurzstudie soll die Filtererstellung auf Elementarflussebene untersucht werden. Diese ist zunächst sicherlich die wichtigste Ebene für einen zu erstellenden Filter. Denn für die Ermittlung der für eine Branche entscheidenden Ressourcenverbräuche und umweltrelevanten Emissionen lassen sich leicht strukturierte Vorgehensweisen ableiten.

In diesem Fallbeispiel soll für die Untersuchung relevanter Elementarströme eine gängige ökologische Bewertungsmethode eingesetzt werden. Es wird Umberto als LCA-Bilanzierungstool und ecoinvent 1.2 als LCA-Datenbank eingesetzt.

Sicherlich ist es zur Erstellung branchenspezifischer Filter notwendig, unterschiedliche Bewertungsmethoden zu untersuchen, allerdings ist dies im Rahmen dieser Studie nicht möglich. An dieser Stelle kann abschließend nur ein Ausblick gegeben werden. Außerdem kann hier nur ein Beispielprojekt untersucht

werden, während für die Identifizierung branchenspezifischer Verbräuche und Emissionen eine Vielzahl von Projekten kombiniert untersucht werden müsste. Auch hierzu kann nur ein Ausblick auf ein sinnvolles Vorgehen gegeben werden.

Aus den zur Verfügung stehenden Branchen Druck, Chemie, Biotechnologie wurde die Branche Papier für diese Demonstrationsstudie ausgewählt. Die anderen Branchen sind allerdings gleichermaßen geeignet.

Es ist festzustellen, dass LCA-Datenbanken, wie ecoinvent, ihre Datensätze dem Anwender zum Teil bereits in nach Branchen geordneten Strukturen anbieten, wie die nachfolgende Abbildung für die Resultdatensätze zeigt (Elementarflüsse) zeigt.

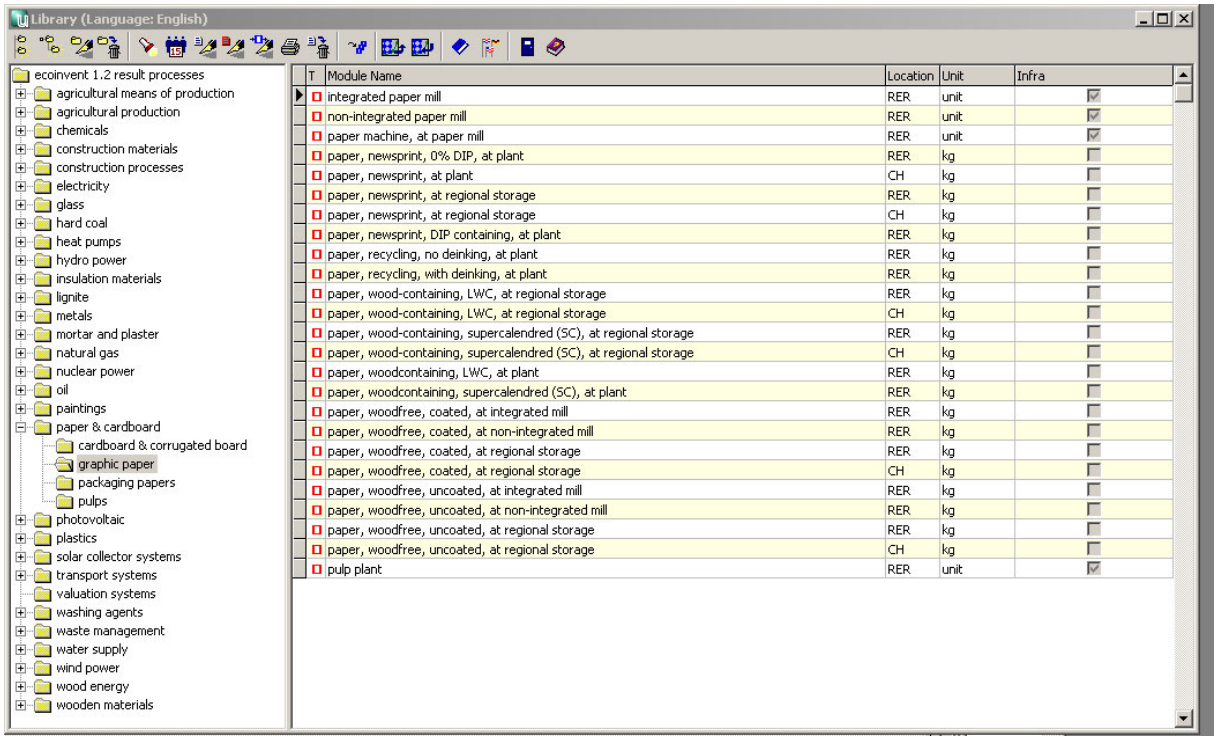

Abbildung 8 **brachenspezifische Gliederung der Datensätze in ecoinvent für die Result-Prozessdatensätze**

2.3.1 Datensatzdarstellung auf Fluss- und Prozessebene in Umberto®

Ökoinventare unterscheiden zwischen Fluss- und Prozessebene. Diese Darstellung ist auch in Umberto möglich und sinnvoll. Bei der Erstellung einer Ökobilanz benötigt der Produktentwickler Prozessdatensätze, die alle relevanten Elementarströme enthält. Die nachfolgende Tabelle 4 zeigt die Struktur der Datensätze aus drei Branchen. Die Daten werden unterteilt in Elementarströme und Prozesse, jeweils aufgeteilt nach Input- und Outputseite.

Tabelle 4 Struktur ausgewählter Result-Datensätze aus Ecoinvent 1.2

	Input	Output	Gesamt
Produktion Papier			
Elementarströme	162	841	1003
Prozesse	-	1	1
Produktion Metall			
Elementarströme	162	841	1003
Prozesse	-	1	1
Produktion Chemikalie			
Elementarströme	162	841	1003
Prozesse	-	1	1

Es wird ersichtlich, dass in jedem einzelnen der etlichen für ein Verfahren zu bilanzierenden Prozessdatensätze jeweils 1003 Elementarströme erfasst sind. Das bedeutet, dass für jeden einzelnen Prozessschritt 1003 Elementarströme aufgeführt sind bzw. ermittelt werden müssen. Diese Darstellung der Daten spiegelt die Sicht des LCA-Experten wider, weil die erfassten Elementarflüsse die Grundlage für Vervollständigungen von Inventaren als auch für spätere Auswertungen bilden.

Meistens kann ein Unternehmen die eigenen Elementarströme noch selbst bestimmen. Die Bestimmung der Elementarflüsse, die durch die Betrachtung der Hilfs- und Zwischenprodukte bei der eigentlichen Produktion sowie innerhalb der Vorketten entstehen, ist für den Produktentwickler eher schwierig zu recherchieren. Für einige Prozesse wird der Produktentwickler noch Datensätze in einer LCA-Datenbank finden, für andere muss er einen Datensatz generieren und dabei den Prozess auf die im Inventar hinterlegten 1003 Elementarflüsse untersuchen.

2.3.2 Filtererstellung

Es soll untersucht werden, ob bei Qualitätssicherung des Ergebnisses durch den Einsatz eines Filters die Anzahl der Elementarströme signifikant reduziert werden kann. Aussagen über eine Reduzierung dieser Matrix durch Filter können gut getroffen werden, wenn Informationen über die ökologische Relevanz einzelner Prozesse und Elementarflüssen vorliegen. Das macht für die Filtererstellung den Einsatz eines Bewertungssystems sinnvoll, denn ökologische Relevanz kann nur durch ein Bewertungssystem sichtbar gemacht werden. Für diese Kurzstudie wurde das Bewertungssystem Ecoindicator 99 (E,E) ausgewählt. Andere Bewertungssysteme sind auch anwendbar. Ecoindicator 99 (E,E) bildet letztendlich eine hochaggregierte Kennzahl, wie in der folgenden Abbildung 9 dargestellt ist.

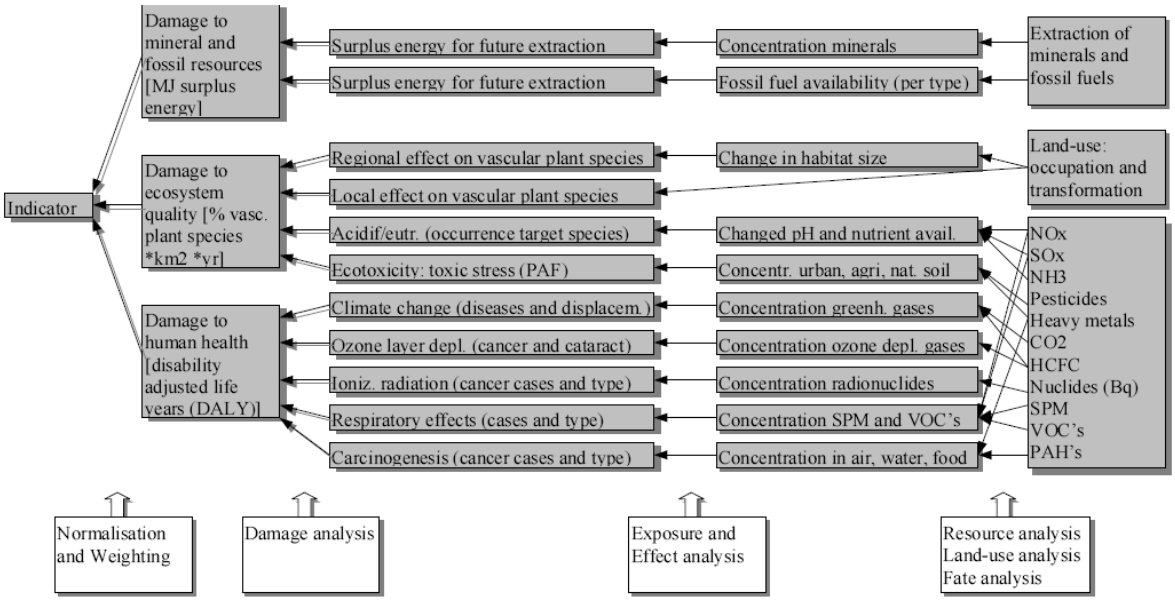

Abbildung 9 Aggregation der Eco-Indicator 99 Kennzahl [56]

Als Abschneidekriterium wird im Handbuch der Methodik des Netzwerkes Lebenszyklusdaten aufgeführt, dass für eine hinreichende Datensatzqualität ein so großer Anteil der einen Prozess beschreibenden Stoff- und Energieflüsse auf Prozessebene erfasst werden müssen, dass zumindest die Umweltwirkungskategorien Treibhauspotential, Versauerungspotential, Eutrophierungspotential und photochemisches Ozonbildungspotential und zusätzlich der Primärenergiebedarf 95 % ihres Wirkungspotentials im Vergleich zum vollständigen Fall haben.

Die genannten Wirkungskategorien werden in der Eco-Indicatormethode verwendet. Aus Zeitgründen wird hier ein hochaggregierendes Bewertungssystem benutzt. Ebenfalls aus Zeitgründen wird angenommen, dass eine geringe Abweichung der mit einem Filter ermittelten Kennzahl von bis zu 5 % eine hinreichende Inventarqualität darstellt. Hier besteht aber noch weiterer Untersuchungs- bzw. Korrekturbedarf. Ziel ist in einem ersten Schritt nur die Demonstration einer möglichen methodischen Verfahrensweise zur Filtererstellung.

Der Vorgang der Filterung des Inventars besteht aus einer Selektion der relevanten Elementarflüsse, die maßgeblich für die gewichtete Kennzahl verantwortlich sind. Dazu wurde in dieser Studie zu jedem Elementarstrom der relevante einheitsbezogene Wert – z. B. Massenstrom in kg – mit dem aggregierten, für die Kennzahlbildung relevanten Gewichtungsfaktor multipliziert. Dieser gebildete Wert zu jedem Elementarstrom bildete die Grundlage für die Filterung. Durch systematisches Vorgehen konnten Wertebereiche für eine Filterung festgelegt werden, damit für den Untersuchungsgegenstand ein Kennzahlenwert von etwa 95 % erreicht wurde.

2.4 Ergebnis

Die Anwendung des Bewertungssystems Eco-Indicator 99 (E,E) ergab eine Gesamt-Kennzahl von 56,41 Punkten, die auch aufgeschlüsselt nach den drei Kategorien „Menschliche Gesundheit“, „Ressourcen“ und „Ökosystemqualität“ dargestellt werden kann. Eine analysierende Betrachtung dieser Ergebnisse soll in dieser Studie nicht erfolgen. Wichtig für die weitergehende Untersuchung ist die Frage, ob mit dem in dieser Studie skizzierten Filter eine ähnlich hohe Kennzahl (95 % davon) erreicht werden kann, und wie umfangreich dieser Filter die Elementarströme des Ökoinventars reduzieren kann.

Tabelle 5 Ergebnisse der Eco-Indicator 99 Methode

Item	Quantity	Unit
Total		
Total	56,41	points
Menschliche Gesundheit		
Total	17,43	points
Krebserregende Stoffe	3,48	points
Klimawandel	2,31	points
Radioaktive Strahlung	0,35	points
Atemwegserkrankungen	11,29	points
Ozonabbau	0,00	points
Ressourcen		
Total	30,14	points
Fossile Brennstoffe	29,09	points
Mineralien	1,05	points
Okosystemqualität		
Total	8,84	points
Okotoxizität	3,82	points
Landnutzung	3,64	points
Versauerung & Eutrophierung	1,38	Points

Die Filterung des Inventars auf ökologisch relevante Elementarströme ergab, dass eine Reduzierung von 1003 auf 41 Elementarströme noch ein der Definition nach genügendes Ergebnis von 95 % der ohne Filter ermittelten Eco-Indicator-Kennzahl liefert. Mit 107 Elementarströmen werden sogar über 99,7 % erreicht.

Die nachfolgenden Abbildung 10 und Abbildung 11 verdeutlichen die Ergebnisse. In jeder Graphik ist ein nach der Eco-Indicator 99 (E,E) Methode gewichteter Elementarfluss dargestellt. In den Abbildungen sind die gewichteten Elementarströme alphabetisch sortiert, auch wenn sie in der Graphik nicht namentlich genannt sind, sondern als Zahlen aufgelistet werden.

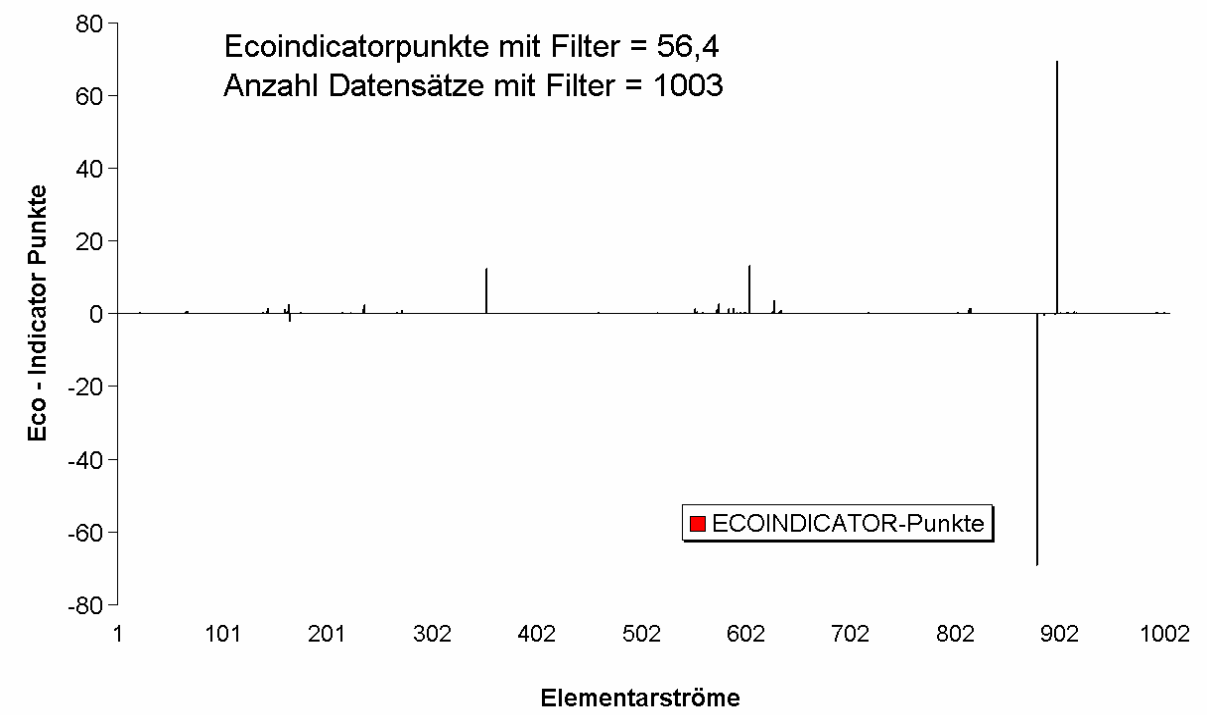

Abbildung 10 **gewichtete Elementarströme des Ecoinvent – Datenbankinventars für das Fallbeispiel**

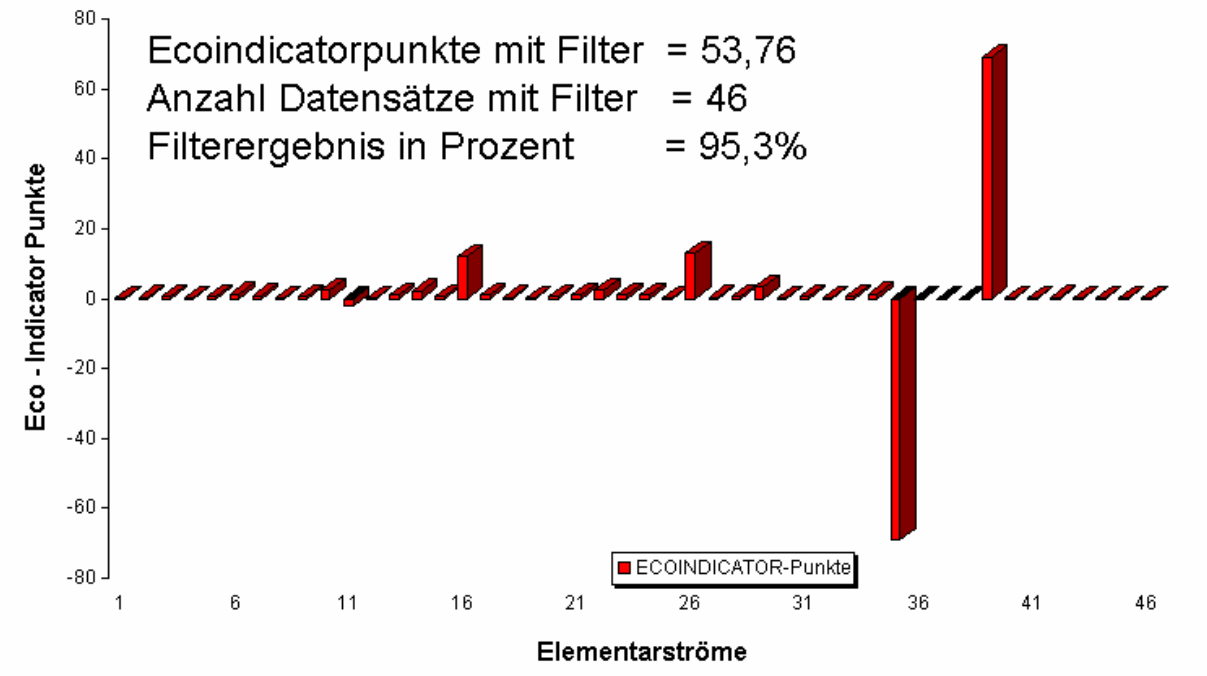

Abbildung 11 **gewichtete Elementarströme des Ecoinvent-Datenbankinventars mit Filter für das Fallbeispiel**

Für beide Abbildungen wurde das gleiche Darstellungsschema gewählt. In der oberen Abbildung 10 erscheinen die Balken als Striche wegen der Vielzahl der Werte. Entscheidend ist die deutlich sichtbare mengenmäßige Reduktion der Elementarströme.

Es wird ein Filterergebnis von über 95 % bei Verwendung von nur 4 % der Elementarströme erreicht. Bei Benutzung von knapp 11 % der Elementarströme erreicht man sogar ein Ergebnis von 99,7 %.

Damit konnte aufgezeigt werden, dass ein Filter ein sinnvolles Instrument ist, um den Komplexitätsgrad bei der Erstellung von Ökobilanzen wesentlich zu reduzieren. Für diesen Prozess sind demnach nur etwa 5-10 % der Elementarströme des Inventars ergebnisrelevant. Wesentliche Auswirkungen hat dieser Filter damit in den Arbeitsbereichen Modellierung und Datenerhebung, da die Datenaquise wesentlich vereinfacht werden kann. Anstatt Daten für 1004 Elementarströme recherchieren zu müssen, brauchen im Idealfall nur noch 41 relevante Elementarströme untersucht werden, um valide Ergebnisse zu erhalten. Außerdem wird das zur Modellierung und Bewertung des Prozesses benutzte Programm kürzere Rechenzeiten benötigen aufgrund des drastisch reduzierten Datenvolumens.

2.5 Ausblick

In dieser Studie wurde für einen Beispielprozess aus der Papierindustrie gezeigt, dass relevante Elementarströme für die Filtererstellung abgeleitet werden können. Für die Erstellung eines branchenspezifischen Filters wird es notwendig, eine Vielzahl von Prozessen zu untersuchen. Außerdem sollten unterschiedliche Bewertungsmethoden als Instrument zur Identifikation relevanter Elementarströme untersucht werden. Es ist vorstellbar, dass die Bewertungsmethoden gesondert voneinander branchenspezifische Filter mitliefern. Die Ableitung ergebnisrelevanter Elementarströme wird für unterschiedliche Methoden unterschiedlich kompliziert sein. Denn für diese Ableitung müssen je nach Methode unterschiedliche Modelle entwickelt werden, die in den meisten Fällen komplizierter sein werden als im behandelten Fall und nicht so stark vereinfacht werden dürfen. Um für eine Methode einen solchen Filter zu erstellen und zu testen, kann man wie folgt vorgehen: Es erfolgt eine Gleichschaltung der zu bilanzierenden Elementarströme für viele bestehende Projekte. Die eingehenden Elementarströme werden variiert und die Veränderung des Ergebnisses beobachtet. Dies wird optimiert, bis eine möglichst kleine Anzahl an Elementarströmen mindestens die gewünschte Zielvorgabe des ungefilterten Ergebnisses liefert. Der Unterschied zum Beispielprojekt besteht darin, dass eine geringere Zielvorgabe zur Bedingung gemacht wird, die jedoch dann von jedem Projekt geliefert werden sollte. Vermutlich werden nicht für alle Branchen hocheffektive Filter möglich sein, wenn diese zu differente Verfahren beinhalten.

Prinzipiell ist aber zu empfehlen, dass für die Filtererstellung – also für die Bestimmung von ökologisch relevanten Elementarflüssen Experten der jeweiligen Branchen, Verbände etc. mit eingebunden werden. Außerdem müsste ein branchenspezifischer Filter in regelmäßigen Abständen aktualisiert oder bestätigt werden.

Diese Studie konnte zeigen, dass mit branchenspezifischen Filtern auf dem LCA-Inventar der Elementarflüsse Vorteile für Arbeitsbereiche der Ökobilanzierung erzielt werden können. Es sind aber noch weitere Einsatzgebiete von Filtern im Bereich der Ökobilanzierung denkbar. So bleibt ein Einsatz von Filtern im Bereich der Prozessebene zu untersuchen. Für das in dieser Studie untersuchte Beispiel der Papierherstellung konnte auch ermittelt werden, dass eine Reduzierung der Prozesse – also der verwendeten Hilfs- und Betriebsstoffe – um die Hälfte reduziert werden konnte, bei fast gleich bleibender Aussagekraft. Die folgenden Abbildungen verdeutlichen diesen Aspekt.

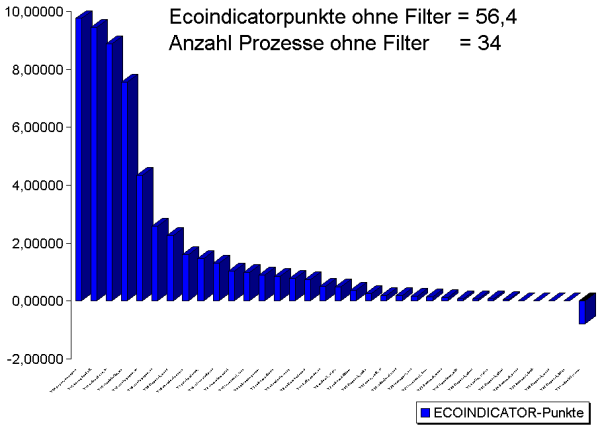

Abbildung 12 Verteilung der Ecoindicator-Kennzahl auf die Prozessebene

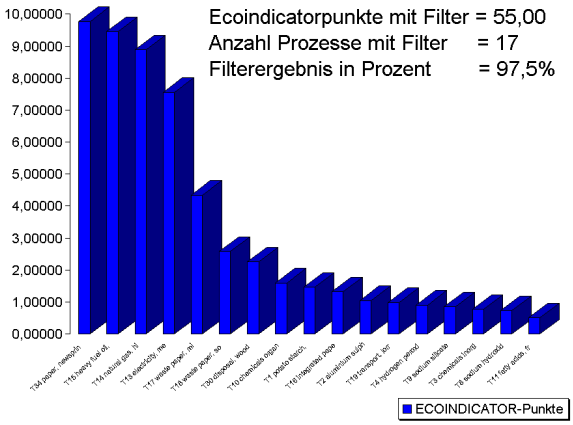

Abbildung 13 Verteilung der Ecoindicator-Kennzahl auf die gefilterte Prozessebene

Es wurden nur 17 der 34 Prozesse bilanziert und trotzdem 97,5 % des ungefilterten Ergebnisses erreicht.

Prozessbezogene Filter verändern die Systemgrenzen einer Studie und sind kritisch zu betrachten. Es bleibt zu untersuchen, inwiefern eine Änderung der Systemgrenzen das Ziel und den Untersuchungsrahmen einer Studie beeinflusst und überhaupt sinnvoll ist. Denkbare Vorteile von prozessbezogenen Filtern könnten sein:

a. Die Beantwortung der Frage, ob eine Datenaquise für einen fehlenden Datensatz überhaupt relevant ist.

b. eine wesentliche Verbesserung der Berechnungszeiten von modellierten Netzen in Umberto. In diesem Beispiel konnte eine Zeiteinsparung von fast 70 % erzielt werden.

Eine Weiterentwicklung von branchenspezifischen Filtern kann auch ein bewertungssystemspezifischer Filter sein. Als Beispiel sei hier ein Treibhauseffekt-Fokussierendes Bewertungssystem genannt. Damit könnten die Inventarlisten der Elementarströme noch weiter reduziert werden.

ARBEITSPAKET 3

Bearbeitung: PE
Observer: IFEU

3 Nicht-technische Fragen / IPP

Zusammenspiel von Bauproduktenrichtlinie und Umweltdeklarationen unter Einfluss der laufenden Normung

3.1 Aufgabenstellung

Die Europäische Nachhaltigkeitsstrategie, welche die Minimierung der Umwelteinwirkungen der Produkte zum Inhalt hat, adressiert als Kernpunkt den Lebenszyklus der Produkte. Da die Breite der Fragestellungen unterschiedliche Umsetzungswerkzeuge erfordert führte die Kommission eine Integrierte Produktpolitik (IPP) ein, welche generell die Umweltpolitik unterstützt.

Werkzeuge sind dabei neben Selbstverpflichtungen der Industrie auch ökonomische Instrumente, Materialverbote, Umweltzeichen und produktgruppenbezogene Design-Guidelines. Umweltdeklarationen nach ISO Typ III sind in IPP explizit als Umsetzungsinstrumente vorgesehen.

Im Baubereich besteht eine Überlappung zur Europäischen Bauproduktenrichtlinie, welche vor allem den harmonisierten Binnenmarkt für Bauprodukte durch harmonisierte Normung regelt und damit vor allem Handelshemmnisse verhindern soll. Die Bauproduktenrichtlinie definiert 6 unverzichtbare Anforderungen: mechanische Festigkeit und Standsicherheit; Brandschutz; *Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz;* Nutzungssicherheit; Schallschutz; Energieeinsparung und Wärmeschutz. Da die harmonisierten europäischen Normen aber nach dem Leistungsansatz geschrieben werden müssen, kann der Bereich Umwelt auf diese Art nicht abgedeckt werden (die Umwelteinflüsse durch die Produktion von Bauprodukten kann nicht mehr in am Produkt selbst erkannt werden).

Umweltdeklarationen bieten sich daher an, diese Lücke zu schließen. Wenn nun aber, wie zurzeit in Europa überall im Aufbau, nationale EPD Programme entstehen, welche zum Teil durch nationale Normung unterstützt werden, wird der eigentliche Zweck der Bauproduktenrichtlinie (Schaffung eines harmonisierten Binnenmarkts) unterlaufen.

In diesem Projektteil soll die Frage untersucht werden, wie die Bauproduktenrichtlinie und Umweltdeklarationen zusammenspielen müssen, damit eine eindeutige Zuständigkeit sichergestellt ist. Ferner soll untersucht werden, welchen Einfluss die laufende Normung zu gefährlichen Substanzen (CEN TC 351) und REACH (EU regulatory framework for the Registration, Evaluation and Authorisation of Chemicals on 29 October 2003; COM(03) 644 (01)) auf die Programme für Umweltdeklarationen von Bauprodukten hat.

3.2 Einleitung

Bauprodukte sind Halbfertigprodukte und stehen innerhalb des Gebäudes in komplexen Wirkungsbeziehungen zueinander. Eine Bewertung der Bauprodukte ist nur auf Ebene des Bauwerks vor dem Hintergrund des gesamten Lebenszyklusses und der Nutzung sinnvoll.

Umweltrelevanz und Nachhaltigkeit entscheiden sich am konkreten Gebäude in Abhängigkeit von der individuellen Nutzung und nicht am isolierten Baustoff oder Bauteil.

Um einzuschätzen, ob ein Baustoff ökologisch ist, muss der Einsatz im Gebäude im Zusammenspiel mit anderen Materialien beurteilt werden. Damit hat die erweiterte EU-Normung (CEN TC 350) die „Umweltleistung eines Gebäudes“ zum Inhalt. Der Energie- und Ressourcenbedarf eines Produktes ist während seiner Nutzung häufig um ein Vielfaches höher als bei seiner Herstellung. Die Lebensdauer, und damit die Möglichkeit eines umweltschonenden Rückbaus und die Recyclingfähigkeit sind ein wichtiger Faktor in der ökologischen Bewertung.

Die Anforderungen der Baustoffe hinsichtlich Gesundheit, Energieeinsparung und Umweltschutz werden in einzelstaatlichen Gesetzen, Rechtsverordnungen und Verwaltungsvorschriften geregelt. Diese Verschiedenheit führt zur Behinderung des europäischen Warenverkehrs. Die Harmonisierung der Normen bzw. harmonisierte technische Spezifikationen, die das nationale Schutzniveau nicht verringern dürfen, sollen den freien Handel der Waren in der EU ermöglichen und sicherstellen.

3.3 Die Rolle der Integrierten Produktpolitik (IPP)

Die Integrierte Produktpolitik hat das Ziel, die Umweltauswirkungen eines Produktes in dessen sämtlichen Lebensphasen von der Entwicklung über die Gewinnung der Rohstoffe bis zur Entsorgung zu erfassen und zu minimieren. Damit wird ausgeschlossen, dass Umweltmaßnahmen nur zur Verlagerung negativer Umweltauswirkungen auf eine andere Lebensphase führen.

Im Grünbuch der Europäischen Kommission vom 07. Februar 2001 betont die Kommission die besondere Bedeutung der Preisbildung und der kritischen Wahl der Verbraucher. Der Erziehung der Verbraucher (einschließlich der Kinder) und Unternehmen kommt eine wichtige Rolle zu, um die Nachfrage nach umweltgerechten Produkten zu steigern und für einen umweltfreundlicheren Verbrauch zu sorgen. In der nächsten Stufe (Weißbuch vom 18. Juni 2003) legt die Europäische Kommission fest, die Integrierte Produktpolitik auf den Lebenszyklusansatz aufzubauen und stellt Instrumente und Maßnahmen zur Umsetzung der IPP dar.

Wichtig bei der IPP ist, dass sämtliche Phasen im Leben eines Produktes die Auswirkungen auf die Gesamtheit der Schutzgüter Boden, Wasser und Luft

berücksichtigen. Alle an der Wertschöpfungskette eines Produktes beteiligten Akteure sollen kooperieren und ihre jeweilige Verantwortung für ihre Phase des Produktlebenszyklus wahrnehmen. Freiwillige und ökonomische Instrumente stehen im Vordergrund, ordnungsrechtliche Maßnahmen sind nur eine Ergänzung.

Eine besondere Bedeutung kommt auch der Information der Verbraucher zu. Politikfeldübergreifend soll nicht nur reine Umweltpolitik betrieben werden, sondern die vor dem Hintergrund der IPP getroffenen Maßnahmen werden so miteinander abgestimmt.

Von einer konsequenten Anwendung der IPP bei allen Produkten wird eine langfristige Verbesserung der Umweltauswirkungen der gesamten Tätigkeit einer Volkswirtschaft erwartet.

