

Energieeffizienzbetrachtungen logistischer Systeme

Energy efficiency considerations of logistics systems

Klaus Nendel
Lynn Lüdemann
Sebastian Weise

*Professur für Fördertechnik, Fakultät für Maschinenbau
Arbeitsgruppe: Zugmittel und Tribologie
Technische Universität Chemnitz*

Energieeffizienz in der technischen Logistik. Die Auswirkungen energieeffizienter Produkte und Prozesse auf die Senkung des CO₂-Ausstoßes in die Atmosphäre unterliegen komplexen Mechanismen und sind schwer zu quantifizieren. Unter der Berücksichtigung der klimatischen Ursachen und des politischen des politischen Prozesses wird die Entwicklung einer energieeffizienten Förderkette und ihre Vermarktung mittels einer Produktumweltdeklaration vorgestellt. Dies dient als Beispiel für die Berechnung der Umweltwirkung förder technischer Anlagen mittels Ökobilanzierung.

[Schlüsselwörter: Energieeffizienz, EPD, Ökobilanz, Förderkette]

Energy efficiency in technical logistics. The impact of energy efficient products and processes on the reduction of CO₂ emissions into the atmosphere is subject of complex mechanisms and is thus difficult to quantify. Paying regard to both, climatic reasons and political process, this paper deals with the development of an energy-efficient conveyor chain by the means of an Environmental Product Declaration. This serves as an example for calculating the environmental impact of material handling systems using life cycle assessment methods.

[Keywords: energy efficiency, epd, life cycle analysis, conveyor chain]



Gefördert aus Mitteln
der Europäischen Union

STAATSMINISTERIUM
FÜR WISSENSCHAFT
UND KUNST



Dieses Projekt wird gefördert von der Europäischen Union aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) sowie aus Landesmitteln des Freistaats Sachsen.

1 EINLEITUNG

„Die aktuelle umweltpolitische Diskussion in Deutschland weist der Stärkung der umweltgerechten Gestaltung von Produkten (sog. Ökodesign) und der Etablierung von Ansätzen zur Erhöhung der Energie und Ressourceneffizienz eine herausragende Bedeutung für die ökologische Fortentwicklung der sozialen Marktwirtschaft zu.“ [Je10]

Diese Diskussion findet vor dem Hintergrund des Klimawandels statt. Es ist wissenschaftlich anerkannt, dass der steigende Ausstoß von CO₂ (bzw. äquivalenten Klimagasen) in die Atmosphäre gestoppt und langfristig gesenkt werden muss. Um die Deckelung des Temperaturanstieges auf 2°C zu erreichen, müssen die Klimagasemissionen um 80% bis 2050 gesenkt werden [EU20]. Im World Energy Outlook 2010 wurde berechnet, dass durch die Umsetzung schon bekannter Energieeffizienzstrategien ca. 50% der einzusparenden CO₂ Emissionen bis 2020 erreicht werden können [WEO10].

Nach einem Bericht des IPCC¹ werden ca. 23% der globalen CO₂-Emissionen durch Transport und Logistikprozesse verursacht. Diese Emissionen nahmen im Zeitraum 1990 bis 2005 sogar noch um 43% zu, während die CO₂-Emissionen über alle Branchen in derselben Zeit weltweit um 2% abnahmen. Die Hauptursache dafür ist der stetig wachsende Güterverkehr durch die fortschreitende Globalisierung der Zulieferketten [2°Studie 11].

Eine Umkehr dieser Entwicklung erfordert die Anstrengung aller Akteure entlang der Wertschöpfungskette: es müssen technologische, organisatorische, operative und politische Ansätze gemeinsam verfolgt und umgesetzt werden. Die technologischen Ansätze betreffen auch die

¹ IPCC - International panel of climate change.

Optimierung von fördertechnischen Anlagen in großen Logistikzentren hinsichtlich Antrieb, Reibungs- und Verschleißverlusten, Gewichtsreduzierung und Aerodynamik [2°Studie11].

Energieeffizienzverbesserungen sind ein wesentlicher Bestandteil von Klimaschutzprogrammen, Regierungen müssen freiwillige bzw. ordnungspolitische Maßnahmen auflegen, um energieverschwendende Produkte aus dem Markt zu entfernen und energieeffiziente Technologien zu fördern [Wie05]. Produktumweltdeklarationen beruhen auf Ökobilanzen und dienen zum Nachweis der Umweltwirkung von Produkten. Im vorliegenden Artikel sollen sie vorgestellt und im Kontext der Entwicklung von energieeffizienten Fördermitteln näher betrachtet werden.

2 GRUNDLAGEN DER FÖRDERTECHNIK

2.1 DEFINITION UND BEDEUTUNG

Die technischen Anlagen, Einrichtungen und Konzepte, die eingesetzt werden, um Güter oder auch Personen zu bewegen, werden unter dem Begriff „Transporttechnik“ zusammengefasst. Innerhalb dieser Disziplin beschäftigt sich die Fördertechnik mit Verfahren und Einrichtungen zur Ortsveränderung von Personen und/oder Gütern über begrenzte Entfernungen. Ergänzend dazu versteht man unter Verkehrstechnik eine Ortsveränderung über im Prinzip unbegrenzte Entfernungen auf dem Festland, im Wasser oder in der Luft [Gue07]. Der Betrachtungsrahmen des vorliegenden Beitrages ist die Fabrik bzw. die in ihr stattfindende Intralogistik. Der Fokus liegt deshalb auf der Fördertechnik. Sie ist ein Wirtschaftszweig mit großer Bedeutung und gehört seit mehreren Jahren zu den Top-10-Branchen des deutschen Maschinen- und Anlagenbaus.

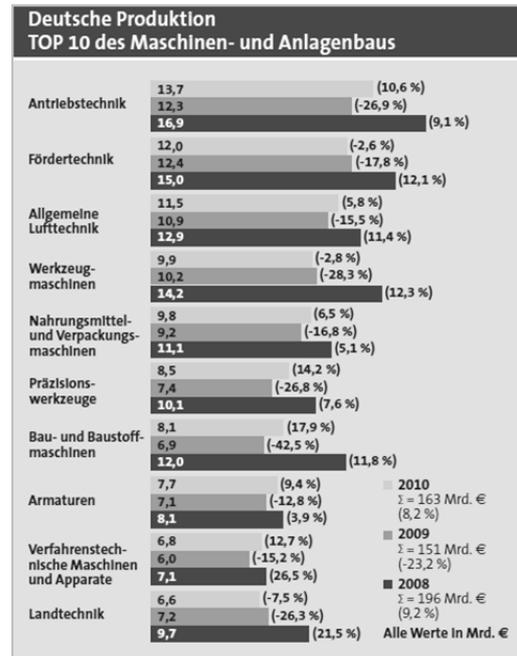


Abbildung 1: Top-10-Branchen des deutschen Maschinen- und Anlagenbaus nach Exportvolumen²

2.2 SYSTEMATIK DER FÖRDERMITTEL

Die Vielzahl fördertechnischer Anlagen auf dem Markt lässt sich nach verschiedenen Kriterien systematisieren. Aus Sicht des Energieverbrauches ist eine Einteilung nach der Art des Fördervorganges sinnvoll. So genannte Stetigförderer bewegen das Gut auf festgelegten Routen gleichförmig und mit konstanter Geschwindigkeit. Sie sind für Dauerbetrieb ausgelegt, d. h. es gibt nur wenige Anfahr- und Bremsvorgänge. Unstetigförderer hingegen bewegen das Gut in ungleichförmiger Bewegung auf zum Teil flexiblen Routen (z.B. Gabelstapler). Auch die Fördergeschwindigkeit ist hier flexibel [Gue07].

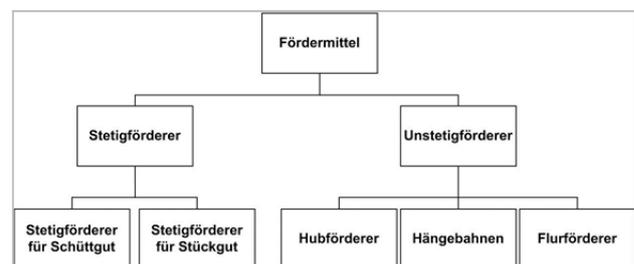


Abbildung 2: Systematik der Fördermittel³

² Vgl. [StB11]

³ Vgl. [Nen12].

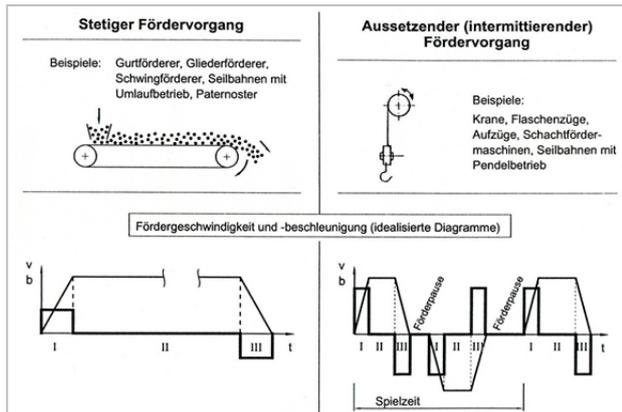


Abbildung 3: Fördervorgänge von Stetig- und Unstetigfördern mit Beispielen⁴

2.3 KLASSIFIZIERUNG DES FÖRDERGUTES

Die technische Beschaffenheit einer Förderanlage wird im Wesentlichen durch die Eigenschaften des zu transportierenden Fördergutes bestimmt. Man unterscheidet zwischen Schüttgut und Stückgut.

Stückgüter sind einzelne Stücke, z. B. Kisten oder Säcke. Wesentliche Kenngrößen sind Abmessungen, Gewicht und Form. [Gue07]

Schüttgüter sind in der Regel Massengüter und werden eingeteilt in stückige (z. B. Kohlebriketts), körnige (z. B. Getreide) und staubförmige (z. B. Mehl) Schüttgüter. Wesentliche Kenngrößen sind hier Korngröße, Schüttdichte und Schüttwinkel [Gue07]

Die Beschaffenheit des Fördergutes hat auch Auswirkungen auf die energetischen Potenziale einer Förderanlage. Gerade bei Schüttgut werden häufig Förderhilfsmittel eingesetzt, wie zum Beispiel Behälter, Paletten oder Gitterboxen. Diese sollen uniforme, logistische Einheiten bilden, Transportfähigkeit herstellen und das Gut schützen [Gue07]. Aus energetischer Sicht sind sie eher ungünstig, da ihr Eigengewicht mitbewegt werden muss, dies wirkt sich insbesondere bei Leerfahrten aus, wie sie z. B. in einem Behälterkreislauf auftreten.

2.4 ENERGETISCH-PHYSIKALISCHE WIRKPRINZIPIEN

Das Bewegen von Fördergut erfolgt prinzipiell horizontal oder vertikal oder in einer Kombination beider Bewegungen.

