Der Beitrag soll – wenn möglich – in Ausgabe [3] veröffentlicht werden.

Soll der Beitrag reviewt werden? JA [X]

Ökobilanz, Normierung, Benchmark

Der Umsatz-Nachhaltigkeitsindex

Ein Benchmark für Fertigungsprozesse des deutschen Maschinen- und Anlagenbaus

R. Miehe, M. Wiedenmann, T. Bauernhansl

Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl, M.Sc. Robert Miehe, B.Sc. Marc Wiedenmann

Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA)

Abteilung Nachhaltige Produktion und Qualität

Nobelstr. 12, D-70569 Stuttgart,

[redacted]

Internet: http://www.ipa.fraunhofer.de

Die Ökobilanz hat sich als Instrument zur Bewertung der Umweltauswirkungen von Produkten und Prozessen durchgesetzt. Dennoch stellt die Durchführung Nutzer immer wieder vor Herausforderungen. In diesem Artikel präsentieren wir einen Ansatz für eine vergleichende Betrachtung der ökologischen Auswirkungen des unternehmerischen Handelns auf Basis der jeweiligen Unternehmens- und Branchenumsätze. Der Umsatz-Nachhaltigkeitsindex soll als Konzept für ein Benchmark für Unternehmen einer Branche dienen.

The Turnover-Sustainability-Index

Life Cycle Assessment has prevailed as the instrument to evaluate the environmental impact of products and processes. Its execution, however, represents a challenge to operators. In this paper we present an approach for a comparative examination of environmental impacts of industrial behavior based on a companies and its equivalent sectors turnover. The Turnover-Sustainability-Index serves as a benchmark for companies within a sector.

1 Einleitung

Das Fortschreiten der Erderwärmung, steigende Kosten für Energie sowie die Endlichkeit der auf der Erde vorhandenen Ressourcen sind nur einige Gründe für produzierende Unternehmen die umweltbelastenden Auswirkungen ihrer Leistungserstellung zu reduzieren. Zur Bewertung nachhaltigen Wirtschaftens hat sich in den vergangenen Jahren die Methodik der Ökobilanzierung (engl. Life Cycle Assessment) etabliert. Im Rahmen dieses Ansatzes werden alle relevanten Stoffströme eines Produktes, Prozesses oder Unternehmens ermittelt und im Hinblick auf ihre Umweltwirkung bewertet [1].Dies soll Unternehmen die Möglichkeit zu einer gezielten ökologischen Optimierung geben. Dennoch existiert eine Vielzahl an Hemmnissen, die eine großflächige Verwendung der Methodik behindern. Barrieren der weiteren Verbreitung der Ökobilanz sind in erster Linie die Komplexität der Durchführung, der Mangel an verfügbaren Daten, der Auslegungsraum in der Anwendung aufgrund unterschiedlich gewählter Untersuchungsparameter sowie fehlende oder zu knappe Ressourcen im Unternehmen [2]. Darüber hinaus ist das Resultat einer Ökobilanz-Studie in der Regel ein

einzelfallabhängiges Ergebnis. Für eine gezielte betriebliche Optimierung benötigen Unternehmen jedoch einen Vergleich mit dem Wettbewerb.

2 Grundlagen

Das Vorgehen der Ökobilanzierung ist in den Normen DIN EN ISO 14040 und DIN EN ISO 14044 international standardisiert. Das Konzept besteht, wie in Bild 1 dargestellt, aus vier Modulen. Spezifische Hinweise zu Verfahren, die bei einer Ökobilanz-Studie zur Anwendung kommen können, sind in der Norm nicht enthalten. Hiervon existiert jedoch eine Vielzahl, insb. für die Sachbilanzierung und Wirkungsabschätzung. Dies hat zur Folge, dass Ökobilanz-Analysen zum scheinbar gleichen Untersuchungsgegenstand nicht selten zu völlig gegensätzlichen Ergebnissen führen [3].