3.4 Umweltdeklarationen nach ISO Typ III

Umweltdeklarationen sind ein Umsetzungswerkzeug der Integrierten Produktpolitik. Typ III Umweltdeklarationen stellen quantifizierte umweltbezogene Informationen aus dem Lebensweg eines Produktes zur Verfügung, um damit Vergleiche zwischen Produkten gleicher Funktion zu ermöglichen. Sie sind in erster Linie für den Informationsaustausch innerhalb der anbietenden Wirtschaft gedacht, wobei ihre Anwendung für den Informationsaustausch zwischen anbietender Wirtschaft und Verbrauchern nicht ausgeschlossen sein soll.

Umweltdeklarationen (Environmental Product Declarations (EPD)) geben Angaben zum Lebenszyklus des Bauproduktes, Ökobilanzkennwerte sowie Prüfergebnisse für eine Detailbewertung. Umweltdeklarationen für Bauprodukte haben eine verbindliche, allgemeingültige Basis, werden von Herstellern erstellt und von unabhängiger Seite verifiziert. Sie bleiben in der Verantwortung des Herstellers und sind eine Informationsgrundlage für das Nachhaltige Bauen. Ziel der EPD ist die Umweltleistung der Produkte zu verbessern. EPDs können nur zum Vergleich von Produkten herangezogen werden, wenn die Daten auf dieselbe funktionelle Einheit bezogen sind und auf die gleiche Weise berechnet werden.

Die Inhalte der Umweltdeklarationen (EPDs) für Bauprodukte entsprechen der ISO 14025. Die ISO 14025 enthält die Methodik und das Verfahren, nach denen Umwelteigenschaften von Produktsystemen erfasst und deklariert werden können. Neben den Ökobilanzdaten deklarieren EPDs auch andere umweltrelevanten Sachverhalte, die durch Ökobilanzen nicht abgedeckt werden, wie technische Daten oder Angaben zur Toxizität. Um die Umweltdeklarationen innerhalb der EU konform zur Bauproduktenrichtlinie (siehe unten) zu regeln wurde das Mandat M/350 eingerichtet. Dabei sollen die Umweltdeklarationen weiterhin auf freiwilliger Basis erstellt werden.

Die freiwillig zur Verfügung gestellten standardisierten Daten ermöglichen das Nachhaltige Bauen von Gebäuden mit minimierten Einflüssen auf die Umwelt. Um die Nachhaltigkeit von Gebäuden sicherzustellen und zu vergleichen, etablieren sich nationale Gebäudebewertungssysteme, die auf die Informationen der Umweltdeklarationen zugreifen. Die EU-Norm orientiert sich an der weltweiten Norm „Umweltdeklaration von Bauprodukten“ der ISO-Organisation.

Tabelle 6 **Nationale EPD-Programme existieren in Schweden, Japan, Südkorea, Norwegen, China, Deutschland, England, Frankreich, Niederlande, Finnland und Katalonien**

Land	Nationales Programm
Schweden (Italien, Belgien, Japan, Polen, Korea, Portugal, Russland, Tschechien, Litauen, Latvia)	EPD
Japan	EcoLeaf Type III
Südkorea	Environmental Declaration of Products (EDP)
Norwegen	NHO EPD
China	
Deutschland	AUB Umweltdeklaration (EPD)
England	BRE Environmental Profiles
Frankreich	Fiches de declaration environnementales et sanitaires (FDES)
Niederlande	Milieurelevante Productinformatie (MRPI)
Finnland	(RT)
Katalonien	

Der Programmbetreiber des deutschen EPD-Programms ist die Arbeitsgemeinschaft Umweltverträgliches Bauprodukt e.V. (AUB). Die Mitglieder der AUB sind hauptsächlich Hersteller von Bauprodukten. Die AUB ist für die Organisation des Programms verantwortlich.

Für diesen Zweck wurden seitens der AUB Programmregeln für das Umweltdeklarationsprogramm der AUB erstellt.

Der Ablauf des Programms ist in Abbildung 14 verdeutlicht:

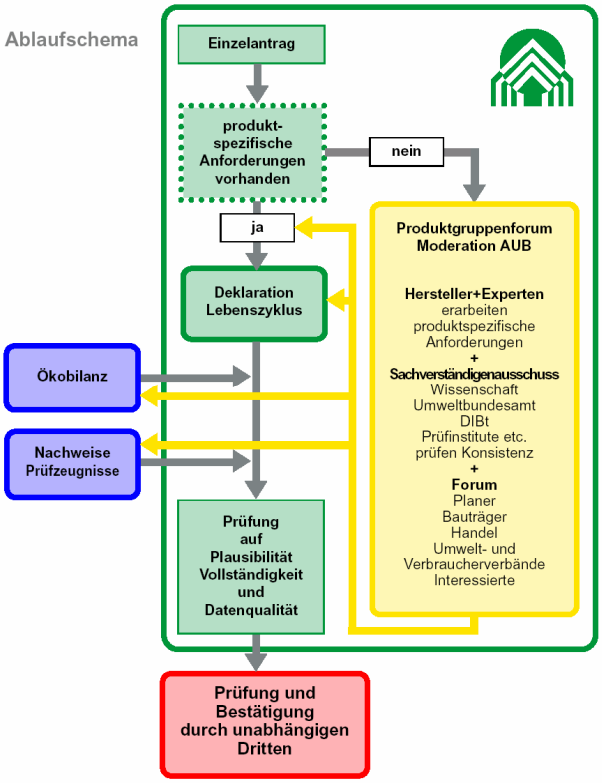

Abbildung 14 Ablaufschema nach AUB

Die AUB organisiert die Erstellung der Deklarationen (grün) und moderiert die Erstellung der Produktgruppenregeln (Product Category Rules; PCR-Dokumente), die durch die Produktgruppenforen erstellt werden (gelb). Um eine Deklaration fertig stellen zu können, müssen zusätzlich Ökobilanz-Informationen und Nachweise und Prüfungen zum Produkt (blau) nach den Anforderungen des jeweiligen PCR Dokuments vom Hersteller eingereicht und die Ergebnisse in die Deklaration aufgenommen werden.

Sowohl die PCR-Dokumente, als auch die Deklarationen selbst müssen beim Programm der AUB durch unabhängige Dritte überprüft werden. Hierzu bedient sich die AUB eines Sachverständigenausschusses (SVA), welcher unabhängig von der AUB mit der notwendigen Expertise das Programm der AUB und den allgemeinen Leitfaden zur Erstellung von PCR Dokumenten überprüfte und die Prüfung der PCR-Dokumente vornimmt. Zusätzlich obliegt dem SVA die Prüfung der seitens Hersteller und AUB erstellten Deklarationen, zu Beginn des Programms durch Überprüfung im Panel, in Zukunft durch Beauftragung von ausgewählten Experten, die sowohl Unabhängigkeit als auch Fachkenntnisse nachweisen müssen. Der SVA gab sich zur Organisation seiner Arbeit eine Geschäftsordnung. Spezifische Sachbilanzdaten für die Ökobilanz, die einer EPD zugrunde liegt, werden durch die AUB gespeichert. Diese Daten sind vertraulich. Sie sind zur Überprüfung der EPD notwendig und

werden dem unabhängigen Dritten zugänglich gemacht, der seinerseits die Daten vertraulich behandeln muss. Aggregierte Daten der Ökobilanz-Wirkungsabschätzung und zusätzliche Informationen, die in den ausgewählten Parametern des PCR-Dokuments aufgelistet sind, werden in der EPD veröffentlicht.

3.5 Die Bauproduktenrichtlinie (BPR)

Die Richtlinie des Rates zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedsstaaten über Bauprodukte (89/ 106/ EWG) regelt seit 1989 das Inverkehrbringen von Bauprodukten auf europäischer Ebene. 1992 wurde die Bauprodukten-Richtlinie mit dem Bauprodukten-Gesetz (BauPG) in Deutschland in nationales Recht überführt.

Als Grundlage für die CE-Kennzeichnung von Bauprodukten sieht die Bauproduktenrichtlinie harmonisierte technische Spezifikationen vor. Die Bauproduktenrichtlinie ist eine „Richtlinie des neuen Ansatzes“ (New Approach).

„Richtlinie des neuen Ansatzes“ (New Approach) bedeutet, dass in der Richtlinie nur mehr Ziele vorgegeben werden (in der Bauproduktenrichtlinie die sechs wesentlichen Anforderungen (WA), die ein Bauwerk erfüllen muss).

Mit Hilfe der neuen Konzeption (*The New Approach*) sollen, um den gemeinsamen Markt in Europa zu verwirklichen, die technischen Hemmnisse des Warenverkehrs beseitigt werden. Das Prinzip ist die Harmonisierung der nationalen Gesetzgebungen für eine begrenzte Anzahl von wesentlichen Anforderungen.

Die Harmonisierungsarbeit wird durch die CEN (Europäisches Komitee für Normung) beziehungsweise EOTA (Europäische Organisation für Technische Zulassungen) durchgeführt. Der Harmonisierungsprozess erfolgt durch die Richtlinien. Die Mitgliedsstaaten können die Methode wählen, um die Ziele ihrer nationalen Gesetzgebung zu erreichen. Die Richtlinien regeln die Grundbedingungen für wesentliche Anforderungen. Die Richtlinien definieren die Anforderungen in nicht spezifischen Fachausdrücken, gemäß der Absicht, die europäische Normung mehr spezifische Bedürfnisse an Produkte und Produktgruppen entwickeln zu lassen.

The New Approach basiert auf 4 Grundprinzipien:

- ⇨ Inhalt der Richtlinien ist begrenzt auf wesentliche Anforderungen
- ⇨ Geforderte technische Spezifikationen werden bei der europäischen Normungsorganisation erstellt
- ⇨ Normen können frei angewendet werden
- ⇨ Produkte, die gemäß harmonisierter Normen hergestellt werden, sollen die grundlegenden Anforderungen, die in der Richtlinie dargestellt werden, erfüllen

Entsprechend den Grundprinzipien des „neuen Ansatzes“ darf das bestehende und begründet Schutzniveau in den Mitgliedsstaaten durch die Angleichung der Rechtsvorschriften nicht verringert werden. Der Neue Ansatz übernimmt in Teilen

Funktionen des Ordnungsrechts mit den Mitteln der Normung. Dies wird zu einer Vereinheitlichung im Umwelt- und Gesundheitsschutz auf einem hohen Schutzniveau führen, die im Konsens zwischen allen beteiligten Kreisen erreicht wird.

„Mit den Bauprodukten müssen Bauwerke errichtet werden können, die (als Ganzes und in ihren Teilen) unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit gebrauchstauglich sind und hierbei die nachfolgend genannten Anforderungen erfüllen, sofern für die Bauwerke Regelungen gelten, die entsprechende Anforderungen enthalten….“

Es handelt sich um sechs, im Anhang I der BPR näher erläuterte und genannte wesentliche Anforderungen bezüglich

1. Mechanische Festigkeit und Standsicherheit
2. Brandschutz
3. **Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz**
4. Nutzungssicherheit
5. Schallschutz
6. Energieeinsparung und Wärmeschutz

Durch technische Harmonisierung der unterschiedlichen technischen Regeln soll der europäische Binnenmarkt realisiert werden. Harmonisierte Normen sind nach Artikel 7 Abs.1 der Bauproduktenrichtlinie auf Grund von Mandaten der Kommission der Europäischen Gemeinschaften von Europäischen Normungsorganisationen im Hinblick auf die wesentlichen Anforderungen nach §5 Abs.1 erarbeitete technische Regeln: die technischen Regeln werden in entsprechende EU-Normen umgesetzt.

Bei der Beurteilung und Umsetzung von Umwelt- und Gesundheitsauswirkungen (Ziffer 3) soll im Rahmen der Bauproduktenrichtlinie der gesamte Lebensweg der Bauprodukte betrachtet werden, nicht nur die Gefährdungen während der Nutzungsphase im Gebäude und in der unmittelbaren Gebäudeumgebung. In der wesentlichen Anforderung der Bauproduktenrichtlinie zu „Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz“ dürfen Bauwerke die Schutzgüter Luft, Boden und Wasser nicht gefährden. Dies ist nur umsetzbar, wenn nationale Regelungen entsprechende Anforderungen enthalten. Technische Zulassungen und die harmonisierten europäischen Normen müssen diesen wesentlichen Anforderungen der Bauproduktenrichtlinie ebenfalls entsprechen.

Bauprodukte erfüllen die Anforderungen der BPR dann, wenn sie die CE-Kennzeichnung aufgrund der nachgewiesenen Übereinstimmung mit einer nationalen Norm tragen, in die eine harmonisierte Norm umgesetzt worden ist. Diese harmonisierten Normen sind von CEN aufgrund von Normungsaufträgen der Europäischen Kommission („Mandaten, s. Art. 4 Abs. 1 und Art.7 Abs. 1 BPR) zu erarbeiten. Die Mandate wurden von der Europäischen Kommission nach Befassung

der Mitgliedstaaten im Ständigen Ausschuss für das Bauwesen erteilt (s. Art. 7 Abs. 1 BPR).

Die Europäische Kommission erteilt dem CEN die Mandate als Grundlage zur Erstellung der Normen, um die Qualität der harmonisierten Normen für Produkte sicherzustellen.

Die Wesentliche Anforderung 3 „ Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz“ wird bislang auf folgende Einwirkungen reduziert:

- Freisetzung giftiger Gase,
- Vorhandensein gefährlicher Teilchen oder Gase in der Luft,
- Emission gefährlicher Strahlen,
- Wasser- oder Bodenverunreinigung oder -vergiftung,
- Unsachgemäße Beseitigung von Abwasser, Rauch und festem oder flüssigem Abfall,
- Feuchtigkeitsansammlung in Bauteilchen und auf Oberflächen von Bauteilen in Innenräumen

Das bedeutet, dass das Bauwerk die Hygiene und die Gesundheit der Anwohner insbesondere durch o.g. Einwirkungen nicht gefährdet werden.

Die ganzheitliche Umsetzung der wesentlichen Anforderung **„Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz“** der Bauproduktenrichtlinie innerhalb der harmonisierten Produktnormen erscheint nicht möglich. Die national unterschiedlichen Regelungen und Traditionen und die größtenteils fehlenden, harmonisierten produktbezogenen Grenzwerte und Prüfmethoden behindern die Vergleichbarkeit der Bauprodukte. An dieser Stelle kommt die Integrierte Produktpolitik zum Tragen (siehe Seite 4).

3.6 Das deutsche Bauproduktengesetz

Mit dem deutschen Bauproduktengesetz als Gesetz über das Inverkehrbringen von Bauprodukten und den freien Warenverkehr mit Bauprodukten von und nach den Mitgliedstaaten der Europäischen Union oder einem anderen Vertragsstaat des Abkommens wurde die Bauproduktenrichtlinie in deutsches Recht umgesetzt.

3.7 Zusammenspiel von Bauproduktenrichtlinie und Umweltdeklarationen (eindeutige Zuständigkeit)

Durch die Umsetzung des Mandats M/350 EN „Entwicklung von horizontal standardisierten Methoden für die Bewertung der integrierten ökologischen Performance von Gebäuden“ in eine Europäische Norm wird sichergestellt, dass Umweltdeklarationen überall in Europa die gleichen Inhalte und gleich erzeugten Ergebnisse zur Verfügung stellen. Damit wird die wesentliche Anforderung der Bauproduktenrichtlinie „Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz“ vervollständigt. Der

gesamte Lebensweg eines Bauproduktes von der Herstellung bis zum Recycling wird näher betrachtet. Damit wird sichergestellt, dass Bauwerke die Schutzgüter Luft, Boden und Wasser nicht gefährden, und dass wesentliche Anforderungen im Interesse des Allgemeinwohls beachtet werden. Erst der Einsatz der Bauprodukte im Bauwerk wirkt sich positiv oder negativ/ besser oder schlechter entsprechend dem Kontext, nach seiner Herstellung, auf die Umwelt aus.

Der Einsatz eines Bauproduktes im Kontext Gebäude/ Bauwerk kann nur mit Hilfe eines Gebäudebewertungsverfahren beurteilt und verglichen werden. Um allumfassend Auskunft über die Umweltauswirkungen eines Bauproduktes in der entsprechenden Gebäudeperformance zu geben, sind die Angaben der Umweltdeklarationen erforderlich. Das Zusammenspiel der Ergebnisse der einzelnen Bauprodukte, die zusätzlich den gesamten Lebensweg eines Bauproduktes analysieren und darstellen, führen zur „Umweltauswirkung“ eines Bauwerks.

Bestimmte Anforderungen an „Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz“ an ein Gebäude (z. B. Energieverbrauch) können inzwischen von den Bauherren ausgeschrieben werden. So wird das Interesse der Bauproduktenhersteller an den Umweltdeklarationen ihrer Bauprodukte geweckt. Um ihre Bauprodukte im Gebäude zu integrieren, müssen bestimmte Angaben über das Bauprodukt für die weitere Berechnung und Abschätzung der ganzheitlichen Umweltauswirkung zur Verfügung stehen. Die Ergebnisse der Umweltdeklarationen sind folglich für die weitere Bearbeitung notwendig.

Laut Allgemeiner Technischer Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) sind Umweltanforderungen nicht vergabefreie Aspekte. Als Bestandteil der Gebrauchstauglichkeit können diese jedoch ausgeschrieben werden. In der Bauregelliste werden Bauprodukte, für die es technische Regeln gibt, bekannt gemacht. Umweltnormen werden in der Bauregelliste nicht aufgeführt. Die Ausschreibung erfolgt meistens funktional über eine detaillierte Eigenschaftsbeschreibung. Gewünschte Eigenschaften können genauer benannt werden. EPD’s liefern Informationen für die Eigenschaftsbeschreibung.

Der Trend, in der Ausschreibung Umweltaspekte zu adressieren und Umweltinformationen einzufordern, wird sich in Zukunft weiterentwickeln und weiter ausdehnen. Nach europäischem Recht ist es heute möglich, in Ausschreibungen Anforderungen an die Umweltperformance zu stellen, die beispielsweise über EPD’s nachgewiesen werden. Da das nachhaltige Bauen für die öffentliche Hand eine wichtige Rolle bei der Umsetzung ihrer Nachhaltigkeitsstrategie spielt, wird von dieser Seite verstärkt Wert darauf gelegt werden.

In einem Position Paper on Construction Standards for Sustainability unterstützt die CEPMC (Vereinigung Europäischer Baustoffhersteller) offiziell gegenwärtige Standardisierungsbestrebungen der EU, basierend auf Typ III Umweltdeklarationen

nach ISO 14025 und ISO/FDIS 21930. Die CEPMC unterstützt die Schaffung von Umweltstandards, die auf der Arbeit des CEN/ TC 350 aufbaut. Außerdem wird von der CEPMC anerkannt, dass die Umweltinformationen für die Nachhaltigkeit von Bauwerken, gemäß M/350 zu CEN/TC 350 freiwillig geliefert werden. Gleichzeitig wird die Entwicklung von Standards für die sozialen und wirtschaftlichen Säulen der Nachhaltigen Entwicklung getragen, um eine vollständige Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden zu ermöglichen. Die CEPMC hält EPD's für die Grundlage von Gebäudebewertungssystemen, um Bewertungen und Vergleiche von Bauprodukten in der Gesamtheit Bauwerk über den gesamten Lebenszyklus anstellen zu können.

Statt einer aus der Bauproduktenrichtlinie resultierenden Direktive kann weiterhin von der freiwilligen zur Verfügung Stellung von Umweltdeklarationen der Bauproduktenhersteller in deren eigenen Interesse ausgegangen werden. Der Bedarf der Gebäudebewertungssysteme, die auf den Umweltdeklarationen basieren, aufgrund nachhaltiger Aspekte ist unumgänglich.

Die Neugegründete Gesellschaft für nachhaltiges Bauen (German Sustainable Building Council (DGNB)) entwickelt ein Zertifizierungssystem (Gebäudebewertungssystem), mit dem die Einhaltung von Nachhaltigkeitskriterien gegenüber Gebäudeeigentümern und -nutzern ausgewiesen und zertifiziert wird.

Ein Grundprinzip dieses Zertifizierungssystems ist die Gesamtsicht auf das Gebäude als Basis effizienten nachhaltigen Bauens. Die Verlagerung von Problemen wird durch die Lebenszyklusperspektive verhindert. Dabei bilden Umweltdeklarationen (EPD's) für Bauprodukte eine wichtige Informationsgrundlage und gehen in die Bewertung ein. Im System werden 5 Schutzziele adressiert: Sicherheit und Erhalt von Werten, Schutz der Ressourcen, Erhaltung der natürlichen Umwelt, Gesundheit & Behaglichkeit der Bewohner und Umfeld & Schutz öffentlicher Güter. Die Schutzziele werden teilweise über aggregierte Indikatoren und teilweise über Aspekte des Gebäudes adressiert. Als Ziel des Zertifizierungssystems der DGNB sollen alle Schutzziele auf Indikatorenebene „gehoben" werden um damit die Lebenswegperspektive wiederzuspiegeln.

Eine EU-Normung der Inhalte der Gebäudebewertungssysteme ist langfristig sinnvoll. Durch die europaweite Vereinheitlichung der Informationen der Umweltdeklarationen wird auch wieder die freie Handelbarkeit der Produkte sichergestellt. Zukünftig können vor dem Hintergrund der Nachhaltigkeit und Gebäudebewertung nur noch Bauprodukte mit Umweltdeklarationen im Gebäude zum Einsatz kommen und somit auf dem Markt konkurrieren.

3.8 Einfluss der laufenden Normung zu gefährlichen Substanzen auf die Programme für Umweltdeklarationen

Die Vorgaben der Europäischen Kommission in den Mandaten zu Klassifizierungen (verbindliche Klassen) beschränken sich derzeit ausschließlich auf Aspekte des Brandschutzes. Dabei geht es um eine Angleichung der Prüfmethoden und Prüfwerte. Die geforderten Prüf-/ Materialkennwerte können nur verglichen werden, wenn gleiche Prüfmethoden zugrunde gelegt werden.

Im Mandat M 366 an CEN (CEN TC 351/ Horizontales Technisches Komitee) soll auf eine Normung der Auswirkungen gefährlicher Substanzen hingearbeitet werden: „Entwicklung horizontaler genormter Bewertungsmethoden für harmonisierte Konzepte zu gefährlichen Stoffen gemäß der Bauproduktenrichtlinie“, insbesondere bezüglich der Emission in Raumluft, Boden, Oberflächenwasser und Grundwasser.

Um Umweltanforderungen in europäischen Bauprodukten zu berücksichtigen sind europäisch harmonisierte Mess- und Prüfverfahren für Schadstoffemissionen aus Bauprodukten erforderlich. Für das erste umfassende Prüfmandat wurde ein einheitliches so genanntes horizontales Vorgehen gewählt. Alle Bauprodukte, die den gleichen Anwendungsbedingungen unterliegen, sollen nach einheitlichen Test- und Messverfahren bewertet werden. Die harmonisierten Produktnormen müssen Festlegungen zu allen Stoffen und Stoffgruppen treffen, die in den jeweils zutreffenden Mandaten als wesentliche Anforderungen aufgeführt sind. Keine Harmonisierung ist vorgesehen für die Anforderungen und für Prüfverfahren, die nicht notwendig sind, um nationale Anforderungen zu erfüllen.

Der vorläufige Arbeitsplan des Technischen Komitees sieht die Erarbeitung von 4 technischen Berichten und von Standards zu Probennahme, Emissionsszenarien in die Innenraumluft, Emissionsszenarien in Boden, Grundwasser und Oberflächenwasser und Inhaltsbestimmungen von gefährlichen Stoffen (soweit erforderlich) vor. Innerhalb des CEN TC 351 wurden die Task Groups in Working Groups (geplant sind 3 Arbeitsgruppen) aufgeteilt, die im Moment an den Grundlagendokumenten zu den Technical reports (Technische Berichte) arbeiten. Frühestens 2008 kann mit den erarbeiteten Technical Reports gerechnet werden, die dann die Grundlagen für die Normungsarbeit bilden. Zeitplan für die Arbeit von CEN TC 351: 2007-2009: Technische Berichte, 2010: Harmonisierte Norm. Im vorläufigen Arbeitsplan von CEN TC 351 sind mehrere hundert existierende einschlägige Standards zitiert.

Die einheitlichen Test- und Messverfahren und die vergleichbaren Ergebnisse aus den einheitlichen Prüf- und Messverfahren gehen in die Umweltdeklarationen (EPD’s) ein und ermöglichen einen Vergleich der geprüften und gemessenen Inhalte der Deklarationen. Die Programme der Umweltdeklarationen müssen folglich nach

Abschluss von Mandat M 366 an die neuen harmonisierten Prüfmethoden bzw. Prüf- und Materialkennwerte angepasst werden oder entsprechend erweitert werden.

3.9 Zusammenfassung

Bauprodukte stehen als Halbfertigprodukte innerhalb des Gebäudes in komplexen Wirkungsbeziehungen zueinander, die Bewertung ist nur auf Ebene des Bauwerks vor dem Hintergrund des gesamten Lebenszyklusses und der Nutzung sinnvoll. Die **Integrierte Produktpolitik (IPP)** hat das Ziel, die Umweltauswirkungen eines Produktes in dessen sämtlichen Lebensphasen von der Entwicklung über die Gewinnung der Rohstoffe bis zur Entsorgung zu erfassen und die negativen Umweltauswirkungen zu minimieren. Freiwillige und ökonomische Instrumente stehen im Vordergrund, ordnungsrechtliche Maßnahmen sind eine Ergänzung. **Umweltdeklarationen (EPD's)** sind ein Umsetzungswerkzeug der IPP. Die Hersteller stellen somit freiwillig quantifizierte umweltbezogene Informationen aus dem Lebensweg eines Produktes zur Verfügung. Ziel einer EPD ist die Umweltleistung eines Produktes zu verbessern. Erst diese freiwillig zur Verfügung gestellten, standardisierten Daten ermöglichen das nachhaltige Bauen. Die **Bauproduktenrichtlinie (BPR)** gibt, als „Richtlinie des neuen Ansatzes" (New Approach) ausschließlich Ziele vor (hier: die **6 wesentlichen Anforderungen (WA)**), die ein Bauwerk erfüllen muss. Durch Harmonisierung der nationalen Gesetzgebungen sollen die technischen Hemmnisse des Warenverkehrs beseitigt werden und somit der gemeinsame, europäische Markt in Europa verwirklicht werden. Zur Beurteilung und Umsetzung der **WA 3 „Gesundheit und Umweltschutz"** soll im Rahmen der BPR der gesamte Lebensweg der einzelnen Produkte betrachtet werden. Technische Zulassungen müssen dieser wesentlichen Anforderung der BPR auf dem gesamten Lebensweg eines Bauproduktes entsprechen. Durch die Normung der Umweltdeklarationen wird sichergestellt, dass EPD's überall in Europa die gleichen Inhalte und gleich erzeugten Ergebnisse zur Verfügung stellen. Die WA 3 der BPR wird durch diese Normung vervollständigt. Die laufende **Normung zu gefährlichen Substanzen (M 366/ CEN TC 351)** wird zu einer weiteren Vereinheitlichung der Umweltdeklarationen führen, da dann Prüfmethoden und Prüf- und Materialkennwerte vereinheitlicht werden. Die Programme der EPD's nehmen in einem nächsten Schritt folgerichtig die neuen harmonisierten Prüfmethoden bzw. Prüf- und Materialkennwerte als Grundlage für weitere standardisierte Daten auf.

Erst der Einsatz des Bauproduktes im Bauwerk wirkt sich, nach seiner Herstellung, entsprechend dem Kontext auf die Umwelt aus. Der Einsatz der Bauprodukte im Kontext und der Gesamtheit Gebäude/ Bauwerk kann nur mit Hilfe von **Gebäudebewertungsverfahren** beurteilt und verglichen werden. Um allumfassend Auskunft über die Umweltauswirkungen eines Bauproduktes in der entsprechenden

Bauperformance zu geben, sind die standardisierten, genormten Angaben der Umweltdeklarationen erforderlich. Auch Gebäudebewertungssysteme können als freiwilliges Umsetzungswerkzeug der IPP (Produkt: Gebäude) zukünftig gesehen werden und führen zu einer Bewertung der Umweltauswirkung eines Bauwerks. Vor dem Hintergrund der Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden können künftig nur noch Bauprodukte mit Umweltdeklarationen zum Einsatz kommen. Das Mandat **M350 / CEN TC 350** hat die „Umweltleistung eines Gebäudes“ zum Inhalt mit dem Titel „Entwicklung von standardisierten Methoden für die Bewertung der ökologischen Performance von Gebäuden“ und legt somit die Grundlagen für Gebäudebewertungssysteme in Europa fest.

3.10 Fazit

Eine Vielzahl von Aspekten des Produktlebensweges ist bereits heute durch Verordnungen, Richtlinien und nationale Gesetzgebung detailliert geregelt. Eine weitere Regulierung der IPP- bezogenen Erfahrungen der Industrie wirkt innovationshemmend und benachteiligt europäische Unternehmen im internationalen Wettbewerb. Es kann weiterhin von einer freiwilligen zur Verfügung Stellung von Umweltdeklarationen der Bauproduktenhersteller in deren eigenen Interesse ausgegangen werden. Gebäudebewertungssysteme erzeugen den Bedarf an Umweltdeklarationen und runden das Zusammenspiel der Bauproduktenrichtlinie mit Umweltdeklarationen als Umsetzungswerkzeuge der IPP ab und ergänzen diese bezüglich des gesamten Lebenswegs der Bauprodukte in der Gesamtheit „nachhaltiges Gebäude“ optimal.

ARBEITSPAKET 4

Bearbeitung: SUT
Observer: LBP

4 Vereinfachte Nutzung von LCA-Daten in der Produktentwicklung

4.1 Einleitung und Zielsetzung

Um LCA-Daten in der Produktentwicklung effizient zu nutzen, können Anwender mittlerweile auf eine Vielfalt von vorgefertigten Datensätzen und Modulen aus Datenbanken zurückgreifen, um den Aufwand bei der Sachbilanzierung zu minimieren (z. B. Übersicht in [34]). Für aussagefähige LCA-Ergebnisse ist es jedoch erforderlich, unter den verfügbaren Datensätzen die am besten geeigneten für die gegebene Fragestellung zu identifizieren. Unterschiede zwischen den Datensätzen bestehen z. B. hinsichtlich Vollständigkeit, Repräsentativität, Genauigkeit, Alter, regionalem Bezug, berücksichtigte Vorprozesse, Datenformate usw. Zur effizienteren Nutzung von LCA-Daten in der Produktentwicklung soll ein einfaches Konzept entwickelt werden, um geeignete Datensätze auszuwählen. Die Auswahl und Kombination ungeeigneter Datensätze kann die Ergebnisse der LCA erheblich verfälschen, oft ohne dass der Anwender sich dessen bewusst ist, z. B. beim Benutzen baukastenartiger LCA-Module aus verschiedenen Datenbanken / Softwareprodukten.

Ziel des vorliegenden Beitrages ist die Entwicklung eines einfachen Konzeptes, um aus vorhandenen LCI-Daten die geeigneten Datensätze bzw. Module für eine gegebene Anwendung auszuwählen. Hierzu werden aus den Qualitätsdimensionen für LCI-Daten Kriterien abgeleitet, anhand derer die für eine Anwendung mit konkreter Zielstellung am besten geeigneten Module ausgewählt werden können. Hierbei werden u.a. folgende Aspekte berücksichtigt:

- ⇨ Systemgrenzen und funktionaler Bezug
- ⇨ Datenqualität und -repräsentativität
- ⇨ Datenformate, Schnittstellen und Kompatibilität

Das entwickelte Konzept soll eine allgemeingültige Grundlage bilden, um die Nutzung von LCI-Daten für den Anwender zu vereinfachen und die Aussagefähigkeit der Ergebnisse zu erhöhen. Damit soll ein Beitrag zu übergeordneten Zielen des Arbeitskreises geliefert werden, nämlich die Unterstützung der Integration von Lebenszyklusinformationen in die Produktentwicklung, um Ergebnisse mit hoher Verlässlichkeit und Qualität zu produzieren.

4.2 Bedeutung der Datenqualität in der LCA

In diesem Abschnitt soll ein kurzer Überblick über den Begriff der Datenqualität innerhalb der LCA und die Bedeutung der Datenqualität für die Ergebnisqualität der LCA gegeben werden.

Der allgemeine Begriff Datenqualität bezieht sich im Folgenden speziell auf die Qualität der Sachbilanzdaten (LCI-Daten).

4.2.1 Qualitätsdimensionen von LCI-Daten

Die in [112] beschriebenen Faktoren, die zur Qualitätsbewertung einer LCA maßgeblich sind, umfassen Qualitätsfaktoren, die sich auf das Modell, die Inputdaten und die Prozeduren beziehen. Diese Faktoren bilden die Grundlage für die hier betrachteten Qualitätsparameter.

Neben der Gültigkeit und Zuverlässigkeit des gewählten Modellierungsansatzes sind die Gültigkeit und Zuverlässigkeit der Inputdaten (hier: LCI-Daten, im weiteren Sinne: auch Inputdaten für weitere Schritte der LCA) die grundlegenden Qualitätsdimensionen der LCA. Insbesondere die Gültigkeit von LCI-Daten ist abhängig von der Anwendung und Zielstellung der LCA, daher ist die Datenqualität stets im Zusammenhang mit dem konkreten Anwendungsfall zu beurteilen.

Gültigkeit und Zuverlässigkeit sind dabei als voneinander unabhängige Kriterien zu betrachten. Daten, die mit hoher Präzision (Zuverlässigkeit) ermittelt wurden, können für eine gegebene Anwendung trotzdem ungeeignet (Gültigkeit) sein, wenn sie in für die Anwendung wesentlichen Bezugsgrößen von den Vorgaben abweichen.