Beim horizontalen Guttransport werden Güter bodenparallel bewegt. Diese Bewegung erfolgt geradlinig oder entlang einer mit Kurven versehenen Förderstrecke. Beispiele, wie die Gepäckrückgabebänder am Flughafen,

⁴ Vgl. [Nen12].

sind jedem aus dem Alltag bekannt. Ein weiteres Beispiel sind auch die automatischen Autowaschanlagen, in denen das Fahrzeug ohne Zutun des Fahrers durch eine Waschstraße gezogen wird. Eine industrielle Transportanwendung sind sogenannte Gleitkettenförderer, die häufig zur Verkettung von Maschinen eingesetzt werden. Dieses Fördersystem wird später noch näher betrachtet werden. Allen diesen Beispielen liegen die gleichen physikalischen Wirkprinzipien zu Grunde. In jedem Fall muss durch die eingesetzten Förderanlagen ein Bewegungswiderstand überwunden werden. Dabei handelt es sich systembedingt stets um Reibungswiderstände. Grundsätzlich wirkt in den Reibstellen eine Kraft senkrecht zur Bewegungsrichtung.

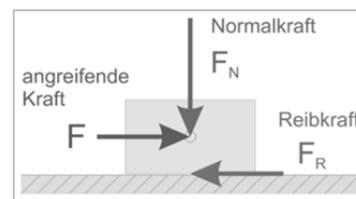


Abbildung 4: Kräfte am bewegten Körper

Die Reibung in der Wirkstelle wird durch den Reibkoeffizienten μ als Systemkennwert beschrieben. Es ergibt sich der bekannte Zusammenhang

$$F_R = \mu \cdot F_N \quad (1)$$

Die Normalkraft (F_N) resultiert dabei aus dem Eigengewicht des Fördermittels (z.B. Kette) und der Gutmasse. Die Summe aller zu überwindenden Bewegungswiderstände im Fördersystem (Reibungskräfte zum Führungsprofil, Beschleunigungskräfte bei Anfahr- und Abbremsvorgängen usw.) muss vom Antrieb aufgebracht werden. In Abhängigkeit von der Fördergeschwindigkeit ergibt sich für die aufzubringende, mechanische Antriebsleistung

$$P_{An} = \mu \cdot F_N \cdot v \quad (2)$$

Der Reibwert geht linear in die Berechnung der Antriebsleistung ein. Deshalb führt jede Verringerung der Reibwerte bzw. der Bewegungswiderstände im System in gleichem Maße zur Verringerung der notwendigen Antriebsenergie.

Beim vertikalen Guttransport werden Höhenunterschiede überwunden. Auch dafür sind jedem Beispiele aus dem Alltag bekannt. Kräne befördern z. B. Baumaterialien auf Häuserdächer oder heben schwere Maschinenteile an. Auch Personenaufzüge und Rolltreppen sind als Vertikalförderer bekannt. Ein industrielles Anwendungsbeispiel ist ein Regalbediengerät, welches u.a. zum Betreiben automatischer Kleinteilelagers genutzt wird. Diesen Beispielen liegen immer die gleichen physikalischen Wirkprinzipien zugrunde. Es gilt stets die Höhe einer Last über dem Erdboden zu verändern. Die dafür notwendige Kraft be-

stimmt sich zum einen aus der Eigenmasse des Fördergutes, d. h. aus der Nutzlast. Zum anderen ist auch die Eigenmasse der Förder- (hilfs-) mittel entscheidend. Die Hubarbeit berechnet sich aus dem Produkt der zu hebenden Masse (m), der Hubhöhe (h) und der Erdbeschleunigung (g).

$$W_{Hub} = m \cdot g \cdot h \quad (3)$$

Abhängig von der Dauer des Hubvorganges (t) wird die nötige Leistung durch

$$P_{An} = \frac{W_{Hub}}{t} = \frac{m \cdot g \cdot h}{t} \quad (4)$$

bestimmt.

Aus energetischer Sicht reduziert sich die Hubleistung entweder durch Reduktion der Masse (die Höhe ist technisch gegeben) oder durch Reduktion der Beschleunigung (also Verlängerung der Zeit). Massenreduktion kann gelingen, wenn Fördermittel und Förderhilfsmittel, wie z.B. Trays und andere Ladungsträger, nach Leichtbauprinzipien optimiert werden.

Für kombinierte Bewegungsformen aus horizontalem und vertikalem Guttransport gelten die vorgenannten, physikalischen Wirkprinzipien natürlich in gleichem Maße. Die komplexere Bewegungsform ermöglicht mehrere der angesprochenen Optimierungsansätze.

3 ENERGIEEFFIZIENZ

3.1 AUSGANGSPUNKT KLIMAWANDEL

Ursächlich für den mess- und nachweisbaren Klimawandel [Co13] ist die Erhöhung des CO₂-Gehaltes in der Atmosphäre, die mit einem Temperaturanstieg einhergeht [Go13]. Aktuell werden 397 ppm CO₂ gemessen⁵. Dass dies zu einer Klimaerwärmung führt erklären die Wissenschaftler mit der umgekehrten Entwicklung von vor 50 Millionen Jahren, durch den stetig sinkenden CO₂-Gehalt in der Atmosphäre war letztmalig bei einem Level von 450 ± 100 ppm Eisfreiheit vorhanden (sog. Pleistozän). Werden also keinerlei Anstrengungen unternommen den CO₂-Gehalt in der Atmosphäre unter diesen Wert zu halten, dann ist mit einer weiter steigenden globalen Erwärmung zu rechnen, d. h. es werden die für den Menschen klimatisch günstigen Bedingungen des Holozäns, verlassen [Ha10].

Der für die Klimaerwärmung zuständige Treibhauseffekt wird zu 67% durch die Emission von Kohlendioxid in

die Atmosphäre verursacht.⁶ Kohlendioxid entsteht bei der Verbrennung von fossilen Brennstoffen, u. a. zur Erzeugung von elektrischer Energie. Zur Reduzierung des erzeugten Kohlendioxids können prinzipiell drei Ansätze verfolgt werden: *Substitution* (von CO₂-erzeugenden Prozessen), *Verbesserung der Effizienz* (von energieverbrauchenden Prozessen) und *Suffizienz* (Reduzierung der energieverbrauchenden Prozesse). Insbesondere die Effizienz wird sowohl von der Industrie als auch von der Politik als ein wichtiger Faktor zur Reduzierung des Treibhauseffektes betrachtet.

3.2 POLITISCHER HINTERGRUND

Um die ambitionierten Klimaschutzziele zu erreichen, wurde ein Konzept zur europäischen Klimapolitik [EU20] aufgelegt, in dem mehrere Maßnahmen verankert sind, wie z. B.

- Informations- und Kennzeichnungspflicht für den Energieverbrauch von bestimmten Produkten,
- Kennzeichnungspflicht von Reifen,
- Umweltgerechte Gestaltung energiebetriebener Geräte und die
- Energieeffizienzrichtlinie

Alle diese Maßnahmen sind Teil des sogenannten „Top-Runner“ Ansatzes, der vor allem die Stärkung eines Marktes für grüne Produkte im Fokus hat.

Kern dieses Ansatzes ist es, dass Geräte und Maschinen von morgen nur so viele Ressourcen verbrauchen wie die Effizienzvorreiter von heute, die sogenannten Top-Runner. Das Konzept wird durch einen Instrumentenmix charakterisiert, der die Stärkung der Nachfrage nach „energieeffizienteren“ resp. „grüneren“ Produkten auf der einen Seite, als auch die Verdrängung der umweltschädlichen Produkte auf der anderen Seite beinhaltet. In nachfolgender Grafik wird dieser Instrumentenmix bildlich dargestellt

⁵ Vgl. co2now.org.

⁶ Andere Ursachen sind die Emission von anderen Klimagasen (Methan, Stickoxide, FCKW) sowie die Abholzung der (Regen)Wälder.



Abbildung 5: Instrumentenmix der EU für den Markt der energiebetriebenen Geräte⁷

3.3 UMWELTKENNZEICHNUNG

Ein wichtiger Aspekt innerhalb dieses Konzeptes ist der sogenannte Pull Effekt auf die Nachfrage, d. h. um Verbraucher und Unternehmen für die Umweltwirkung respektive Energieeffizienz von Produkten zu sensibilisieren, wurden Instrumente zur Umweltkennzeichnung entwickelt. Hierbei müssen zwei Ansätze unterschieden werden: die verpflichtende Energieverbrauchskennzeichnung für die sog. energieverbrauchsrelevanten Produkte mittels einheitlicher Etiketten und Produktinformationen und die freiwillige Umweltkennzeichnung durch die Anwendung der Normen nach ISO 14020ff.

3.3.1 ÜBERBLICK ÜBER DIE NORMEN DER 14020 REIHE

Während die Umweltkennzeichnung hinsichtlich des Energie- und Ressourcenverbrauches in der Nutzungsphase von energieverbrauchsrelevanten Geräten (Waschmaschinen, Kühlschränke etc.) EU-weit verpflichtend ist, werden in der 14020-Normen-Reihe den Unternehmen Umweltkennzeichnungsmöglichkeiten an die Hand gegeben, die ihnen helfen sollen, die Verbesserung der Umweltwirkung ihres Produktes darzustellen. Ziel der Norm ist es, dass das Unternehmen seinen Absatz steigern kann, indem ein Käufer seine Kaufentscheidung zugunsten des beworbenen Produktes fällt [ISO14020].

Während in dieser Norm allgemeine Grundsätze, wie z. B. „Umweltkennzeichnungen und -deklarationen müssen genau, überprüfbar, zutreffend und dürfen nicht irreführend sein“, der Umweltkennzeichnung geregelt sind, beschreiben die Normen 14021, 14025 und 14024 – drei

verschiedene Typen von Umweltkennzeichnungen. Diese drei Typen werden nachfolgend mit Beispielen und Merkmalen vorgestellt.

3.3.2 NORMEN ZUR UMWELTKENNZEICHNUNG UND UMWELTDEKLARATION

Label-Typ I, nach ISO EN 14024, richtet sich an private oder gewerbliche Endverbraucher und kennzeichnet die Produkte, die unter Umweltgesichtspunkten vorzuziehen sind. Bekanntester Vertreter des Typ I Labels in Deutschland ist der Blaue Engel. Weiterhin gibt es noch die europaweit gültige Euro-Blume oder das FSC Kennzeichen für Holzprodukte aus nachhaltig bewirtschafteten Wäldern. Umweltkennzeichnungen dieses Typs beruhen auf Kriterienkatalogen die für jeden Produkttyp einzeln erstellt und im Rahmen eines öffentlichen Prozesses entwickelt werden. Die Vergabe eines solchen Umweltkennzeichens erfolgt über unabhängige Dritte und wird zum Beispiel beim Blauen Engel durch das Umweltministerium koordiniert [Uba08].