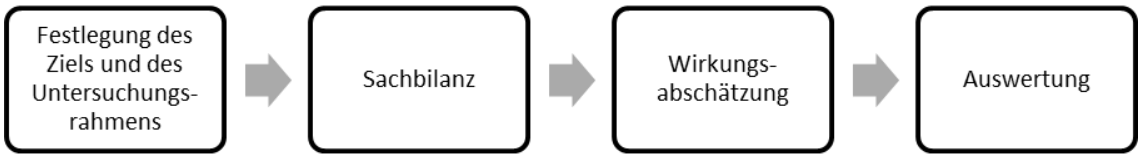

Bild 1: Aufbau einer Ökobilanz in Anlehnung an die DIN EN ISO 14044 [4]

Das erste Modul, die Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens, beschäftigt sich mit der Definition des Ziels der Studie, der Systembeschreibung sowie der Abgrenzung des Bilanzraums [4]. Im Zuge der Sachbilanz werden nachfolgend alle Stoff- und Energieströme im Rahmen einer Input-Output-Betrachtung bilanziert. Anschließend werden im dritten Modul, der Wirkungsabschätzung, sämtliche Stoffströme bezüglich ihrer Auswirkungen auf die Umwelt eingeordnet [4]. Hierzu wird die Wirkungsabschätzung in drei verbindliche sowie drei optionale Elemente gegliedert. Die verbindlichen Bestandteile sind die Auswahl der Wirkungskategorien, Wirkungsindikatoren und Charakterisierungsmodelle, die Klassifizierung sowie die Charakterisierung. Im Rahmen der optionalen Elemente der Wirkungsabschätzung kann auf die Normierung, die Ordnung und die Gewichtung zurückgegriffen werden [5]. Den Abschluss einer Ökobilanz-Studie stellt die Auswertung dar. Hierbei werden die gewonnenen Ergebnisse bewertet und es werden Handlungsempfehlungen abgeleitet.

Die Normierung ist die Berechnung der Größenordnung ausgewählter Wirkungsindikatorwerte bezüglich ihrer Referenzdaten. Ziel der Normierung ist es, ein stärker ausgeprägtes Verständnis der relativen Größenordnung jedes Indikatorwertes des zu untersuchenden Systems zu erreichen [4].

In der Literatur werden verschiedene Verfahren der Normierung unterschieden. Es ist beispielsweise möglich als Referenzwert die Emissionen eines abgegrenzten geografischen Raums heranzuziehen. Dieser Ansatz wird häufig als „Methode des spezifischen Beitrags" bezeichnet [6]. Mit Hilfe einer solchen Art der Normierung lassen sich Gruppen verwandter Wirkungskategorien analysieren, jedoch ist es nicht möglich alle vorhandenen Wirkungskategorien über diese Methodik zu normieren und damit vergleichbar zu gestalten [5].

Eine weitere Möglichkeit der Normierung ist der Bezug der Emissionen auf die Einwohnerzahl eines abgegrenzten geografischen Gebiets [4]. Durch den „pro Kopf-Bezug" kann eine verbesserte Anschaulichkeit der normierten Ergebnisse erreicht werden. Die eigentliche Normierung besteht hierbei darin, dass ein Wirkungsindikatorwert des Produktsystems durch einen bereits errechneten Einwohnerdurchschnittswert einer verursachten Emission dividiert wird.

Daraufhin bietet das Element Ordnung die Möglichkeit, die Ergebnisse der vorangegangenen Bestandteile zu aggregieren und gegebenenfalls eine Rangordnung zu erstellen [7]. Zuletzt werden unter Zuhilfenahme der Gewichtung die Indikatorwerte der verschiedenen Wirkungskategorien differenzierend bewertet [8].