Datenqualitätsanforderungen bezüglich Gültigkeit, Vollständigkeit und Zuverlässigkeit müssen gemäß ISO 14040 ff [38], [39] bei der Durchführung einer LCA berücksichtigt werden.

Eine weitere Dimension der Datenqualität kann aus den Anforderungen der praktischen Anwendung abgeleitet und unter dem Begriff Zugänglichkeit zusammengefasst werden (vgl. accessibility in [51]).

Im Folgenden werden die genannten Dimensionen der Datenqualität näher erläutert.

4.2.1.1 Gültigkeit

Die Gültigkeit der LCI-Daten ist ein Maß für die Übereinstimmung der ausgewählten Datentypen/-sätze mit den extern vorgegebenen Anforderungen des modellierten Produktsystems. Als Qualitätskriterium bedeutet das, dass für die Fragestellung relevante Datensätze benutzt werden müssen. Relevant bezieht sich hierbei auf ausreichende Übereinstimmung mit den Ausprägungen verschiedener Bezugsgrößen des modellierten Produktsystems:

- ⇨ Zeitlicher Bezug
- ⇨ Örtlicher Bezug
- ⇨ Technologischer Bezug
- ⇨ Funktionaler Bezug

Je genauer ein verwendeter Datensatz die vorgegebenen Bezugsgrößen abbildet, desto höher ist generell seine Gültigkeit für die Anwendung. Der erforderliche Grad

der Übereinstimmung bzw. die zulässige Toleranz bezüglich Abweichungen von den vorgegebenen Bezugsgrößen ist jedoch abhängig von der konkreten Anwendung und Zielstellung und wird in Abschnitt 4.3.2 näher erörtert.

4.2.1.2 Zuverlässigkeit

Die Zuverlässigkeit der LCI-Daten ist ein Maß für die Reproduzierbarkeit der LCA-Ergebnisse und wird durch die Stabilität, Präzision und Konsistenz der Daten bestimmt. Somit ist die Zuverlässigkeit der Daten mittels statistischer Kenngrößen beschreibbar.

Wie hoch die Anforderungen an die Zuverlässigkeit der LCI-Daten sind, hängt ebenfalls vom Anwendungsfall und der Zielstellung ab. Darauf wird in Abschnitt 4.3.2 näher eingegangen.

4.2.1.3 Vollständigkeit

Die Vollständigkeit der LCI-Daten ist ein Maß für die vollständige Einbeziehung aller relevanten Daten.

In der Praxis sind nicht immer alle notwendigen Informationen für die Erstellung eines vollständigen und repräsentativen LCI-Datensatz bekannt. Demzufolge gibt es bekannte oder unbekannte Datenlücken, die die Vollständigkeit der LCI-Daten beeinträchtigen.

Wie stark unvollständige LCI-Daten die Datenqualität beeinflussen, hängt wiederum von der Anwendung, der Zielstellung und der Lage der Datenlücken ab (siehe Abschnitt 4.3.2). Das systematische Anwenden von geeigneten Abschneidekriterien (siehe [50]) führt zwar auch zur Informationsreduktion in den Datensätzen, soll aber in diesem Kontext nicht als unvollständige Daten verstanden werden.

4.2.1.4 Zugänglichkeit

Unter der Zugänglichkeit der LCI-Daten wird deren technisch-praktische Verfügbarkeit für die Anwendung verstanden. Dazu gehören die Kommunikation der Daten vom Datenanbieter zum -anwender, die Vertraulichkeit/Öffentlichkeit der Daten und das verwendete Datenformat (inkl. Dokumentation der Daten).

Nicht ausreichend zugängliche Daten können ein Ausschlusskriterium für die praktische Anwendung sein, unabhängig von ihrer Gültigkeit oder Zuverlässigkeit. Daher kommt dieser Qualitätsdimension für die Anwendung der LCA in der Produktentwicklung, insbesondere in Unternehmen mit beschränkten Ressourcen, eine wichtige Bedeutung zu.

4.2.2 Einfluss der Datenqualität auf die Ergebnisqualität

Es besteht ein offensichtlicher Zusammenhang zwischen der Datenqualität (Inputdaten) und der Ergebnisqualität (Outputdaten) der LCA. Qualitätsmängel der Daten setzen sich im Modell fort und führen zu Abweichungen im Ergebnis. Im günstigsten Fall ist die Größenordnung der Ergebnisabweichungen bei ausreichender Kenntnis des Fehlers bei den Inputdaten abschätzbar.

Bei nicht quantifizierbaren Fehlern oder Qualitätsmängeln der Inputdaten sind die Abweichungen im Ergebnis beliebig und die Ergebnisse der LCA unter Umständen wertlos. Im ungünstigsten Fall gilt die umgangssprachliche Wendung „garbage in = garbage out“, d. h. ohne Kenntnisse über die Qualität der Inputdaten können keine verwertbaren Aussagen über die Ergebnisqualität getroffen werden.

Da der Einfluss von Qualitätsmängeln bei den Inputdaten auf das Ergebnis in vielen Fällen nicht quantifizierbar ist (z. B. Abweichungen durch geringe Gültigkeit, Datenlücken durch mangelnde Zugänglichkeit), werden im Folgenden die Einflüsse der Datenqualität auf die Ergebnisqualität in einem qualitativen Ansatz dargestellt. Dies erleichtert gleichzeitig eine schnelle Erstbewertung der Datenqualität durch den Anwender.

4.2.3 Datendokumentation und -formate

Eine vollständige Datendokumentation ist Voraussetzung für den Anwender, um die Datenqualität entlang der beschriebenen Qualitätsdimensionen beschreiben zu können. Eventuell bestehende Dokumentationslücken von vorhandenen Datensätzen sind bei der Datensatzauswahl im Sinne einer worst-case-Abschätzung zu berücksichtigen. Das bedeutet, dass für Dokumentationslücken die aus Sicht der Anwendung ungünstigste Ausprägung des Datensatzmerkmales bei der Beurteilung angenommen werden muss. Dadurch werden unter Umständen schlecht dokumentierte Datensätze für eine konkrete Anwendung unbrauchbar.

Die existierenden und in der Praxis benutzten Datenformate (z. B. SPOLD, SPINE, ISO/TS 14048 und ELCD) unterscheiden sich in den erfassten Inhalten der Daten selbst sowie der Dokumentation zu den Daten. Besonders detaillierte Datendokumentationsformate bieten zwar den Vorteil ausführlicher Information des Anwenders, haben aber gleichzeitig den Nachteil, dass die Informationsbereitstellung und -pflege für die Datensätze aufwändig ist und die Gefahr für das Auftreten von Dokumentationslücken zunimmt. Unterschiedliche LCA-Softwareprodukte und -datenbanken benutzen unterschiedliche Formate und ggf. auch proprietäre Formate, deren Struktur nicht öffentlich dokumentiert ist.

Datenformate sind vor der Dimension der Zugänglichkeit der LCI-Daten von besonderer Wichtigkeit, weil damit Aufwand und Kosten für deren Bereitstellung, Überführung ins Modell und ggf. notwendige Konvertierung bestimmt werden.

4.3 Bestimmung geeigneter Datensätze mittels anwendungsbezogener Datenqualitätsparameter

Um eine Auswahl der am besten geeigneten Datensätze für eine gegebene Anwendung vorzubereiten, müssen für die verfügbaren Datensätze die maßgeblichen Datenqualitätsparameter mit vertretbarem Aufwand bewertet werden. Dazu wird nach einem zweistufigen qualitativen Bewertungsansatz vorgegangen.

In der ersten Stufe werden entlang der beschriebenen Qualitätsdimensionen Datenqualitätsparameter definiert, die qualitativ auf einer fünfstufigen Skala bewertet werden (von 1=gut/hohe Qualität bis 5=schlecht/niedrige Qualität).

Danach werden in einer zweiten Stufe Kriterien festgelegt, die die unterschiedliche Bedeutung der verschiedenen Datenqualitätsparameter in Abhängigkeit von der Anwendung berücksichtigen.

4.3.1 Festlegung der Datenqualitätsparameter und Bewertungsskala

Um eine vereinfachte Anwendung von LCA-Daten in der Produktentwicklung zu realisieren und eine effektive Entscheidungshilfe bei der Datensatzauswahl zu bieten, muss ein Bewertungsschema realisiert werden, dass mit vertretbarem Aufwand die wichtigsten Datenqualitätsparameter abprüfen lässt.

Die bereits in [122] entwickelte Pedigree-Matrix zu Datenqualitätsparametern wurde als pragmatischer und intuitiver Ansatz zur qualitativen Bewertung übernommen und durch weitere Parameter entlang der oben beschriebenen zusätzlichen Qualitätsdimension Zugänglichkeit ergänzt.

In Tabelle 7 sind die somit festgelegten Datenqualitätsparameter und die zugehörige Bewertungsskala im Überblick dargestellt.

Im Rahmen der konkreten Zielstellung einer LCA müssen die Datenqualitätsanforderungen im Einzelfall festgelegt werden und stellen dann Soll-Werte (= Zielwerte) für die Parameter dar. Daran werden die Ist-Werte der zu verwendenden Datensätze individuell gemessen, um zu erkennen, ob die Datensätze grundsätzlich für die Anwendung geeignet sind.

Tabelle 7 Datenqualitätsparameter mit qualitativer Bewertungsskala

		Bewertungsskala				
Qualitätsdimension	**Qualitätsindikator**	**1 (gut)**	**2**	**3**	**4**	**5 (schlecht)**
Gültigkeit	**Zeitlicher Bezug**	< 3 Jahre Unterschied	< 6 Jahre Unterschied	< 10 Jahre Unterschied	< 15 Jahre Unterschied	unbekannt oder > 15 Jahre Unterschied
	Örtlicher Bezug	Daten aus Bezugsraum	Durchschnittsdaten aus größerem Gebiet	Daten aus Gebiet mit sehr ähnlicher Produktionsstruktur	Daten aus Gebiet mit teilweise ähnlicher Produktionsstruktur	unbekanntes oder anderes Gebiet
	Technologisch-funktionaler Bezug	Prozess- und unternehmensspezifische Daten	prozessspezifische Daten verschiedener Unternehmen	prozessbezogene Daten mit verschiedenen Technologien	Daten ähnlicher Prozesse und Stoffe mit gleicher Technologie	Daten ähnlicher Prozesse und Stoffe mit verschiedenen Technologien
Zuverlässigkeit		Validierte Messwerte	Validierte Daten, teilweise geschätzt, oder nicht validierte Messwerte	nicht validierte Daten, teilweise geschätzt	qualifizierte Schätzung	unqualifizierte Schätzung
Vollständigkeit		repräsentative Daten einer adäquaten Stichprobe von Standorten und Zeiträumen	repräsentative Daten einer kleineren Stichprobe von Standorten über einen adäquaten Zeitraum	repräsentative Daten einer adäquaten Stichprobe von Standorten über einen kürzeren Zeitraum	repräsentative Daten einer kleineren Stichprobe von Standorten über einen kürzeren Zeitraum oder inadäquate Daten	unbekannte oder unvollständige Daten von einer kleineren Stichprobe von Standorten
Zugänglichkeit	**Datenbereitstellung und kommunikation**	Daten bereitgestellt, automatisierte Einbindung	Daten bereitgestellt, teilweise manuelle Einbindung	teilweise manuelle Datenbereitstellung/-ergänzung und Einbindung	erhebliche manuelle Datenbereitstellung/-ergänzung und Einbindung	vollständig manuelle Datenbereitstellung/-ergänzung und Einbindung
	Öffentlichkeit/ Vertraulichkeit	öffentliche Daten, Herkunft transparent	öffentliche Daten, Herkunft nicht transparent	eingeschränkt zugängliche Daten, Herkunft transparent	eingeschränkt zugängliche Daten, Herkunft vertraulich	stark restriktiv zugängliche Daten vertraulicher Herkunft
	Datenformat	einheitliches Datenformat in gesamtem Produktsystem	vereinzelte Anpassung/Komplettierung von Datenformaten notwendig	automatisierte Anpassung unterschiedlicher Datenformate	erhebliche manuelle Anpassung unterschiedlicher Datenformate	keine vollständige Anpassung unterschiedlicher Datenformate möglich

4.3.2 Bedeutung der Datenqualitätsparameter in Abhängigkeit von der Anwendung

Die in Tabelle 7 dargestellten Datenqualitätsparameter lassen sich zur Bewertung und zum Vergleich von Datensätzen heranziehen. Jedoch ist zu berücksichtigen, dass weitere Einflussfaktoren die relative Bedeutung der genannten Qualitätsparameter für den Anwendungsfall bestimmen. Die zu berücksichtigenden Einflussfaktoren umfassen dabei

1. Zielstellung/Untersuchungsrahmen der LCA
   - Welche Genauigkeit der Ergebnisse wird benötigt?
   - Sollen Trendaussagen oder quantifizierte Unterschiede bestimmt werden?
   - Welche Abschneidekriterien werden angewandt? Welche vor- und nachgelagerten Prozessketten werden mit berücksichtigt?
2. Stellung des Prozessdatensatzes im Produktsystem
   - Liegt der Prozess auf der Hauptkette oder in einer Nebenprozesskette?
   - Wie groß ist der Beitrag des Prozesses zur Bereitstellung der funktionellen Einheit (Größe Material-/Energiedurchsatz)?

3. Art des Prozesses
   - Zeichnet sich der Prozess durch kurze Innovationszyklen oder Technologiesprünge aus oder handelt es sich um ein langfristig etabliertes Verfahren?
   - Handelt es sich um einen weit verbreiteten Standardprozess oder eher einen spezifisch ausgeprägten lokalen Prozess?
   - Beinhaltet der Prozess Inputs/Outputs mit hohem spezifischem Wirkungspotenzial?

Zu den genannten Einflussfaktoren gibt es besondere Ausprägungen, die die relative Bedeutung der Datenqualitätsparameter erhöhen bzw. erniedrigen können.

Diese Ausprägungen sind beispielhaft in Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8 Einflussfaktoren auf die Datenqualitätsparameter

		Ausprägung der Einflussfaktoren und induzierter Einfluss auf die Qualitätsparameter					
		Ziel und Untersuchungsrahmen		**Stellung im Produktsystem**		**Art des Prozesses**	
Qualitätsdimension	**Qualitätsindikator**	hohe Bedeutung	niedrige Bedeutung	hohe Bedeutung	niedrige Bedeutung	hohe Bedeutung	niedrige Bedeutung
Gültigkeit	**Zeitlicher Bezug**	zeitlich genaue Aussagen angestrebt	Betrachtung eines langfristig stabilen Produktionssystems	maßgeblicher Prozess nahe der Hauptkette	Prozess in Nebenkette mit geringem Gesamtbeitrag	kurze Innovationszyklen, Technologiesprünge	langjährig etablierter, technisch ausgereifter Prozess
	Örtlicher Bezug	ortsspezifische Aussagen angestrebt	globale Aussagen angestrebt, geringe örtliche Varianz	maßgeblicher Prozess nahe der Hauptkette	Prozess in Nebenkette mit geringem Gesamtbeitrag	orts-/unternehmensspezifischer Prozess	weit verbreiteter Standardprozess
	Technologisch-funktionaler Bezug	Darstellung von Technologievergleichen angestrebt		maßgeblicher Prozess nahe der Hauptkette	Prozess in Nebenkette mit geringem Gesamtbeitrag	stark variable Prozessalternativen vorhanden	weit verbreiteter Standardprozess
Zuverlässigkeit		hohe Genauigkeit angestrebt	semi-quantitative Trendaussagen angestrebt	maßgeblicher Prozess nahe der Hauptkette	Prozess in Nebenkette mit geringem Gesamtbeitrag	Inputs/Outputs mit hohem spezifischem Wirkungspotenzial	
Vollständigkeit		hohe Genauigkeit angestrebt	semi-quantitative Trendaussagen angestrebt	maßgeblicher Prozess nahe der Hauptkette	Prozess in Nebenkette mit geringem Gesamtbeitrag	Inputs/Outputs mit hohem spezifischem Wirkungspotenzial	
Zugänglichkeit	**Datenbereitstellung und -kommunikation**	großes Produktsystem mit detaillierten Nebenketten	vereinfachtes Produktsystem mit Konzentration auf Hauptkette	Prozess in entfernter Nebenkette	Prozess nahe der Hauptkette	Prozess mit sehr vielen Inputs/Outputs	Prozess mit wenigen Inputs/Outputs
	Öffentlichkeit/ Vertraulichkeit	hohe Zuverlässigkeit angestrebt, Veröffentlichung vorgesehen				Prozess mit relevantem Wirkungsbeitrag	
	Datenformat	großes Produktsystem mit detaillierten Nebenketten	vereinfachtes Produktsystem mit Konzentration auf Hauptkette	Prozess in entfernter Nebenkette	Prozess nahe der Hauptkette	Inputs/Outputs mit hohem spezifischem Wirkungspotenzial	Prozess mit wenigen Inputs/Outputs

Somit lassen sich konkret im Anwendungsfall einer LCA für jeden auszuwählenden Datensatz für einen zu modellierenden Prozess die oben aufgeführten Einflussfaktoren berücksichtigen. Als Ergebnis lassen sich für jeden Datensatz

⇨ Qualitätsparameter mit hoher Bedeutung als notwendige Kriterien (Soll-Wert muss erreicht werden = Muss-Werte) bzw.

- ⇨ Qualitätsparameter mit niedriger Bedeutung (Erreichung des Soll-Wertes für diesen Datensatz wünschenswert, aber nicht erforderlich = Kann-Werte) bzw.
- ⇨ alle verbleibenden Qualitätsparameter mit normaler Bedeutung (Erreichung des Soll-Wertes ist anzustreben = Soll-Werte)

bestimmen. Auf diese Weise kann systematisch für jeden benötigten Datensatz ein geeigneter Datensatz ausgewählt werden bzw. die Erkenntnis gewonnen werden, dass keiner der vorliegenden Datensätze den notwendigen Qualitätsanforderungen genügt. Im letzteren Fall wären dann weitere Maßnahmen zur zusätzlichen Datenbeschaffung bzw. zur Anpassung des Modells zu prüfen.

4.3.3 Zusätzliche Anforderungen neben den Datenqualitätsparametern

Über die beschriebenen Datenqualitätsparameter hinaus müssen weitere Anforderungen bei der Auswahl von Datensätzen berücksichtigt werden.

Die mit der Verwendung eines Datensatzes verbundenen Kosten und Aufwendungen für Bereitstellung und Kommunikation der Daten, ggf. Konvertierung und Einbindung in Datenbank/Software, Aktualisierungen/Ergänzungen/Modifikationen sind für die Anwendung im Produktentwicklungsprozess als Rahmenbedingung mit entsprechenden Zielvorgaben von zentraler Bedeutung. Diese werden durch vorhandene Infrastrukturen und Datenlage, Know-How und wirtschaftliches Interesse an der LCA mitbestimmt.

Um die Datensymmetrie des Produktsystems insgesamt zu gewährleisten, muss parallel zur Auswahl der einzelnen Datensätze geprüft werden, ob die Datenqualität insbesondere hinsichtlich Zuverlässigkeit, Detaillierung und Vollständigkeit für das gesamte Produktsystem symmetrisch realisiert werden kann. Andernfalls müssen die auszuwählenden Datensätze in ihrer Detaillierung so weit reduziert werden (bzw. detailliertere Datensätze zusätzlich beschafft werden), bis die Symmetrie des Gesamtsystems wieder hergestellt ist.

4.4 Schematische Vorgehensweise zur Auswahl geeigneter Datensätze

Auf Grundlage der vorangestellten Überlegungen wird die folgende schrittweise schematische Vorgehensweise zur Auswahl geeigneter LCI-Datensätze im Rahmen einer LCA vorgeschlagen.

1. Festlegung von Ziel und Untersuchungsrahmen der Studie (inkl. funktionelle Einheit, Abschneidekriterien, Soll-Werte für die Datenqualitätsparameter der zu modellierenden Prozessketten)
2. Entwicklung des Modells des Produktsystems (inkl. Haupt- und Nebenprozessketten, Identifizierung der benötigten Datensätze/Module zur Abbildung der enthaltenen Prozessketten)

3 Für jeden benötigten Datensatz/Modul werden gemäß Tabelle 8 die relevanten Datenqualitätsparameter und ihre jeweilige Bedeutung (hoch, niedrig, normal) festgelegt. Dafür sind die Stellung im Produktsystem sowie die Art des Prozesses vorab zu bestimmen.

3.1 Aus der Gesamtmenge der für den benötigten Datensatz in Frage kommenden vorliegenden Datensätze wird jeder Datensatz auf die Erfüllung der relevanten Datenqualitätsparameter (Muss-Werte/Soll-Werte/Kann-Werte) geprüft. Mögliche Ergebnisse:

(a) ⇨ Datensatz ungeeignet ⇨ aussortieren.

(b) ⇨ Datensatz prinzipiell geeignet.

3.2 Aus der verbleibenden Menge der geeigneten Datensätze wird der mit der höchsten Datenqualität ausgewählt. Dazu werden zunächst nur die Bewertungen der Muss-Werte, danach die Soll-Werte und erst danach die Kann-Werte berücksichtigt.

⇨ Datensatz für die Anwendung wird ausgewählt, ggf. Berücksichtigung zusätzlicher Anforderungen neben den Datenqualitätsparametern.

⇨ Prüfung der Datensymmetrie des Gesamtsystems unter den bislang ausgewählten Datensätzen, ggf. Rücksprung zu (3) für vorher ausgewählte Datensätze, ansonsten weiter mit (3) beim nächsten benötigten Datensatz.

4 Wenn nach (3.1) bzw. (3.2) keine geeigneten Datensätze verbleiben, müssen entweder weitere Daten beschafft werden, die für die Anwendung geeignet sind oder es muss geprüft werden, ob durch Anpassung der Zielstellung/Untersuchungsrahmen oder des Modells die Anforderungen an die Datenqualität gesenkt werden können. Mögliche Ergebnisse:

(a) ⇨ weiterer/verbesserter Datensatz beschafft ⇨ Rücksprung nach (3.1)

(b) ⇨ Anpassung des Modells ⇨ Rücksprung nach (2)

(c) ⇨ Anpassung Ziel/Untersuchungsrahmen ⇨ Rücksprung nach (1)

(d) ⇨ keine Anpassung möglich ⇨ Datenlücke nicht zu schließen

⇨ Erreichbarkeit des Ziels prüfen, ggf. Abbruch oder Dokumentation der Datenlücke und Berücksichtigung bei der Interpretation der Ergebnisse.

Durch systematische Vorgehensweise entlang der obigen Prozedur wird das zu modellierende Produktsystem schrittweise entwickelt und mit geeigneten Datensätzen für die Anwendung gefüllt. Als Ergebnis hat der Anwender eine Sachbilanz aus Datensätzen aufgebaut, die der Zielstellung gerecht werden.

4.5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Das vorgeschlagene Konzept zur Auswahl von geeigneten Datensätzen soll eine allgemeingültige Grundlage bilden, um die Nutzung von LCA-Daten für Anwender aus der Praxis zu vereinfachen und die Aussagefähigkeit der Ergebnisse zu erhöhen. Durch den verwendeten qualitativen Ansatz ist mit vertretbarem Aufwand eine Kategorisierung und Bewertung von zur Verfügung stehenden Datensätzen möglich, um die am besten geeigneten Datensätze für eine Anwendung auszuwählen bzw. weiteren Datenbeschaffungsbedarf zu identifizieren.

Eine Grundlage für die effektive Funktionsfähigkeit des Auswahlprinzips ist eine möglichst vollständige Dokumentation der zur Verfügung stehenden Datensätze zur Einschätzung der berücksichtigten Datenqualitätsparameter, was angesichts der derzeit am Markt befindlichen Datenbanken und Softwareprodukte noch nicht flächendeckend erwartet werden kann.

Der Ansatz könnte flexibel um weitere Datenqualitätsparameter erweitert werden sofern sich diese in der Praxis als relevant erweisen. Diesbezüglich wäre eine Erprobung und weitere Validierung des vorgeschlagenen Konzeptes in der praktischen Anwendung erstrebenswert.

ARBEITSPAKET 5

Bearbeitung: DiK
Observer: PTW

5 Nutzung von Lebenszyklusdaten in der virtuellen Produktentwicklung

5.1 Abstract

Hersteller von Massenprodukten sehen sich neben verschärftem Wettbewerbs- und Kostendruck zunehmend auch gestiegenen Umweltanforderungen ausgesetzt. Diese resultieren einerseits aus sich verschärfenden Umweltgesetzgebungen (EuP, WEEE, ROHS, Altfahrzeugverordnung) als auch einem steigenden Kundenbedürfnis nach umweltverträglichen Produkten [29]. Vor diesem Hintergrund ergibt sich für viele Unternehmen die Notwendigkeit einer Beurteilung der Umweltverträglichkeit ihrer Produkte. Traditionell wird eine Bewertung der Umweltverträglichkeit erst in den späten Phasen der Produktentwicklung durchgeführt wenn ein Großteil der Produkteigenschaften bereits festgelegt wurde. Eine prospektive Bewertung der Umweltverträglichkeit eines Produkts während der Produktentstehung findet zurzeit noch nicht statt [1], wäre aber als zusätzliches Mittel zur Entscheidungsfindung und Konzeptabsicherung wünschenswert. Dies ist unter anderem darin begründet, dass zwar viele zur Berechnung von Umwelteigenschaften notwendige Informationen implizit bei den Entwicklern vorliegen, es jedoch an Ansätzen mangelt, diese Informationen zur Ableitung von Umweltdaten direkt zu nutzen. Darüber hinaus bedeutet eine Einbindung von Umweltexperten in den frühen Phasen der Produktenwicklung einen nicht zu unterschätzenden organisatorischen Mehraufwand für das Unternehmen. Eine frühzeitige Betrachtung der Umwelteigenschaften erfordert deshalb eine durchgängige Lösung in den Unternehmensabläufen, den verwendeten IT-Systemen und der Nutzung der hierzu notwendigen Lebenszyklusdaten. Diese Studie wird ausgehend vom Stand der Forschung und Technik einen Ansatz zur Integration von Umwelt- und Kostenbilanzierungen sowie gesetzlicher Konformitätsprüfungen in der virtuellen Produktentwicklung vorstellen und die hierfür notwendigen Schritte beschreiben.

5.2 Ausgangssituation

In den 70er Jahren des letzten Jahrhunderts wurde die Weltbevölkerung durch die Veröffentlichung des Club of Rome über die Bevölkerungsentwicklung und die damit einhergehende Rohstoffverknappung schlagartig mit Umweltfragen konfrontiert [81]. Die Ölkrise der Folgejahre und die Deponieraumverknappung führten dann – zumindest in der westlichen Welt – zu einer ersten Sensibilisierung der Gesellschaft auf Umweltfragen.

In den 80er Jahren entstanden darauf hin erste wegweisende recyclingorientierte Arbeiten [121], [104] sowie die VDI 2243 „Grundlagen zum recyclinggerechten Gestalten“ [116]. Darüber hinaus entstanden Forschungsaktivitäten zur Energie- und Rohstoffeinsparung in der Fertigung [41], zur Berücksichtigung von Emissionen und

deren Umweltwirkungen aus Fertigungsprozessen [98] sowie zur Auswahl umweltgerechter Werkstoffe [83], [17], [119].

Im folgenden Jahrzehnt rückte zunehmend die Demontagegerechtheit in den Vordergrund, insbesondere die kritische Auseinandersetzung mit der Kosten-Nutzen-Relation und die Frage, bis zu welcher Tiefe eine Demontage noch ökonomisch sinnvoll ist [70], [120], [21], [57]. In diesem Zusammenhang ist der 1995 ins Leben gerufene Sonderforschungsbereich (SFB) 281 „Demontagefabriken“ an der TU Berlin hervorzuheben, der darüber hinaus auch Aspekte der Planung, Organisation und Logistik berücksichtigt [109], [108]. In der Folge setzte sich die Erkenntnis durch, dass mit steigender Demontagetiefe und Recyclingrate nicht zwangsläufig eine Verringerung der Umweltbeeinträchtigung über den gesamten Produktlebenszyklus einhergeht, sondern vielmehr bei Überschreitung eines so genannten ökologischen „Break-even“ von 30-50 % Recyclingrate sogar eine größere Umweltbeeinträchtigung durch Zerlegungs- und Aufbereitungsprozesse erfolgt als bei reiner Beseitigung des Altprodukts [49]. Eine Verschiebung dieser Betrachtungsweise zu einer stärker prospektiven Betrachtung erfolgte 1996 durch Einrichtung des Sonderforschungsbereichs (SFB) 392 „Entwicklung markt- und umweltgerechter Produkte“ [1]. Der Fokus lag in einer Antizipation von Umweltwirkungen in der Produktentwicklung, um mögliche Schwachstellen möglichst früh zu identifizieren und geeignete Maßnahmen einzuleiten. Dabei wurde erstmals der Ansatz verfolgt, basierend auf den verfügbaren Daten der virtuellen Produktentwicklung ein Inventar abzuleiten und vergleichende Bilanzen zu erstellen.

In der virtuellen PE erfolgt die Entwicklung neuer Produkte gemäß VDI 2221 basierend auf einer Klärung der Anforderungsliste, Definition von Funktionsstrukturen und Wirkprinzipien sowie einer Grobgestaltung und Detaillierung [117]. Im Übergang von der Wirkstrukturmodellierung zur ersten Grobgestaltmodellierung werden heute parametrische 3D-CAD Systeme eingesetzt, die den Konstrukteur bei der Geometrieentwicklung unterstützen. Dabei werden nicht nur geometrische Eigenschaften erzeugt, sondern auch wichtige strukturelle und semantisch wertvolle Informationen, welche in nachfolgenden Prozessketten, z. B. vom CAD in die rechnergestützte Fertigung (CAD-CAM), genutzt werden können. Das CAD-System legt diese Informationen intern in Form von Parametern, Bedingungen und Formeln ab. Bereits zu diesem Zeitpunkt liegen Produktinformationen über die verwendeten Materialien und Gewichte des entwickelten Produkts vor. Nach Abschluss der CAD-Modellierung erfolgt in der Regel eine Übergabe des entwickelten Produkts an die Arbeitsvorbereitung, welche die zur Produktion notwendigen Prozesse entwickelt und plant.

Viele Hersteller könnten frühestens zu diesem Zeitpunkt eine Erfassung und Bewertung der Umwelteigenschaften ihres Produkts, basierend auf den Daten der

Arbeitsvorbereitung und Prozessplanung durchführen. Diese Bewertungen werden trotz zunehmendem Umweltbewusstsein der Kunden jedoch noch nicht flächendeckend durchgeführt, erst in Pilotprojekten werden diese Analysen in den Produktentwicklungsprozess integriert.

Im Bereich des Life Cycle Assessments stehen den Umweltexperten heutzutage umfangreiche Werkzeuge und Datenbanken zur Erstellung von Ökobilanzen zur Verfügung [63]. Je nach Detaillierungsgrad werden hierbei einfache Stücklisteninformationen von Menge, Gewicht und Material bis hin zu einer detaillierten Definition der Prozesse im Produktlebenszyklus verwendet. Bei detaillierten Berechnungen wird auf diese Weise der gesamte Lebenszyklus des Produkts von der Materialgewinnung über Herstellung und Nutzung bis hin zur Entsorgung mit allen relevanten Stoffströmen in einem Modell abgebildet, mit entsprechenden Lebenszyklusdaten versehen und die Umweltwirkungen berechnet. Als Ergebnis liegt dann ein Sachinventar (LCI) vor. Basierend auf diesem Inventar, einer Gewichtung und Aggregation zu Wirkungskategorien kann dann eine Ökobilanz erstellt werden. Die Erstellung eines Inventars bis hin zu einer aussagekräftigen Ökobilanz kann mehrere Wochen bis einige Monate, je nach Produktkomplexität, Datenverfügbarkeit und gewählter Systemgrenze dauern. Durch diesen zeitlichen Versatz ist die Produktentwicklung zumeist vollständig abgeschlossen, und erkannte Schwachstellen des Produkts über den gesamten Lebenszyklus können nur noch unter erhöhtem Aufwand beseitigt werden. Diese Blindphase führt dazu, dass die gewonnenen Erkenntnisse nicht mehr für die aktuelle Produktgeneration, sondern nur für die Nachfolgegeneration zur Verfügung stehen können. Zur Verringerung dieser Blindphase ist die Erstellung einer abschätzenden Umweltbilanz, basierend auf bereits existierenden Daten in der Produktentwicklung, wünschenswert. Diese könnte dann als Trendaussage verwendet werden, um unerwünschten Produkteigenschaften entgegenzuwirken.

Eine Kopplung von IT-Systemen der virtuellen PE mit kommerziell erhältlichen Systemen zur Ökobilanzierung ist derzeit noch nicht verfügbar, so dass Informationen für die Bilanzierung manuell aus Stücklisten und Informationen aus der Arbeitsvorbereitung gesammelt und in den LCA-Systemen eingetragen werden müssen. Dabei liegt bereits ab der Grobgestaltung ein großer Teil der hierzu benötigten Informationen implizit oder explizit in den einzelnen Systemen vor. Die Gründe einer mangelnden Kopplung zwischen der Domäne der Produktentwicklung und der Umweltbilanzierung liegen sowohl in fehlenden Schnittstellen bzw. nicht einheitlich definierten Datenformaten als auch in der Tatsache, dass nicht alle implizit und explizit vorliegenden Informationen des Quellsystems im Zielsystem für eine hinreichend exakte Bewertung vorhanden sind. Darüber hinaus fehlt eine Verbindung zwischen den Informationen aus der Produktentwicklung, den Modellen zur

Umweltbilanzierung und den zur Beschreibung verwendeten Prozessen bzw. Lebenszyklusdaten.