Label-Typ II, nach ISO EN 14021, richtet sich vorwiegend an Endverbraucher und ist ein eher allgemeiner Typ von Energieeffizienzlabeln. Das Typ II Label kann durch ein Unternehmen selbst erstellt werden und muss nicht durch eine unabhängige Dritte Stelle geprüft werden. In der Norm wird geregelt wie typische spezifische Aussagen wie bspw. „frei von...“ oder „reduzierter Energieverbrauch“ zu verwenden sind und dass sie prinzipiell nachprüfbar sein müssen. Oftmals entstehen auf Basis dieses Label-Typs herstellerübergreifende Initiativen, die Signale bzgl. der Umweltwirkung ihrer Produkte setzen wollen, bspw. die Initiative „Nachhaltiges Waschen und Reinigen“. Aussagen des Label-Typs II sind entweder spezifisch oder vergleichend, letzteres erfordert eine veröffentlichte Norm oder ein veröffentlichtes Prüfverfahren als Basis [Uba08].

Label-Typ III, nach ISO EN 14025, richtet sich vorwiegend an gewerbliche Kunden und wirkt auf den B2B Märkten. Es beruht auf einer Ökobilanz und liefern umfangreiche quantitative und verifizierte Informationen. Es stellt die Umweltwirkung eines Produktes oder Prozesses dar, ohne zu werten. Umweltdeklarationen des Typ III erfordern in der Regel eine Dritt Zertifizierung und beruhen auf den Ergebnissen einer Ökobilanz entsprechend den Normen ISO 14040 und 14044 [Uba08].

Darüber hinaus gibt es noch weitere Kennzeichnungssysteme wie den Öko-Tex Standard, zur Kennzeichnung von nicht gesundheitsgefährdenden Textilien oder den Energy Star für energiesparende Büromaschinen [Uba08].

3.4 BETRACHTUNGSRAHMEN

Bei den Energieeffizienzbetrachtungen fördert technischer Anlagen, wie Förderbändern, Regalbediengeräten

⁷ In Anlehnung an [Je10]

oder Aufzügen wurde bislang vor allen Dingen deren Energiebedarf in der Nutzungsphase untersucht und optimiert.

Nachgelagert sollte nun die verbesserte Energieeffizienz des Produktes dargestellt werden. In den bisherigen Untersuchungen wurde die Herstellung des jeweiligen Fördermittels zunächst nicht betrachtet. Es liegt jedoch auf der Hand, dass bspw. aufwendiger gestaltete Kunststoffketten sowohl in der Herstellung als auch in der Entsorgung in ihrer Umweltwirkung schlechter abschneiden werden als die üblichen Stahlketten. Ob diese Verschlechterung durch die verbesserte Umweltwirkung in der Nutzungsphase kompensiert werden kann, kann durch eine Ökobilanz nachgewiesen werden. Deren Ergebnisse können dann in einem Typ III Label „Produktumweltdeklaration“ (EPD) dargestellt werden. Nach einer theoretischen Einführung werden die Implikationen auf die praktische Anwendung beschrieben.

4 DIE PRODUKTUMWELTDEKLARATION NACH DIN EN ISO 14025

4.1 ALLGEMEINES

Zunehmend müssen Unternehmen gegenüber Kunden und Lieferanten fundierte, quantifizierbare Umweltinformationen über ihre Produkte offenlegen. Um dies systematisch zu ermöglichen wurde die ISO 14025 entwickelt. In ihr werden die Erstellung einer Produktumweltdeklaration (Typ III Label) aber auch die organisatorischen Voraussetzungen, wie die Etablierung eines Programmes (samt Betreiber) sowie der Rahmen zur Einbeziehung interessierter öffentlicher Kreise geregelt.

Typ III Umweltdeklarationen (EPD) ermöglichen Vergleiche zwischen Produkten gleicher Funktion, nehmen aber keine Wertung vor [ISO 14025]. Die drei Säulen einer Produkt-Umwelterklärung sind: *Ökobilanzergebnisse, standardisierte Verfahrensregeln* (Produkt-Kategorie-Regeln-PCR) und ein *unabhängiger Review-Prozess* der z. B. durch Zertifizierungsdienstleister (TÜV) durchgeführt werden kann [Uba08]. Entsprechend der Norm sollen nun die Anforderungen an Programme resp. Programmbetreiber von EPD-Programmen erläutert werden und dann eine Einführung in die Problematik der standardisierten Verfahrensregeln sowie die Durchführung von Ökobilanzen gegeben werden.

4.2 EPD - PROGRAMMBETREIBER

Obwohl die Typ III Deklaration noch neu ist, haben sich inzwischen schon organisatorische Strukturen entsprechend der Norm etabliert.

Einziger deutscher EPD-Programmbetreiber ist das IBU – Institut für Bauen und Umwelt e.V.⁸ für EPDs im Bausektor. Dieser Zusammenschluss von Bauprodukte-Herstellern ist 2007 aus der Arbeitsgemeinschaft „Umweltverträgliches Bauprodukt“ entstanden und stellt eine Plattform für die Veröffentlichung und die Prüfung der entwickelten EPDs bzw. PCRs, durch ein unabhängiges Gremium, bereit. Die Teilnehmer (des Programmes profitieren von der Veröffentlichung der Umweltwirkung ihrer Produkte, denn private und öffentliche Auftraggeber nutzen sie, um Umweltwirkungen abschätzen zu können.

Darüber hinaus existieren weitere nationale und internationale Programmbetreiber. Die meisten sind im internationalen GEDNet (Global Environmental Declaration Network) organisiert⁹.

4.3 DAS INTERNATIONALE EPD® SYSTEM

Im vorliegenden Fall soll eine Produktumwelterklärung für eine Förderkette entwickelt werden. Grundsätzlich existieren nach der ISO 14025 zwei Vorgehensweisen: entweder kann ein eigenes Typ III Umweltdeklarationsprogramm aufgebaut oder die EPD bei einem existierenden Programmbetreiber veröffentlicht werden. Bei ersterem müssen diverse Schritte wie Programm einrichten, Programm entwickeln (inkl. offener Anhörung), EPDs und übergeordnete Kategorien entwickeln unternommen werden. Dieser Aufwand kann im Rahmen dieser Untersuchung nicht abgedeckt werden.

Es wurde also nach einem existierenden Programmbetreiber gesucht. Da es sich hierbei nicht um ein Bauprodukt handelt, konnte die Veröffentlichung nicht beim IBU geschehen. Im Rahmen einer Recherche über das internationale GEDNet wurde nach geeigneten Programmbetreibern gesucht. Der einzige internationale Programmbetreiber ist die SemCo (The Swedish Environmental Management Council) und das von ihnen betriebene International EPD® System¹⁰

4.4 PRODUKTKATEGORIE

Der Programmbetreiber muss sicherstellen, dass EPDs auf transparente Weise entwickelt werden, denn Produkte die eine ähnliche Funktion bzw. Anwendung vorweisen, sollen nach gleichen Regeln beurteilt werden. Aus diesem Grund wurde in der Norm der Begriff der Produktkategorie entwickelt, die eine Gruppe von Produkten mit gleichwertiger Funktion umfasst [ISO 14025].

⁸ Vgl. www.bau-umwelt.de.

⁹ Vgl. www.gednet.org.

¹⁰ Vgl. www.environdec.com.

Die Schematik der Produktkategorien des internationalen EPD® Systems orientiert sich hier am CPC System (Central Product Classification), das durch die UN entwickelt wurde. Das CPC System basiert auf einer hierarchischen Lebenszyklusperspektive mit zwei Dimensionen (vgl. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Die *horizontale Dimension* wird durch die ersten zwei (oder manchmal auch nur die erste) Ziffern des Codes ausgedrückt. Sie können miteinander kombiniert neue Produktlebenszyklen aufbauen. Im Beispiel ist das der nacheinander stattfindende Lebenszyklus von Produkten aus *Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei* allgemein und danach von Produkten wie *Nahrungsmittel, Getränke und Tabak; Textilien, Bekleidung und Lederwaren* im speziellen dargestellt [EPD13].

Die *vertikale Dimension* gliedert den Lebenszyklus weiter auf und kommt von der allgemeinen Produktgruppe zum spezifischen individuellen Produkt. In der nachfolgenden Grafik ist dieses Lebenszyklusdenken exemplarisch für Kiwi-Früchte und der daraus entstehenden Marmelade dargestellt. Den PCRs sind sog. Basis-Module übergeordnet, die auf der Ebene der Divisionen ansetzen. Die darin definierten Regeln gelten für alle Produktkategorien dieser Division. Der Vorteil dieser Basis-Module ist auch sehr gut in der Grafik erkennbar, der Lebensweg einer Frucht beginnt immer mit der Produktion von Samen, währenddessen der Lebensweg der Marmelade erst bei den Halbwaren, also den Früchten beginnt.

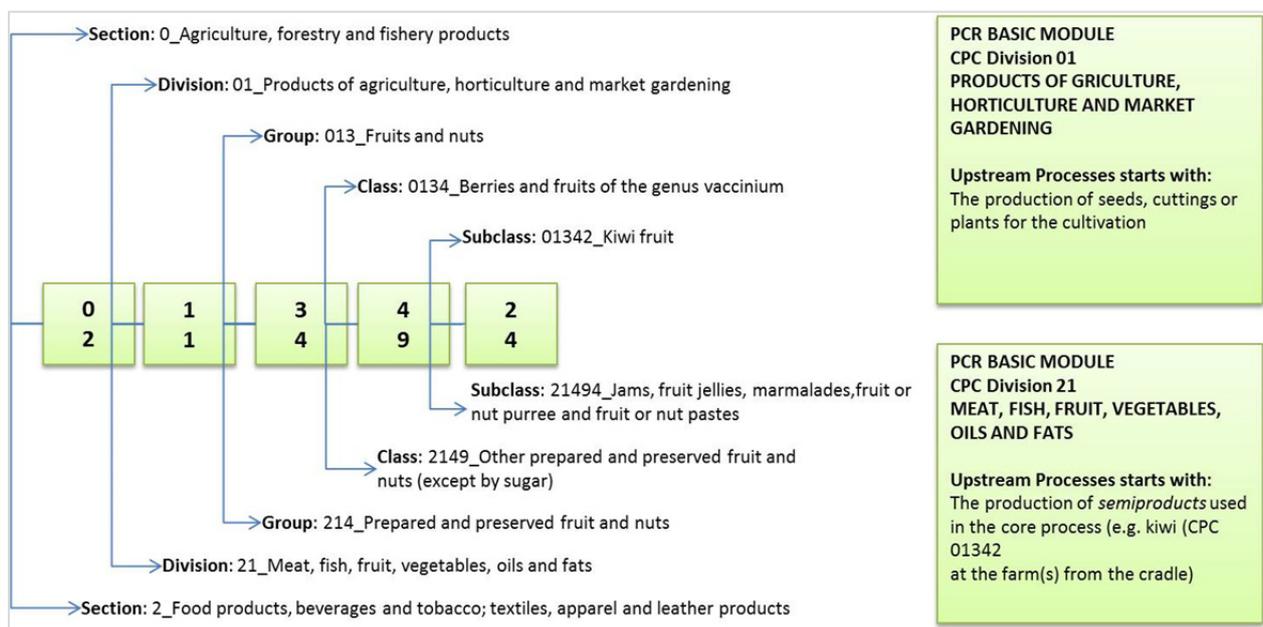


Abbildung 6: Aufbau des CPC Systems

Vor der Veröffentlichung einer EPD benötigt man also eine entsprechende Produktkategorie-Regel. Gibt es noch keine passende, muss entsprechend des CPC-Systems eine eigene erstellt werden. Die Norm schlägt hierbei einen Bottom Up Ansatz vor, d. h. zunächst wird die Ökobilanz für das konkrete Produkt erstellt und darauf aufbauend werden die Produktkategorie-Regeln abgeleitet. Das internationale EPD-System hat diesen Ansatz sogar noch verfeinert, indem es die Vorveröffentlichung (Precertification) von Single-EPDs ohne PCR ermöglicht. Die PCR wird dann auf Basis der EPD entwickelt.