3 Ansatz

In diesem Abschnitt wird der Umsatz-Nachhaltigkeitsindex (UNI) für Fertigungsprozesse innerhalb des deutschen Maschinen- und Anlagenbaus vorgestellt. Der Ansatz soll es Unternehmen mit angemessenem Aufwand ermöglichen, aufgenommene Sachbilanzergebnisse verschiedener Prozesse, bezogen auf einen bestimmten Untersuchungsrahmen, vergleichbar darzustellen und dem Branchendurchschnitt gegenüberzustellen. Als Datengrundlage der Referenzbildung nutzt der Ansatz statistische Daten des deutschen Maschinen- und Anlagenbaus. Als Referenzwert dient die Summe der jährlich in Anspruch genommenen ökologischen Verbräuche. Die kumulierten Ergebnisse einer Verbrauchskategorie werden dabei in Relation zum Branchenumsatz gesetzt. Ziel ist der Vergleich des Ökologie-relevanten Prozess- mit dem Branchenverbrauch eines Fertigungsprozesses in einem geografisch abgegrenzten Raum über ein Jahr. Vereinfachende Annahme des Konzepts ist eine positive Korrelation des Unternehmensumsatzes mit den eingesetzten Ressourcen und der verursachten Umweltwirkung innerhalb des Betrachtungszeitraums. Zwar stellt diese Annahme eine gewisse Abstraktion der Realität dar, dennoch ermöglicht sie es Prozesse unabhängig vom Prozessumfang zu analysieren und zu vergleichen.

Die nachfolgende Formel verdeutlicht das Vorgehen der UNI-Berechnung. Der Index „i" steht hierbei für die jeweilige berücksichtigte Stoffkategorie. Der hier erarbeitete UNI_i stellt das jeweilige Ergebnis pro Verbrauchskategorie dar. Zur Berechnung des UNI_i werden wiederum zwei Kenngrößen in Relation gesetzt. Zum einen stellt der Prozess-Verbrauchindex (PVI_i) das Verhältnis aus Verbrauch einer Kategorie i mit dem Gesamt-Umsatzes des Prozesses dar. Der Gesamt-Umsatz eines Prozess ist determiniert durch die Anzahl der in demselben Betrachtungszeitraum verkauften, auf dem analysierten Prozess gefertigten Produkte. Als Vergleichsgröße des PVI_i dient der Branchen-Verbrauchsindex (BVI_i). Hier werden der Branchenverbrauch der Kategorie i mit dem gesamten Branchenumsatz in Bezug gesetzt. Grundlage des Branchen-Verbrauchsindex sind statistische Daten des Bundes und der Länder, z.B. der Volkswirtschaftlichen und Umweltökonomischen Gesamtrechnung. Nachfolgend wird der Ansatz stichpunktartig zusammengefasst.

<1> Umsatz-Nachhaltigkeitsindex

$$\boldsymbol{UNI_i = \frac{PVI_i}{BVI_i}}$$

UNI_i *Umsatz – Nachhaltigkeitsindex der Stoffkategorie i*

PVI_i *Prozess – Verbrauchsindex der Stoffkategorie i*

BVI_i *Branchen – Verbrauchsindex der Stoffkategorie i*

<2> Prozess-Verbrauchsindex

$$\boldsymbol{PVI_i = \frac{PSK_i}{PU}}$$

PSK_i *Prozessverbrauch der Stoffkategorie i*

PU *Prozess – Umsatz*

<3> Branchen-Verbrauchsindex

$$\boldsymbol{BVI_i = \frac{BSK_i}{BU}}$$

BSK_i *Branchenverbrauch der Stoffkategorie i*

BU *Branchen – Umsatz*

Das Endergebnis, der Gesamt-UNI, kann durch eine gewichtete Summation der einzelnen UNI_i errechnet werden. Dabei dient der UNI-Ansatz ausschließlich der Nachhaltigkeitsbewertung von Fertigungsprozessen mit der Systemgrenze „gate-to-gate".