Die Nutzung von Lebenszyklusdaten in der virtuellen Produktentwicklung zur Vermeidung einer Blindphase ist aus oben beschriebenen Gründen das Ziel dieser Studie. Dies erfordert einerseits die Konzeption einer IT-Architektur mit den entsprechenden Systemschnittstellen zur Abbildung aller Anforderungen zwischen Produktentwicklung und Umweltbilanzierung als auch eine Änderung der Arbeitsabläufe in der Produktentwicklung. Für einen Konstrukteur bedeutet dies, dass er die in seinen CAD-Modellen enthaltenen Informationen konform zu den benötigten Daten der Umweltexperten bereit stellt, für den Umweltexperten bedeutet dies, dass er den für eine überschlägige Bilanzierung notwendigen Informationsbedarf kommunizieren muss.

5.3 Stand der Technik

Sowohl in den Bereichen der virtuellen Produktentwicklung als auch der Umweltbilanzierung werden zunehmend rechnergestützte Lösungen eingesetzt. Aus diesem Grund werden im folgenden Abschnitt zunächst die Grundlagen der verwendeten rechnergestützten Systeme für Datenorganisation (Produktdatenmanagement (PDM), Product Life Cycle Management (PLM)), Computer Aided Design (CAD), Life Cycle Assessment (LCA) und Life Cycle Costing (LCC) vorgestellt. Daran anschließend werden Quellen und Anwendungsmöglichkeiten von Lebenszyklusdaten zusammengefasst, um bereits existierende Ansätze zur integrierten Betrachtung von virtueller Produktentwicklung und Umweltbilanzierung aus Sicht der Forschung vorzustellen.

5.3.1 IT-Systeme in der virtuellen Produktentwicklung

Im Bereich von virtueller Produktentwicklung und Umweltbilanzierung wird eine Vielzahl unterschiedlicher Systeme [53] [63] eingesetzt. Dabei hat sich der Trend hin zu proprietären Systemen und Dateiformaten entwickelt, gängige Praxis in der Industrie ist eine heterogene Systemlandschaft, in der eine durchgängige Lösung zwischen virtueller Produktentwicklung und Umweltbilanzierung aufgrund nicht vorhandener Schnittstellen fehlt. Die verschiedenen CAx-Systeme und die darauf aufbauenden Simulations- und Berechnungstools werden häufig über ein Produktdatenmanagement- (PDM) oder ein Enterprise Resource Planning (ERP) System miteinander gekoppelt. Darüber hinausgehende Instrumente zur Beurteilung der Umweltverträglichkeit oder zur Kostenkontrolle existieren zwar, können aber noch nicht mit anderen Instrumenten derart gekoppelt werden, dass Analysen und Berechnungen automatisiert ablaufen. Insbesondere ist eine Kopplung zwischen Konstruktionssystemen und den Analyse- und Simulationssystemen noch nicht gegeben.

5.3.1.1 Das 3D-CAD System als digitaler Master

3D-CAD-Systeme werden seit rund zwanzig Jahren zur rechnerunterstützten Entwicklung konstruktiver Entwürfe genutzt. In der Anfangsphase der CAD-Systeme wurden hauptsächlich 2D-Techniken genutzt, um technische Zeichnungen aus den Modellen abzuleiten. Mit dem Einzug leistungsfähiger parametrischer 3D-CAD-Systeme wurde das 3D-CAD Modell zum Ausgangspunkt für Prozessketten, wie Simulation / Berechnung, Arbeits- und Prozessplanung bis hin zur NC-Maschinensteuerung. Neben einer reinen Geometrieerzeugung ist heute eine umfangreiche Abbildung semantischer Inhalte, wie z. B. Konstruktionswissen möglich.

Parametrische 3D-CAD Systeme erlauben die Erzeugung beliebiger Volumen-, Flächen- und auch Skelettmodelle direkt im dreidimensionalen Raum. Modifikationen können schnell realisiert werden und auch Neuteilkonstruktionen, bei denen oft auf vorhandene Geometrien zurückgegriffen wird, sind einfacher und schneller realisierbar. Die Verkürzung der Entwicklungszeiten, die Reduzierung der Entwicklungskosten und die Erhöhung der Produktivität sind die größten Vorteile einer CAD-Anwendung.

Parametrische Modellierung

Ein 3D-CAD-Modell enthält Informationen, die im Allgemeinen geometrische und topologische Daten eines Produkts sowie die Erzeugungshistorie der Geometriemodelle repräsentiert. Dazu ermöglicht die parametrische Modellierung in modernen 3D-CAD-Systemen Anpassungen auf der Basis der bidirektionalen Assoziativität zwischen Geometrie und Maßzahl. Dieser Zusammenhang bietet die Möglichkeit, dass eine Änderung der Maße Auswirkungen auf die Geometrie hat und umgekehrt [102]. Zu diesem Zweck benutzen CAD-Systeme der heutigen Generation zwei Instrumente zur vollständigen Definition von Geometrien, diese sind Parameter und Constraints[1]. Wird die Geometrie des CAD-Modells geschickt durch Parameter und Constraints beschrieben, so ist es möglich, Änderungen zu jedem Zeitpunkt des Konstruktionsprozesses durchzuführen, ohne dass eine Redefinition der Beziehungen benötigt wird.

Feature-Technologie

Die featurebasierte Modellierung stellt eine bedeutende Innovation gegenüber der rein geometrischen Volumenmodellierung dar. Diese hat ihre Ursprünge bei der NC-Programmerstellung, wo die Notwendigkeit bestand, bestimmten geometrischen Teilbereichen entsprechende Fertigungsanweisungen zuzuordnen, die eine automatisierte Fertigung ermöglichen sollten [82].

[1] engl. Beschränkung

Features entspringen dem Grundgedanken, technische Informationen in Gestaltungszonen zu implementieren, die zur vollständigen Beschreibung eines technischen Produkts notwendig sind. So lassen sich geometrische Elemente um technische Inhalte und konstruktive oder fertigungstechnische Bedeutung (Semantik) ergänzen. Beispielsweise enthält das Element Bohrung, mit oder ohne Gewinde, neben den geometrischen Daten auch Informationen über den Verwendungszweck.

Die Erfassung und Verarbeitung nicht-geometrischer Produkteigenschaften bis zur Verwendung von Features ganz ohne Geometrie, wird immer wichtiger. Das ist der Grund, warum sich heute zu dem früher gefundenen Ansatz „Feature = Aggregation von Geometrieelementen und Semantik“ die Erweiterung „Feature = Geometrieelemente und/oder Semantik“ durchgesetzt hat.

Nach Engeli und Taiber [44] können die Features klassifiziert werden in Form Features (Formelemente), Body Features (Volumenprimitive), Operation Features (entsprechen einem Bearbeitungsschritt) und Enumerative Features (Muster).

Durch den Einsatz der Feature-Technologie werden 3D-CAD-Modelle mit Hilfe semantisch definierter Gestaltelemente aufgebaut. Zu diesem Zweck stellen moderne CAD-Systeme Bibliotheken grundlegende Geometrieelemente, etwa Welle, Block oder Bohrung, bereit. Diese werden dimensioniert und auf definierte Art und Weise im Raum oder in Bezug auf andere Elemente angeordnet (z. B. Feature Kreismuster für Bohrung).

Die vom CAD-System zur Verfügung gestellten Features (auch „systemspezifische Features“ genannt) sind über Auswahlmenüs zugänglich und werden in den Konstruktions- oder Berechnungskontext des Modells eingefügt. Man spricht in diesem Fall vom feature-basierten Modellieren (auch „Design by Features“).

Für die Anforderungen, für die keine standardisierten Features existieren, bieten moderne CAD-Systeme die Möglichkeit, „benutzerdefinierte Features“ festzulegen. Diese Features werden vom Anwender der Aufgabe möglichst genau angepasst, was die Effizienz der Produktentwicklung weiter steigert.

Wissensbasierte Konstruktion

Bei der heutigen Produktentwicklung zählt der gezielte Umgang mit Wissen zu den entscheidenden Faktoren zur Steigerung der Produktivität und zur Sicherung von Wettbewerbsvorteilen. Die wissensbasierte Konstruktion (englisch: Knowledge Based Engineering, KBE) erweitert die parametrische, feature-orientierte Modellierung um CAD-Methoden, die den Konstruktions- und Entwicklungsprozess unterstützen, indem Wissen über Produktgestalt, -funktion und -verhalten sowie Herstellbarkeit und Güte im CAD-System zur Verfügung gestellt wird. Dieses Produktwissen, das direkt im CAD-Modell integriert ist und über den gesamten Produktlebenszyklus bereitgestellt wird, unterstützt den Konstrukteur aktiv und entlastet ihn von zeitraubenden Routinetätigkeiten, was zu deutlich kürzeren

Entwicklungszeiten führt. Wissensbasierte CAD-Anwendungen bieten allen Beteiligten innerhalb der Prozesskette Zugriff auf Informationen, die sonst nur personenabhängig verfügbar sind. Damit wird zum einen die Einarbeitung neuer Mitarbeiter in unternehmensspezifische Prozesse beschleunigt. Zum anderen werden Konstruktionsergebnisse frühzeitig abgesichert.

Zusammenfassend werden durch den Einsatz von KBE in der Konstruktion Effizienzgewinne erreicht durch:

- ⇨ Automatisierung von CAD-Prozessen
- ⇨ Fehlervermeidung durch Einhaltung von Standards und Regeln
- ⇨ Schnell am Arbeitsplatz verfügbares Wissen

Das Spektrum der Methoden zur wissensbasierten Konstruktion ist sehr umfangreich. Es reicht von der einzelnen Formel über die Konstruktionstabelle mit unterschiedlichen Konfigurationsdatensätzen bis hin zu intelligenten Konstruktionsmerkmalen, Bauteilvorlagen, Baugruppenvorlagen und speziell gestalteten Funktionen [78].

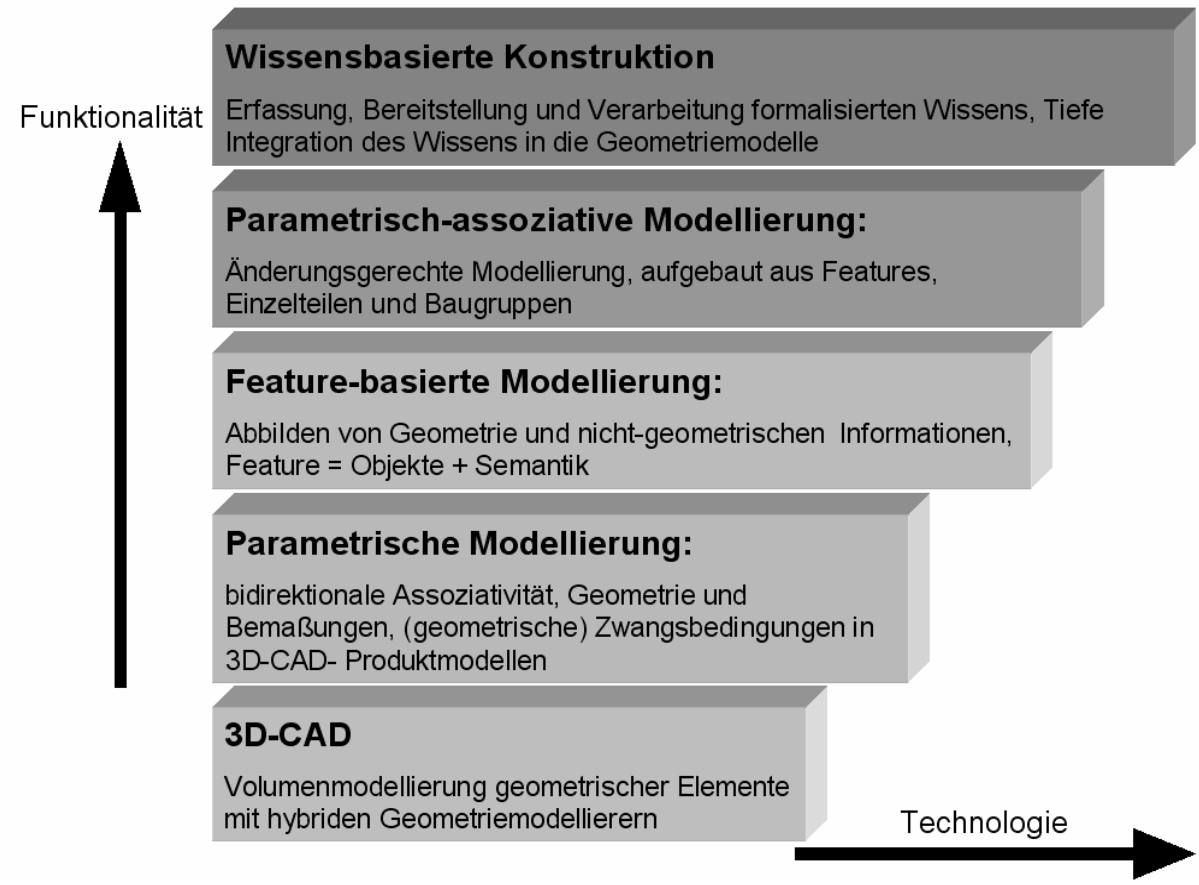

Abbildung 15 Funktionalität und Funktionsumfang moderner CAD-Systeme (nach [64])

Da der Leistungsumfang moderner parametrischer 3D-CAD Systeme einen weitaus höheren Anteil an Semantik besitzt als reine Geometrieinformation und die im CAD-System enthaltenen Material-, Struktur- sowie Prozessinformationen bereits als Ausgangspunkt für Prozessketten verwendet werden, bietet es sich an, diese Informationen als Grundlage für eine ökologische Bilanzierung zu verwenden.

5.3.1.2 Datenorganisation

Durch die unternehmens- und abteilungsübergreifende Einführung von rechnergestützten Systemen und die damit steigenden Datenmengen stiegen auch die Produktkomplexität und der Grad der Vernetzung der Produktdaten. Dies begründete die Notwendigkeit neuer Konzepte zur Verwaltung und Organisation der Produktdaten. Unterschieden werden kann zwischen Dokumentenmanagement-, Workflowmanagement-, Produktdatenmanagement (PDM)- und Entity Resource Planning (ERP)-Systemen.

Als Dokumentenmanagementsysteme werden einfache Ablage- und Recherchesysteme für elektronische Dokumente bezeichnet, in denen auch einfache Beziehungen der Dokumente untereinander abgebildet werden können [103]. Dabei werden die vormals lokal oder zentral gehaltenen Daten über eine Datenbanklösung verwaltet, die es den Anwendern einerseits erlaubt, ihre Produktdaten geordnet abzulegen als auch die vorhandene Datenbank nach unterschiedlichen Kriterien zu durchsuchen.

Werden häufig wiederkehrende Abläufe in Dokumentenmanagementsystemen durch definierte Abläufe unterstützt, spricht man von Workflow-Management-Systemen. Dabei handelt es sich um eine Ausprägung der Computer Supported Cooperative Work (CSCW), deren Aufgabe es ist, die Vorgangsbearbeitung in Geschäftsprozessen mit Hilfe von Informationsverarbeitung zu unterstützen. Workflow-Management-Systeme stoßen dabei einzelne Vorgänge (halb-) automatisch an, stellen die für die Ausführung der Aufgabenausführung benötigten Informationen digital zur Verfügung und steuern den Arbeitsablauf [97]. Es kann z. B. gezielt festgelegt werden, welche Personen zu welchem Zeitpunkt welche Daten bereitgestellt bekommen und welche Tätigkeiten durchzuführen sind (z. B. in einem Freigabe- oder Änderungsprozess).

Während Dokumentenmanagementsysteme und Workflow-Management-Systeme keinen direkten Zugriff auf die Datenstruktur der verwalteten Daten haben und diese lediglich verwalten, geht der Gedanke moderner Produktdatenmanagementsysteme (PDM) darüber hinaus und verwaltet ein gesamtes Produktmodell, in dem die einzelnen Dokumente verschiedene Teilaspekte des virtuellen Produkts über alle Phasen des Produktlebenszyklus und alle beteiligten Organisationseinheiten beschreiben.

Gegenstand des Produktdatenmanagements ist die Verwaltung von Produktdaten und die Steuerung der Produktdatenflüsse in allen Phasen des Produktlebenszyklus. Die Grundlage bildet das so genannte Integrierte Produktmodell, wie es in der Norm ISO 10303 (STEP[2]) definiert wurde [61], [13]. Ziel ist es, den Produktentstehungsprozess durch geeignete Methoden auf Basis von Prozessmodellen abzubilden.

Die Hauptfunktionen moderner PDM-Systeme liegen in der Elementverwaltung, Privilegienverwaltung, Ablaufverwaltung, Dateiverwaltung und dem Austausch von Produktdaten [103]. Für den Datenaustausch zwischen den beteiligten Systemen hat sich weitgehend die Normenreihe ISO 10303 als Standard etabliert.

Weitere Funktionalitäten von PDM-Systemen stellen die Verwaltung von Produktstrukturen, Konfigurationen und Varianten und die Integration in andere Applikationen (CAx- bzw. ERP-Kopplung) dar. Durch die Abbildung komplexer Abläufe und Prozesse eignen sich PDM-Systeme hervorragend zur Unterstützung der Methoden des Entwicklungsmanagements „Simultaneous Engineering“ bzw. „Concurrent Design“. Diese Methoden ermöglichen eine weitgehende Parallelisierung von Entwicklungstätigkeiten (simultane Entwicklung von Produkt und Prozess), bzw. die Aufteilung einer Aufgabe in Teilaufgaben mit Synchronisationspunkten. In nachgelagerten Phasen der virtuellen Produktentwicklung bieten PDM-Systeme darüber hinaus Funktionen von der Datenarchivierung bis hin zur Visualisierung von Demontagereihefolgen z. B. am Lebensende eines Produkts. Die einem PLM-System zugrunde liegende Datenbasis kann dabei entweder einem integrierten Ansatz folgen, oder einem föderierten Ansatz folgend auf unterschiedlichen Datenbanken aufbauend die gewünschten Informationen bereitstellen.

PDM-Systeme sind dabei keine monolithischen Anwendungssysteme sondern eher Kern einer ganzheitlichen PDM-Lösung. Nicht alle Methoden oder Regeln des Produktdatenmanagements werden zwingend durch ein PDM-Anwendungssystem zur Verfügung gestellt. Auch CAx-, Dokumentenmanagement- oder Workflow-Management-Systeme können solche Funktionen zur Verfügung stellen [3].

Während PDM Systeme sich vornehmlich auf den Produktentstehungsprozess beziehen, ist das Ziel von Enterprise-Resource-Planning-Systemen eine umfassende Abbildung der Geschäftsprozesse eines Unternehmens. Durch die Integration sollen die unternehmensweiten Ressourcen zentral verwaltet werden. Typische Funktionsbereiche einer ERP-Software sind Controlling, Finanzen, Logistik, Fertigung, Vertrieb, Personal. Neben den klassischen Managementaufgaben wie

[2] STEP Standard for the Exchange of Product Model Data, dt.: Norm zum Austausch von Produktmodelldaten; Arbeitstitel der Normenreihe ISO 10303.

Planung, Steuerung und Überwachung wird auch die Optimierung von Geschäftsprozessen unterstützt [65].

Die Software-Module von ERP- und PDM-Systemen können allgemein auf die individuellen Bedürfnisse der Kunden durch so genanntes Customizing angepasst werden. Gängige Praxis ist eine Verschmelzung zwischen reinen PDM- und ERP-Funktionalitäten. So können in ERP-Systemen Rollen und Benutzer definiert und verwaltet, Status und Reifegrade eines Produktes abgebildet werden. Ebenso bieten PDM-Systeme einen erweiterten Zugriff z. B. auf die Produktion und Produktionsmittel.

Im Hinblick auf eine produktbezogene ökologische und ökonomische Lebenszyklusanalyse sind Kosten-, Prozess-, Material- und Strukturinformationen verfügbar.

5.3.2 Umweltbilanzierung, Kostenbilanzierung und Konformitätschecks

Der Einfluss rechnergestützter Systeme in der virtuellen Produktentwicklung beschränkte sich in seinen Anfängen zunächst auf die Ablösung des Zeichenbretts durch Konstruktionssysteme. Mit den zunehmenden Datenmengen und der Entwicklung domänenübergreifender Prozessketten gewannen Verwaltungssysteme, wie z. B. PDM-Systeme zunehmend an Bedeutung. Aktuell wird der Begriff des Produktdatenmanagements auf den gesamten Produktlebenszyklus zum Produktlebenszyklusmanagement ausgeweitet. Ziel ist es, sämtliche Informationen eines Produkts über seinen gesamten Lebenszyklus zur Verfügung zu stellen. Parallel zur Entwicklung von Konstruktions- und Verwaltungssystemen hat sich in den letzten 15 Jahren der Ansatz einer entwicklungsbegleitenden oder abschließenden Produktbewertung entwickelt. Im folgenden Abschnitt werden grundlegende Ansätze und Werkzeuge zur Durchführung eines Life Cycle Assessments und eines Life Cycle Costings vorgestellt. Darüber hinaus erfolgt eine Darstellung möglicher Ansätze zur produktbezogenen Konformitätsprüfung auf Basis rechtlicher Rahmenbedingungen.

5.3.2.1 Umweltbilanzierung

Erste Ansätze für die Beurteilung umweltrelevanter Eigenschaften lassen sich bis Mitte der 1970er Jahre zurückverfolgen [99], als ein Umdenken vor der Wegwerfgesellschaft zu neuen Zielen wie Ressourcenschonung und Kreislaufwirtschaft begann. Aus diesem Grundgedanken entspringen die Begriffe von Ökobilanzen, Stoffflussbilanzen oder Energiebilanzen.

Brockhaus ([23], zitiert in [48]) definiert die Ökobilanz als eine „bilanzierte und bewertende Untersuchung einer umweltrelevanten menschlichen Handlung. Sie bildet den methodischen Rahmen zur Abschätzung der Umweltaspekte und

produktspezifischen Umweltwirkungen eines Produkts, einer Dienstleistung oder einer Institution.“ Am häufigsten wird die Ökobilanz produktbezogen durchgeführt.

Die Ökobilanz ist in der internationalen Norm ISO 14040ff [38] definiert: „Die Ökobilanz-Studie untersucht die Umweltaspekte und potentiellen Umweltwirkungen im Verlauf des Lebensweges eines Produktes“.

Der Ablauf einer Ökobilanz kann in die vier Schritte „Ziele und Untersuchungsrahmen“ (ISO 14041), „Sachbilanzierung“ (ISO 14041), „Wirkungsabschätzung“ (ISO 14042) und „Auswertung“ (ISO 14043) unterteilt werden: Zu Beginn eines Bilanzierungsprojekts werden die verfolgten Ziele und der Untersuchungsrahmen festgelegt. Während die Ziele die Anwendung der Ergebnisse, die Gründe für die Durchführung und die angestrebte Zielgruppe zum Inhalt haben, definiert der Untersuchungsrahmen das zu Grunde liegende Produktsystem, die Methoden der Bilanzierung und die Kommunikation. Die Sachbilanzierung beinhaltet die Sammlung der zur Zielerreichung notwendigen Daten. Dabei werden hauptsächlich Eingangs- und Ausgangsgrößen mit Bezug auf das zu untersuchende System aufgenommen. Ziel der Wirkungsabschätzung ist die Einschätzung der Ergebnisse der Sachbilanz, um ein besseres Verständnis zu schaffen. Dabei werden entsprechende Wirkungskategorien, Wirkungsindikatoren und Charakterisierungsmodelle eingeführt. Für die Abschätzung der Umweltwirkungen existieren Methoden mit Einzelfaktoren, problemorientierte sowie schadensorientierte Ansätze [48]. In der abschließenden Auswertung der Ökobilanz werden die Ergebnisse von Sachbilanzierung und Wirkungsabschätzung zusammengefasst. Basierend auf der Auswertung kann z. B. mögliches Handlungspotential erkannt werden.

Neben der Ökobilanz stehen für die Analyse und Bewertung ökologischer Produkteigenschaften auch indikatorbasierte Grobabschätzungsmethoden zur Verfügung. Diese beruhen auf verallgemeinerten Daten und können schon mit wenigen Produktinformationen, wie z. B. Materialzusammensetzung und Energieverbrauch, angewendet werden, liefern jedoch wenig aussagekräftige Ergebnisse. Zu den Grobabschätzungsmethoden gehört der Kumulierte Energieaufwand (KEA) [118], bei dem eine vergleichende energetische Bewertung von Produkten und Dienstleistungen vorgenommen wird. Bei Materialinput pro Serviceeinheit (MIPS) [96] handelt es sich um eine indikatorbasierte Grobabschätzungsmethode, bei der die Beurteilung der Umweltbeeinträchtigungen von Produkten über deren spezifischen Ressourcenverbrauch ermittelt wird. Der Eco-Inidicator 99 (EI-99) [55] ist eine Mischform aus Grobabschätzungs- und Ökobilanzmethode. Bei dieser Methode werden Öko-Indikatoren anhand der Input-Output-Ströme von Prozessen errechnet. Auf Grundlage verschiedener Wirkkategorien werden die Umweltwirkungen eines Produktes oder Prozesses

mittels dieser Indikatoren beschrieben und daraus – unter Verwendung eines geeigneten Schadensmodells – die potentiellen Auswirkungen ermittelt.

Auf Grundlage dieser Methoden und der Ökobilanzierung sind verschiedene LCA-Instrumente entwickelt worden [63]. Das Software-Tool SimaPro von der TU Delft [101] ist ein umfassendes ökologisches Beurteilungsinstrument, das auf mehrere Umweltdatenbanken wie z. B. BUWAL®, IDEMAT® zurückgreift und verschiedene ökologische Abschätzungsmethoden wie den EI-99 beinhaltet. Diese Software findet für viele Ökobilanzfallbeispiele Anwendung. Ein vor allem in der Industrie weit verbreitetes Instrument ist die Bilanzierungssoftware GaBi (Ganzheitliche Bilanzierung) [46], [73], entwickelt vom Institut für Kunststoffprüfung und Kunststoffkunde an der Universität Stuttgart. Das Software-Tool Umberto [59] basiert auf der Modellierung, Berechnung und Visualisierung von Stoff- und Energieströmen im Bereich der Prozessanalyse. Die Ergebnisse können sowohl nach ökologischen als auch ökonomischen Kriterien ausgewertet werden. Die Stoffstromdaten bieten gemeinsam mit den Kostendaten eine wertvolle Unterstützung für den Vergleich von Technologievarianten und die Auswahl von Verbesserungsmaßnahmen. Daher wird Umberto überwiegend zur Prozessoptimierung, aber auch für Stoff- und Energiestromanalysen sowie Lebenszyklusanalysen eingesetzt.

Die zuvor beschriebenen Ansätze und Instrumente zeichnen sich durch einen vergleichbaren Ablauf aus, der ausgehend von einer Systemdefinition und der Definition der funktionellen Einheit, die Modellierung des Lebenslaufs basierend auf Prozessdatenbanken und deren Eingangs- und Ausgangsgrößen, die Berechnungen der Umweltwirkung und die Wirkungsabschätzung umfasst. Gegenwärtige Entwicklungen zielen darauf ab, die Informationsflüsse zwischen den LCA-Werkzeugen und den Inventardatenbanken zu harmonisieren [42].

5.3.2.2 Life Cycle Costing

Der Begriff des Life Cycle Costing (LCC) entstammt der betrieblichen Kostenrechnung und zielt darauf ab, die Entwicklung eines Produktes von der Produktidee bis zu seiner Rücknahme zu betrachten, also von der "Wiege bis ins Grab". Unterschieden werden kann grundsätzlich in eine Konsumentensicht und in eine Produzentensicht. Während in der Konsumentensicht nur die eigenen Kosten von der Anschaffung bis zur Entsorgung ermittelt werden, behandelt die Produzentensicht die gesamten eigenen Kosten, also auch die Kosten, die beim Kunden anfallen. Dabei werden nur die negativen Zahlungsströme (Ausgaben) veranschlagt, die Erlöse (Einnahmen) werden vernachlässigt [69]. Vor allem in der Ökologieorientierten Betriebswirtschaftslehre erhält dieses Verfahren aufgrund seiner ganzheitlichen Betrachtung großen Zuspruch. Da neben den reinen Material- und Fertigungskosten auch Betriebs- und Entsorgungskosten veranschlagt werden, findet

beim Life Cycle Costing das Prinzip der Nachhaltigkeit Anwendung. Dies bedeutet eine Gestaltung des Wirtschaftens in einer Weise, dass über die Befriedigung der heutigen Bedürfnisse hinaus auch die Lebensgrundlage zukünftiger Generationen erhalten bleibt [58], [46].

Die meisten LCC-Analysen werden im Bereich Anlagen und Immobilien durchgeführt. Dabei werden Hersteller in die Lage versetzt, die Kosten komplexer Aggregate oder Gebäude über die Lebensdauer des Produktes abzuschätzen. Über Instandhaltungsbücher werden Termine und Bauteile für Wartungsarbeiten im Vorfeld auf Grundlage verschiedener Analysen festgelegt und darüber die Lebenszykluskosten ermittelt [20]. In den frühen Phasen des Produktlebenszyklus finden derzeit noch keine Lebenszyklus umfassenden Kostenberechnungen statt. Erst in den späteren Phasen stehen hinreichend gesicherte Informationen für detaillierte Abschätzungen und Lebenszyklusprozesse zur Verfügung. Die Entwicklung von LCC-Werkzeugen befindet sich momentan noch im Anfangsstadium. Hierbei werden meist maßgeschneiderte Lösungen entwickelt, die auf klassischen Entscheidungs- oder Simulationswerkzeugen basieren.

Eng verbunden mit dem Life Cycle Costing ist der Begriff der Umweltkostenrechnung. Umweltkostenrechnung ist „das Management von ökologischer und ökonomischer Leistung durch die Entwicklung und Umsetzung von adäquaten umweltorientierten Informationssystemen und Verfahren. Dies kann Berichterstattung und externe Testierung umfassen und beinhaltet meist Lebenszyklusbetrachtungen, die Abschätzung externer Effekte, die Berechnung von Einsparungen und positiven Auswirkungen sowie die strategische Planung des betrieblichen Umweltmanagements“ [85]. Grundlagen der Umweltkostenrechnung sind in einer internationalen Richtlinie der UN zusammengefasst. Der Einsatz der Umweltkostenrechnung ist in der wissenschaftlichen Diskussion derzeit noch umstritten [80].

5.3.2.3 Gesetzeskonformität

Ein wichtiges Bestreben gerade international tätiger Unternehmen ist die Einhaltung gesetzlicher Rahmenbedingungen in den jeweiligen Produktions- und Absatzländern. Gerade im Bereich des Umweltrechts herrscht eine steigende, landesspezifische Vielfalt an unterschiedlichen Umweltgesetzen für den produkt- und produktionsbezogenen Umweltschutz. Mit der Einführung von ROHS, WEE und EuP ist es für die Hersteller notwendig, genaue Kenntnis dieser Rahmenbedingungen zu erlangen, um die Gesetzeskonformität der Produkte zu gewährleisten. Eine detaillierte Information über bestimmte Produkteigenschaften (z. B. Produktionsland, Absatzmärkte oder Materialien) ist darüber hinaus Voraussetzung, um die gesetzlichen Berichts- und Informationspflichten der Hersteller einzuhalten. Die

Überprüfung der Einhaltung gesetzlicher Rahmenbedingungen wird im Folgenden als „Compliance Check“ (CC) bezeichnet.

Im Bereich der PDM/PLM-Anwendungen wird dies über so genannte EH & S Tools (Environmental, Health and Safety) realisiert. Ihre Funktionalitäten umfassen:

- Die Verwaltung der Regularien, Materialien und sonstiger produktimmanenter, Compliance-relevanter Daten.
- Die Durchführung von spezifischen anwendungsorientierten (z. B. Überprüfung nach IMDS-Struktur), generischen Stofflisten- (Verwendungsverbot / Deklarationspflicht) sowie kundenspezifischen Prüfungen.
- Die Erstellung von Compliance-Analysen sowie die Erstellung und versionsgerechte Verwaltung von Compliance-Berichten.
- Den automatisierten Austausch von Compliance-Daten mit Lieferanten und Kunden entlang der Supply Chain.

Die für die Durchführung von Compliance-Analysen notwendigen rechtlichen Grundlagen sind weltweit in Gesetzen, Richtlinien und Verordnungen verankert.

In Deutschland regelt das 1990 in Kraft getretene Produkthaftungsgesetz (ProdHaftG) [93] die Schadensersatzpflicht des Herstellers für durch ihn in Verkehr gebrachte Produkte sowie die Beweislastzuständigkeit. Mit dem 1994 verabschiedeten Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) [71] wurde in Deutschland der Grundstein für das Denken in ökologischen Kreisläufen gelegt. Dieses Gesetz zielt auf die Schonung der natürlichen Ressourcen und die Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen, die §§22-26 widmen sich speziell der Produktverantwortung.

Darüber hinaus wurde zum produktbezogenen Umweltschutz in den letzten Jahren eine Reihe von EU-Richtlinien erlassen, die inzwischen größtenteils auch in nationales Recht umgesetzt wurden. Dabei sind in erster Linie die RoHS (Reduction of Hazardous Substances) [4], die WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment) [5] und die EuP (EcoDesign of Energy-using Products) [6] zu nennen.