Die nächste Säule einer EPD sind die Ergebnisse der Ökobilanzierung. Die Grundlagen hierfür werden zunächst theoretisch erläutert.

5 ÖKOBILANZIERUNG

5.1 EINFÜHRUNG

Ökobilanzierung (englisch: Life Cycle Assessment, LCA) ist eine durch die Normen ISO EN 14040 und 14044 definierte Methode, um Umweltaspekte von Produkten und Produktsystemen zu analysieren [Klöß09]. Gemäß der internationalen Rahmennorm ISO EN 14040 dient eine Ökobilanz zur Abschätzung der mit einem Produkt verbundenen Umweltaspekte bzw. der mit ihm verbundenen Umweltwirkungen. Dabei betrachtet die Ökobilanz diese Wirkungen im Laufe des Lebensweges eines Produktes, von der Rohstoffgewinnung und -erzeugung über die Energieerzeugung und Materialherstellung bis zur Anwendung, Abfallbehandlung und endgültigen Beseitigung. In der Literatur wird diese Art der Betrachtung auch „from cradle to gate“ genannt. Durch die Einbeziehung des gesamten Lebensweges, können die Umwelt-

wirkungen der einzelnen Phasen miteinander verglichen werden.

Eine Ökobilanzierung ist ein relativer Ansatz der um eine funktionelle Einheit aufgebaut ist, diese definiert sich über die Funktion (also den Zweck) eines Produktes (bzw. Produktsystems). Durch diesen Ansatz können auch unterschiedliche Produkte, die aber die gleiche Funktion bzw. den gleichen Nutzen haben, miteinander verglichen werden. Das klassische Beispiel ist der Vergleich von PET-Flaschen mit Mehrweg-Glasflaschen.

Eine Ökobilanz kann somit helfen, Entscheidungsträger korrekt über die Umwelteigenschaften eines Produktes zu informieren und bei gleichen Produkten den Auswahlprozess erleichtern. Sie kann aber auch den Ökodesignprozess anregen [ISO14040]. Im Folgenden wird genauer auf die einzelnen Phasen einer Ökobilanz eingegangen.

5.2 PHASEN EINER ÖKOBILANZ

Eine Ökobilanz umfasst vier Phasen: (1) Festlegung von Ziel und Untersuchungsrahmen; (2) Sachbilanz; (3) Wirkungsabschätzung und (4) Auswertung.

Bei der Festlegung des Ziels müssen die beabsichtigte Anwendung der Ökobilanz, die Gründe für die Durchführung der Studie und die angesprochene Zielgruppe festgelegt werden. Innerhalb des Untersuchungsrahmens werden u. a. das zu untersuchende Produktsystem, die funktionelle Einheit und die Systemgrenzen festgelegt.

5.2.1 ZIEL UND UNTERSUCHUNGSRAHMEN

Das Ziel einer Ökobilanz leitet sich aus der beabsichtigten Anwendung und den Gründen für die Durchführung der Studie sowie der angesprochenen Zielgruppe ab. Der Untersuchungsrahmen beschreibt ausführlich das zu untersuchende Produktsystem, die Funktionen des Produktsystems oder, im Fall vergleichender Studien, der Systeme, die funktionelle Einheit, die Systemgrenze, die Allokationsverfahren, die ausgewählten Wirkungskategorien, die Anforderungen an die Datenqualität und vieles mehr.

5.2.2 SYSTEMGRENZE DES PRODUKTSYSTEMS

Die Systemgrenze legt fest, welche Prozessmodule in der Ökobilanz enthalten sind. Vereinfacht gliedert sich der Lebensweg eines Produktes von der „Wiege bis zur Bahre“ wie folgt auf:

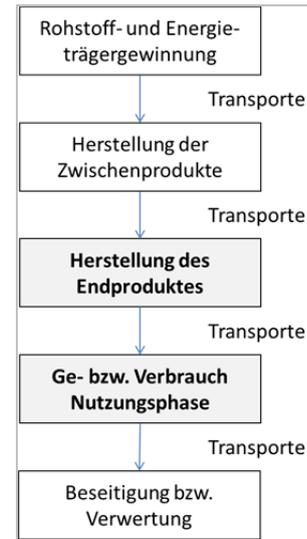


Abbildung 7: Stark vereinfachter Lebensweg eines (materiellen) Produktes¹¹

Im Idealfall sollen Produktsysteme so modelliert werden, dass an ihren Grenzen die In- und Outputs Elementarflüsse sind. Die Systemgrenze wird auch durch die Verwendung der Lebenswegabschnitte bestimmt. Folgende Module können im Lebensweg betrachtet werden:

- Gewinnung von Rohstoffen;
- Inputs und Outputs der wesentlichen Herstellungs- und Verarbeitungsschritte;
- Vertrieb / Transport;
- Erzeugung und Verwendung von Energieträgern, Elektrizität und Wärme;
- Verwendung und Instandhaltung von Produkten;
- Beseitigung von im Prozess anfallendem Abfall und von Produkten;
- Verwertung von Produkten (einschließlich Wiederverwendung, Recycling und energetischer Verwendung);
- Herstellung von Betriebsstoffen;
- Herstellung, Wartung und Außerbetriebsetzung von Produktionsanlagen;
- Zusätzliche Prozesse, wie z.B. Beleuchtung und Heizung.

Die Aufschlüsselung des Lebensweges sollte in Abstimmung mit dem Ziel der Ökobilanz stattfinden. Will man bspw. eine Entscheidungsgrundlage für die Wahl zwischen Energieversorgungssystemen (Windkraft vs. Solar) dann ist eine möglichst detaillierte Aufschlüsselung des Lebensweges und genaue Datenerhebung für jeden

¹¹ Vgl. Abbildung 1.1 in [Kl609].

Abschnitt notwendig, um eine fundierte Aussage bzgl. der Umweltwirkung treffen zu können. Soll die Ökobilanz jedoch „nur“ einen Vergleich darüber liefern ob ein energieeffizienterer Laptop besser ist als sein Vorgänger, dann kann man für die Modellierung der Herstellung auf aggregierte Daten aus Datenbanken zurückgegriffen und eine detailliertere Aufschlüsselung weglassen (vorausgesetzt, die Herstellung ist ähnlich).

Je detaillierter die Aufschlüsselung der Lebensphasen erfolgt, desto genauer sind die Ergebnisse der Ökobilanz. Aber umso aufwendiger und komplizierter gestaltet sich die Akquise von benötigten Daten.

5.2.3 ABSCHNEIDEKRITERIEN

Nachdem das zu untersuchende Produktsystem detailliert und mit Hilfe eines Systemschaubildes beschrieben wurde, müssen die Abschneidekriterien festgelegt werden. Diese Kriterien bestimmen die Grenze, d. h. die Stoffmenge, den Energiefluss oder den Grad von Umweltrelevanz, ab der die Input- bzw. Outputflüsse in die Studie mit einbezogen werden. Dies kann z. B. durch Prozentangaben ausgedrückt werden („weniger als 1% Umweltwirkung“).

5.2.4 FUNKTIONELLE EINHEIT

In der Norm wird die funktionelle Einheit (fE) als die Quantifizierung der angegebenen Funktionen eines Produktes definiert. Sie dient als sogenannter Referenzfluss dazu einen Bezug für alle Input- und Outputflüsse zu schaffen. Die fE sollte eindeutig und messbar definiert werden.

Insbesondere bei der Durchführung einer Ökobilanzstudie für ein Produktsystem muss die Wahl der richtigen funktionellen Einheit sorgfältig vorgenommen werden. Werden z. B. Papierhandtücher mit Luftrocknersystemen verglichen, dann muss die fE einen Referenzfluss darstellen der für beide Systeme identisch ist. Hier bietet sich die Abtrocknung eines Paares Hände an. Der Referenzfluss ist einmal das verbrauchte Papier und einmal das benötigte Volumen an heißer Luft.

5.2.5 SACHBILANZ

Die Sachbilanz (Life Cycle Inventory – LCI) wird definiert als „Bestandteil der Ökobilanz, der die Zusammenstellung und Quantifizierung von Inputs und Outputs eines gegebenen Produktes im Laufe seines Lebensweges erfasst“ [ISO 14040].

Auf Basis des erstellten Systemschaubildes und des festgelegten Zieles und Untersuchungsrahmens müssen die benötigten Daten zur Ermittlung der Umweltwirkung erhoben werden. Die Norm sieht vor, dass der Datenerhebungsprozess im Rahmen eines Prozesses von Messung,

Berechnung oder Schätzung sowie Zuordnung zu den einzelnen Prozessmodulen geschieht.

In Abbildung 8 sind die In- und Outputs schematisch dargestellt. Ein Prozessmodul ist hierbei der kleinste, in der Sachbilanz zu berücksichtigende, Bestandteil für das Input- und Outputdaten quantifiziert werden [ISO 14040].