Der hier vorgestellte UNI-Ansatz basiert vorläufig auf der Betrachtung der in Tabelle 1 dargestellten vier Verbrauchskategorien Luftemissionen, Abfallentstehung Energie- und Wasserverbrauch [9-12]. Prinzipiell besteht zwar die Möglichkeit einer Ausweitung auf sämtliche Kategorien, dies erfordert jedoch eine vollständige Datengrundlage auf Branchenebene. Als Referenzjahr für den Branchenumsatz des deutschen Maschinen- und Anlagenbaus dient das Jahr 2012 (207 Mrd. Euro) [13].

Tabelle 1 Umweltbeanspruchung des deutschen Maschinen- und Anlagenbaus anhand ausgewählter Stoffkategorien [9-12]

Verbrauchskategorie	Branchenanfall (pro Jahr - 2012)	Einheit
Luftemissionen: GWP100	3.141.100	t CO_2e
Energieverbrauch	100.856	PJ
Abfallentstehung	2.041.200	t
Wasserverbrauch	47.000.000	m3

Die Kategorie Luftemissionen setzt sich gemäß des Global Warming Potential (GWP) aus mehreren Treibhausgasen zusammen. Als Indikator dient das CO_2-Äquivalent (CO_2e), das den Beitrag eines Stoffes zum Treibhauseffekt gemittelt über einen Zeitraum von 100 Jahren berücksichtigt. Tabelle 2 fast die Berechnung der relevanten Treibhausgase sinngemäß zusammen.

Tabelle 2 Bestandteile und Berechnungsfaktoren relevanter Treibhausgase

Treibhausgas	Summenformel	GWP – Faktor (gemäß Kyoto)
Kohlenstoffdioxid	CO_2	1
Methan	CH_4	21
Distickstoffoxid	N_2O	310
Fluorchlorkohlen-wasserstoff	FCKW	3500

Die Masse (kg) jedes Treibhausgases (Sachbilanzergebnis) wird mit dem hier angegebenen Faktor multipliziert. Letztlich werden die Einzelwerte der Gase summiert:

<4>

$$\mathbf{GWP} = \sum \mathbf{GWP\ Faktor_i} * \mathbf{Masse_i\ (kg)}$$

Ein durchschnittliches deutsches Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus besitzt ein UNI von eins. Ein Ergebnis kleiner als dieser besagte Durchschnittswert verdeutlicht, dass der untersuchte Prozess bezüglich der betrachteten Kategorien nachhaltiger stattfindet. Ein UNI größer eins zeigt dementsprechend ein ökologisch schwächeres Ergebnis auf.

Ziel des UNI-Ansatzes ist ein aggregierter Wert, der einen Benchmark für die umweltökonomische Performance eines Fertigungsprozesses liefert. Die Ermittlung eines eindimensionalen, einheitslosen Wertes [14] erfordert zunächst eine Gewichtung der einzelnen Verbrauchskategorien. Die hier vorgenommene Gewichtung, bei der verschiedene Faktoren anhand einer festgelegten Skala bewertet werden, basiert auf dem Konzept der Nutzwertanalyse [15]. Jedes zu berücksichtigende Kriterium wird mit Punkten zwischen eins und vier bewertet, wobei eine eins eine sehr niedrige Relevanz respektive das Nichtzutreffen und eine vier eine sehr hohe Relevanz bzw. das volle Zutreffen des Kriteriums beschreibt. Die Bewertung der Verbrauchskategorien im Hinblick auf ausgewählte Kriterien führt in der Summe zu einer Gewichtung. Tabelle 3 verdeutlicht beispielhaft die oben beschriebene Gewichtung der Verbrauchskategorien. Die Bewertung basiert dabei auf einer rein subjektiven Einschätzung, die keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt. Mit Hilfe der prozentual gewichteten Verbrauchskategorien wird nun die Aggregation der einzelnen UNI_i möglich.