Ziel der RoHS-Richtlinie ist die Beschränkung der Verwendung gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten, wodurch ein Beitrag zum Gesundheitsschutz und zur umweltgerechten Verwertung und Beseitigung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten geleistet werden soll. Die WEEE-Richtlinie bestimmt vorrangig die Vermeidung von Abfällen von Elektro- und Elektronik-Altgeräten und darüber hinaus die Wiederverwendung, das Recycling und andere Formen der Verwertung solcher Abfälle zur Reduzierung der Abfallmenge. Die Richtlinie 2005/32/EG legt

Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energiebetriebener Produkte (EuP), so genannte Ökodesign-Anforderungen, fest.

Bezüglich der deutschen Umsetzung von WEEE und RoHS hat das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) zunächst „Eckpunkte künftiger Rechtsvorschriften zu Elektro- und Elektronikaltgeräten“ [24] veröffentlicht. Diese Eckpunkte beschäftigen sich mit Fragen der Kreislaufwirtschaft, wie z. B. der kostenlosen Sammlung der Altgeräte oder der Koordinierung der Abholung bei kommunalen Sammelstellen. Inzwischen sind diese Richtlinien im Elektrogesetz (ElektroG) [43] verankert und mit Hilfe des so genannten Elektro-Altgeräte-Registers werden Hersteller registriert, Geräte zu Kategorien zugeordnet, die Abholung der Altgeräte durch die Hersteller koordiniert und diverse Statistiken und Berichte erstellt [105].

Darüber hinaus ist die in der Ausarbeitungsphase befindliche EU-Chemikalienverordnung REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals – Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe) [66], [67] zu nennen. Mit der Einführung dieser Verordnung soll insbesondere die Informationslage und das Risikomanagement von Altstoffen durch eine Registrierung von Alt- und Neustoffen in einer zentralen Datenbank, eine Bewertung der Registrierungsdokumente sowie die Zulassung der Verwendung bestimmter Stoffe nur nach Prüfung durch eine Kommission geregelt werden.

Derzeit existieren nur wenige Umweltgesetz-Datenbanken, bei denen eine Suche nach bestimmten Gesetzen mit dem vollständigen Gesetzestext möglich ist [111], [77]. Allerdings sind keine spezifischen Suchen z. B. nach bestimmten Ländern oder der Informationspflicht des Herstellers möglich.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass ein Großteil der benötigten Informationen für Analyse und Simulation bereits implizit durch Konstruktionssysteme, Produktdatenorganisations- und -verwaltungssysteme und externe Informationsquellen bereitgestellt werden kann. Ein expliziter Zugriff ist mangels Vernetzung derzeit nicht möglich, was eine integrierte, automatisierte Lösung erschwert.

5.3.3 Netzwerk Lebenszyklusdaten

Die Zusammenfassung und Normierung von Lebenszyklusdaten ist ein erklärtes Ziel des Netzwerks Lebenszyklusdaten, welches basierend auf einer Vorstudie im Jahr 2002 gegründet wurde. Unter dem Begriff der Lebenszyklusdaten werden Daten zusammengefasst, welche im Rahmen von Lebenszyklusuntersuchungen Anwendung finden. Das von der Helmholtz-Gesellschaft unter Federführung des Forschungszentrums Karlsruhe getragene Netzwerk Lebenszyklusdaten versteht sich als eine gemeinsame Informations- und Koordinationsplattform aller in die

Bereitstellung und Nutzung von Lebenszyklusdaten involvierten Gruppen. In das Netzwerk Lebenszyklusdaten sind bereits mehr als 60 Partner aus Wissenschaft und Industrie bis hin zu Verbänden eingebunden.

Der methodische Ansatz des Netzwerks besteht aus einer ganzheitlichen Betrachtung von Umweltauswirkungen über den gesamten Produktlebenszyklus, wie er zuvor im Abschnitt „Umweltbilanzierung“ beschrieben wurde. Der steigende Bedarf und die neuen Einsatzbereiche an allgemein anerkannte und hochwertige Daten setzen neben der Einbindung der industriellen Praxis eine dauerhafte Infrastruktur der Qualitätssicherung und eine wissenschaftliche Absicherung von Datenerhebung sowie Methodik der Datenaufbereitung voraus. Darüber hinaus ist die nutzerorientierte Bereitstellung der benötigten Lebenszyklusdaten in entsprechender Qualität und Quantität von besonderem Interesse. Zur Sicherstellung dieser Ziele unterteilen sich die Aktivitäten des Netzwerks in die Felder Basisdaten, Anwendungsfelder und Methodik.

Im Rahmen dieser Aktivitäten werden die speziellen Rahmenbedingungen innerhalb der Bereiche Basisdaten und Anwendungsfelder analysiert und somit ein Expertenwissen generiert und geliefert. Auf diese Weise erfolgt ein Abgleich des Stands der Technik und der Forschung bzgl. technischer, ökonomischer oder gesellschaftlicher Randbedingungen. Aufbauend auf diesem Detailwissen werden im Bereich Methodische Grundlagen die unterschiedlichen Ausgangslagen analysiert und zusammengeführt. Zielsetzung ist es, die wissenschaftliche Basis für Kompatibilität bzw. – soweit möglich und sinnvoll – die Harmonisierung der unterschiedlichen Vorgehensweisen innerhalb und zwischen den einzelnen Bereichen zu erarbeiten. Aufgrund dieser zentralen inhaltlichen Stellung hat dieser Bereich gleichzeitig die Funktion eines inhaltlichen Abstimmungsgremiums [84].

5.4 Vorarbeiten und bereits mögliche Lösungen

5.4.1 PDM/PLM

Das Fachgebiet Datenverarbeitung in der Konstruktion beschäftigt sich unter anderem mit dem Themengebiet des Produktdatenmanagements und des Produktlebenszyklusmanagements sowohl in der Forschung als auch in der Lehre. Es gibt vielfältige Forschungsaktivitäten in der Konzeption und Entwicklung, Analyse und Evaluierung von prozesskettenorientierten Produktentstehungsmethoden, insbesondere im Bereich der Erzeugung und dem Management prozessrelevanter, multidisziplinärer Produktdaten über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg [16], [89], [91].

5.4.2 SFB 392

Im Rahmen des Sonderforschungsbereichs (SFB) 392 „Entwicklung umweltgerechter Produkte“ (1996-2004) wurden Methoden und Werkzeuge zur prospektiven Betrachtung von Umweltwirkungen bereits in den frühen Phasen der Produktentwicklung entwickelt. Ausgehend von den CAD-Daten können Prozesse des gesamten Lebenszyklus – also Herstellung, Nutzung, Recycling und Entsorgung – antizipiert und deren Auswirkungen auf die Umwelt analysiert werden [1].

Mit Hilfe des am DiK entwickelten objektorientierten Datenmodells [12], [74], [92] können CAD-Kerndaten mit den Lebenszyklusprozessen, die in Partialmodellen abgebildet werden, verknüpft werden [14], [8], [10]. Zur Unterstützung wurden dabei sowohl Werkzeuge der Prozessmodellierung [94], [62] als auch eine grafische Benutzeroberfläche entwickelt [35], welche die Erstellung von Szenarien sowie die Durchführung von Ökobilanzen ermöglicht [47], [75].

Basierend auf einer am DiK entwickelten Schnittstelle können Produktstruktur-, Material-, und Featureinformationen einschließlich der verwendeten Parametrik aus dem CAD-System exportiert werden und für nachfolgende Anwendungen bereit gestellt werden [9], [7], [11], [76], [90].

Anhand der im CAD-System verwendeten Featureinformationen können vordefinierte Lebenszyklusprozesse sowohl manuell als auch automatisch angehängt werden und die Prozessparameter mit den CAD-Parametern verknüpft werden. Über die ebenfalls am Fachgebiet DiK entwickelte „EcoDesignWorkbench“ werden diese Informationen dem LCAD (Life Cycle Assessment for Computer Aided Design) zur Erstellung von Ökobilanzen zur Verfügung gestellt.

5.4.3 TFB 55 C5

Als Fortführung der Arbeit aus dem SFB 392 wurde 2005 der Transferbereich TFB 55 „Umweltgerechte Produkte durch optimierte Prozesse, Methoden und Instrumente in der Produktentwicklung“ eingerichtet. Ziel des Teilprojekts C5 „Life Cycle Design auf Basis von Standardsoftwaresystemen“ ist die Integration des Life Cycle Designs entsprechend der gesetzlichen Rahmenbedingungen in den betrieblichen Alltag. Als ausgewählter Industriepartner in diesem Project ist die TechniData AG, ein Exklusiv-Entwicklungspartner der SAP AG für EH & S Lösungen [107]. Der Ansatz des Teilprojekts besteht neben der Nutzung der Erkenntnisse aus dem SFB 392 darin, Methoden und Instrumente aus dem SFB 392 in bestehende, betrieblich genutzte Standardsoftwaresysteme – in diesem Projekt die mySAP Business Suite – zu überführen.

Zunächst wurden die durch die Europäische Union vorgelegten Richtlinien des produktbezogenen Umweltschutzes, d. h. die Umsetzung der WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment) [5], RoHS (Reduction of Hazardous

Substances) [4] und EuP (EcoDesign of Energy-using Products) [6] in nationales Recht untersucht. In einem weiteren Schritt wurden die gesetzlichen Reglementierungen in anderen Ländern wie USA, China und Japan analysiert. Darüber hinaus stand die in der Ausarbeitungsphase befindliche EU-Chemikalienverordnung REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals – Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe) [66], [67] im Fokus.

Diese Grundlagen wurden in einer Umweltgesetzdatenbank zusammengeführt. Darauf aufbauend wurde am DiK ein formales Konzept zur Abbildung dieser rechtlichen Rahmenbedingungen entwickelt, welches die notwendige Grundlage zur Integration von Compliance Checks in die virtuelle Produktentwicklung darstellt.

Das im Rahmen des TFB 55 entwickelte Konzept wurde abschließend in der ERP-Software „MySAP Business Suite“ abgebildet [48].

5.4.4 SLC

Im Rahmen des 6. EU Rahmenprogramms wurde 2005 das Projekt SuperLightCar (Sustainable Production Technologies of Emission reduced Light-weight car concepts – SLC) aufgelegt [106]. Ziel des Projekts ist die Entwicklung einer um 30 % (100 kg) leichteren Fahrzeugstruktur, bezogen auf aktuelle Fahrzeuge des C-Klasse Segments, welche den aktuellen Fahrzeugkonzepten in den Bereichen Kosten, Umwelt- und technischen Eigenschaften zumindest ebenbürtig ist. Im Rahmen des Projekts wird ein Übergang von traditionellen Stahlbauansätzen zu neuartigen Multimaterialansätzen in der Serienproduktion verfolgt, wobei für jede Funktion entsprechend den Anforderungen das am besten geeignete Material ausgewählt wird und anschließen mit Hilfe neuartiger Fügetechniken zu einem Gesamtkarosseriekonzept verbunden wird. Von besonderem Interesse sind die Folgen dieser Herangehensweise für die Konzeptbewertung hinsichtlich Umwelt- und Kosteneigenschaften, da noch keine gesicherten Erkenntnisse für die verwendeten Technologien über den gesamten Produktlebenszyklus existieren. Dieser Ansatz verfolgt nachhaltige Ziele im Sinne einer ganzheitlichen Verminderung von Umweltwirkungen im Gegensatz zu einer Verschiebung oder Verstärkung von Umweltwirkungen auf andere Produktlebensphasen.

Das Konsortium des SLC-Projekts besteht aus ca. 40 Partnern aus Industrie und Wissenschaft, darunter auch 7 europäische Automobilhersteller. Am Fachgebiet DiK werden für SLC Methoden und Werkzeuge entwickelt, die eine Bereitstellung von Daten für Öko- und Kostenbilanzierung basierend auf der CAD-Technologie ermöglichen. Ausgehend von den Anforderungen im Projekt wurde ein entsprechendes Datenmodell entwickelt, welches die Basis einer prospektiven Bewertung von Lebenszykluseigenschaften bildet. Darauf aufbauend wurden

Methoden und Werkzeuge entwickelt, die eine Definition von LC-Prozessen und ihre anschließende Übernahme in CAD-Systeme mittels spezieller CAD-Connectoren ermöglichen, als auch eine Zuweisung und Verknüpfung mit der systemimmanenten Parametrik. Die für eine LCA-Analyse und Kostenkalkulation benötigten Produkteigenschaften können dann per XML aus dem CAD-System ausgelesen und für Berechnungen von Kosten und Umwelteigenschaften bereitgestellt werden.

Die Bilanzierungswerkzeuge ihrerseits, ein im Projekt SLC entwickeltes LCC-Werkzeug sowie das eingesetzte Umweltbilanzierungswerkzeug GaBi zeichnen sich durch entsprechende Anpassungen aus: Basierend auf den definierten Prozessen existiert in den Werkzeugen für jeden Prozess ein entsprechend vordefinierter Algorithmus, welcher Umwelteigenschaften und Lebenszykluskosten automatisch berechnen kann. Eine vereinfachte Definition der Berechnungsalgorithmen beschränkt die vom Konstrukteur zu erzeugenden Informationen auf ein Minimum und erweitert die Systemgrenze der Prozesse und direkt zusammenhängende vor- und nachgelagerte Prozesse. Die in GaBi zu Grunde liegenden Schädigungsmodelle und Aggregationsverfahren sind bereits vordefiniert, so dass bei Verfügbarkeit von aus der Konstruktion stammenden XML-Daten automatische Bilanzierungen ablaufen und dem Konstrukteur als zusammengefasster Report zur Verfügung gestellt werden.

5.5 Entwicklungspotentiale

Im zuvor beschriebenen Stand der Technik wurden die Basistechnologien bezüglich 3D CAD Modellierung, Datenorganisation, Umweltbilanzierung, Kostenbilanzierung und Gesetzeskonformität beschrieben. Aufbauend auf den Basistechnologien wurden mögliche Ansätze beschrieben, Umwelt-, Kosten bzw. Gesetzeseigenschaften im Rahmen der virtuellen Produktentwicklung integriert zu betrachten. Bis jetzt existiert jedoch noch kein ganzheitlicher Ansatz, welcher auf der Nutzung von Lebenszyklusdaten in der virtuellen Produktentwicklung aufbaut und eine durchgehende Prozesskette von der rechnergestützten Produktentwicklung bis hin zur Umwelt- und Kostenbilanzierung oder Gesetzeskonformität reicht. Die Beschreibung eines solchen durchgängigen Ansatzes ist Ausgangspunkt dieser Studie. Ein Rahmenwerk zur integrierten Nutzung von Lebenszyklusdaten ist einer Vielzahl von Anforderungen unterworfen, die in die Segmente „allgemeine Anforderungen“, „Anforderungen an beteiligte Applikationen“, „Anforderungen an die Nutzung von Lebenszyklusdaten“ und „Anforderungen an den Anwender“ unterteilt werden können.

5.5.1 Allgemeine Anforderungen

Grundlage einer integrierten Nutzung von Lebenszyklusdaten ist zunächst eine produktbezogene Auslegung. Darunter ist zunächst eine Festlegung der

Systemgrenze auf das Produkt zu verstehen. Eine Erweiterung dieser Anforderung erfolgt implizit durch Nutzung der Lebenszyklusdaten, welche auch Informationen sämtlicher relevanter Vor- und Nachfolgeprozesse beinhalten.

Für die Erweiterung bestehender Ansätze sind verschiedene Daten notwendig. Dies sind zunächst die in der Produktentwicklung entstehenden 3D-CAD Daten und die Informationen aus dem PDM/PLM System. Des Weiteren muss ein Zugriff auf Gesetzesdatenbanken, Kostendaten, die zumeist im ERP abgebildet sind, und Lebenszyklusdatenbanken gewährleistet sein. Darüber hinaus müssen die Ergebnisse aus Umweltbilanzierung, Kostenbilanzierung sowie Compliance Check verfügbar sein.

Sämtliche verwendeten Daten sollten miteinander vernetzt vorliegen und unterliegen der Versionierung und Freigabe, d. h. es soll zu jedem Zeitpunkt eindeutig nachvollziehbar sein, welche Datengrundlagen in der Prozesskette für eine Berechnung verwendet wurden. Dies ermöglicht darüber hinaus eine Prüfung, ob die für eine Berechnung verwendeten Daten noch gültig sind und damit das Ergebnis immer noch valide ist bzw. die verwendeten Daten immer noch freigegeben sind.

5.5.2 Anforderungen an beteiligte Applikationen

Eine Zusammenarbeit der beteiligten Applikation erfordert die Definition von Schnittstellen oder Austauschformaten, die für Import und Export lebenszyklusrelevanter Daten erforderlich sind. Diese Schnittstellen erlauben die Integration und Nutzung der Daten einerseits im proprietären Datenmodell als auch eine Ausleitung von Daten für nachfolgende Berechnungsprozesse. Darüber hinaus ist ein Informationsmodell zu entwickeln, das alle relevanten Informationen für alle beteiligten Applikationen strukturiert aufnimmt.

5.5.3 Anforderung an die Nutzung von Lebenszyklusdaten

Die Nutzung von Lebenszyklusdaten bildet den Kern des zu entwickelnden Ansatzes. Sie ermöglicht die Verknüpfung von 3D-CAD Modellen der virtuellen Produktentwicklung mit den Berechnungen und der Gesetzeskonformität. Sämtliche beteiligten Applikationen bauen auf der Nutzung von so genannten Lebenszyklusdaten auf. Diese Lebenszyklusdaten stellen einerseits die für Umwelt- und Kostenberechnungen notwendigen Algorithmen bereit, andererseits sowohl Eingangs- und Ausgangsgrößen als auch relevante Informationen zur Durchführung der Compliance Checks. Lebenszyklusdaten müssen in unterschiedlichen Abstraktionsstufen vorliegen, damit sowohl in frühen als auch in späteren Entstehungsphasen Aussagen über die Eigenschaften eines Produkts getroffen werden können. Darüber hinaus müssen sie über die notwendige Flexibilität verfügen, bei Bedarf erweitert oder gegen neue Versionen ersetzt zu werden.

Weitere wichtige Anforderungen an Lebenszyklusdaten stellt die Transparenz der Daten und deren Eindeutigkeit in der Zuordnung und Sicherstellung der geforderten Datenqualität dar. Damit basierend auf den Lebenszyklusdaten nicht nur Umwelteigenschaften, sondern auch Kosten und Gesetzeskonformität beurteilt werden können, sind weitere spezifische, charakteristische Eigenschaften (Produktionsland, Absatzland, Materialien und Stoffe,…) mit aufzunehmen.

Die verwendeten Lebenszyklusinformationen sollen darüber hinaus in der Lage sein, nicht nur einzelne Prozesse abzubilden, sondern auch molekular aufgebaute Prozessfolgen darstellen zu können. Auf diese Weise wird die Systemgrenze eines Prozesses ausgeweitet, eventuell mit dem Prozess zusammenhängende vor- oder nachgelagerte Prozesse werden automatisch mit erfasst. Dies vereinfacht dem Konstrukteur die Auswahl der maßgeblich beteiligten Prozesse.

5.5.4 Anforderungen von Anwenderseite

Der Schlüsselfaktor zur erfolgreichen Nutzung von Lebenszyklusdaten liegt in einer frühzeitigen Integration der Anwender und der Ausrichtung sämtlicher Werkzeuge an die Anwender. Das notwendige Bewusstsein, die Bereitschaft und der Wille zur Nutzung sind maßgebliche Kriterien hierfür. Daraus leitet sich ab, dass die Anwender durch die Nutzung der Werkzeuge nicht überfordert werden, und sich Komplexität und benötigter Zusatzaufwand in erträglichen Maßen halten. Die zu konzipierenden Schnittstellen müssen den Anforderungen der Softwareergonomie genügen, mögliche Ergebnisse sollten einfach, leicht verständlich und auf die wesentlichen Kernaussagen beschränkt dargestellt werden. Für detaillierte Analysen ist als weitere Anforderung zu nennen, dass sich einzelne Ergebnisse bei Bedarf granularer darstellen lassen können.

5.6 Konzeptioneller Ansatz

Die Nutzung von Lebenszyklusdaten in der virtuellen Produktentwicklung basiert auf der Grundlage, dass verschiedene – für prospektive Aussagen relevante – Anwendungen auf einer teilweise identischen Datengrundlage aufbauen. Das Ziel, den Konstrukteur mit den notwendigen Daten zu unterstützen und frühzeitig Schwachstellen aufzuzeigen, kann durch eine gezielte Nutzung dieser Datenquellen und die übergreifende Bereitstellung von Berechnungsergebnissen erreicht werden. Der konzeptionelle Ansatz beruht auf der Tatsache, dass jede Applikation für die Berechnung von Umwelteigenschaften, Kosten und Konformitätsprüfung einerseits den notwendigen Informationsbedarf publiziert, bei Verfügbarkeit der Information die Berechnung durchführen kann und die Ergebnisse der Berechnung für den Konstrukteur bereit hält. Da gerade die frühen Phasen der virtuellen Produktentwicklung einer ständigen Änderung unterworfen sind, ist es notwendig, gewünschte Synchronisationspunkte zur Durchführung einer Berechnung durch

entsprechende Produktfreigaben kenntlich zu machen und die Gültigkeit einer Berechnung bei Änderungen zu überprüfen und dem Anwender zu signalisieren, d. h. dass beim Erreichen eines bestimmten Status eine Berechnung eingeleitet wird. Der hierbei zu verwendende Ansatz liegt eindeutig in der konsequenten Nutzung moderner Technologien der Datenorganisation, wie sie durch aktuelle PDM und PLM und ERP Systeme bereitgestellt werden. Da der Konstrukteur möglichst wenig in seinem gewohnten Arbeitsablauf gestört, ihm aber auch nicht die Interpretation der Berechnungsergebnisse überlassen werden sollen, sind die Ergebnisse der verschiedenen Berechnungen in einem „Informationsbildschirm“ einfach strukturiert und verständlich bereit zu halten, d. h. die Informationen werden auf Indizes und Kennzahlen aggregiert, welche noch aufgabenspezifisch zu entwickeln sind.

Im Folgenden wird das mögliche Zusammenwirken verschiedener Applikationen unter Nutzung von Lebenszyklusdaten in der Virtuellen Produktentwicklung beschrieben. Dabei erfolgt zunächst die Schilderung der Vorgänge aus Nutzersicht, anschließend erfolgt eine Beschreibung der Systemabläufe.

5.6.1 Nutzersicht

Im vorgestellten Szenario ist der Konstrukteur zuständig für die Neuentwicklung eines Produktes, wie zum Beispiel eines einfachen Haushaltsgeräts. Zur Vorbereitung auf die kommende Konstruktionsrunde, in der über die vorgestellten Produktvarianten entschieden wird, möchte der Konstrukteur entscheidungsunterstützende Unterlagen erstellen.

1. Damit die von ihm im 3D-CAD und PDM System erstellten Daten für die Bewertung von Umwelt- und gesetzlichen Eigenschaften sowie Kosten verwendet werden können, ist die Zuweisung weiterer bewertungsrelevanter Informationen notwendig.
2. Der Konstrukteur öffnet eine in seiner Konstruktionsumgebung eingebettete Applikation, welche die notwendigen Daten für die Bewertungen sammelt und den Konstrukteur auffordert, diese mit seinen Konstruktionsdaten zu verknüpfen. Dies kann im vorliegenden Beispiel eine Charakterisierung der maßgeblich beteiligten Herstellungsprozesse sein, z. B. Kunststoffspritzguss mit den Eigenschaften Material, Volumen, Abmessungen und den geplanten Produktions- und Absatzländern. In diesem Schritt werden, basierend auf Lebenszyklusdaten, die wichtigsten Kenngrößen für eine Bewertung festgelegt.
3. Im Anschluss an die Zuweisung lebenszyklusrelevanter Eigenschaften werden die Daten in den Konstruktionssystemen abgelegt und die zur Bewertung relevanten Daten werden in ein neutrales, durch die Bewertungswerkzeuge zugängliches Datenformat (Metadaten) ausgelesen. Im PDM System werden diese Daten als zueinander gehörig abgelegt.

4. Beim Speichern der CAD-Daten im PDM System wird der Produktstatus auf „vorläufige Freigabe“ geändert.
5. Nach Abschluss einer Bewertung werden die Bewertungsergebnisse ebenfalls im PDM System als dem Produkt zugehörig abgelegt. Der Konstrukteur wird z. B. über E-Mail auf die Verfügbarkeit von Bewertungsergebnissen hingewiesen und kann sich diese anzeigen lassen.
6. Für die Anzeige der Bewertungsergebnisse werden die umfangreichen Ergebnisdaten in einem einfachen Informationsbildschirm zusammengefasst.

5.6.2 Systemabläufe

Basierend auf dem zuvor beschriebenen Szenario werden anschließend die systeminternen Abläufe dargestellt.

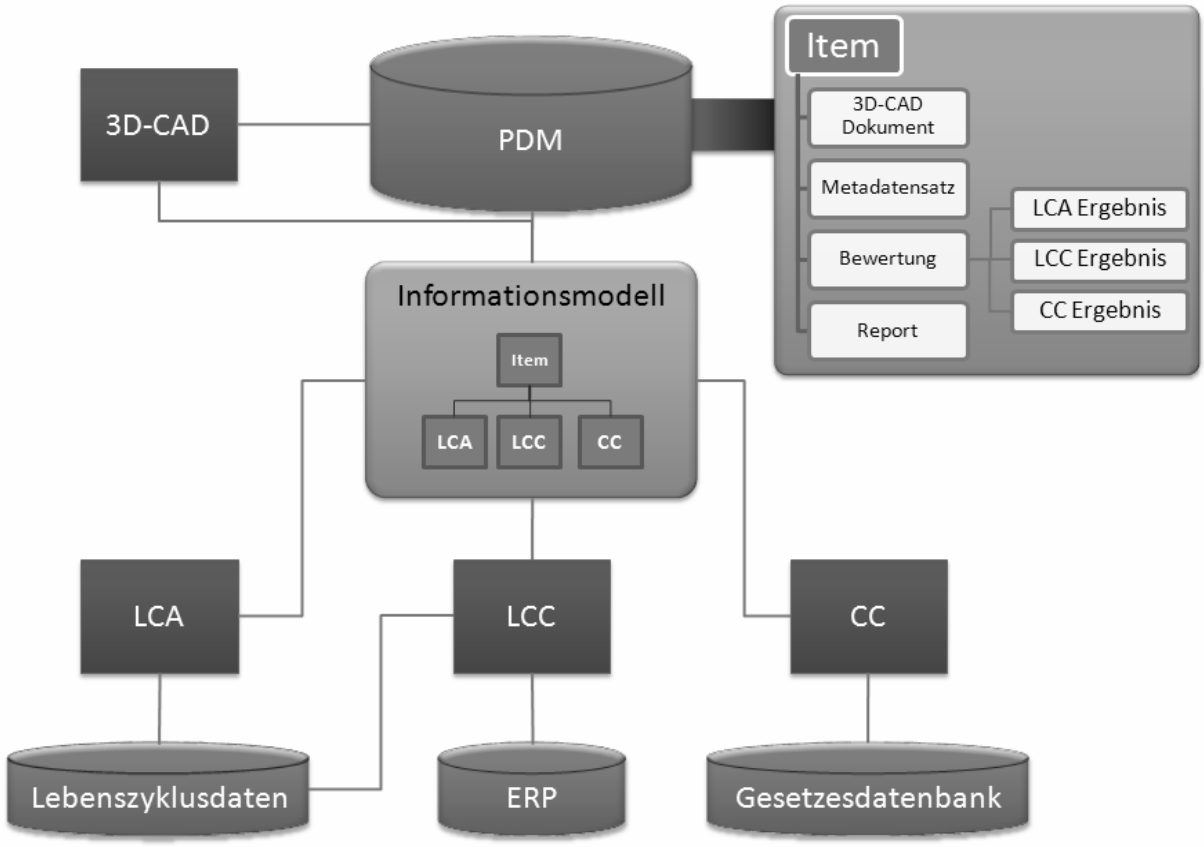

Abbildung 16 Konzeptioneller Ansatz der Systemarchitektur

Die hierbei vorausgesetzte Systemlandschaft besteht aus dem verwendeten 3D-CAD System, einem PDM System zur Verwaltung der Produktdaten, den Bewertungssystemen für Umwelteigenschaften, Kosten und Gesetzeskonformität. Das System zur Bewertung der Umwelteigenschaften baut seinerseits auf einer Datenbank mit Lebenszyklusdaten auf, das Kostenbilanzierungssystem baut zur

Kostenberechnung z. B. auf einem ERP-System bzw. den Lebenszyklusdaten auf, und das System zur Bewertung der Gesetzeskonformität baut auf einer Gesetzesdatenbank auf.

Damit die von ihm im 3D-CAD und PDM System erstellten Daten für die Bewertung von Umwelt- und gesetzlichen Eigenschaften sowie Kosten verwendet werden können, ist die Zuweisung weiterer bewertungsrelevanter Informationen notwendig.

1. *Damit die von ihm im 3D-CAD und PDM System erstellten Daten für die Bewertung von Umwelt- und gesetzlichen Eigenschaften sowie Kosten verwendet werden können, ist die Zuweisung weiterer bewertungsrelevanter Informationen notwendig.*
   - ⇨ Basierend auf den zur Verfügung stehenden Datenquellen stellt jedes Bewertungssystem seine Informationsanforderungen in einem Informationsmodell bereit, welches über das PDM System verwaltet wird. Dieses Informationsmodell stellt die Grundlage des Rahmenwerks zur Nutzung von Lebenszyklusdaten in der virtuellen Produktentwicklung dar.
2. *Der Konstrukteur öffnet eine in seiner Konstruktionsumgebung eingebettete Applikation, welche die notwendigen Daten für die Bewertungen sammelt und den Konstrukteur auffordert, diese mit seinen Konstruktionsdaten zu verknüpfen. Dies kann im vorliegenden Beispiel eine Charakterisierung der maßgeblich beteiligten Herstellungsprozesse sein, z. B. Kunststoffspritzguss mit den Eigenschaften Material, Volumen, Abmessungen und den geplanten Produktions- und Absatzländern. In diesem Schritt werden, basierend auf Lebenszyklusdaten, die wichtigsten Kenngrößen für eine Bewertung festgelegt.*
   - ⇨ Die in der Konstruktionsumgebung eingebettete Applikation stellt, basierend auf dem Informationsmodell, mögliche zuweisbare Produkteigenschaften dar. Im beschriebenen Fall wird ein möglicher Produktionsprozess angeboten, die zuzuweisenden Prozesseigenschaften entstammen den Lebenszyklusdaten zur Berechnung eines Urformprozesses. Für die Schätzung der Kosten wird ebenfalls auf diese Prozessparameter zugegriffen. Zur Konformitätsprüfung werden die Materialeigenschaften sowie geplante Herstellungs- und Absatzländer benötigt. Können nicht alle Informationen bereitgestellt werden, müssen die Analysen basierend auf Annahmen erfolgen.
3. *Im Anschluss an die Zuweisung lebenszyklusrelevanter Eigenschaften werden die Daten in den Konstruktionssystemen abgelegt und die zur Bewertung relevanten Daten werden in ein neutrales, durch die Bewertungswerkzeuge zugängliches Datenformat (Metadaten) ausgelesen. Im PDM System werden diese Daten als zueinander gehörig abgelegt.*

⇨ Die Speicherung von Konstruktionsdaten und Metadaten erfolgt unter Nutzung der gemeinsamen Versionsnummer. Werden die Konstruktionsdaten anschließend geändert, die abgeleiteten Metadaten jedoch nicht aktualisiert, sind sämtliche Berechnungsergebnisse für die neue Version nicht gültig, sondern nur für die Vorgängerversion.

4. *Beim Speichern der CAD-Daten im PDM System wird der Produktstatus auf „vorläufige Freigabe“ geändert.*

   ⇨ Die Änderung des Produktstatus auf die vorläufige Freigabe und die Existenz eines Metadatensatzes stoßen die Bewertung der Produkteigenschaften an. Basierend auf den Metadaten können die Bewertungen durchgeführt werden. Entsprechend den von den Systemen publizierten lebenszyklusrelevanten Eigenschaften im Informationsmodell existiert für jeden Prozess in den Berechnungswerkzeugen ein vordefiniertes Template, das zur Berechnung genutzt wird. Dieses beschreibt z. B. die für die Umweltbilanzierung notwendigen Eingangsgrößen, eine Spezifikation der zu verwendenden Lebenszyklusdaten, sowie zu definierende Details zur Sachbilanzierung, Wirkungsabschätzung und Auswertung.

5. *Nach Abschluss einer Bewertung werden die Bewertungsergebnisse ebenfalls im PDM System als dem Produkt zugehörig abgelegt. Der Konstrukteur wird z. B. über E-Mail auf die Verfügbarkeit von Bewertungsergebnissen hingewiesen und kann sich diese anzeigen lassen.*

   ⇨ Neben den CAD-Daten und den Metadaten werden anschließend die Bewertungsergebnisse im PDM System gespeichert. Mit jeder Berechnung einhergehend werden auch die verwendeten Datenquellen mit abgelegt, damit bei Änderung der Datenquellen (z. B. Gesetzesänderung oder Änderung in den Lebenszyklusdaten) die Gültigkeit einer Bewertung überprüft werden kann.

6. *Für die Anzeige der Bewertungsergebnisse werden die umfangreichen Ergebnisdaten in einem einfachen Informationsbildschirm zusammengefasst.*

   ⇨ Bei der Visualisierung der Ergebnisse erfolgt eine Aggregation auf einfach verständliche Kenngrößen, basierend auf zuvor festgelegten Aggregationsvorschriften. Eine Möglichkeit der Abbildung besteht beispielsweise in der Bereitstellung eines Reports im *.pdf-Format. Die detaillierten Ergebnisse der Berechnungen stehen für spätere detaillierte Analysen weiterhin zur Verfügung. Ebenso ist die Möglichkeit gegeben, für Expertenanalysen auf detailliertere Lebenszyklusdaten zuzugreifen.