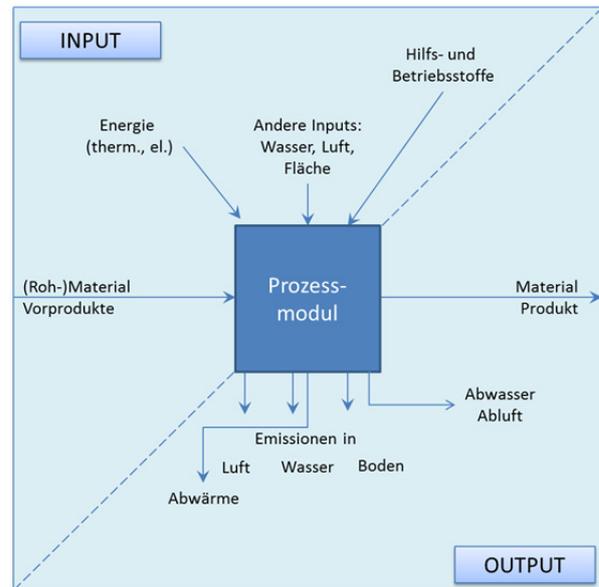


Abbildung 8: Schematische Darstellung eines Prozessmoduls [Klöß7]

In der Regel sind Prozessmodule nicht linear aneinander gereiht sondern verzweigen sich, häufig werden auch innerhalb eines Prozessmodules zwei Produkte erzeugt, so dass die Umweltwirkungen der In- und Outputs auf diese Produkte aufgeteilt werden müssen. Hier auftretende Schwierigkeiten wie Allokation, Koppelprodukte u. a. können im Rahmen dieses Artikels nicht ausführlich erläutert werden, es sei daher auf die vorhandene Literatur verwiesen¹².

Das Ergebnis der Bilanzierung liefert eine In- und Output-Tabelle auf Elementebene. Auf der Basis allgemein gültiger, naturwissenschaftlicher Grundgesetze, wie bspw. das Gesetz von der Erhaltung der Masse, 1. und 2. Hauptsatz der Thermodynamik und stöchiometrische Gesetze, werden die Outputs berechnet. So entsteht bei der Verbrennung von Benzin (Annahme reines Methan) Kohlendioxid und Wasser nach folgender Formel:



Nach dieser Gleichung bildet sich bei der Verbrennung von einem Liter Benzin 2,28 kg CO₂ [Klöß7].

¹² vgl. bspw. Kapitel 3 des Standardwerkes von Walter Klößfer, [Klöß7].

5.2.6 WIRKUNGSABSCHÄTZUNG

Im Rahmen der Wirkungsabschätzung (Life Cycle Inventory Analysis – LCIA) wird auf Basis der Sachbilanzergebnisse die Umweltwirkungen berechnet, d. h. den In- und Outputs werden bestimmte Wirkungen zugewiesen, auf Basis sog. Äquivalenzfaktoren. Diese Äquivalenzfaktoren beruhen auf wissenschaftlichen Erkenntnissen [Ci13]. Die Wirkungsabschätzungsphase muss folgende verbindliche Bestandteile enthalten: Auswahl von Wirkungskategorien, Wirkungsindikatoren und Charakterisierungsmodellen, Zuordnung der Sachbilanzergebnisse zu den ausgewählten Wirkungskategorien (Klassifizierung) und die Berechnung der Wirkungsindikatorwerte [ISO14044]. Ein Beispiel für die Begriffe liefert nachfolgende Tabelle:

Begriff	Beispiel
Wirkungskategorie	Klimaänderung
Sachbilanz- ergebnisse	Menge an Treibhausgas je funktioneller Einheit
Charakterisierungsmodell	Szenario „Baseline“ über 100 Jahre des zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC)
Wirkungsindikator	Verstärkung der Infrarot Strahlung (W/m ²)
Charakterisierungsfaktor	Treibhauspotential (GWP100) für jedes Treibhausgas
Wirkungsindikatorwert	Kilogramm der CO ₂ -Äquivalente je funktioneller Einheit
Wirkungsendpunkte	Korallenriffe, Wälder, Ernten
Umweltrelevanz	Die Verstärkung der Infrarotstrahlung steht stellvertretend für mögliche Wirkungen auf das Klima, die von der integrierten atmosphärischen Wärmeaufnahme, hervorgerufen durch Emissionen und die Verteilung über die Dauer der Wärmeaufnahme, abhängen.

Abbildung 9: Begriffsbeispiele für Wirkungsabschätzung¹³

Für die Auswahl der Wirkungskategorien, Wirkungsindikatoren und Charakterisierungsmodelle gelten darüber hinaus folgende Empfehlungen: Vollständigkeit (d. h. Abdeckung aller relevanten ökologischen Probleme),

¹³ Vgl. [ISO 14040]

Praktikabilität (Verwendung nicht zu vieler Kategorien), Unabhängigkeit (wechselseitige Unabhängigkeit, um Doppelzählungen zu vermeiden), Integrationsmöglichkeit in Berechnungen (es sollte möglich sein, die LCI-Ergebnisse mit ausgewählten Wirkungskategorien und Charakterisierungsmethoden zu verbinden) und wissenschaftliche Gültigkeit [Ci13].

Häufig werden die Charakterisierungsfaktoren noch zu Gruppen zusammengefasst, die Schäden für eine bestimmte Zielgruppe ausdrücken. Solche Gruppen sind z. B.: Schäden an Ressourcen, Schäden am Ökosystem, Gesundheitsschäden. So bewirkt bspw. der Faktor „Flächenverbrauch“ Schäden an Ressourcen und Schäden am Ökosystem aber keine Gesundheitsschäden. Seit längerem wird darüber geforscht und diskutiert wie man die Ergebnisse noch zu einer einzelnen Single-Score zusammenfassen könnte.

In der Regel müssen die Wirkungsabschätzungsmethoden nicht vom Ökobilanzierer selbst erstellt werden, sondern werden durch bestimmte Institute bereitgestellt. Beispiele hierfür sind: CML (Center of Environmental Science of Leiden University), IPCC (international panel of climate change), der Eco-indicator 99, der Ecological Footprint und andere. Diese Methoden unterscheiden sich sowohl in der Menge der einbezogenen Wirkungskategorien, als auch in der Berechnung von zusammengefassten Werten (vgl. Single-Score).

Optional enthält die Phase der Wirkungsabschätzung noch die Punkte Normierung, Ordnung und Wichtung. *Normierung* bedeutet hierbei, dass die Wirkungsindikatorwerte auf einen Referenzwert bezogen werden, bspw. die gesamten CO₂-Emissionen in Deutschland. *Ordnung* ist definiert als „Einordnung und eventuelle Rangbildung der Wirkungskategorien“, also die Einteilung auf einer nominalen oder verbalen Skala. Die *Gewichtung* ist ein Verfahren zur Umwandlung der Indikatorwerte verschiedener Wirkungskategorien anhand numerischer Faktoren. Bei Ökobilanzen die zur Veröffentlichung vorgesehen sind, dürfen keine Gewichtungen durchgeführt werden.

5.2.7 AUSWERTUNG

Im letzten Schritt der Ökobilanz gilt es die Ergebnisse aus Sachbilanz und Wirkungsabschätzung im Vergleich mit dem Ziel und dem Untersuchungsrahmen zu betrachten. Im Ergebnis sollen Schlussfolgerungen gezogen, Empfehlungen ausgesprochen und Einschränkungen erläutert werden. Hierzu gehört auch, den relativen Ansatz der Ökobilanz nochmals zu bewerten und die Ergebnisse dahingehend zu beurteilen, dass sie nur Schätzungen der Umweltwirkung darstellen und keine tatsächlichen Wirkungen auf Wirkungsendpunkte.

6 OPTIMIERUNG EINES KETTENFÖRDERERS

6.1 TECHNOLOGISCHE IMPLIKATIONEN

Ob mittels einer Produktumweltdeklaration (EPD) der Nachweis für die Verbesserung der Umweltwirkung inkl. Energieeffizienz erbracht werden kann soll nachfolgend überprüft werden. Dies geschieht am Beispiel eines Gleitkettenförderers. Dieses wurde bereits in Kapitel 2 kurz angesprochen. Hauptelement eines solchen Förderers ist eine Kette, deren einzelne Glieder aus Kunststoff oder Stahl bestehen und die mittels Gelenken raumbeweglich miteinander verbunden sind. Die Kette trägt dabei das Fördergut und bewegt sich durch ein Stütz- und Führungsprofil. Hauptanwender solcher Systeme sind die Lebensmittel- und Kosmetikindustrie sowie die Elektronikindustrie. Hier werden Produkte mit geringem Stückgewicht (wenige kg) bei Geschwindigkeiten bis zu 2m/s transportiert.

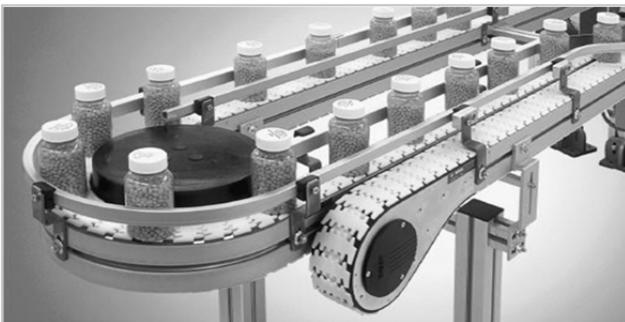


Abbildung 10: Gleitkettenförderer in der Pharmaindustrie¹⁴

Entsprechend den Gleichungen (2) und (4) gibt es verschiedene Ansätze zur Verringerung der im Gleitkettenfördersystem benötigten mechanischen Energie.

Sehr großes Potential bietet die Verringerung der Reibwerte in der Förderanlage. Dies wird auch durch die rasante Entwicklung auf dem Gebiet der Kunststoff-Gleitkettenförderer deutlich. Noch vor wenigen Jahren betrug der Reibwert zwischen den für Kette und Führungsschienen eingesetzten Standardmaterialien ca. 0,3. Nach dem derzeitigen Stand der Technik erreichen die eingesetzten Komponenten Reibwerte von nur ca. 0,2 [Su12]. Aktuelle Forschungsprojekte an der Professur Fördertechnik der TU Chemnitz haben zum Ziel, die Reibwerte noch weiter zu senken und ihre Langzeitstabilität sicher zu stellen. Beispiele hierfür sind die gezielte Oberflächenbeschichtung [Be11] oder die Strukturierung tribologisch beanspruchter Oberflächen [Sc11]. Der Erfolg solcher Maßnahmen hinsichtlich der Verbesserung der Energieeffizienz in der Nutzungsphase des Förderers ist durch Mes-

sungen – z. B. der Kettenzugkraft und/oder des Antriebsmomentes – leicht nachzuweisen.

Deutlich schwieriger ist der Nachweis der Energieeffizienz bei einem weiteren Forschungsprojekt an der TU Chemnitz: dabei geht es um die Optimierung der mechanischen Eigenschaften einer Kunststoffgleitkette. Dazu werden schlaufenförmige Verstärkungselemente gefertigt indem zunächst quasi-endlose, hochfeste Fasern (z. B. Glasfasern) um einen Kern gewickelt werden. Damit die Strukturen nach Entfernen des Kerns ihre Form behalten, werden auch thermoplastische Fasern mit aufgewickelt, aufgeschmolzen und wieder abgekühlt. Die so entstandene, formstabile Schlaufe wird im Spritzgießprozess schwebend in die Kettenglieder integriert.