Tabelle 3 Beispielhafte Gewichtung der Verbrauchskategorien

	Luftemissionen	Energieverbrauch	Abfallentstehung	Wasserverbrauch

Relative aktuelle Bedeutung	3	3	4	3
Zukünftige Bedeutung	4	2	4	3
Relatives Gefahrenpotential	3	1	2	2
Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit	3	2	2	1
Beitrag zur Umweltverschmutzung	3	3	3	2
Möglichkeit der Beeinflussbarkeit der Umweltauswirkung	3	3	2	2
Realisierbarkeit von Verbesserungsmaßnahmen	3	3	2	3
Durchschnittswert	3,14	2,43	2,71	2,29
Prozentuale Gewichtung	29,71%	22,99%	25,64%	21,66%

4 Fallbeispiel

Zur Anwendung der entwickelten Methodik werden zwei exemplarische Fertigungsprozesse analysiert. Diese wurde in Kooperation mit einem Unternehmen des deutschen Maschinen- und Anlagenbaus aufgenommen und mittels des vorgestellten Vorgehens untersucht. Ziel der Untersuchung war es eine Entscheidung zwischen zwei realisierbaren Fertigungsmöglichkeiten eines Bauteils auf Basis ökologischer Kriterien zu treffen. Die Fertigung eines Produktes, welches in der Automobilindustrie Einsatz findet, könnte sowohl durch ein Spritzgussverfahren als auch durch spanende Bearbeitung hergestellt werden. Das Produkt wird entweder in zwei Bearbeitungsschritten aus Kunststoff gespritzt oder in sechs Schritten spanendend hergestellt. Die spanende Fertigung umfasst die Arbeitsschritte Drehen, Fräsen und Bohren. Das Unternehmen konnte durch den Verkauf von 421 Stück der gefertigten Produkte im Geschäftsjahr 2013 einen Umsatz von 27.407,10 Euro erzielen. Tabelle 4 fasst die aufgenommenen Daten der beiden Fertigungsalternativen zusammen.

Tabelle 4 Ökologische Verbrauchsbilanz

Verbrauchskategorie	Alternative A: Spanende Produktion	Alternative B: Spritzgussverfahren
Luftemissionen in kg CO2 e / Fertigungsprozess	1,8048	0,76
Energieverbrauch in kWh / Fertigungsprozess	3,4574	1,4583
Abfallentstehung in kg / Fertigungsprozess	0,153	0,0035
Wasserverbrauch in m3 / Fertigungsprozess	0,07	0,028

Durch die Anwendung der vorgestellten Methodik können für die Stoffkategorien Luftemissionen, Energieverbrauch, Wasserverbrauch sowie Abfallproduktion die in Bild 2 dargestellten UNI_i der unterschiedlichen Prozesse berechnet werden.