5.7 Fazit

Die vorgestellte Studie gibt, aufbauend auf dem aktuellen Stand von Forschung und Technik, einen Überblick über Möglichkeiten zur Nutzung von Lebenszyklusdaten in der virtuellen Produktentwicklung. Das Hauptziel beim Einsatz dieser Lebenszyklusdaten liegt sowohl in einer Entscheidungsunterstützung des Konstrukteurs als auch in einer frühzeitigen Aussage über die Lebenszykluseigenschaften während der Produktentwicklung. Die dabei entstehenden Ergebnisse können für weiter gehende Expertenanalysen wieder verwendet werden.

Durch den Einsatz der PDM-Technologie ist die Bewertung der Lebenszykluseigenschaften zu jedem Zeitpunkt transparent und nachvollziehbar. Mögliche Änderungen sowohl in der zu Grunde gelegten Produktkonfiguration als auch in den zur Bewertung herangezogenen Lebenszyklusdaten bzw. den gesetzlichen Grundlagen lassen sich aufgrund dieses Ansatzes bis hin zu den Bewertungsergebnissen verfolgen. Diese Eigenschaft bestimmt maßgeblich die Aktualität und Validität der Ergebnisse.

Für den Konstrukteur bedeutet der vorgestellte konzeptionelle Ansatz zunächst einen geringen Mehraufwand in der Erzeugung der zur Bewertung benötigten Informationen. Die anschließend im Konstruktionssystem vorhandenen Daten erleichtern jedoch weitere administrative Schritte – wie z. B. die Pflege umfangreicher Konstruktionsdokumente –, die heutzutage häufig auf Tabellenkalkulationen oder Präsentationen aufbauen und wichtige, nicht im CAD-Modell oder in neutralen Datenformaten abgebildete Produkteigenschaften beschreiben. Darüber hinaus entfallen Rücksprachen zwischen den verschiedenen Disziplinen zur Ermittlung der zur Bewertung notwendigen Daten.

Eine weitere Verfolgung des dargestellten Ansatzes erfordert in einem ersten Schritt, die geeignete Systemarchitektur mit den Rollen der beteiligten Systeme zu definieren. Dabei sind sowohl föderative als auch integrierte Ansätze möglich. In einem weiteren Schritt sind die Schnittstellen zwischen den beteiligten Systemen zu definieren und es ist ein geeignetes Informationsmodell aufzubauen.

Die Vernetzung der beteiligten Systeme erfordert die Definition eines gemeinsamen Datenformats, auf das von den jeweiligen Applikationen zugegriffen werden kann und in das rückwirkend auch wieder Informationen abgelegt werden können. Die im Netzwerk Lebenszyklusdaten bereits vorhandenen Ansätze für Lebenszyklusdaten und nationale wie auch internationale Harmonisierungsansätze liefern hierzu wichtige Grundlagen.

Abschließend kann zusammengefasst werden, dass alle wissenschaftlichen Grundlagen zur Nutzung von Lebenszyklusdaten gegeben sind, den zuvor beschriebenen Ansatz umzusetzen. Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass die

Ergebnisse der Analysen stark von der verfügbaren Datengrundlage und der Genauigkeit in den einzelnen Bewertungssystemen abhängen. Die Ergebnisse können immer nur eine Schätzung, basierend auf den zum jeweiligen Zeitpunkt verfügbaren Informationen, darstellen. Der Erfolg des vorgestellten Ansatzes hängt darüber maßgeblich von der Akzeptanz der Konstrukteure ab, somit sollte der ihnen entstehende Aufwand gleich bleiben oder sogar geringer werden.

Die Stärken des Ansatzes liegen jedoch klar auf der Hand. Eine Einbeziehung von Lebenszyklusbewertungen bereits in der Produktentwicklung kann dafür sorgen, Produkte effizienter und umweltschonender zu entwickeln. Die aktuell vorhandene Blindphase in der Produktentwicklung, in der Entscheidungen ohne fundiertes Wissen über die Lebenszykluseigenschaften getroffen werden, kann unter Nutzung des beschriebenen Ansatzes effektiv reduziert werden und Produkte können bereits in der Entwicklung nachhaltig gestaltet werden.

ARBEITSPAKET 6

Bearbeitung: PTW
Observer: DiK

6 Nutzung von Lebenszyklusdaten in der industriellen Produktentwicklungspraxis

6.1 Hintergrund

Auf Grundlage der Erkenntnisse aus dem Transferbereich 55 „Umweltgerechte Produkte durch optimierte Prozesse, Methoden und Instrumente in der Produktentwicklung“ wurde im Rahmen des vorliegenden Arbeitspakets analysiert, wie Lebenszyklusdaten im Rahmen ökologischer Produktbeurteilungen in der realen Produktentwicklungspraxis genutzt werden. Ergänzt wurden diese Erkenntnisse durch eine Unternehmensbefragung und Telefoninterviews zum EcoDesign und der Nutzung der Ökobilanzierung in der Deutschen Elektro- und Elektronikindustrie.

6.1.1 Transferbereich 55

Viele der hier dargestellten Erkenntnisse basieren auf Erfahrungen aus der Vorbereitung und der Arbeit des DFG-geförderten Transferbereichs 55, der darauf abzielte, die im Rahmen der 9 jährigen wissenschaftlichen Grundlagenforschung des Sonderforschungsbereichs 392 „Entwicklung umweltgerechter Produkte“ gewonnenen Erkenntnisse in die industrielle Praxis zu übertragen [1]. In sechs Teilprojekten mit fünf industriellen Kooperationspartnern sollten u. a. Lösungen für eine nachhaltige Umsetzung des EcoDesign in den Abläufen des Produktentstehungsprozesses erarbeitet werden.

Hintergrund dieses Ansatzes war die Erkenntnis, dass sich zumindest in der Konsumgüterindustrie die Entwicklung umweltgerechter Produkte noch nicht in der Breite durchgesetzt hat, sondern in erster Linie auf Pilotprojekte beschränkt bleibt. Und dies, obwohl seitens der Wissenschaft eine Vielzahl von Methoden zur Entwicklung umweltgerechter Produkte entwickelt wurden und kommerzielle oder frei verfügbare Instrumente für eine ökologische Beurteilung von Produkten verfügbar sind.

Die Identifikation dieser Hemmnisse und deren Überwindung war eines der zentralen Ziele des TFB 55. Die gewonnenen Ergebnisse erlauben somit auch einen Rückschluss auf die Nutzung der ökologischen Beurteilung in der Produktentwicklungspraxis und damit auch auf die Nutzung von Sachbilanzdaten.

6.1.2 Informationsgrundlage

Die Grundlage für die hier gezogenen Schlüsse sind die Erfahrungen der Mitarbeiter des SFB 392 und TFB 55, insbesondere aus der Vielzahl der Industriekontakte im Rahmen der Forschungsarbeiten. Ergänzt werden diese durch den Austausch mit Fachleuten aus Industrie und Verbänden im Rahmen von Konferenzen und Messen sowie einer Industrieumfrage und Telefoninterviews.

An der Umfrage beteiligten sich insgesamt 18 von ca. 100 angefragten Unternehmen aus den Bereichen Informations- und Kommunikationstechnologie, Elektrowerkzeuge, Computertechnologie, Klimageräte, Haushaltsgeräte sowie weiteren Bereichen [72]. Damit haben ca. 20 % der Unternehmen Auskunft über ihre EcoDesign-Aktivitäten gegeben. Zur Vertiefung der Informationen waren sechs dieser Unternehmen aus dem Bereichen Haushaltsgeräte, Elektrowerkzeuge und Computertechnologie bereit, ihren Umgang mit Lebenszyklusdaten, bzw. der ökologischen Produktbeurteilung in der Entwicklungspraxis in Telefoninterviews eingehender darzustellen.

Die gesammelten Informationen geben daher nur einen Ausschnitt aus den Aktivitäten der Unternehmen der Elektro- und Elektronikindustrie wieder. Es ist anzunehmen, dass hier insbesondere die Aktivitäten der engagierten Unternehmen dargestellt sind, da diese bereitwilliger Auskunft über ihre EcoDesign Aktivitäten geben als Unternehmen, bei denen EcoDesign derzeit noch eine geringere Priorität besitzt.

6.1.3 Betrachtungsrahmen

Da die hier zugrunde gelegten Erfahrungen in erster Linie aus dem Bereich der Konsumgüterindustrie stammen, ist eine Einschränkung des Betrachtungsrahmens erforderlich, da sowohl in anderen Produktbereichen als auch in anderen Unternehmenskategorien andere Rahmenbedingungen herrschen. Die hier getroffenen Einschätzungen gelten daher in erster Linie für die Hersteller energiebetriebener Konsumgüter und können nur teilweise auf die Automotive- und Investitionsgüterindustrie sowie kleine und mittelständische Unternehmen übertragen werden.

Gerade in der Automotive-Industrie werden inzwischen vermehrt ökologische Beurteilungen durchgeführt, zumal hier andere Rahmenbedingungen bestehen. Insbesondere durch die Altautoverordnung hat die ökologische Beurteilung zur Identifikation möglicher Umwelttreiber eine höhere Priorität erlangt als dies heute in der Konsumgüterindustrie der Fall ist. Vor dem Hintergrund der EU-Richtlinie zur umweltgerechten Gestaltung energiebetriebener Produkte (EuP) wird sich diese Einstellung mit Sicherheit auch in der Konsumgüterindustrie ändern. Inwieweit sich dies auf die Nutzung von Lebenszyklusdaten auswirkt, soll im Rahmen der nachfolgenden Betrachtungen abgeschätzt werden.

Erkenntnisse aus Kooperationen mit klein- und mittelständischen Betrieben (KMUs) haben gezeigt, dass viele KMU selbst keine Produktentwicklung besitzen sondern für größere Unternehmen Bauteile und Baugruppen nach deren Vorgaben fertigen. Daher werden in dieser Firmenkategorie ökologische Beurteilungen praktisch ausschließlich in jenen Unternehmen eingesetzt, die im Bereich Umwelttechnologie

tätig sind, da hier die ökologische Beurteilung ein unverzichtbares Arbeitsmittel darstellt. Für KMU anderer Bereiche ist eine ökologische Beurteilung in der Regel zu aufwändig und sprengt schnell den Rahmen, der durch Personalkapazität und Kostendruck eng begrenzt ist. KMU wurden daher im Rahmen der vorliegenden Studie nicht berücksichtigt.

6.2 Ökologische Produktbeurteilungen in der Produktentwicklung

Wie sich die Rahmenbedingungen in den betrachteten Unternehmen präsentieren und welche Hemmnisse der Nutzung der ökologischen Beurteilung entgegenstehen, ist Inhalt der nachfolgenden Ausführungen, die einen Einblick in die „Ist-Situation“ in der Entwicklungspraxis geben. Darüber hinaus wird zusätzlich dargestellt, wie Sachbilanzdaten heute in der Industrie genutzt werden und welche Anforderungen die Anwender an diese Daten haben.

6.2.1 Rahmenbedingungen im Unternehmen

Wie sich insbesondere im Rahmen der Arbeiten des TFB 55 gezeigt hat, ist die Erstellung von ökologischen Beurteilungen im Produktentstehungsprozess sowie die Nutzung der Ergebnisse für eine Produktoptimierung eng verknüpft mit den Rahmenbedingungen im Unternehmen, insbesondere den Entscheidungsprozessen und -trägern, den eingesetzten Methoden sowie den Abläufen im Unternehmen.

Bestätigt wird dies auch durch die Auskünfte der telefonisch befragten Unternehmen sowie aus Diskussionen mit Industrievertretern auf Messen und Konferenzen. Im Einzelnen sind dabei die nachfolgend aufgeführten Aspekte von besonderer Bedeutung.

Entscheidungsprozesse und Entscheidungsträger

Bei der Analyse von Produktentwicklungsprozessen in der Praxis wird schnell deutlich, dass die relevanten Entscheidungen, die Auswirkungen auf die Umweltgerechtheit eines Produkts haben, nicht in der eigentlichen Produktentwicklung getroffen werden [2]. Die Konstrukteure sind vielmehr damit befasst jene Anforderungen an das Produkt umzusetzen, die in vorgelagerten Phasen des Produktentstehungsprozesses definiert und im Lastenheft oder der Anforderungsliste festgelegt wurden.

Der Konstrukteur selbst ist in diesem Rahmen verantwortlich für die Umsetzung dieser Anforderungen in das Produktmodell, dass in Form von CAD-Modellen, Datenblättern oder Prototypen dargestellt wird und auf Grundlage dessen später in der Fertigung die Realisierung des Produkts erfolgt. Im Rahmen dieser Tätigkeit hat der Konstrukteur jedoch nur eine begrenzte Entscheidungsvollmacht.

Vor diesem Hintergrund muss die Betrachtung der Produktenwicklung ausgedehnt werden auf den gesamten Produktentstehungsprozess, also von der Definition der

ersten Produktidee über deren Festschreibung in Lasten- und Pflichtenheft, deren Konstruktion bis hin zum Anlauf der Serienproduktion des Produktes. Nur in diesem Rahmen ist es möglich, die relevanten Entscheidungsprozesse und Entscheidungsträger zu identifizieren und bei einer ökologischen Produktoptimierung mit einzubeziehen.

Mit Ausweitung der Systemgrenze wird die Bedeutung der Abteilungen Warengruppenmanagement (Category Management) (bzw. je nach Unternehmen die Marketingabteilung), Strategie sowie der Geschäftsleitung deutlich, welche relevant an Entscheidungen in der Produktplanungsphase beteiligt sind. Darüber hinaus sind natürlich weitere Abteilungen involviert, einschließlich der Entwicklungsabteilung, die jedoch meist nur eine untergeordnete Rolle spielen. Bei der Definition der Anforderungen definieren somit in erster Linie die drei genannten Unternehmensbereiche die relevanten Produktmerkmale, immer im Hinblick auf die Erfüllung der seitens des Marketings ermittelten Kundenanforderungen unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Aspekte.

Ökologische Anforderungen, die über die gesetzlich geforderten hinausgehen, fließen demnach heute nur dann wirklich in die Produktanforderungen ein, wenn sie seitens der Kunden gefordert werden. Die Entscheidung, ob sich diese Forderungen als Produktmerkmale niederschlagen, wird dann unter Abwägung von technischen und wirtschaftlichen Kriterien getroffen. Diese Entscheidung erfolgt jedoch meist nicht auf Basis einer fundierten ökologische Bewertung, was dazu führen kann, das sich die lebenswegübergreifende Gesamtbilanz durch eine als ökologisch sinnvoll erachtete Forderung sogar verschlechtert.

Beispiel hierfür ist der Einsatz energieeffizienter Elektromotoren in Produkten mit kurzer Lebensdauer. Um die Forderung der Kunden nach einem geringen Energieverbrauch zu realisieren, werden Elektromotoren mit hohem Wirkungsgrad eingesetzt, was eine Verdoppelung des Materialaufwandes für den Motor mit sich bringen kann. Damit ergibt sich bei kurzer Nutzungszeit eine Verschiebung der Umweltwirkungen von der Nutzungs- in die Herstellungsphase.

Das Beispiel zeigt, dass die Bereitstellung der erforderlichen Informationen, also insbesondere über die Umwelttreiber am Produkt, sich in der Produktplanungsphase an den Bedürfnissen der Hauptentscheidungsträger orientieren und rechtzeitig zur Entscheidungsvorbereitung erfolgen muss.

Benötigt werden Informationen über die ökologischen Stellhebel am Produkt, die jedoch gleichzeitig mit Lösungsansätzen und den damit verbundnen Kosten verknüpft sein müssen. Die Durchführung einer ökologischen Beurteilung durch die Entscheidungsträger bzw. die entsprechenden Abteilungen ist in der täglichen Praxis aufgrund der Rahmenbedingungen nicht möglich. Zudem fehlt zur bedarfsgerechten

Entscheidungsvorbereitung noch die Umsetzung in Optimierungslösungen und deren wirtschaftliche Einschätzung.

Methodeneinsatz und Ergebnisverwendung

Für die Nutzung von Sachbilanzdaten in der Produktentwicklung ist neben den Entscheidungsträgern auch von Bedeutung, zu welchem Zweck eine ökologische Beurteilung durchgeführt und wofür deren Ergebnisse verwendet werden sollen.

Oft werden aus den Ergebnissen von Ökobilanzen, die meist im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit durchgeführt wurden, Rückschlüsse für eine ökologische Produktoptimierung abgeleitet und bei der Produktentwicklung zugrunde gelegt, auch wenn dies nicht als Ziel der Bilanz definiert war, und somit die Ergebnisse nicht uneingeschränkt übertragbar sind. Mit diesem Vorgehen wird in erster Line versucht, den Aufwand der ökologischen Beurteilung zu verringern, Kosten zu sparen und somit „zwei Fliegen mit einer Klappe zu schlagen“.

Der Einsatz der ökologischen Beurteilung in der Produktentstehung muss sich somit nach der Fragestellung des jeweiligen Anwenders richten und ist damit zusätzlich abhängig von der jeweiligen Phase des Produktentstehungsprozesses.

Wie bereits erläutert, steht in der Produktplanung eine lebenswegübergreifende Beurteilung im Vordergrund. Anders verhält es sich im Produktentwicklungsprozess. Bei der Umsetzung der Anforderungen in das Produktmodell im Rahmen der eigentlichen Entwicklung kann der Konstrukteur in der Regel nur über Details entscheiden, beispielsweise unter Berücksichtigung der technischen und wirtschaftlichen Anforderungen einen alternativen Werkstoff auswählen. An diesem Beispiel wird deutlich, dass es hier um sehr detaillierte Fragestellungen geht, die entsprechende Arbeitsmittel erfordern. Dennoch bauen diese Arbeitsmittel, bei denen es sich beispielsweise auch um Checklisten handeln kann, auf Ergebnissen aus ökologischen Beurteilungen auf. Zudem erfolgt beim Einsatz in der Produktentwicklung auch praktisch immer eine vergleichende Beurteilung zwischen Produkten (Vorgänger und Nachfolgeprodukt), Baugruppen, Bauteilen oder Werkstoffen.

Abläufe

Wie bereits aus den vorangegangenen Ausführungen hervorgeht, werden in der Produktplanung die relevanten Produkteigenschaften festgelegt. Die Ausgestaltung der Details erfolgt im Zuge der eigentlichen Produktentwicklung. Während der Produktplanung liegen nur wenige Informationen über das Produkt vor, was eine ökologische Beurteilung schwierig macht. Mit zunehmender Ausgestaltung des Produkts im Rahmen der Produktentwicklung vereinfacht sich die Beurteilung aufgrund der größer werdenden Informationsgrundlage, es sinkt jedoch die Möglichkeit, weitergehende Änderungen am Produkt vorzunehmen.

6.2.2 Hemmnisse

Generell wurde festgestellt, dass ökologische Produktbeurteilungen zur Optimierung eines Produkts in der täglichen Entwicklungsarbeit der Industrie leider nur sehr selten vorgenommen werden. Die Gründe hierfür sind:

- Zu hoher Zeitaufwand für die Durchführung der ökologischen Beurteilung
  Die industrielle Entwicklungspraxis ist geprägt von hohem Termindruck, insbesondere vor der Forderung nach immer kürzeren Entwicklungszeiten. In der Praxis bleibt dabei eigentlich keine Zeit, die für eine ökologische Kurzbeurteilung (geschweige denn vollständige LCA) erforderlichen Produkt- und Sachbilanzdaten zusammenzutragen, eine Beurteilung durchzuführen und die Ergebnisse zu interpretieren.
- Fehlendes Hintergrundwissen im Bezug auf ökologische Beurteilungen
  Für die Erstellung einer aussagekräftigen ökologischen Beurteilung ist entsprechendes Hintergrundwissen erforderlich, z. B. über zu berücksichtigende Wirkungskategorien, Schädigungsmodelle, Abschneidekriterien oder auch die Einhaltung bestimmter Formalien, sollen die Ergebnisse auch der Öffentlichkeit präsentiert werden. Dieses Hintergrundwissen ist in der Regel in der Entwicklungsabteilung nicht und in den Umweltabteilungen nur teilweise vorhanden. Die Umweltabteilung ist jedoch in erster Linie verantwortlich für den standortbezogenen Umweltschutz und damit – sofern das erforderliche Hintergrundwissen zur ökologischen Beurteilung überhaupt vorhanden ist – meist ausgelastet. Bei den Industriepartnern im Transferbereich waren keine ausgewiesenen Stellen für den produktbezogenen Umweltschutz vorhanden oder vorgesehen.
- Unsicherheiten bezüglich der Auswahl der für die Fragestellung geeigneten Beurteilungsmethode
  Je nach Methodenschwerpunkt und -art (z. B. Mid- oder Endpoint-Ansätzen) können sich bei der Beurteilung desselben Produkts mit unterschiedlichen Methoden unterschiedliche Ergebnisse zeigen. Von daher ist die Auswahl der geeigneten Beurteilungsmethode bzw. Beurteilungsinstruments von großer Bedeutung für die Erreichung der am Produkt gesetzten Ziele.
- Unklarheiten bei der Interpretation der Ergebnisse
  Gerade bei Midpoint-Analysen wird es für den unerfahrenen Anwender schwierig, die Ergebnisse für eine ökologische Optimierung richtig zu deuten und den verursachenden Baugruppen des Produkts zuzuordnen. Wird die ökologische Beurteilung durch einen Experten durchgeführt, fehlt diesem hingegen meist die technische Erfahrung, die Ergebnisse in Zusammenhang mit Produktmerkmalen und vor allem einer technischen Optimierung zu bringen.

- ⇨ Fehlende Einflussmöglichkeiten für die Umsetzung der identifizierten ökologischen Potenziale

  Ein Produktentwickler hat einen klar begrenzten Entscheidungsspielraum. Er hat die Anforderungen aus dem Lastenheft umzusetzen. Über diese Anforderung hinaus ist er nicht berechtigt, eigenmächtig eine ökologische Optimierung durchzuführen. Nicht akzeptiert werden von diesen Anwendern daher Beurteilungsinstrumente, die Lösungen vorgeschlagen, welche außerhalb ihres Entscheidungsbereiches liegen. So werden z. B. andere Wirkprinzipien durch die Strategieabteilung und die Geschäftsleitung entschieden. Zudem erfordern andere Wirkprinzipien, z. B. die Verwendung von Brennstoffzellen statt Verbrennungsmotoren, zusätzliche Vorentwicklungen, bevor sie in der Serie genutzt werden können.

  Viele Beurteilungsinstrumente berücksichtigen diese Begrenzung des Entscheidungsspielraums leider nur unzureichend.

6.2.3 Nutzung von Sachbilanzdaten in der Entwicklungspraxis

Wie aus den vorangegangenen Ausführungen bereits zu entnehmen war, werden die meist im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit erstellten Ökobilanzen entweder von externen oder – in den selteneren Fällen – internen Fachleuten durchgeführt. Dies hat Konsequenzen für die Nutzung von Sachbilanzdaten.

Ebenfalls wenig verbreitet sind hier Environmental Product Declarations (EDPs). Diese liegen ebenfalls in der Verantwortung entsprechender Fachleute im oder außerhalb des Unternehmens, wobei sich insbesondere große Unternehmen entsprechende Abteilungen leisten. So lässt beispielsweise die Siemens AG Transportation Systems EPDs von der ECODESIGN Company in Wien durchführen [100].

Grundsätzlich ist zu berücksichtigen, dass es sich in diesen Fällen um Fachleute außerhalb der Produktentstehung handelt und auch eine Beurteilung nicht während der Entwicklung, sondern retrospektiv für bestehende Produkte erfolgt.

Für die Nutzung von Sachbilanzdaten bedeutet dies, dass öffentlich zugängliche Datenbanken praktisch ausschließlich von Fachleuten genutzt werden. Diese sind dann auch in der Lage, die Daten gemäß ihrer Qualität zu beurteilen.

Weniger versierte Beurteiler greifen hingegen gerne auf kommerzielle Instrumente zurück, für die auch gleich die entsprechenden Datenbanken vom Anbieter mit vertrieben werden. Öffentlich zugängliche Sachbilanzdatenbanken spielen für diese Anwender keine Rolle.

6.2.4 Anforderungen der Anwender

Wie aus den Gesprächen mit den Verantwortlichen in der Industrie hervorging, treffen die (wenigen) Anwender in der Konsumgüterindustrie keine Unterscheidung zwischen der ökologischen Beurteilung an sich und den der Beurteilung zugrunde liegenden Sachbilanzdaten. Diese werden als Teil der Beurteilung gesehen und die mit der Bereitstellung qualitativ hochwertiger Daten bzw. deren Auswahl verbundenen Probleme sind meist bekannt. In der täglichen Produktenstehungspraxis steht heute hingegen eindeutig die Problematik im Vordergrund, wie eine ökologische Beurteilung überhaupt in der täglichen Arbeit effizient durchgeführt werden kann.

Als förderlich für den breiten Einsatz der ökologischen Beurteilung in der industriellen Praxis werden, praktisch einstimmig, an die Anforderungen der Anwender angepasste Instrumente genannt, mit denen ein Zugriff auf öffentlich verfügbare, aktuelle und umfassende Sachbilanzdatenbanken möglich sein sollte. Die Anwendung dieser Instrumente soll dabei mit so wenig Aufwand wie möglich verbunden sein.

Zudem wurde vielfach der Wunsch geäußert, auch Daten für die Beurteilung von spezifischen Fragestellungen bereitzustellen, beispielsweise für einen ökologischen Vergleich zwischen Reinigungsmitteleinsatz und Energieverbrauch. Nicht bedacht wird dabei allerdings vielfach, dass derartige Fragestellungen an den Grenzen heutiger Schädigungsbewertungen scheitern.

Grundsätzlich benötigen die Anwender in der Praxis meistens keine exakten Ergebnisse aus ökologischen Beurteilungen. In der Regel reichen Richtungsvorgaben aus. Dennoch sollte diese eingeschränkte Ergebnisqualität nicht auf einer unzureichenden Datenqualität beruhen, sondern vielmehr die Chance bieten, mittels Wahl hinreichender Abschneidekriterien den Aufwand der Beurteilung auf ein annehmbares Maß zu verringern.

6.2.5 Fazit

Die ökologische Beurteilung hat in der industriellen Produktentstehungspraxis noch keinen breiten Einzug gehalten. Folgende Gründe sind hierfür relevant:

- ⇨ Die ökologische Beurteilung ihrer Produkte gestaltet sich für die meisten Unternehmen zu aufwändig und ist, insbesondere vor dem Hintergrund knapper Personalkapazitäten, in der täglichen Praxis kaum durchführbar. Nur große Unternehmen leisten sich Mitarbeiter oder Abteilungen für die Durchführung ökologischer Beurteilungen.
- ⇨ Die Entwicklung umweltgerechter Produkte erfordert mehr als die reine Anwendung von Methoden zur ökologischen Beurteilung. Strategie,

Informationsflüsse, Abläufe und Entscheidungsprozesse im Unternehmen müssen darauf abgestimmt werden.

- ⇨ Derzeit verfügbare Methoden und Instrumente richten sich nicht nach den individuellen Bedürfnissen der Anwender. Je nach Entscheidungskompetenz und Stand des Entwicklungsprozesses haben die Anwender völlig andere Fragestellungen und damit Anforderungen an die Instrumente.

Auch vor dem Hintergrund der anstehenden Durchsetzungsmaßnahmen der EuP-Richtlinie sind heute viele Unternehmen scheinbar noch nicht ausreichend auf die Berücksichtigung ökologischer Anforderungen an ihre Produkte vorbereitet. Dies ist in erster Linie auf die Komplexität der gesamten Fragestellung beim produktbezogenen Umweltschutz zurückzuführen. Es fehlt nach wie vor an praktikablen Ansätzen für eine ökologische Beurteilung, die unter den Rahmenbedingungen in der Industrie auch anwendbar sind. Dies erklärt auch die vielfach in der Praxis eingesetzten, von den Unternehmen selbst entwickelten Methoden und Arbeitsmittel.

6.3 Lösungsansätze für ökologische Beurteilungen in der Praxis

Basierend auf den bisher dargestellten Erkenntnissen und den Ergebnissen des Transferbereichs 55 sollen die nachfolgend angestellten Überlegungen Ansatzpunkte für den breiteren Einsatz der ökologischen Beurteilung in der Praxis aufzeigen.

6.3.1 Integration in die Produktentstehungsprozesse

Erster Schritt zur Umsetzung der Entwicklung umweltgerechter Produkte in die Praxis ist die Integration der entsprechenden Arbeitsschritte in die Produktentstehungsabläufe. Voraussetzung dieser Integration ist die Definition klarer Ziele im produktbezogenen Umweltschutz durch die Geschäftsleitung. Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund relevant, dass der mit der Realisierung umweltgerechter Produkte verbundene Mehraufwand gegenüber der Geschäftsleitung vertreten werden muss, zumal sich die positiven Effekte, beispielsweise Materialeinsparungen durch die ökologische Optimierung oder ein besserer Absatz umweltgerechter Produkte auf dem Markt, erst mit einer gewissen Verzögerung zeigen.

Dem Problem der ökologischen Produktbeurteilung im Produktplanungsprozess kann durch die Bereitstellung aufbereiteter Ergebnisse aus einer retrospektiven Beurteilung des Vorgängerprodukts oder eines ähnlichen Produkts begegnet werden. Im Rahmen des Transferbereichs 55 wurden in mehreren Projekten, die sich mit EcoDesign-Integration in den Produktentstehungsprozess befassen, Abläufe entwickelt, bei denen im Rahmen eines Reviewprozesses eine ökologische Beurteilung vorgesehenen ist. Um den Aufwand für die Unternehmen möglichst

gering zu halten, wurde hierfür auf Grobabschätzungsmethoden zurückgegriffen bzw. als Arbeitsmittel eine vereinfache Ökobilanz entwickelt, die sich speziell an den Rahmenbedingungen des Unternehmens orientiert.

Die ökologischen Beurteilungen im Rahmen der definierten Reviewprozesse sind ebenfalls nur dann erforderlich, wenn sich erhebliche Änderungen am Produkt oder der Datengrundlage ergeben haben. Es konnte im Rahmen des Transferbereichs jedoch noch nicht gelöst werden, nach welchen Kriterien sich eine erneute Beurteilung richtet.

Der Reviewprozess sollte gegen Ende des Produktentstehungsprozesses erfolgen, idealerweise nach Anlauf der Serienfertigung. Zu diesem Zeitpunkt liegen alle erforderlichen Produktinformationen vor, die eine Produktbeurteilung mit ausreichender Aussagekraft ermöglichen. Um die gewonnen Erkenntnisse über die ökologischen Potenziale jedoch auch nutzen zu können, sollten diese aufbereitet und gespeichert werden, bis sie wieder bei der Entwicklung des Nachfolgeprodukts benötigt werden.

Neben der retrospektiven Beurteilung sind in der eigentlichen Produktentwicklung noch Arbeitsmittel hilfreich, mit denen eine ökologische Optimierung an einer Baugruppe schnell und einfach nachgewiesen werden kann.

6.3.2 Anpassung der ökologischen Beuteilung an die Anforderungen der Praxis

Die Vereinfachung, d. h. die Verringerung des Aufwandes der ökologischen Beurteilung gestaltet sich schwierig. Einerseits soll eine ausreichende Ergebnisqualität erzielt werden, andererseits der Zeitaufwand für die Durchführung möglichst niedrig gehalten werden.

Zu unterscheiden ist dabei, zu welchem Zweck die Beurteilung im Produktentstehungsprozess eingesetzt werden soll. Da die Detailfragen in der Produktentwicklung in der Regel mit einfachen, an die Anforderungen der Anwender abgestimmten Arbeitsmitteln besser abzudecken sind, soll nachfolgend nur die produkt- und lebenswegübergreifende Beurteilung näher betrachtet werden. Die Erstellung unternehmensspezifischer Arbeitsmittel könnte hingegen nur im Rahmen einer Unternehmensberatung auf Grundlage einer umfassenden Analyse durch entsprechende Fachleute erfolgen. Dies würde den Unternehmen zudem den zeitaufwendigen Aufbau eigener Kompetenzen zur Entwicklung und Anpassung von EcoDesign-Arbeitsmitteln ersparen.

Zur Verringerung des Zeitaufwandes bei der lebenswegübergreifenden Beurteilung konnten folgende Ansatzpunkte identifiziert werden:

<u>Verringerung des Informationsinputs</u>

Minimiert werden könnte der Umfang jener Produktinformationen, die das Produkt und seinen Lebensweg beschreiben. Für eine erste richtungweisende Abschätzung

reichen Informationen über die Werkstoffzusammensetzung und -massen, den Energie- und Stoffverbrauch der Nutzungsphase sowie die wichtigsten Entsorgungspfade aus. Diese Informationen liegen den Unternehmen zumeist vor und sind mit überschaubarem Aufwand abzurufen.

Es wäre wünschenswert, wenn mittels einer aggregierten Sachkennzahl eine komplette Prozesskette abgebildet werden könnte, beispielsweise die Stahlerzeugung, Halbzeugherstellung und die anschließende spanende Bearbeitung, da die Modellierung der gesamten Prozesse für ein Bauteil oder eine Baugruppe in der Produktentstehungspraxis zu zeitaufwändig ist.