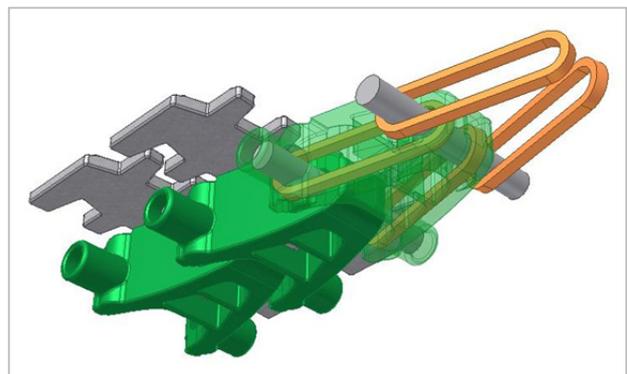


Abbildung 11: Förderkette mit verstärkten Kettengliedern

Man verspricht sich davon eine deutlich höhere Festigkeit der Kette, d. h. entweder eine Erhöhung der Förderleistung indem eine größere Gutmasse oder geringere Abstände zwischen den Gütern realisiert werden oder eine Steigerung der Lebensdauer (s. o.), weil die Förderstrecke bei gleicher Streckenlast länger (ohne Wartung bzw. Versagen) betrieben werden kann. Darüber hinaus wird die Kettensteifigkeit erhöht, dies führt zur Verringerung von Stick-Slip-Effekten und zur Minderung der Kriechneigung, was einen dauerhaft optimalen Antrieb der Kette ermöglicht. All diese Effekte sollen nicht nur die Ketten-eigenschaften verbessern, sondern auch die Kettenlebensdauer deutlich erhöhen. Daraus wird allgemein eine erhöhte Ressourcen- und Energieeffizienz geschlussfolgert.

6.2 ERSTELLUNG EINER PRODUKTUMWELT-ERKLÄRUNG (EPD) FÜR EINE FÖRDERKETTE

Das weitere Vorgehen orientiert sich an der oben beschriebenen Theorie. Die zu erstellende Produktumweltdeklaration soll für das Produkt (energieeffizientere) Förderkette dienen und als Marketinginstrument durch die Hersteller solcher Ketten verwendet werden. Die EPD wird beim internationalen EPD® System veröffentlicht, die Ökobilanz wird mit Hilfe der Software openLCA ausgeführt.

¹⁴ Vgl. [Bo09]

6.2.1 PRODUKTKATEGORIE FÜR EINE FÖRDERKETTE

Wie schon weiter oben beschrieben, stellt das internationale EPD® System den Rahmen für die Erstellung einer Produktumwelterklärung bereit. Damit eine EPD vergleichbare Umweltinformationen über das untersuchte Produkt liefert muss eine Produkt-Kategorie-Regel vorhanden sein oder neu entwickelt werden. Für Förderketten gibt es bisher keine PCR, so dass diese zunächst entwickelt werden muss. Die entsprechende Produktgruppenbezeichnung lässt sich wie oben beschrieben aus dem internationalen CPC-System ableiten. Für eine Förderkette bietet sich folgende Kategorie an: 4355 „Pneumatic and other continuous action elevators and conveyors, for goods or materials“. Der Code setzt sich wie folgt zusammen:

Code	Description
4	Metal products, machinery and equipment
3	General-purpose machinery
5	Lifting and handling equipment and parts thereof
5	Pneumatic and other continuous action elevators and conveyors, for goods or materials

Abbildung 12: CPC Code für die Produktkategorie

Insgesamt sind in der Klasse 433 „Lifting and handling equipment and parts thereof“ acht weitere Unterklassen enthalten. Die Einteilung eignet sich sehr gut um Produkt-Kategorie-Regeln für in ihrer Funktion vergleichbare Produkte zu entwickeln. Liegen diese Regeln für verschiedene Produkte vor, können sie sehr leicht in einander überführt werden oder aufeinander aufbauen. So können Regeldefinitionen für Baugruppen unkompliziert aus den Regeln der entsprechenden Bauteile aggregiert werden.

Die PCR enthält weitere folgende Punkte (dabei wurde sich am PCR Basis Module „General-purpose machinery“ orientiert):

- Informationen über den Hersteller (Standort, Aussteller der EPD, Informationen über ev. existierende Umweltmanagementsysteme, Logo der Firma, Kontakt usw.)
- Technische Informationen über das Produkt (Funktion, Materialien, Hilf- und Betriebsstoffe)
- Schaubild der Systemgrenzen und des Produktlebenszyklus → abgeleitet aus dem Lebensweg aufgeteilt in Herstellung der Einzelteile, Zusammenbau der Kette, Nutzungsphase, Entsorgungsphase

- Funktionelle Einheit
- Wichtige Indikatorgrößen(als Ergebnis der Ökobilanz) aus der Wirkungsabschätzung aufgeteilt nach der Herstellungs-, Nutzungs- und Entsorgungsphase.

Weitere Inhalte der PCR sind die Einsatz- und Verwendungsparameter des Systems. Wie in jeder technischen Beschreibung müssen auch in der EPD kurz die Einsatzparameter beschrieben werden. Dafür sollte sie ein Schaubild der Kette und eventueller Zusatzkomponenten enthalten sowie eine Tabelle mit folgenden Größen: projizierte und reale Länge der Kette, maximale Zugkraft, maximales Gewicht, maximale Kapazität (also der Maststrom), weitere Dimensionen und Antriebsgeschwindigkeit. Darüber hinaus sollte die EPD Angaben über die Optimierung der Nutzungsphase enthalten. Es nützt nämlich nichts wenn der Energieverbrauch optimiert wurde, die Antriebsmotoren und Steuerungstechnik muss diese Optimierung auch umsetzen.

Der wichtigste Bestandteil der EPD ist die durchzuführende Ökobilanzierung der Kette, das Vorgehen sowie die erzielbaren Ergebnisse werden im nächsten Abschnitt dargelegt.

6.2.2 ÖKOBILANZ DER FÖRDERKETTE

6.2.3 ZIEL UND UNTERSUCHUNGSRAHMEN

Ziel der durchzuführenden Ökobilanzierung ist neben der Veröffentlichung der Ergebnisse im Rahmen einer EPD auch der Nachweis, dass die Energieeinsparungen in der Nutzungsphase der neuen Kette, die voraussichtlich schlechteren Umweltwirkungen durch die aufwendigeren Herstellungs- und Entsorgungsphasen überkompensieren. Dies wird vermutlich durch die verlängerte Lebensdauer und die Verbesserung der Energiebilanz in der Nutzenphase erreicht.

Deshalb wird zunächst das Produktsystem Förderkette modelliert, in die Software openLCA übertragen und die Sach- und Wirkungsbilanz berechnet. Die Ergebnisse fließen dann in die EPD für die Förderkette ein. Um jedoch die entscheidenden Umweltwirkungsmerkmale feststellen zu können, muss gleichzeitig ein Vergleich der Ökobilanzergebnisse mit den Ökobilanzergebnissen einer herkömmlichen Stahlkette durchgeführt werden.

Der Untersuchungsrahmen der neuen Kette umfasst ihre prototypische Herstellung an der Universität, die approximierende Nutzungsphase im Rahmen von experimentellen Untersuchungen sowie eine potentielle Entsorgung des Werkstoffes. Bei der Herstellungs- und Entsorgungsphase soll auf Werte aus öffentlich verfügbaren Datenbanken (bzw. zukünftig der ecoINVENT v3) zurückgegriffen werden.

Folgende Abbildung zeigt das Systemfließbild für den Lebensweg der neuen Kette.

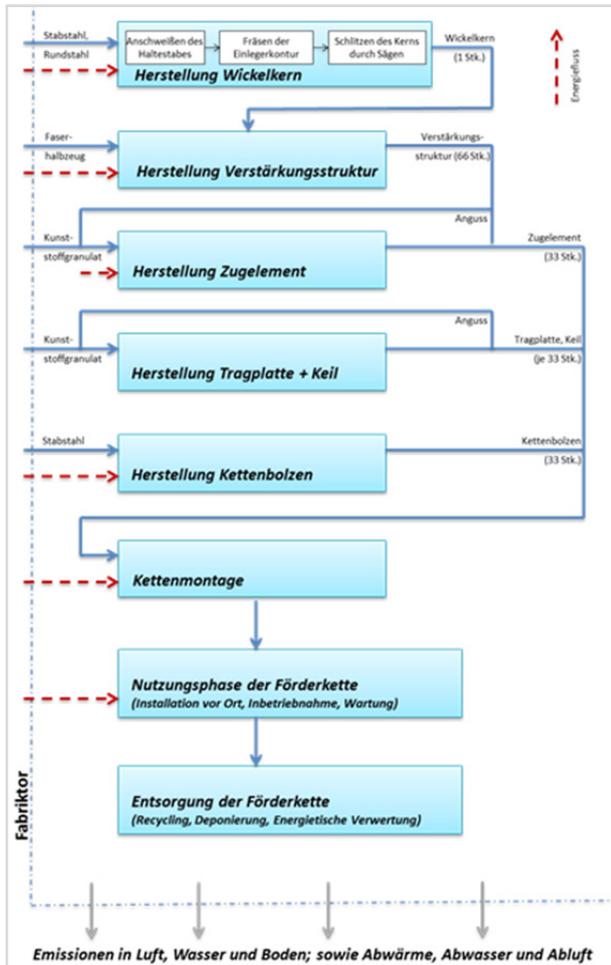


Abbildung 13: Lebensweg der Förderkette

Wie man im Bild erkennen kann, beginnt der Untersuchungsrahmen am Fabrikator (beim Einkauf der Halbzeuge zur Herstellung der Förderkette) und endet mit der Entsorgung der Förderkette durch Recycling, Verbrennung oder Deponierung. Es handelt sich also hierbei im eigentlichen nicht um eine Cradle-to-Gate Betrachtung, sondern um eine Gate-to-Gate Betrachtung. Wenn jedoch die Vorketten mitbilanziert werden (durch die Verwendung der ecoINVENT Daten) dann wird die Betrachtung wieder auf eine Gate-to-Gate erweitert. Der Herstellungsprozess der einzelnen Prozessmodule wird auf zwei Wegen untersucht, zum einen abstrakt auf Basis der blauen Umrandung (Input nur Material und Energie, Output das entsprechende Teil) und zum anderen detailliert auf Basis der stattfindenden Prozesse wie Spritzgießen, Sägen, Drehen (helle Kästchen, vgl. Wickelkern).

Weiterhin ist zu beachten, dass zunächst keine Transportprozesse betrachtet wurden, zum einen weil keine Informationen darüber vorliegen und weil die Ketten

meist in Deutschland hergestellt werden und somit keine längeren Transporte anfallen (wie bspw. bei der Herstellung von Holzprodukten wo ein langer Lieferweg mitbilanziert werden muss).