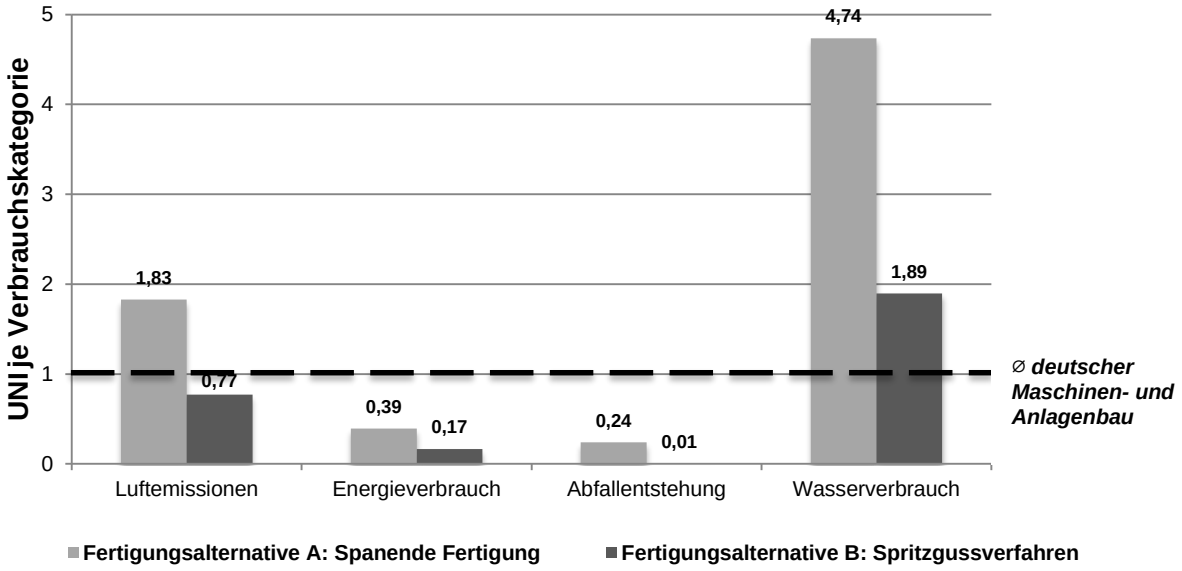

Bild 2: UNIis der betrachteten ökologischen Kategorien

In der Folge werden die Resultate der oben dargestellten Verbrauchsgruppen mit Hilfe der zuvor beschriebenen Gewichtung aggregiert. Bild 3 stellt das Ergebnis der Aggregation dar. Dabei wird deutlich, dass die Alternative B (Spritzgussverfahren) in Bezug auf die betrachteten ökologischen Verbrauchsgruppen nachhaltiger produziert, als es im Durchschnitt im deutschen Maschinen- und Anlagenbau der Fall ist. Die Alternative A (spanende Fertigung) hingegen zeigt ein ökologisch deutlich nachteiligeres Ergebnis. Aus umweltökonomischer Perspektive ist also klar die Fertigungsalternative B zu bevorzugen.

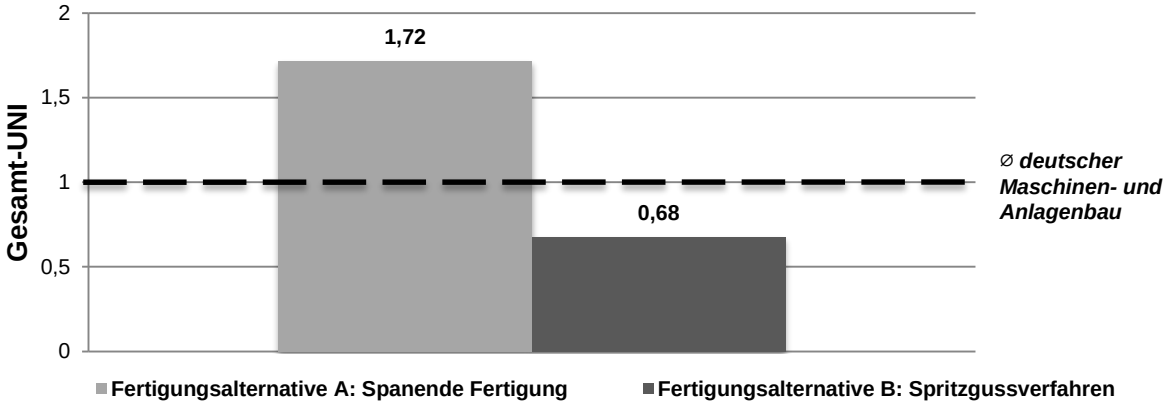

Bild 3: Endergebnisse der vorgestellten Methodik

5 Diskussion und Fazit

Der in diesem Artikel dargestellte Ansatz orientiert sich an zwei Kenngrößen, dem Umsatz einer ausgewählten Branche sowie den jeweiligen Kennzahlen der betrachteten Verbrauchsgruppen bezogen auf einen bestimmten Betrachtungszeitraum und einen bestimmten geografischen Anwendungsbereich. Das Konzept wird von den Autoren als vergleichsweise wirtschaftliche Abschätzung der Umweltwirkung eines Fertigungsprozesses, unabhängig von der Anzahl der Prozessschritte, erachtet. Die zu jedem Zeitpunkt realisierte Referenz zum Branchendurchschnitt ermöglicht einen Benchmark für Unternehmen und liefert einen Zielwert für die umweltökonomische