Hierfür wäre die Definition von Default-Prozessketten erforderlich, die – in diesem Beispiel – einen guten Querschnitt über die verschiedenen Herstellungs- und Bearbeitungsszenarien abbilden, um mit einer Sachkennzahl einen großen Prozessbereich mit möglichst guter Aussagekraft abzubilden. Entsprechende Ansätze finden sich heute bereits bei kommerziellen Instrumenten, inwieweit die hinterlegten Prozesse einen guten Querschnitt darstellen, geht daraus jedoch meist nicht hervor, wodurch der Anwender schlecht einschätzen kann, ob sie für die Abbildung der gewünschten Prozesskette repräsentativ sind.

Die Erstellung solcher Prozessketten ist jedoch nicht trivial und erfordert weitere wissenschaftliche Forschungsarbeiten. Die Problematik wird am dargestellten Beispiel sehr schnell beim Vergleich zweier Aluminiumbauteile mit gleichem Gewicht deutlich. Während in der Konsumgüterindustrie nach Möglichkeit endkonturnahe Gussbauteile eingesetzt werden, die nur noch eine geringe spanende Nachbearbeitung erfordern, bevorzugt die Luftfahrtindustrie die Zerspanung hochfester Aluminiumrohlinge. Hierbei kann durchaus ein Zerpanungsgrad von über 90 % erreicht werden. Für diese unterschiedlichen Prozessabläufe Sachkennzahlen bereitzustellen, erfordert eine entsprechende Beurteilung und einen Benchmark der möglichen Prozessketten. Dies Sachkennzahlen möchte der Anwender in der industriellen Praxis jedoch nicht erarbeiten, sondern benutzen.

Definition von Abschneidekriterien

Sinnvoll gewählte Abschneidekriterien stellen eine weitere Möglichkeit dar, den Aufwand der Beurteilung zu verringern, denn sie definieren die Tiefe der Betrachtung. Gerade die Anwendung in der Produktentstehung erfordert, je nach Fragestellung, unterschiedliche Betrachtungstiefen, d. h. Berücksichtigung von Prozessen. Im Zuge der Arbeiten des Transferbereichs 55 wurde jedoch deutlich, dass ein Abschneiden von Prozessen, die unter eine definierte Grenze für Stoff- und Energieströme fallen, produkt- und unternehmensspezifisch erfolgen muss, soll sie grundsätzlich in einem Beurteilungsinstrument eingesetzt werden.

So konnten beispielsweise in einem vereinfachten Beurteilungsinstrument für einen Industriepartner des Transferbereichs 55 die gesamten Transportprozesse

abgeschnitten werden, nachdem die Analyse der Gesamtbeiträge aus dem Transport vernachlässigbar gering war. Dies war auf die räumliche Nähe zu den Lieferanten zurückzuführen, von denen 80 % in einem Radius von 100 km angesiedelt waren. Das Abschneiden der Transportprozesse war jedoch nur für diese spezielle Produktsparte des Unternehmens möglich. Bei anderen Sparten wurde auf weltweite Lieferanten zurückgegriffen, womit eine Vernachlässigung des Transports bei diesen Produkten nicht mehr möglich war. Eine Verringerung des Aufwandes durch das Abschneiden weniger relevanter Ströme erfordert demnach eine eingehende Analyse und kann nicht pauschal erfolgen. Hier fundierte Handlungsanweisungen für die Anwender in der Praxis zu erarbeiten wäre ein weiterer Ansatzpunkt für Forschungsarbeiten.

Ergebnisdarstellung

Anwender aus der Praxis fordern eine einfache Ergebnisdarstellung, die keine weitere Interpretation verlangt. In der Regel werden Single-Score-Indizes gewünscht, zumindest für die Darstellung der ökologischen Performance des Produkts. Eine Abwägung verschiedener Wirkungskategorie-Ergebnisse ist in der Praxis bereits wieder zu aufwändig und verlangt ökologisches Hintergrundwissen.

Zudem soll die ökologische Performance meist noch aggregierten technischen und wirtschaftlichen Indizes gegenüber gestellt werden können, beispielsweise in Spinnennetz-Diagrammen. Diese werden schnell unübersichtlich, wenn mehrere ökologische Indizes aufgeführt werden.

Dennoch muss auch bei Einzelindizes eine einfache und klar strukturierte Rückverfolgung zu den Wirkungskategorien und den Umwelttreibern möglich sein. Zum einen erhöht sich durch diese Transparenz die Akzeptanz des Ergebnisses, zum anderen wird so eine schnelle Identifikation der Umweltreiber am Produkt ermöglicht.

Bereitstellung von Sachbilanzdaten

Ein vereinfachter Zugriff auf aktuelle Sachbilanzen ist eine weitere Möglichkeit, den Aufwand für mögliche Anwender in der industriellen Praxis zu reduzieren. Die Auswahl der Sachbilanzdaten aus den verschiedenen Datenbanken und die Beurteilung ihrer Qualität stellt die meisten Anwender in der Industrie vor Probleme. Zudem gestaltet sich der Prozess sehr zeitaufwändig. Dies ist auch der Grund, warum Anwender in den Unternehmen gerne auf kommerzielle Instrumente und die dazugehörigen Sachbilanz- bzw. Prozessdatenbanken zurückgreifen.

6.3.3 Anforderungen an die Datengrundlage

Aus den Anforderungen der Praxis an die ökologische Beurteilung ergeben sich wiederum Anforderungen an die Datengrundlage, auf der die Beurteilung aufbaut.

Sie beziehen sich auf die Eigenschaften, den Umfang und die Bereitstellung der Sachbilanzdaten sowie auf deren Zugriff durch die Beurteilungsinstrumente.

Folgende Anforderungen an die Datengrundlage wurden von den Verantwortlichen in der Industrie genannt:

- Umfangreich
  Die Bereitstellung der Sachbilanzdaten möglichst vieler Prozesse erleichtert gerade weniger versierten Anwendern die Durchführung einer Beurteilung, da hierdurch eine Abschätzung über vergleichbare Prozesse entfällt. Zudem sollten aggregierte Sachbilanzdaten relevanter Prozessketten verfügbar sein, die eine vereinfachte Beurteilung auf Grundlage von Querschnittswerten erlauben.
- Standardisiert
  Sachbilanzdaten verschiedener Studien sind untereinander nur eingeschränkt vergleichbar, da sie meist auf verschiedenen Erhebungsmethoden beruhen. Nutzer von Sachbilanzdatenbanken wünschen sich für eine vereinfachte und schnelle Beurteilung eine Standardisierung der Erhebungsmethodik, damit die Vergleichbarkeit von Sachbilanzdaten sichergestellt ist und die Überprüfung der Daten auf Konsistenz nicht mehr durch den Anwender erfolgen muss.
- Hohe Qualität
  Gerade vor der Forderung nach einer Vereinfachung der ökologischen Beurteilung muss eine hohe Datenqualität sichergestellt werden. Wird eine vereinfachte Beurteilung auf Grundlage von Sachbilanzdaten geringer Qualität durchgeführt, ergibt sich daraus ein Multiplikationseffekt, der letztendlich zu unzureichenden und damit wenig belastbaren Ergebnissen führt. Zudem sollen die bereitgestellten Daten auch den aktuellen Stand der Prozesstechnik abbilden.
- Bewertet
  Die Ausweisung eines Qualitätsindikators auf Grundlage einer Datenqualitätsbeurteilung würde die Nutzung der Daten ebenfalls vereinfachen. Ein Indikator, in dem beispielsweise das Alter der Daten, die Erhebungsmethode oder Standardabweichungen der Messungen berücksichtigt werden, ließe eine schnellere Auswahl von Sachbilanzdaten zu. Könnte dieser Indikatorwert in den Beurteilungsinstrumenten noch automatisch verarbeitet werden, wie dies z. B. bei der rechnerunterstützten Beurteilung im Rahmen der Arbeiten des Sonderforschungsbereichs 392 umgesetzt wurde, käme dies der Nutzung der Daten in der Praxis entgegen.
- Zentral verfügbar
  Die Vielzahl der Datenbanken und die Auswahl der geeigneten, auch vor dem Hintergrund der Datenqualität, stellt die Anwender aus der Industrie vor weitere

Probleme, die ebenfalls Zeit kosten. Wünschenswert wäre daher die Bereitstellung der Daten in einem Portal.

- ⇨ Strukturiert
  Um die Suche nach Sachbilanzdaten bestimmter Prozesse zu erleichtern, sollten die Daten gut strukturiert und zusätzlich eine Suchfunktion bereitgestellt werden.
- ⇨ Schnittstellen
  Schnittstellen sollten standardisiert sein, um die Nutzung für verschiedene Instrumente zu ermöglichen, sowie einen einfachen und schnellen Datenimport. Da die Ausgestaltung der Schnittstellen ist jedoch Teil der Datenbankentwicklung ist sollte sie parallel zur Entwicklung geeigneter Beurteilungsinstrumente erfolgen.

6.4 Fazit

Wie sich im Verlauf der Studie gezeigt hat, erfolgt der Einsatz der ökologischen Beurteilung, insbesondere in dem befragten Bereich der Elektro- und Elektronikindustrie leider noch nicht in dem wünschenswerten Maß. Entlastungen für die Umwelt werden dadurch nicht realisiert und die Unternehmen schöpfen die ökologischen Potenziale, die sie insbesondere von den Wettbewerbern aus Asien auf dem Markt unterscheiden, nicht aus.

Neben den bereits dargestellten Aspekten wurde in den Diskussionen mit Industrievertretern oft deutlich, dass sich den Unternehmen die Vorteile nicht erschließen, die mit der Nutzung der ökologischen Beurteilung in der Praxis einhergehen. Es handelt sich dabei insbesondere um:

- ⇨ Die prospektive Reaktion auf die anstehende EU-Gesetzgebung
  Unternehmen, die bereits heute die ökologischen Potenziale ihrer Produkte kennen, sind besser auf die möglichen Durchführungsmaßnahmen der EuP-Richtlinie vorbereitet und können einfacher die Richtlinienkonformität ihrer Produkte nachweisen. Gegenüber nicht vorbereiteten Wettbewerbern stellt dies einen Wettbewerbsvorteil dar.
- ⇨ Die Einsparung von Energien und Ressourcen
  Aus der Minimierung der Energie- und Stoffströme entlang des Produktlebensweges ergeben sich für die Untenehmen Synergieeffekte durch die Nutzung von Einsparungspotenzialen bei der Herstellung, dem Recycling und der Entsorgung der eigenen Produkte. Eine Effizienzsteigerung geht meist einher mit einer Umweltentlastung.
- ⇨ Die Schaffung eines nachhaltigen Unternehmensimages
  Mit zunehmender Sensibilisierung der Verbraucher steigt die Bedeutung eines umweltfreundlichen Unternehmensimages. Nachdem ein Verbraucher in der

Regel nicht die Umweltgerechtheit eines einzelnen Produkts kennt, wird beim Kauf vielfach auf Grundlage des Unternehmensimages entschieden. Insbesondere vor der aktuellen Klimaschutzdiskussion spielt das richtige Unternehmensimage eine immer wichtigere Rolle. Und gerade mit der auch in der Öffentlichkeit dargestellten Auseinandersetzung mit den Umweltwirkungen des eigenen Produkts, z. B. im Rahmen der ökologischen Beurteilung, kann ein positives Image dem Verbraucher vermittelt werden.

Den Unternehmen, die heute bereits aktiv an der Umsetzung des EcoDesign arbeiten, sind diese Vorteile bereits bewusst. Was noch fehlt ist jedoch Unterstützung bei der praktischen Umsetzung im Unternehmen, die durch die im nachfolgenden Kapitel beschriebenen Aspekte geleistet werden könnte.

6.5 Ausblick

Um einen Anreiz für die breite Anwendung der ökologischen Beurteilung in der industriellen Praxis zu schaffen, sollte deren Durchführung vereinfacht und beschleunigt werden. Seitens der Industrie besteht grundsätzlich der Wunsch, die eigenen Produkte auch ökologisch beurteilen zu können, der Durchführung solcher Beurteilungen steht heute jedoch der damit verbundene Aufwand entgegen, der unter den herrschenden Rahmenbedingungen für die meisten Unternehmen der Konsumgüterindustrie nicht leistbar ist. Zudem geht auch die Industrie davon aus, dass mit Umsetzung der EuP-Richtlinie die Anforderungen an die Umweltgerechtheit der Produkte steigen und eine entsprechende Produktgestaltung zunehmend an Bedeutung gewinnt. Dadurch steigt zukünftig der Bedarf nach praktikablen Beurteilungsmethoden und einer guten Datengrundlage.

Gerade bei der Realisierung praktikabler Beurteilungsinstrumente, die sich wirklich nach den Fragestellungen der Anwender in der Industrie richten, besteht nach wie vor Entwicklungsbedarf. Auch wenn heute eine Vielzahl von kommerziellen oder frei verfügbaren Methoden zur Verfügung steht, werden diese in erster Linie nicht angewandt, weil sie sich zu wenig an den Anforderungen der Anwender orientieren und zu aufwändig sind. Auch hier sollte eine stärkere Orientierung an den Anforderungen der Industrie erfolgen.

Verbunden mit der Forderung nach praktikableren Beurteilungsinstrumenten sind der Ausbau und die Bereitstellung der Sachbilanz-Datengrundlage. Insbesondere seitens der Industrie unterscheiden sich die Anforderungen an die Art der bereitgestellten Sachbilanzdaten von denen der Wissenschaft und Forschung. Sachbilanzdaten sind hier, ebenso wie Beurteilungsinstrumente, nur Arbeitsmittel, um möglichst schnell und einfach eine Aussage über Optimierungspotenziale am Produkt zu erhalten. Von daher will sich der Anwender weder mit der Suche nach geeigneten Datensätzen noch mit der Beurteilung ihrer Qualität befassen, zumal er dies unter den

Rahmenbedingungen der Industrie auch nicht kann. Ebenso wenig möchte er sich mit der Modellierung und Auswertung von Prozessketten im Produktlebensweg befassen, wenn er nicht ausdrücklich an diesen Fertigungs-, Nutzungs- oder Entsorgungsprozessen interessiert ist. Ebenfalls von Interesse für die breite Nutzung in der Industrie ist der einfache Zugriff auf aktuelle Daten hoher Qualität zu einem vernünftigen Preis.

Nicht vergessen werden sollte in diesem Zusammenhang, dass die Einführung der Entwicklung umweltgerechter Produkte weit mehr benötigt als die Bereitstellung von Methoden und Instrumenten zu Produktbeurteilung. Änderungen in der Unternehmensstrategie, den Abläufen im Produktentstehungsprozess und eine Neuregelung der Entscheidungskompetenzen sind unabdingbar für eine nachhaltige Umsetzung des EcoDesign in einem Unternehmen. Bei der Einführung der ökologischen Beurteilung in einem Unternehmen sollten daher auch in einem umfassenden Ansatz diese Aspekte berücksichtigen.

ARBEITSPAKET 7

Bearbeitung: LBP
Observer: ifu

7 Datenqualität zur Anwendung von Lebenszyklusdaten in der Produktentwicklung

7.1 Einleitung und Problemstellung

Die Anwendung von Lebenszyklusdaten in der industriellen Produktentwicklungsphase ist neben der einfachen Anwendbarkeit und verlässlichen Aussagekraft wesentlich von der Datenqualität[3] abhängig. Hierzu werden die Anforderungen seitens der Industrie dargestellt.

Die Arbeiten in diesem Arbeitspaket umfassen:

- ⇨ Datenqualitätsindikatoren und
- ⇨ Reviewanforderungen seitens der Industrie.

Die Qualitätsbeurteilung bezieht sich hierbei sowohl auf den Inhalt der Datensätze (Inventar) als auch auf die Dokumentation. Ziel ist die Unterstützung der nachhaltigen Produktion bereits in der Entwicklungsphase und somit die umweltliche Produktverbesserung sowie die mögliche Integration der Industrie in den Reviewprozess des Netzwerks Lebenszyklusdaten Deutschland [84].

Ergebnisse aus den Arbeitspaketen 1, 2 und 4 sind eine wichtige Basis zur Beurteilung der Datenqualität.

Die Bearbeitung des Arbeitspaketes erfolgte in enger Abstimmung mit dem AK Methodik des Netzwerks Lebenszyklusdaten Deutschland (insbesondere Arbeitspaket 8 – Review) [84]. Ergänzend zu den Arbeiten im AK Methodik wird in diesem Arbeitspaket auf die Sicht des Produktentwicklers fokussiert.

Im Rahmen einer Produktentwicklung in der Industrie kommen LCI Datensätze zum Einsatz, um bereits in der Entwicklungsphase Ökobilanzstudien durchzuführen und so die ökologischen Schwachstellen eines Produkts oder Produktsystems im Voraus zu identifizieren. Hierzu stellt die Industrie entsprechende Anforderung an die Qualität der Datensätze.

Unter den Anwendern der Datensätze in der Industrie gibt es große Unterschiede hinsichtlich ihrer Erfahrungen und Kenntnisse in der Ökobilanz. Es gibt erfahrene Ökobilanzexperten mit hohem Kenntnisstand über die Ökobilanzmethodik bis hin zu Anwendern mit eingeschränkten Kenntnissen und Erfahrungen. Die zu erarbeitenden Qualitätsanforderungen müssen die höchste von allen Anwendern gestellte Anforderung erfüllen. So richtet sich die Formulierung der Qualitätsanforderungen

[3] **Datenqualität:** Aussagekraft, Relevanz und Korrektheit von Informationen. Die Datenqualität beschreibt, wie gut ein Datensatz die Realität abbildet, wie verlässlich die enthaltenen Informationen sind und wie der Datensatz genutzt werden kann. (Datenqualität = Eigenschaften von Daten in Bezug auf ihre Eignung, festgelegte Anforderungen zu erfüllen [38]).

zunächst auch nach den höchsten Anforderungen, die im Allgemeinen (von Ökobilanzexperten) aus der Industrie gestellt werden.

7.2 Qualitätsanforderungen an Lebenszyklusdaten zur Anwendung in der Produktentwicklung

Um Lebenszyklusdaten in Unternehmen zur entwicklungsbegleitenden Analyse bei der Produktentwicklung einsetzen zu können, muss die Qualität verfügbarer Lebenszyklusdaten die Anforderungen von Unternehmen erfüllen. Übergeordnete Qualitätsanforderungen sind z. B. Verlässlichkeit, Konsistenz und das Basieren auf gesicherten Erkenntnissen.

Für die Anwendung der Datensätze in der Produktentwicklungsphase stellt die Industrie Anforderungen sowohl an die Qualität der Datensätze als auch an die der Dokumentation. Die Anforderungen bezogen auf das **Inventar** (Sachbilanz, LCI) der Datensätze seitens der Industrie sind im Folgenden zusammengestellt.

7.2.1 Qualitätsanforderung an Datensätze

Es gibt Qualitätsanforderungen an Einzeldatensätze (aggregiert, teil-aggregiert und Prozessmodul) aber auch an das Gesamtpaket der Datensätze. Die Vielfalt der Datensätze ist eine Anforderung seitens der Industrie an das Gesamtpaket der Datensätze. Dies ermöglicht eine qualitativ gute Analyse in der Industrie. Die Anforderungen werden unten näher erläutert. Darüber hinaus gibt es in Abhängigkeit von Datensatztypen (aggregiert, teil-aggregiert oder Prozessmodul) unterschiedliche Qualitätsanforderungen. Da aber ein aggregierter oder teil-aggregierter Datensatz ein Zusammenschluss von mehreren Einzeldatensätzen zu einem Datensatz ist, erfüllen sie die Qualitätsanforderung, sofern die hinterlegten Einzeldatensätze für sich jeweils die Qualitätsanforderung erfüllen (siehe hierzu auch Arbeitspaket 7, Arbeitskreis Methodik im Netzwerk Lebenszyklusdaten Deutschland [84]). Im Folgenden sind die einzelnen Qualitätsanforderungen näher beschrieben.

Datenherkunft

Die Herkunft der Daten ist entscheidend für die Qualität eines Datensatzes. Zu unterscheiden ist zwischen primären Daten aus Industriequellen und sekundären Daten aus der Literatur, vergleichbaren Prozessen, Berechnungen, Expertenschätzungen usw. Ein Datensatz kann hierbei aus Daten verschiedener der oben genannten Quellen bestehen.

Sind Daten direkt von der entsprechenden Industrie bereitgestellt oder sind Daten durch die Industrie überprüft worden, so haben sie meist eine hohe Qualität, wenn gleichzeitig die zugrunde liegende Methodik (Messmethoden, Datenaggregation, Systemgrenzen, Allokationen, …) von unabhängiger dritter Seite (staatliche oder nichtstaatliche Prüfstelle, wissenschaftliche Institution, …) geprüft und als gut

erachtet wurde. Die Qualität der sekundären Daten aus z. B. einer Literatur muss jedoch nicht zwingend schlechter sein als die der primären Daten. Die Qualität ist abhängig von der Art der Literatur bzw. Statistik. Aus diesem Grund müssen diese Quellen detailliert und in nachvollziehbarer Form in der Dokumentation beschrieben werden.

Konsistenz und Verlässlichkeit

Die Konsistenz sowie die Verlässlichkeit der Datensätze müssen sichergestellt sein. Konsistenz bezieht sich hierbei auf die methodische Vorgehensweise bei der Erstellung der Datensätze wie zum Beispiel Abschneidekriterien, Allokation, Systemraum usw. Welche Aspekte relevant sind, ist abhängig davon, ob es sich um einen aggregierten oder nicht aggregierten Prozess bzw. ein Prozessmodul handelt. In der folgenden Tabelle 9 sind Kriterien aufgestellt, bei deren Einhaltung bzw. Plausibilität die Konsistenz eines Datensatzes sichergestellt ist. Die Plausibilität bzw. Verlässlichkeit der Datensätze ist durch ein Review von Datensätzen entlang der Konsistenzkriterien von anerkannten Überprüfern sicherzustellen.

Tabelle 9 Zu überprüfenden Konsistenzkriterien

		Datensatztyp	
Konsistenzkriterien		**Prozessmodul**	**Teilaggregiert bzw. aggregiert**
Systemgrenze	-	x	x
Abschneidekriterien	Infrastruktur		x
	Transport		x
	Abfallbehandlung		x
	Abwasserbehandlung		x
	Recycling[b]	x	x[a]
Allokation/Systemraum-erweiterung		x	x
Raumbezug		x	x[a]
Zeitbezug		x	x[a]
Datenquelle		x	x[a]
Berechnungsmethode		x	x
Erfasste Prozesse[c]			x
Erfasste Flüsse[c]		x	x
Nomenklatur		x	x

[a] bezogen auf alle eingebundenen Prozesse (Hintergrundprozesse)

[b] closed-loop, open-loop recycling

[c] alle relevanten Prozesse bzw. Flüsse erfasst?

Nomenklatur

Das Inventar der Datensätze muss einheitlich und nachvollziehbar bezeichnet werden. So liegt die Qualitätsanforderung darin, den Input- und Outputflüssen eine eindeutige Nomenklatur zu vergeben. Diese gilt auch für die Bezeichnung der Prozesse. Auch wenn die Anwendungsmöglichkeit der Prozesse in der Dokumentation erläutert ist, sollte diese Information auch aus den Prozessbezeichnungen eindeutig entnehmbar sein, um den Anwendern den Aufwand der Überprüfung zu ersparen.

Repräsentativität der Datensätze

Die durch Net.LZD [84] zur Verfügung gestellten Datensätze müssen repräsentativ sein. Die Repräsentativität eines Datensatzes ist durch drei Aspekte gekennzeichnet: Technologie, Raum und Zeit.

- **Technologie**: Ein Produktentwickler ist nicht zwingend über die Herkunft und Herstellungstechnologie der Materialien oder Energie informiert, die er für die Herstellung seines Produktes benötigt. Z. B. ist ihm die Zusammensetzung der Ressourcen für die Stromerzeugung oder die Herstellungsroute für die Vorprodukte oft unbekannt. Darüber hinaus ist die Abdeckung aller existierenden Technologien in Form von Datensätzen nicht möglich, so dass eine Auswahl der bereitzustellenden Datensätze (der Prozesse bzw. der Produkte) vorgenommen werden müssten. Damit wird jedoch die Anwendbarkeit der Datensätze eingeschränkt, da damit die Datensätze nur für ausgewählte Unternehmen relevant sind. Aus diesem Grund sollten Datensätze bereitgestellt werden, die den Markt- oder Verbrauchsmix von Produkten abbilden (vgl. hierzu auch Net.LZD, AK Methodik, AP 7 – Aggregation [84]). Datensätze, die exotische Prozesse repräsentieren und somit nicht die Bereitstellung von herkömmlichen oder oft verwendeten Produkten oder Prozessen repräsentieren, sind lediglich für ausgewählte Anwender interessant. Die Aufnahme solcher Daten führt somit nicht zur allgemeinen Erhöhung der Qualität der Datensätze.

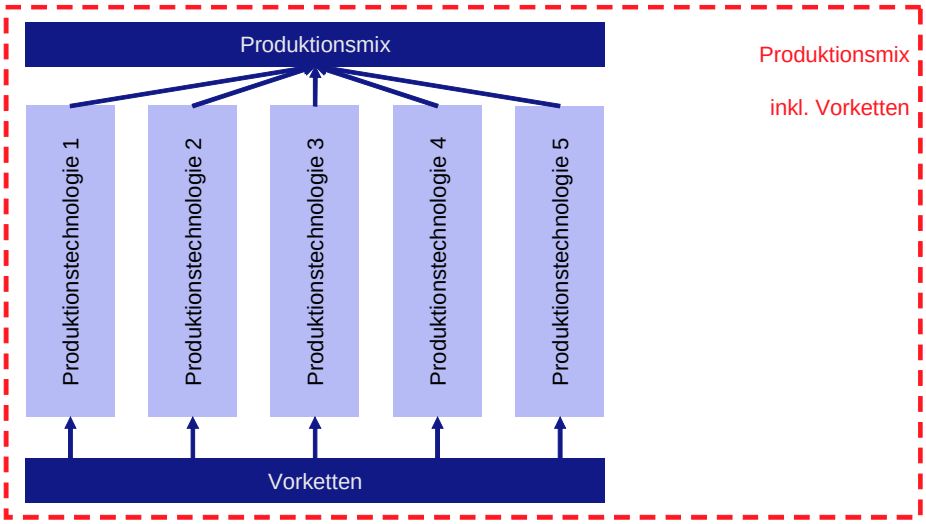

Abbildung 17 Schematische Darstellung eines Produktionsmixes

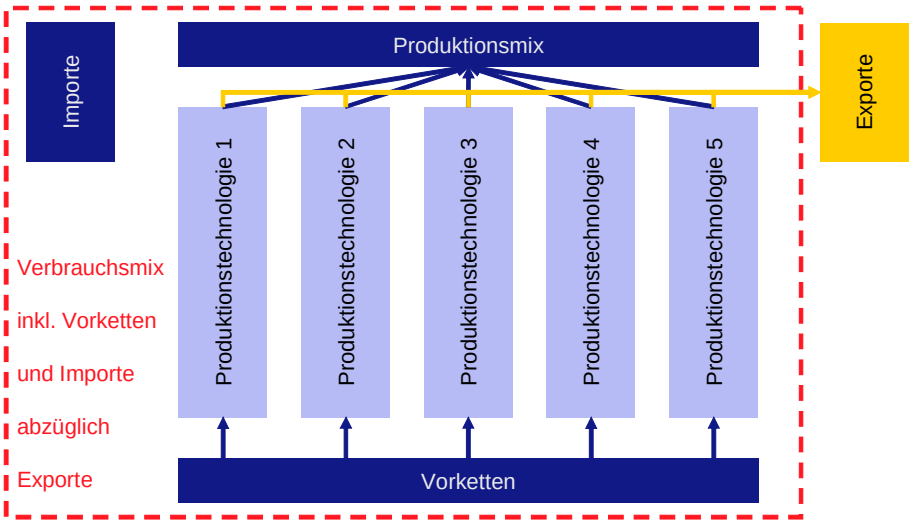

Abbildung 18 Schematische Darstellung eines Verbrauchsmixes

⇨ **Raum**: Die Produktentwicklung eines deutschen Unternehmens findet oft in Deutschland statt. Aus diesem Grund reichen Datensätze mit dem Raumbezug auf Deutschland in dieser Phase der Entwicklung oft aus. Jedoch ist bei der Durchführung einer Analyse nicht nur von Interesse den Stand der Entwicklung abzubilden, sondern auch die der künftigen Produktion. Die Produktionsstandorte liegen dabei nicht selten im Ausland. Deshalb besteht hier die Anforderung seitens der Industrie, länderspezifische Datensätze zur Verfügung gestellt zu bekommen. Welche Länder interessant sind, ist abhängig von den Bereichen und sie müssen für die jeweilige Branche individuell bestimmt werden.

- **Zeit**: Der letzte Aspekt, um die Repräsentativität der Daten zu gewährleisten, ist die Aktualität der Daten. Die Aktualität der Datensätze ist abhängig vom Ort, von der Branche und der Technologie. Daten aus Bereichen, deren Technologie sich stark in der Entwicklung befindet, „veralten“ verhältnismäßig schnell. Auch eine rapide Änderung in der Marktstruktur führt zum schnellen Veralten des Produktions- bzw. Verbrauchsmixes. Solche Datensätze erfordern eine kontinuierliche Aktualisierung in kürzeren Zeitabständen als andere Datensätze.

Vielfältigkeit der Datensätze

Bei der Durchführung einer Ökobilanzstudie in der Produktentwicklung ist es wichtig, so viel Hintergrunddatensätze wie möglich vorliegen zu haben (wie elektrischer Strom und Materialien). Dabei unterscheiden sich die gewünschten Hintergrunddatensätze von Produkt zu Produkt.

Es muss eine Mindestanzahl an Datensätzen in aggregierter oder teilaggregierter Form zur Verfügung stehen, so dass der Anwender in der Produktentwicklung die notwendigen Hintergrundprozesse vor sich liegen hat. Zu solchen notwendigen Hintergrundprozessen gehören die Bereitstellung verschiedener Energieformen, Transportprozesse, Abwasser- und Abfallbehandlungen usw. So kann die Industrie bei der Durchführung einer Analyse die verfügbaren Hintergrundprozesse nutzen, um sich auf die wesentlichen Prozesse zu konzentrieren (d.h. auf die Prozesse, wofür sie verantwortlich sind bzw. worauf sie Einfluss haben). Die Vielfalt der Datensätze ist nicht durch die absolute Anzahl der Datensätze gekennzeichnet. Gefordert ist vielmehr eine Vielzahl an Datensätzen für eine Vielzahl von Produkten und Prozessen für eine Vielzahl an Bereichen. Die Bereitstellung einer großen Anzahl an Datensätzen, die jedoch nur wenige Produkte oder Prozesse abbilden (z. B. parametrisierbare Prozesssysteme wie Transportprozesse), führt dagegen nicht zur Steigerung der Vielfalt und somit nicht zur Steigerung der Qualität aus Sicht der Industrie.

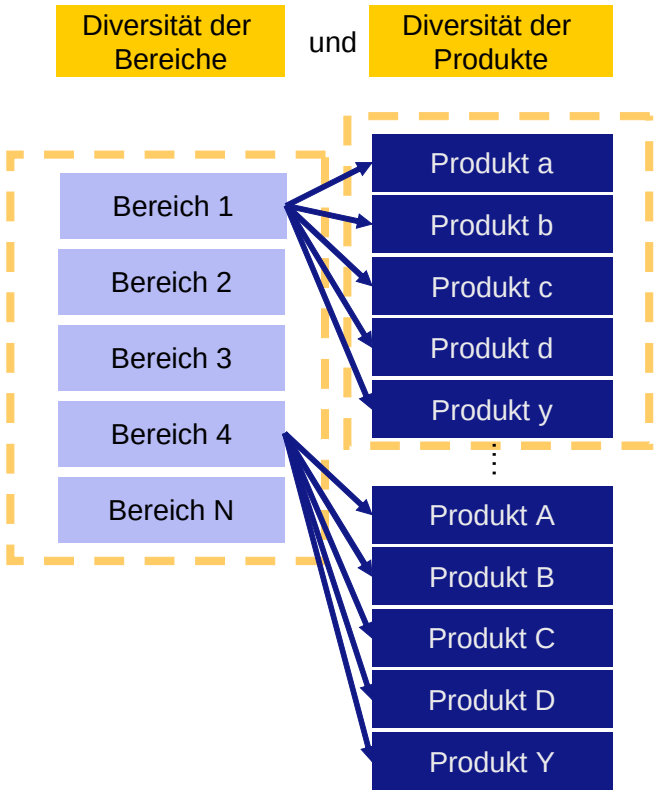

Abbildung 19 Schematische Darstellung der Diversität der Datensätze

7.2.2 Qualitätsanforderung an Dokumentation

Um zum einen die oben genannten Anforderungen zu belegen, zum anderen aber auch weiteren Qualitätsanforderungen nachzukommen, bestehen Anforderungen an die Dokumentation der Datensätze: Grundsätzlich ist eine mit relevanten Informationen gefüllte **Dokumentation** erforderlich.

In erster Linie muss die **Transparenz** der Datensätze für die Anwendung in der Industrie sichergestellt werden – unabhängig davon, ob die Datensätze während einer Produktentwicklung zum Einsatz kommen, oder in der Fertigungsphase.

Die **Herkunft** der Daten, ob sie aus Industrie, Literatur, statistischen Quellen usw. stammen, müssen beschrieben werden. Insbesondere liegt die Anforderung hinsichtlich der Datenherkunft an das Jahr, den bezogenen Raum, die Technologie (Prozessname). Die Detailtiefe der Informationen ist abhängig davon, ob es sich um aggregierte oder nicht aggregierte Datensätze handelt.