6.2.4 FUNKTIONELLE EINHEIT

Entscheidend für die weiteren Untersuchungen und die Modellierung des Produktsystems Förderkette ist die Festlegung der funktionellen Einheit. Um die funktionelle Einheit zu bestimmen, müssen zunächst die Funktionen des Systems bestimmt werden. Die Hauptfunktion ist der Transport eines Stückgutes von einem Punkt A zu einem Punkt B. Darüber hinaus hat das Gut eine gewisse Masse und soll in einer bestimmten Geschwindigkeit transportiert werden, von der Kette wird eine bestimmte Haltbarkeit/ resp. Lebensdauer erwartet. Weitere Funktionen sind der Schutz des Gutes vor dem Herunterfallen, die Durchführung von Reinigungsfunktionen oder Gewährleistung von Hygiene-Anforderungen (vgl. Beispiel Förderkette in Lebensmittelbranche).

Die Hauptfunktion ist der Transport eines Gutes einer bestimmten Masse in einer bestimmten Zeit, deshalb wird als funktionelle Einheit der Massestrom in kg/s gewählt. Diese funktionelle Einheit dient vor allen Dingen für den Vergleich verschiedener Ketten (bzw. kontinuierlich arbeitender Fördersysteme) in der Nutzungsphase und entspricht somit dem definierten Ziel der Ökobilanz. Für die Herstellung und Entsorgung wird zunächst auf einen Meter Förderkette referenziert, ein Meter hergestellte bzw. entsorgte Förderkette müssen dann mit dem Massestrom referenziert werden.

6.2.5 MODELLIERUNG DER SACHBILANZ MIT OPENLCA

Die Ökobilanzierung soll nun mit Hilfe der Open Source Software openLCA durchgeführt werden. Wie im Produktschaubild erkennbar beginnt der Betrachtungshorizont mit dem Einkauf der Halbzeuge für die prototypische Herstellung der Förderkette. Die Daten für Materialien und Energie werden aus frei verfügbaren Datenbanken (NREL bzw. USLCI) entnommen, später kann dann die ecoINVENT Datenbank verwendet werden.

Für jedes einzelne Prozessmodul werden Produktsysteme angelegt deren In- und Outputflüsse eingegeben werden. So besteht z. B. das Produktsystem „Herstellung des Wickelkerns“ aus folgenden In- und Outputgrößen:

Input	Output
Elektrizität zum Schweißen, Fräsen, Sägen [kWh]	Wickelkern [kg]
Halbzeug Stabstahl [kg]	

Abbildung 14: In- und Output-Tabelle für das Produktsystem "Herstellung des Wickelkerns"

Die einzelnen Produktsysteme, die zur Herstellung der Förderkette notwendig sind, müssen auf einen Meter Kette referenziert werden. Dementsprechend müssen die Outputs die für einen Meter Kette benötigt werden im Produktsystem „Herstellung der Kette“ als Input eingegeben werden. Dieses Produktsystem ist in nachfolgender Tabelle dargestellt.

Input	Output
Elektrizität [kWh]	1 Meter Förderkette [m]
33 Bolzen [Stück]	
33 Tragplatte und Keil [Stück]	
66 Verstärkerstruktur [Stück]	
1/10000 Wickelkern [Stück]	
33 Zugelement [Stück]	

Abbildung 15: In- und Output Tabelle für das Produktsystem "Herstellung der Förderkette"

6.2.6 NUTZUNGSPHASE DER FÖRDERKETTE

Nach der Modellierung der Herstellungsphase muss die Nutzungsphase modelliert werden. Die Nutzungsphase ist vor allen Dingen durch den Verbrauch von elektrischer Energie gekennzeichnet und stark davon abhängig wie die jeweilige Förderkette eingesetzt wird. Grundsätzlich sollte die Nutzungsphase so modelliert werden, dass ein Ideal-Zyklus definiert wird und für diesen der Energieverbrauch gemessen wird. Dieser Ideal-Zyklus wird im besten Fall aus realen Daten generiert. Noch besser ist die Bestimmung von mehreren Nutzungsszenarien für den Einsatz eines Produktes. Dies wird aktuell bei der Entwicklung einer PCR für Fahrstühle durchgeführt, diese orientiert sich an der entsprechenden VDI-Norm die solche Szenarien definiert [VDI4707].

Diese Art der Modellierung ist für den vorliegenden Fall nur schwierig möglich. Gründe dafür liegen zum einen darin, dass es sich bisher nur um einen Prototyp handelt und dieser bisher noch nicht eingesetzt wurde. Zum anderen ist der Einsatz von Förderketten in jedem Fall individuell, weil es keine klassischen Einsatzszenarien gibt. Deshalb wird für die Berechnung der Nutzungsphase ein anderer Ansatz verfolgt.

Bei der Professur Fördertechnik werden Förderketten auf verschiedenen Prüfständen hinsichtlich Festigkeit, Dehnungsverhalten und allgemeiner tribologischer Eigen-

schaften getestet. Im Rahmen eines dynamischen Zugversuches wird die Zug-Schwell-Festigkeit, von Ketten überprüft. Nachfolgende Grafik zeigt die Ergebnisse dieses Versuches beispielhaft.

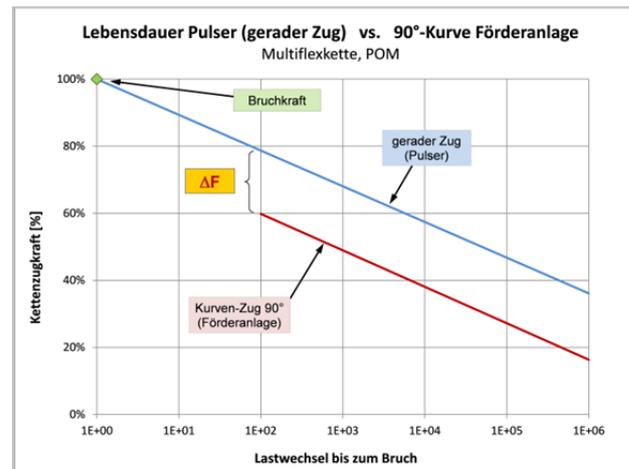


Abbildung 16: Betriebsfestigkeitsschaubild einer Transportkette¹⁵

Die Anzahl der ertragbaren Lastwechsel – und damit die Lebensdauer der Kette – ist somit abhängig von der wirkenden Kettenzugkraft während des Betriebes [WSBS13]. Dieser Zusammenhang dient als Grundlage der Modellierung der Nutzungsphase der Kette. Der graphisch ermittelbare Zusammenhang zwischen maximaler Zugkraft und Lebensdauer wurde in eine logarithmische Gleichung der Form

$$y = A \times \ln(\text{Anz}) + B \quad (5)$$

überführt. A und B sind Konstanten und „Anz“ steht für die Anzahl der Lastwechsel bzw. Umläufe. Aus der Gleichung kann nun die Kettenzugkraft in Abhängigkeit von den Lastwechseln berechnet werden. Daraus lassen sich, durch Anwendung weiterer Formeln, die elektrische Leistung über die Lebensdauer (INPUT) als auch der OUTPUT in Form eines Massestromes berechnen. Innerhalb von openLCA können diese Formeln eingeben und als sogenannte Parameter für In- und Outputgrößen verwendet werden.

6.3 ERGEBNISSE DER ÖKOBILANZ

Wie oben beschrieben müssten nun die Sachbilanzergebnisse der Ökobilanz mittels Wirkungsindikatoren zu Wirkungskategorien zusammengefasst werden. Da zum jetzigen Zeitpunkt die Integration der ecoINVENT Datenbank noch nicht möglich war und auch die Modellierung der Lebenswege noch nicht vollständig abgeschlossen ist, können nur approximative Lösungen präsentiert werden.

¹⁵ Vgl. [Su09]

In erster Linie sollte die verbesserte Energieeffizienz innerhalb der Nutzungsphase der Verschlechterung der Herstellungs- und Verwertungsphase gegenübergestellt werden. Zur Annäherung an dieses Problem wurden folgende Produktsysteme miteinander verglichen:

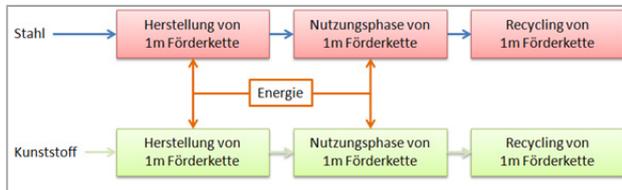


Abbildung 17: vereinfachter Lebenszyklus Stahlkette vs. Kunststoffkette

Wie schon weiter oben dargestellt, handelt es sich hierbei um eine starke Vereinfachung. Ziel dieser Darstellung ist es aufzuzeigen, inwieweit sich die Reduzierung des Energieverbrauches in der Nutzungsphase auf die Ökobilanz insgesamt auswirkt.

Folgendes Ergebnis erhält man für das Global Warming Potential (CO₂-Ausstoß in [kg CO₂-eq]) wenn die Wirkungsindikatorberechnung nach CML2001 durchgeführt wird.

Lebensphase	Kunststoffkette	Stahlkette
Herstellung	136,37	69,05
Nutzung	3.091,98	19.876,95

Abbildung 18: Vergleich der GWP100a Werte für den approximierten Lebenszyklus KST-Kette vs. Stahlkette

Wenn man den GWP-Wert als repräsentativ für die Energieeffizienz betrachtet, kann man sehr gut erkennen, dass der reduzierte Energieverbrauch in der Nutzungsphase den erhöhten Energieverbrauch in der Herstellungsphase kompensiert.

Diese Untersuchungen müssen nun auch für andere Umweltwirkungskategorien fortgeführt und jeweils Vergleiche zwischen den Förderketten angestellt werden. Falls signifikante Unterschiede zwischen den Ketten auftreten sollten diese Kategorien in die Beschreibung der PCR mit aufgenommen werden.

7 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Im vorliegenden Text wurde gezeigt wie mit Hilfe einer sog. Produktumwelterklärung die verbesserte Umweltwirkung von energieeffizienten Förderketten darstellbar ist. Der Vorteil einer EPD im Vergleich zu anderen Umweltkennzeichnungen nach DIN ISO 14020ff ist die wissenschaftliche Nachweisbarkeit der Ergebnisse durch die Anwendung der Ökobilanzierung nach DIN ISO 14040 und 44. Somit kann nachgewiesen werden, ob die Verbesserung der Energieeffizienz in der Nutzungsphase

die aufwendigere Herstellung und Entsorgung kompensiert. Nachteilig sind der hohe Aufwand der Methode und die benötigte Sorgfalt bei der Durchführung. Durch ihren Ansatz der Betrachtung des gesamten Lebenszyklus einer Kette kann die aufwendigere Herstellung und Entsorgung ebenso bilanziert werden wie die energieeffizientere Nutzungsphase.