Die Nachvollziehbarkeit der **Anwendungsmöglichkeit** der Datensätze muss deutlich dargestellt werden. Obwohl, wie oben beschrieben, bereits aus der Nomenklatur der Flüsse sowie der Prozesse diese Informationen hervorgehen sollen, ist eine nähere Beschreibung über die Technologie oder Besonderheiten wünschenswert. Dazu gehört z. B. die Angabe, ob Umweltmaßnahmen, wie z. B. Abgas- oder Abwassernachbehandlung, bereits in den Datensatz integriert sind oder nicht.

Für teilaggregierte Prozesse ist es notwendig in der Dokumentation zu erläutern, welche offenen In- oder Outputs in welchem Zusammenhang mit anderen Prozessen (aggregiert, teilaggregiert oder nicht aggregiert) verbunden werden müssen. Insbesondere bei teilaggregierten oder nicht aggregierten Prozessen besteht die Gefahr der Fehlbedienung. So müssen Anwendungsmöglichkeiten und vermeidbare potenzielle Fehler deutlich beschrieben werden.

Im Folgenden sind die zu dokumentierenden Aspekte aufgelistet. Es besteht eine gewisse Überschneidung mit Tabelle 9.

- Typ des Datensatzes
- Beschreibung der Technologie
- Systemgrenze
- Abschneidekriterien Infrastruktur
  - Transport
  - Abfallbehandlung
  - Abwasserbehandlung
  - Recycling
- Nomenklatur
- Raumbezug
- Zeitbezug
  - Notwendigkeit der Aktualisierung in X Jahre
- Datenquelle
  - Berechnungsmethode für fehlende Daten
- Erfasste Prozesse
- Erfasste Flüsse
- Anwendungsmöglichkeit
- Referenzfluss
- Anwendbarkeit Parameter (so fern Parameter zum Einsatz kommen)
- Allokation / Systemraumerweiterung

7.3 Datenqualitätsindikatoren

Datenqualitätsindikatoren beschreiben die Qualität von Lebenszyklusdaten hinsichtlich einer beabsichtigten Anwendung der Daten. Die oben beschriebenen Anforderungen dienen als Grundlage für die Erstellung von Qualitätsindikatoren. Es gibt demnach Qualitätsindikatoren, über die lediglich qualitative Aussagen getroffen werden können und solche für die konkrete Angaben gemacht werden können. Beispielsweise ist die Konsistenz der Datensätze ein Indikator, zu dem lediglich eine Aussage in Form von „sehr gut“, „gut“, „ausreichend“, „mangelhaft“ usw. gemacht

werden kann. Solche Qualitätsindikatoren des jeweiligen Datensatzes müssen in einem Reviewprozess durch Experten evaluiert bzw. verifiziert werden, um diese Bewertung zu erhalten. Des Weiteren ist die Transparenz und Nomenklatur sowie Verlässlichkeit der Indikatoren wichtig, die ebenfalls lediglich durch ein Review beispielsweise in Form von gut oder schlecht bewertet werden können. Im Folgenden sind Vorschläge einiger Qualitätsindikatoren, zu denen konkrete Angaben gemacht werden können.

- **Datenquelle:** Für die Herkunft der Daten können konkrete Aussagen getroffen werden. Mögliche Datenquellen können in verschiedene Qualitätskategorien unterteilt werden (Industrie, Literatur, Berechnung, Expertenschätzung usw.) unter Berücksichtigung der Qualitätsunterschiede innerhalb einer Quelle (handelt es sich um eine zuverlässige oder unzuverlässige Statistik?). Die Datenquelle ist durch die Kennzeichnung der Datenherkunft in der Dokumentation zu erläutern.
- **Repräsentativität**: Die Ortsangabe eines Datensatzes ermöglicht die Beurteilung über die örtliche Repräsentativität des Datensatzes für den Anwender. Es können konkrete Qualitätsindikatoren für die Repräsentativität im Hinblick auf die Technologie und Aktualität erstellt werden. Die Repräsentativität im Hinblick auf die Technologie kann beispielsweise aus dem Anteil der Produktmenge dargestellt werden, die durch die entsprechende Technologie abgedeckt ist. (Beispiel für Produktionsmix: abgedeckte Technologie über die Produktionsmenge.) Bezogen auf die Aktualität kann durch die Angabe des Jahres, aus dem der Datensatz stammt, die Aktualität bestimmt werden. Es ist hierüber hinaus noch erforderlich branchen- oder technologiespezifische Anforderungen an die Aktualität und Aktualisierungsnotwendigkeit zu erstellen (Aktualisierung in Y Jahren).
- **Vielfalt der Datensätze**: Um die Vielfalt in präziser Form darzustellen, können Angaben über die abgedeckten Bereiche, über die Anzahl der umfassten Technologien (unterteilt in Mix-Prozesse und nicht Mix-Prozesse) gemacht werden.

7.4 Reviewanforderungen seitens der Industrie

Die Anforderung an die Qualität seitens der Industrie kann partiell durch die Durchführung eines Reviews (Überprüfung) erfüllt werden. Insbesondere kann hiermit die Konsistenz des Datensatzes überprüft werden, in dem eine dritte Partei zur Überprüfung des Datensatzes einbezogen wird. Dabei ergeben sich Anforderungen auf die Reviewprozedur:

Die Konsistenz der Datensätze muss durch eine dritte Partei geprüft werden. Hierbei sollten die Datensatzersteller als auch die Überprüfer namentlich genannt werden, um die objektive Stellung des Überprüfers zu belegen.

Es ist für die Überprüfung der Inventare der Datensätze das Heranziehen der Industrie entsprechender Bereiche wünschenswert, denn diese können über die Repräsentativität, die Aktualität sowie die qualitative Richtigkeit der Datensätze Urteil geben. Anhand der in Tabelle 9 aufgezählten Konsistenzkriterien soll zusammen mit der Industrie eine Checkliste erstellt werden, die bei einem Review berücksichtigt werden soll, um die „Stimme des Kunden“ in den Reviewvorgang aufzunehmen.

7.5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Seitens der Industrie liegt die primäre Anforderung auf der Qualität der Einzeldatensätze (Inventar). Unter „Datenqualität“ ist hierbei die Datenherkunft, die Konsistenz, die Aktualität sowie die Repräsentativität zu verstehen. Die Vielfalt an Datensätzen ist ebenfalls eine wichtige von der Industrie gestellte Anforderung, um das Erstellen eines Ökobilanzmodells hoher Qualität zu ermöglichen. Hierbei bezieht sich die Vielfalt nicht auf die Anzahl der Datensätze, sondern auf die Diversität der abgebildeten Prozess- und Produktsysteme sowie Branchen.

Um die oben genannte Qualität der Datensätze zu belegen, ist die Erstellung einer informativen Dokumentation unentbehrlich. Inwiefern die Datensätze diese Qualitätsanforderungen erfüllen, muss in den jeweiligen zugehörigen Dokumentationen beschrieben werden. Dazu sollen Qualitätsindikatoren dienen. Die Dokumentation dient dazu, die Anforderung an die Konsistenz der Datensätze sowie Transparenz und Verlässlichkeit darzulegen und zu bestätigen.

Da nicht alle von der Industrie gestellten Anforderungen in Form vom Inventar oder Dokumentation belegbar sind – ohne dabei den Umfang der Dokumentation zu sprengen –, soll zu jedem Datensatz ein Review durchgeführt werden. In dieser Prozedur wird die Konsistenz und Plausibilität des Datensatzes überprüft.

Qualitätsindikatoren benötigen Kategorien oder Werte, um eine Angabe über deren Qualität zu machen. Es sollen in der künftigen Arbeit Qualitätsindikatoren definiert und, sofern möglich, mit quantifizierbaren konkreten Angaben hinterlegt werden, so dass die im Rahmen des Net.LZD [84] erstellten Datensätze anhand dieser Indikatoren auf die Qualität hin beurteilt werden können.

Obwohl mit der Dokumentation die Transparenz der Datensätze gewährleistet ist, ist die Prozedur eines Reviews für die Anwender der Datensätze in der Industrie undurchsichtig. Um die Transparenz zu gewährleisten, können Vorgehensweisen sowie die zu überprüfenden Kriterien in Zusammenarbeit mit der Industrie vordefiniert und Checklisten erstellt werden.

LITERATUR

[1] Abele, E.; Anderl, R.; Birkhofer, H. (Hrsg.): Environmentally-Friendly Product Development – Methods and Tools, Springer Science+Business Media Inc. Springer, London, New York, 2005.

[2] Abele, E., Anderl, R., Birkhofer, H., Rüttinger, B. (Hrsg.): EcoDesign – Von der Theorie in die Praxis, Heidelberg, Springer 2007.

[3] Abramovici, M und Sieg, C.: PDM-Technologie im Wandel – Stand und Entwicklungsperspektiven. In: Industrie Management 5, 2001.

[4] Amtsblatt der Europäischen Union: Richtlinie 2002/95/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. Januar 2003 zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten. In der Fassung vom 21.10.2005.

[5] Amtsblatt der Europäischen Union: Richtlinie 2002/96/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 27. Januar 2003 über Elektro- und Elektronik-Altgeräte. In der Fassung vom 08.12.2003

[6] Amtsblatt der Europäischen Union: Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 6. Juli 2005 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energiebetriebener Produkte und zur Änderung der Richtlinie 92/42/EWG des Rates sowie der Richtlinie 96/57/EG und 2000/55/EG des Europäischen Parlaments und des Rates. In der Fassung vom 06.07.2005.

[7] Anderl, R.; Daum, B.; John, H.; Pütter, C.: Information Modelling using Product Life Cycle Views, Proceedings of the 3th International Conference on the Design of Information Infrastructure Systems for Manufacturing – DIISM ’96, Fort Worth, Texas, USA, 1996.

[8] Anderl, R.; Daum, B.; John, H.; Pütter, C.: Co-operative Product Data Modelling in Life Cycle Networks: Proceedings of the 4th CIRP International Seminar on Life Cycle Engineering, Berlin, 1997.

[9] Anderl, R.; Daum, B.; John, H.; Pütter, C.: Information Modelling for Environmentally Sound Products, Proceedings of the International Symposium on Global Engineering Networking, Antwerpen, Belgium, 1997.

[10] Anderl, R.; Faneye, O.: Collaborative Product and Life Cycle Modeling, Proceedings PDT Days, Belgium, 2001.

[11] Anderl, R.; Pham-Van, T.N.: Methods and Tools for Integrated Knowledge – Development of Environmentally Sound Products, Proceedings of the 2003 International Symposium on Collaborative Technologies and Systems – CTS '2003, Orlando, Florida, USA, 2003.

[12] Anderl, R.; Pham-Van, T.N.: Object-oriented information model – Development of environmentally sound products. School on Computational Sciences and Engineering: Theory and Applications, COSCI 2004, Ho Chi Minh, Vietnam, 2004.

[13] Anderl, R.; Trippner, D.: STEP – Standard for the Exchange of Product Model Data. Teubner Verlag Stuttgart, 2000.

[14] Anderl, R.; Pfouga Bopoungo, A. ; Platt, K.: Entwicklung von Markt- und umweltgerechten Produkten, CAD-CAM Report (Engineering Magazin) Dressler Verlag e.K., 2004.

[15] Arbeitsgemeinschaft Umweltverträgliches Bauprodukt: AUB Presseinformation (Version vom 15. April 2005): AUB gründet Wirtschaftsinitiative.

[16] Arlt, Martin: Agentenbasierte Systemarchitekturen für Produktdaten-management-Systeme. Dissertation, Forschungsberichte aus dem Fachgebiet Datenverarbeitung in der Konstruktion, Technische Universität Darmstadt, Prof, Dr.-Ing. Reiner Anderl (Hrsg.), Shaker Verlag Aachen, 2000.

[17] Ashby, M.F.; Weaver, P.M.: Selection of Materials to Reduce Environmental Impact (CMS Methodology), in: Journal of Materials and Design, (1996) 17, S. 11-17.

[18] AUB: Umweltdeklarationen für Bauprodukte.

[19] AUB, Prof. Dr. Bossenmayer: Umwelt – Produktdeklarationen, Präsentation vom 14. Februar 2006.

[20] Baas & Roost Advies bv, < http://www.doku.net/artikel/lcc-lifecy.htm >, 16. Januar 2007. ADOLPH Verlag GmbH – Letztes Update 07.12.2001

[21] Baier, C. et al.: Benefit Function for determining the optimum recycling option for products and parts, in: Proceedings of the 4th International Seminar on Life Cycle Engineering, New York: Chapman & Hall, 1997.

[22] Bauproduktengesetz (BauPG), Gesetz über das Inverkehrbringen von und den freien Warenverkehr mit Bauprodukten.

[23] Brockhaus (Hrsg.): Umweltbilanz, Ökobilanz. Brockhaus – Enzyklopädie in 30 Bänden. Mannheim: F.A. Brockhaus AG, 2006.

[24] Bundesministerium für Umwelt (Hrsg.): Eckpunkte künftiger Rechtsvorschriften zu Elektro- und Elektronik- Altgeräten in Deutschland, Berlin, 2003 < http://www.bmu.de/files/altgeraete_eckpunkte.pdf >

[25] Bundesverband der deutschen Bauindustrie e.V. (BDI): Kommentierung des Abschlussberichtes durch den BDI zu der Studie: Evaluierung von produktbezogenen Umwelterklärungen der EU-Kommission (DG Umwelt) vom September 2002.

[26] Bundesverband der deutschen Industrie e.V., BDI: Integrierte Produktpolitik – ein wesentlicher Bestandteil unternehmerischer Praxis! (Stand 30.07.2004).

[27] Bundesverband der deutschen Industrie e.V., BDI: Stellungnahme des BDI zu der Mitteilung der Europäischen Kommission „Integrierte Produktpolitik – Auf den ökologischen Lebenszyklus-Ansatz aufbauen“ (Stand: August 2003).

[28] Bundesverband der deutschen Industrie e.V., BDI online: Umwelt und Technik „Integrierte Produktpolitik (IPP)“.

[29] Canalys Reserach Release 2007/62: Which consumers will pay for greener products? < http://www.canalys.com/pr/2007/r2007062.pdf >

[30] Council of European Producers of Materials for Construction (CEPMC) online: Construction Product Directive.

[31] Council of European Producers of Materials for Construction (CEPMC): CEPMC Position Paper on Construction Standards for Sustainibility

[32] Council of European Producers of Materials for Construction (CEPMC): CEPMC Position Paper on Eco-Labelling.

[33] Council of European Producers of Materials for Construction (CEPMC): Summary – CEPMC poison statement on voluntary marks and CE making under the Construction Products Directive.

[34] Curran, Mary Ann; Notten, Philippa: Summary of Global Life Cycle Inventory Data Resources. Report to Task Force 1: Database Registry of the SETAC/UNEP Life Cycle Initiative, May 2006.

[35] Daum, Bernd: Lifecycle-integrierte Produktentwicklungsumgebung. Dissertation, Forschungsberichte aus dem Fachgebiet Datenverarbeitung in der Konstruktion, Technische Universität Darmstadt, Prof, Dr.-Ing. Reiner Anderl (Hrsg.), Band 10, Shaker Verlag Aachen, 2002.

[36] Deutsche Rockwool Mineralwolle GmbH, Dr. Utz Draeger: Entwicklungen in der europäischen Bauproduktennormung, Präsentation vom Februar 2006.

[37] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): Übersicht über harmonisierte europäische technische Spezifikationen, Erarbeitung harmonisierter Normen nach der Richtlinie des Rates.

[38] DIN EN ISO 14040 (2006): Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen, International Organization for Standardization, 2006.

[39] DIN EN ISO 14044 (2006): Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen, International Organization for Standardization, 2006.

[40] DIN, NA 172 Normenausschuss Grundlagen des Umweltschutzes (NAGUS), NA 172-00-04 AA Arbeitsausschuss Umweltbezogene Kennzeichnung: Deutsche Übersetzung des ISO/ FDIS 14025.

[41] DFG – Deutsche Forschungsgemeinschaft; RWTH Aachen SFB 144 (Hrsg.): Energie- und Rohstoffeinsparung – Methoden für ausgewählte Fertigungsprozesse, Abschlusskolloquium des SFB 144 der Deutschen Forschungsgemeinschaft an der RWTH Aachen, Düsseldorf: VDI-Verlag, 1996 (VDI-Z Integrierte Produktion, Sonderpublikation)

[42] Ecoinvent 2000: Dokumentation EcoSpold, Schweizer Zentrum für Ökoinventare, 2003.

[43] ElektroG – Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten vom 16. März 2005.

[44] Engeli, J., Taiber, G.: Feature-Based Modelling – Resultat eines tiefgreifenden Wandels. In: VDI-Z 136, 1994.

[45] European Commission: M/ 350 EN, Standardisation Mandate to CEN, 29 March 2004.

[46] Eyerer, P. (Hrsg.): Ganzheitliche Bilanzierung – Werkzeug zum Planen und Wirtschaften in: Kreisläufen, Berlin; Heidelberg; New York: Springer, 1996, S. 515-551.

[47] Faneye, Olaonipekun Bernard: Product Life Cycle Prognosis and Modeling in a Computer-aided Environment. Dissertation, Forschungsberichte aus dem Fachgebiet Datenverarbeitung in der Konstruktion, Technische Universität Darmstadt, Prof, Dr.-Ing. Reiner Anderl (Hrsg.), Band 20, Shaker Verlag Aachen, 2005.

[48] Feickert, Stefan: Ökologisches Product-Lifecycle-Management – Ein Integrationskonzept der ökologischen Produktbilanzierung in betriebliche ERP-Systeme. Aachen: Shaker-Verlag, 2007.

[49] Fleischer, G.: Die Rolle der Ökobilanz in der Kreislaufwirtschaft, in: Kolloquium zur Kreislaufwirtschaft und Demontage, Sonderforschungsbereich 281, Tagungsband, TU Berlin und HdK Berlin, 1997, S. 2-16.

[50] Fleischer, Günter; Hake, Jürgen F.: Aufwands- und ergebnisrelevante Probleme der Sachbilanzierung. Jülich, 2002.

[51] Flemström, Karolina; Pålsson, Ann-Christin: Introduction and guide to LCA data documentation using the CPM documentation criteria and the ISO/TS

14048 data documentation format. CPM Report 2003:3. Chalmers University, Schweden, 2003.

[52] Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München (FIW), Dr. Roland Gellert: Bauaufsichtliche Anforderungen an Dämmstoffe am Beispiel von Vakuumdämmplatten.

[53] Forschungszentrum Informatik an der Universität Karlsruhe: PLM-Portal des FZI Karlsruhe, < http://www.plmlabor.de/index.php?id=863 > 01.10.2007

[54] Frischknecht, Rolf; Kolm, Petter: Modellansatz und Algorithmus zur Berechnung von Ökobilanzen im Rahmen der Datenbank ECOINVENT; veröffentlicht in: Schmidt, Schorb et. al.: Stoffstromanalysen, Springer 1995.

[55] Goedkoop, M. et al.: The Eco-indicator 99, A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment, Manual for Designers, Pré Consultants B.V., Amersfoort (Niederlande), 2000.

[56] Goedkoop, M.J.; Spriensma, R.S.: The Eco-indicator 99, Methodology report, A damage oriented LCIA Method; VROM Report, Den Haag, 1999.

[57] Hartel, M.: Kennzahlenbasiertes Bewertungssystem zur Beurteilung der Demontage- und Recyclingeignung von Produkten – Beitrag zur wirtschaftlichen Gestaltung des Lebenszyklus in der Produktentwicklung, Karlsruhe: Grässer, 1997 (Forschungsberichte aus dem Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebstechnik der Universität Karlsruhe; Bd. 72), zugl. Diss. Universität Karlsruhe (TH) 1997.

[58] Hauff, Volker (Hrsg.): Unsere gemeinsame Zukunft. Der Brundtland-Bericht Der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung. Greven 1987.

[59] IFU Hamburg: < http://www.umberto.de/de/ >, 13.Dezember 2006.

[60] ISO 1999: ISO/TC 59/SC 17/WG 3 N 468, DIS 21930: Building construction – Sustainable in building construction – Environmental declaration of building products.

[61] ISO 10303-1: Industrial automation systems and integration – Product data representation and exchange – Part 1: Overview and fundamental principles. 1994.

[62] John, Harald: Modellierungstechnik zur Integration von Prozesswissen in ein Produktmodell. Dissertation, Forschungsberichte aus dem Fachgebiet Datenverarbeitung in der Konstruktion, Technische Universität Darmstadt, Prof, Dr.-Ing. Reiner Anderl (Hrsg.), Band 8, Shaker Verlag Aachen, 2001.

[63] JRC: Informationsportal des Joint Research Centers der Europäischen Union zum Thema LCA.
< http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcainfohub/directory.vm > 01.10.2007
< http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcainfohub/toolList.vm > 01.10.2007

[64] Kleiner, S., Kirsch, M.: Gut zu wissen – Knowledge Based Engineering, In: Digital Engineering Magazin, 2005.

[65] Kluge, J.: Kommunikationstechnik in vernetzten Produktionsstrukturen, Vorlesung an der TU Darmstadt Sommersemester 2003, Darmstadt 2003

[66] KOM/2003/0644 endg. - COD 2003/0256: Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (Reach), zur Schaffung einer Europäischen Agentur für chemische Stoffe sowie zur Änderung der Richtlinie 1999/45/EG und der Verordnung (EG) {über persistente organische Schadstoffe}.

[67] KOM/2003/0644 endg. - COD 2003/0257: Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Richtlinie 67/548/EWG des Rates im Hinblick auf ihre Anpassung an die Verordnung (EG) des Europäischen Parlaments und des Rates über die Registrierung, Bewertung und Zulassung chemischer Stoffe und deren Beschränkung.

[68] Kreissig, Johannes; Schmincke, Eva; Klingele, Martina; Jeske, Udo: Umweltdeklaration von Bauprodukten – Branchenspezifische Realisierung einer Typ III – Kennzeichnung.

[69] Kremin-Buch, Beate: Strategisches Kostenmanagement, Grundlagen und moderne Instrumente. Wiesbaden: Gabler-Verlag, 2007.

[70] Kriwet, A.: Bewertungsmethodik für die recyclinggerechte Produktgestaltung, München: Hanser, 1995, zugl. Diss. TU Berlin 1995.

[71] Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz: Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (KrW-/AbfG) vom 27. September 1994 (BGBl.I Nr. 66 vom 06.10.1994 S. 2705), zuletzt geändert am 21. August 2002 durch Artikel 69 des Dritten Gesetzes zur Änderung verwaltungsrechtlicher Vorschriften (BGBl. I Nr. 60 vom 27.08.2002 S. 3322).

[72] Kuhrke, B., Feickert, S., Abele, E.: LCA and EcoDesign in the German Electronics Industries, in: Douflou, J. R.; Dewulf, W.; Willems, B.; Devoldere, T. (Eds.): Proceedings of 13th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, Volume 2,D/2006/7515/46, ISBN 90-5682-712-X, Belgium, Juni 2006, p. 317-323.

[73] LBP, PE International (2007): GaBi 4 Software-System and Databases for Life Cycle Engineering. Stuttgart, Echterdingen.
Online: < http://www.gabi-software.com/ >.

[74] Leibrecht, S.: Die Produktentwicklungsumgebung des Sonderforschungsbereiches 392. In: DIN – Umweltgerechte Produkt-entwicklung. Beuth, 2003.

[75] Leibrecht, Sebastian: Information Model for the Integration of Ecological Assessments into Virtual Product Development. Dissertation, Forschungsberichte aus dem Fachgebiet Datenverarbeitung in der Konstruktion, Technische Universität Darmstadt, Prof, Dr.-Ing. Reiner Anderl (Hrsg.), Band 22, Shaker Verlag Aachen, 2005.

[76] Leibrecht, S.; Pham-Van, T.N.; Anderl, R.: Knowledge Management: Integration of Expert Knowledge into the Development of Environmentally Sound Products. TMCE 2002 – Tools and methods of competitive engineering, Proceedings, Fourth international symposium April 22-26, 2002, Wuhan, China, 2002.

[77] LexisNexis. PC-Umweltpraxis mit Technischen Regeln.
< http://www.lexisnexis.de/produkte/branchen/immobilien_bau_umwelt/pc_umweltpraxis_mit_technischen_regeln?ArtikelNr=1620 > 23.06.2006

[78] Liese, Harald: Wissensbasierte 3D-CAD Repräsentation. Dissertation, Forschungsberichte aus dem Fachgebiet Datenverarbeitung in der Konstruktion, Technische Universität Darmstadt, Prof, Dr.-Ing. Reiner Anderl (Hrsg.), Band 16, Shaker Verlag Aachen. 2004.

[79] Life Cycle Initiative, Paolo Frankl, Pere Fullana, Johannes Kreissig: Communication of life cycle information in the building and energy sectors (final draft version 3.0).

[80] Loew, Thomas et al: Ansätze der Umweltkostenrechnung im Vergleich – Vergleichende Beurteilung von Ansätzen der Umweltkostenrechnung auf ihre Eignung für die betriebliche Praxis und ihren Beitrag für eine ökologische Unternehmensführung. Forschungsbericht 299 15 156 des Umweltbundesamts.
< http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-k/k2428.pdf > 01.10.2007

[81] Meadows: Limits to Growth / Club of Rome.

[82] Mendgen, R.: Methodische Vorgehensweise zur Modellierung in parametrischen und featurebasierten 3D-CAD Systemen. Aachen: Shaker-Verlag 1998.

[83] Navin-Chandra, D.; Chen, R.: ImSelction – an Approach for Material Selection that integrates Mechanical Design and Life Cycle Environmental burden, in: Proceedings of the 1995 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment.

[84] Net.LZD – Netzwerk Lebenszyklusdaten Deutschland
< http://www.netzwerk-lebenszyklusdaten.de/ >

[85] N.N.: Internationale Richtlinie für Umweltkosten Rechnung,
< http://kwt.or.at/de/PortalData/2/Resources/downloads/umwelt/International_Richtlinie_fuer_Umweltkostenrechnung.pdf > 01.10.2007

[86] Österreichischer Baustoff-Recycling Verband (ÖBRV), Robert Rosenberger: LV Umweltgerechte Leistungen – Einheitliches Umwelt-LV.

[87] Österreichisches Normungsinstitut: EUROCODES „Bauproduktenrichtlinie“.

[88] Outi Ivonen: Umweltschutzanforderungen nach der Bauproduktenrichtlinie – Stand und Zukunftsaussichten der europäischen Harmonisierung, Präsentation der KNU- Informationsveranstaltung am 25. August 2005.

[89] Pfeifer-Silberbach, Ullrich: Ein Beitrag zum Monitoring des Reifegrades in der Entwicklung eines Produktes. Dissertation, Forschungsberichte aus dem Fachgebiet Datenverarbeitung in der Konstruktion, Technische Universität Darmstadt, Prof, Dr.-Ing. Reiner Anderl (Hrsg.), Band 19, Shaker Verlag Aachen, 2005.

[90] Pham-Van, T.N.; Anderl, R.: Transformation from CAD-Features to Form Elements – Development of Environmentally Sound Products. Product Data Technology Europe 2003, 12th Symposium, Manchester Conference Centre, UMIST, 25th-27th November 2003.

[91] Pham-Van, Tri-Ngoc: Föderatives PDM zur Verwaltung mechatronischer Systemstrukturen. Dissertation, Forschungsberichte aus dem Fachgebiet Datenverarbeitung in der Konstruktion, Technische Universität Darmstadt, Prof, Dr.-Ing. Reiner Anderl (Hrsg.), Band 25, Shaker Verlag Aachen, 2007.

[92] Pham-Van, T.N.; Leibrecht, S.; Faneye, O; Anderl, R.: Informationsmodell zur Entwicklung umweltgerechter Produkte. DFG Symposium Modelle, Werkzeuge und Infrastrukturen zur Unterstützung von Entwicklungsprozessen, Tagungsband March 20-22, 2002, Aachen, Germany, Wiley-VCH, Weinheim, 2002.

[93] ProdHaftG – Produkthaftungsgesetz vom 1. Januar 1990.

[94] Pütter, Chrisian: Kooperative Informationsmodellentwicklung. Dissertation, Fachgebiet Datenverarbeitung in der Konstruktion, Technische Universität Darmstadt, Shaker Verlag Aachen, 2000.

[95] Rat der Europäischen Gemeinschaften: Richtlinie des Rates (vom 21. Dez. 1988).

[96] Schmidt-Bleek, Fr. et al.: MAIA Einführung in die Materialintensitäts-Analyse nach dem MIPS-Konzept, Version 1.0, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, 1996.

[97] Schmelzer, H.J. und Sesselmann, W.: Geschäftsprozessmanagement in der Praxis. Hanser Verlag, 2002.

[98] Sheng, P.S. et al.: Development of a Scoring Index for Evaluation of Environmental Factors in Machining Processes – Part I and II: Health Hazards Score Formulation, in: ESRC – Engineering Systems Research

Center; University of California at Berkeley (Hrsg.): Consortium on Green Design and Manufacturing – Combined Research Reports 1994-1996, Berkeley, California: 1996, S. 143-167.

[99] Siegenthaler, Claude Patrick: Ökobilanz – 30 Jahre Forschung an der Schnittstelle zwischen Natur- und Wirtschaftswissenschaften – Eine methodische und empirische Bestandesaufnahme: Dissertation Nr. 2994 der Universität St. Gallen, 2004.

[100] Siemens 2007: Metro Oslo, Environmental Product Declaration according to ISO 14021,
< http://www.transportation.siemens.com/shared/data/pdf/ts_internet/metro_oslo_-_environmental_product_declaration.pdf > (Stand 25.10.2007).

[101] SimaPro 7: < http://www.pre.nl/simapro/default.htm >, 13. Januar 2007

[102] Skriptum zur Vorlesung Produktdatentechnologie A, Fachgebiet Datenverarbeitung in der Konstruktion, Technische Universität Darmstadt, 2007.

[103] Skriptum zur Vorlesung Produktdatentechnologie B, Fachgebiet Datenverarbeitung in der Konstruktion, Technische Universität Darmstadt, 2007.

[104] Steinhilper, R. et al.: Recycling durch Aufarbeiten technischer Produkte in Austauscherzeugnisfertigung: Phase I und II, Eggenstein-Leopoldshafen: Fachinformationszentrum Energie, Physik, Mathematik Karlsruhe, 1986 (Technologische Forschung und Entwicklung).

[105] Stiftung Elektro-Altgeräte Register < www.stiftung-ear.de > 02.01.07

[106] SuperLIGHT-CAR-Project < http://www.superlightcar.com/public/index.php >, 19.02.2007

[107] TechniData AG: < http://www.technidata.de/ > , 13.11.2006

[108] TU Berlin (Hrsg.): Demontagefabriken zur Rückgewinnung von Ressourcen in Produkt- und Materialkreisläufen – SFB 281, 2003.

[109] TU Berlin (Hrsg.): Demontagefabriken zur Rückgewinnung von Ressourcen in Produkt- und Materialkreisläufen – SFB 281 – Arbeits- und Ergebnisbericht 1995 – 1997, Berlin: TU Berlin, 1997.

[110] Umweltbundesamt, FG III 1.4 „Stoffbezogene Produktfragen“, Outi Ivonen: Umweltschutzanforderungen nach der EU-Bauproduktenrichtlinie – Stand und Zukunftsaussichten der europäischen Normung.

[111] Umwelt-Online. Homepage. < http://www.umwelt-online.de/ > – 23.03.2006

[112] van den Berg, Nico W.; Huppes, Gjalt; Lindeijer, Erwin W.; van der Ven, Bernhard L.; Wrisberg, M. Nicoline: Quality Assessment for LCA. CML Report 152, 1999.

[113] Vägverket: Einfluss und Wichtigkeit der europäischen Harmonisierung, die durch die Bauproduktenrichtlinie (BPR) und die Richtlinien zum Öffentlichen Auftragswesen (Baukoordinierungsrichtlinie, BKR) geregelt wird.

[114] Wikipedia: Freie Enzyklopädie „Integrierte Produktpolitik“, „Integrierte Produktpolitik in der Europäischen Union“.

[115] Wirtschaftskammer Österreich: Ökologisch orientiertes Bauen, Erfordernisse des Umweltschutzes.

[116] „Recyclingorientierte Produktentwicklung“ 2002, Herausgeber: VDI-Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb ///37/ VDI – Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): VDI-Richtlinie 2243: Konstruieren recyclinggerechter technischer Produkte – Grundlagen und Gestaltungsregeln, Berlin: Beuth, 1993.

[117] VDI – Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): VDI-Richtlinie 2221: Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1993.

[118] VDI – Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): VDI-Richtlinie 4600: Kumulierter Energieaufwand- Begriff, Definition, Berechnungsmethoden, Düsseldorf: VDI-Verlag, 1997.

[119] Volkwein, S.: EuroMat '98 – Instrument zur umweltgerechten Produktentwicklung, in: Kolloquium zur Entwicklung umweltgerechter Produkte, Tagungsband, TU Darmstadt 1998, S. 95-97

[120] Weber, J.: Konzept eines rechnerunterstützten Assistenzsystems für die Entwicklung umweltgerechter Produkte, Diss. Universität Erlangen-Nürnberg 1997.

[121] Weege, R.-D.: Recyclinggerechtes Konstruieren, Düsseldorf: VDI-Verlag, 1981.

[122] Weidema, Bo Pedersen; Wesnæs, Marianne Suhr: Data quality management for life cycle inventories – an example of using data quality indicators. Journal of Cleaner Production. Vol. 4, No. 3-4, S. 167-174, 1996.