Dies ist auch klar als Vorteil ggü. den in der EU verpflichtenden Energieeffizienzlabels für energieverbrauchsrelevante Geräte, wie Kühlschränke, Waschmaschinen usw., zu sehen. Hier wird lediglich auf den Energieverbrauch in der Nutzungsphase abgezielt und die (zumeist) aufwendigere Herstellung und Entsorgung außen vorgelassen. Diese auch als „ökologischer Rucksack“ bezeichnete Menge an Ressourcenverbrauch, die bei der Herstellung und Entsorgung eines Produktes anfällt, wird bei einer Ökobilanz mitbetrachtet. Somit kann eigentlich nur diese eine fundierte Aussage über die Verbesserung der Umweltwirkung des Produktes über dessen gesamten Lebenszyklus treffen.

Dennoch bleibt offen ob Umweltkennzeichnungen der richtige Weg sind, um den Verbraucher zu sensibilisieren und den Markt für (energie-)effiziente Produkte zu stärken. Eine aktuelle Studie des Umweltbundesamtes hat unter anderem ergeben, dass sich durch die Flut an - vor allem privatwirtschaftlichen – Labels, unabhängige Label, die nach wissenschaftlichen Maßstäben entwickelt wurden (Blauer Engel, EPD), nur schwer auf dem Markt durchsetzen können und die Verbraucher ihnen nicht mehr vertrauen [Uba13].

Gleichzeitig wird die Top-Runner-Strategie sowohl von Bündnis 90 / Die Grünen als auch von Bundesumweltminister Altmaier als der Weg betrachtet, wie der Staat dazu beitragen kann, dass Produkte besser und effizienter werden. Hierbei wird nicht nur auf die erhöhte Energieeffizienz abgezielt sondern es soll die Umweltwirkung von Produkten insgesamt kontinuierlich reduziert werden [Sei13]. Der einzige Weg die Umweltwirkung von Produkten quantitativ und hinreichend genau zu bestimmen, ist der über die Durchführung einer Ökobilanz.

Einen ähnlichen Weg bestreitet die PEF (Product Environmental Footprinting) Initiative der Europäischen Kommission. Nach der Ausarbeitung einer allgemein gültigen Methode zur Bestimmung des environmental footprints von Produkten und Organisationen, soll diese Methode nun im Rahmen dreijährigen Pilotphase getestet werden. Im Ergebnis soll es möglich sein, Produkte, Dienstleistungen und Firmen über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg bzgl. ihrer Umweltwirkung beurteilen und vergleichen zu können. Nach der Pilotphase ist eine verpflichtende Einführung möglich [Spie13].

LITERATUR

- [2°Studie 11] Initiative 2°, Fraunhofer IML, :response: Kurzstudie 2011, KLima-schutz liefern, Logistikprozesse klima-freundlich gestalten, Berlin&Hamburg 2011
- [Be11] Bergmann, A.; Sumpf, J.; Schumann, A.; Nendel, K.; Stryhal, S.; Kupfer, H.; Richter, F.: Kohlenstoffbasierte PVD-Beschichtungen zur Optimierung der tribologischen Eigenschaften von Kunststoffbauteilen in Fördersystemen; Tagungsband zur 22. Fachtagung über Verarbeitung und Anwendung von Polymeren; TU Chemnitz; Chemnitz; 2011; S. 146-147
- [Bo09] N.N.: Produktkatalog „Kettenfördersysteme – VarioFlow“; Fa. Bosch Rexroth; Ausgabe 4.2; 2009
- [Ci13] Ciroth, A.: Einführung in openLCA, Skript zur Schulung openLCA vom 06.-07.06 2013 in Berlin, www.greendelta.com
- [Co13] Cook, J.; Nuccitelli, D.; Green S.; Richardson M.; Winkler, B.; Painting, R.; Way, R.; Jacobs, P.; Skuce, A.: Quantifying the consensus on anthropogenic global warming in the scientific literature. In: Environmental Research Letters 8 (2013) 024024 (7pp). Online at stacks.iop.org/ERL/8/024024
- [CPC07] CPC Ver.2, detailed structure and correspondences of CPC Ver.2 subclasses to ISIC Rev.4 and HS 2007, http://unstats.un.org/unsd/cr/registry/docs/CPCv2_structure.pdf
- [EPD13] The International EPD®System: General Programme Instructions for the International EPD System 2.0, 2013
- [EU20] Rat der Europäischen Kommission: Europa 2020 – eine Strategie für intelligentes, nachhaltiges und integratives Wachstum, Brüssel 2010
- [Fi12] Finkbeiner, M. Umweltmanagement für kleinen und mittlere Unternehmen – Die Normenreihe ISO 14000 und ihre Umsetzung, Beuth Verlag, Berlin-Wien-Zürich, 2012, ISBN 978-3-410-21895-1
- [Go13] Goldhammer, B.; Abrashkina, P.; Busse, Ch.: Upstream Carbon Dioxide Assessment at the Product Level. In: Efficiency and Logistics, LNL, pp.163-174, Springer-Verlag Berlin, Hrg. Clausen, U. et al.
- [Gue07] Günthner, A.: Vorlesungsskript „Materialflusstechnik“; TU München; 2007
- [Ha10] Hansen, J.; Sato, M.; Kharecha, P.; Beerling, D.; Berner, R.; Masson-Delmotte, V.; Pagani, M.; Raymo, M.; Royer, D.L.; Zachos, J.C.: Target Atmospheric CO₂: Where Should Humanity Aim?, NASA/ Goddard Institute for Space Studies, New York
- [ISO 14020] DIN EN ISO 14020: Umweltkennzeichnungen und -deklarationen – Allgemeine Grundsätze (ISO 14020:2000), Deutsche Fassung EN ISO14020:2001, Ausgabe Februar 2002.
- [ISO 14025] DIN EN ISO 14025: Umweltkennzeichnungen und –deklarationen – Typ III Umweltdeklarationen – Grundsätze und Verfahren (ISO 14025:2006); Deutsche und Englische Fassung EN ISO 14035:2011, Ausgabe 2011
- [ISO 14040] DIN EN ISO 14040: Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundstätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006); Deutsche und Englische Fassung EN ISO 14040:2006, Ausgabe 2009
- [ISO 14044] DIN EN ISO 14044 - Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen (ISO 14044:2006); Deutsche und Englische Fassung EN ISO 14044:2006, Ausgabe 2006
- [Je10] Jepsen, D.; Sprengler, L; Reintjes, N.; Rubik, F.; Schomerus; Th.: Produktbezogenes Top-Runner-Modell auf der EU-Ebene, Download unter http://www.uba.de/uba-info/medien_/4122.html; Dessau-Roßlau, 2011
- [Kl09] Klöpffer, W.; Grahl, B.: Ökobilanz (LCA) ein Leitfaden für Ausbildung und Beruf, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.KGaA, Weinheim 2009, ISBN 978-3-527-32043-1

- [Nen12] Nendel K.: Vorlesungsskript „Grundlagen der Fördertechnik“; TU Chemnitz; Chemnitz; 2012
- [Sei13] Seidel, M.: Nur nicht abhängen lassen; Wie kann der Staat dazu beitragen, dass Produkte besser und effizienter werden?, ZEIT ONLINE, <http://www.zeit.de/2013/31/produkte-top-runner>
- [Sh11] Schumann, A; Sumpf, J.; Weise, S.; Bleesen, C.: Energieeffiziente Kunststoff-Gleitlager durch mikrostrukturierte Reibflächen. Tagungsband zur 22. Fachtagung über Verarbeitung und Anwendung von Polymeren, Chemnitz 10.-12.11.2011, Vortrag 5.3, S. 1-13
- [Spie13] Spielmann, M.: Environmental Footprinting Initiative of The European Commission, 7 things you should know about it, PE International AG, February 2013
- [Su09] Sumpf, J: Abschlusspräsentation des BMBF-Projektes „Langfaserverstärkte Zugmittel für Stetigförderer“; TU Chemnitz; Hannover; 2009
- [Su12] Sumpf, J.: Vorlesung „Kettenfördersysteme“; TU Chemnitz; Chemnitz; 2012
- [StB09] Statistisches Bundesamt / VDMA: Zahlenkompass Fördertechnik, www.vdma.org/wps/portal/Home/de/Branchen/F/FOERD/Wirtschaft_und_Recht/FOERD_Wirtschaft_und_Recht?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/vdma/Home/de/Branchen/F/FOERD/Wirtschaft_und_Recht/FOERD_Wirtschaft_und_Recht [02.07.2011]
- [Uba13] Umweltbundesamt: Grüne Produkte in Deutschland – Status Quo und Trends, Dessau-Roßlau 2013 [VDI4707] VDI4707 – Aufzüge Energieeffizienz – Lifts Energy efficiency, März 2009, ICS 91.140.90
- [Wie05] Wiel, St.; McMahon, J. E.: Energy-Efficiency Labels and Standards: A Guidebook for Appliances, Equipment and Lightning – 2nd Edition. Washington, D.C., 2005, <http://www.escholarship.org/uc/item/01d3r8jg>
- [WEO10] OECD/ IEA: World Energy Outlook 2010, ISBN 978-92-64-086241, Paris 2010
- [WSBS13] Weise, S.; Strobel, J.; Bergmann, A.; Schumann, A.: Energetische Betrachtung bewegter Massen in Förderprozessen in : R. Neugebauer, U. Götze, W.-G. Drossel (Hrsg.): Energetisch-wirtschaftliche Bilanzierung und Bewertung technischer Systeme - Erkenntnisse aus dem Spitzentechnologiecluster eniPROD, Tagungsband zum 1. Und 2. Methodenworkshop der Querschnittsarbeitsgruppe 1 „Energetisch-wirtschaftliche Bilanzierung“ des Spitzentechnologiecluster eniPROD, Wissenschaftliche Scripten, Auerbach, 2013, URN: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:ch1-qucosa-109067>

Prof. Dr. Ing. Klaus Nendel, hat Maschinenbau in Karl-Marx-Stadt (heute Chemnitz) studiert und ist seit 1992 Leiter der Professur Fördertechnik an der Fakultät für Maschinenbau der Technischen Universität Chemnitz.

Dipl.-Wirt.-Ing. Lynn Lüdemann, hat Wirtschaftsingenieurwesen (Fachrichtung Maschinenbau) an der Technischen Universität Chemnitz studiert und forscht seit 2013 im Projekt eniPROD (www.eniprod.eu) über Ökobilanzierung für prototypische Anwendungen, an der Professur Fördertechnik in Chemnitz.

Dipl.-Ing. Sebastian Weise, hat Maschinenbau an der Technischen Universität Chemnitz studiert und forscht seit 2009 im Projekt eniPROD (www.eniprod.eu) an der Entwicklung von Kunststoffketten und Fördersystemen an der Professur Fördertechnik in Chemnitz.