Optimierung. Auf diese Weise wird es Unternehmen möglich, sich mit Wettbewerbern hinsichtlich der ökologischen Performance ihrer Prozesse zu vergleichen. Denkbar ist auf dieser Basis auch die Integration der UNI in Ökolabels, um dem Endkunden einen leicht verständlichen Maßstab bezüglich der ökologischen Einordnung eines Produktes zu präsentieren.

Zwar stellt das Vorgehen der Ökobilanzierung hier die Grundlage des Konzepts dar, es wird jedoch ausschließlich auf Ergebnisse der Sachbilanz, also der Stoffflüsse zurückgegriffen. Diese sind jedoch bereits teilweise aggregiert, wie hier im Fall der Luftemissionen. Einer normgerechten Ökobilanzierung hält das Konzept in seiner derzeitigen Form daher nicht Stand. Nichtsdestotrotz liefert es wertvolle Informationen für einen ökologischen Vergleich der Fertigungsprozesse mit den Wettbewerbern der Branche. Einen prägnanten Einfluss auf das Ergebnis des entwickelten Ansatzes hat darüber hinaus die Höhe des Umsatzes, welcher durch die produzierten Güter erwirtschaftet wird. Ist der durch die Vermarktung der Güter erzielte Umsatz markant höher als jener vergleichbarer Wettbewerber fällt das Ergebnis der Methodik signifikant besser aus, als es in Realität der Fall ist. Aus diesem Grund kann der erfolgreiche Einsatz des umsatzbasierten Ansatzes nur auf Märkten funktionieren, auf denen ein reger Wettbewerb herrscht. Die vorgestellte Methodik betrachtet lediglich vier Stoffkategorien. Eine konsistente Studie erfordert jedoch die Betrachtung weiterer Faktoren. Darüber hinaus ist es nicht möglich eine rational-wirtschaftliche Entscheidung für einen Fertigungsprozess basierend auf ausschließlich der ökologischen Sichtweise zu treffen. Auch ökonomische, strategische, marketingspezifische sowie weitere Gesichtspunkte müssen bei einer solchen Entscheidung berücksichtigt werden. Weiterhin ist die Annahme der positiven Korrelation zwischen Umsatz, Ressourcenverbrauch und Umweltbelastung eine klare Abstraktion. Zwar bestätigt sich Annahme oftmals in der Realität, jedoch ist es gerade das Ziel der Bundesregierung eine Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Umweltbelastung zu erreichen.

Zusammenfassend steht einer weiteren Verbreitung des Ansatzes aktuell ein erheblicher Bedarf an Vorlaufforschung im Weg, um die Konsistenz der beschriebenen Methodik auf eine einheitliche Größe zu garantieren. Zwar wird durch die vereinfachten Annahmen die Aussagekraft der Methodik eingegrenzt, dennoch können sowohl quantitativ als auch qualitativ Erkenntnisse gewonnen werden. Somit sollte der hier vorgestellte Ansatz als Grundlage für weiterführende Forschungen bezüglich dieser Aufgabenstellung angesehen werden. Ziel muss es letztendlich sein, eine wirtschaftliche, transparente und standardisierte Methodik zu entwerfen.

Literatur

[1] DIN EN ISO 14040: Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen, Berlin, Beuth – Verlag, 2006

[2] Esty, D., Simmons P.: The Green to Gold Business Playbook: How to Implement Sustainability Pratices for Bottom-Line Results in Every Business Function, New Jersey, John Wiley&Sons, 2011, S. 5 ff

[3] Capozucca Peter, Park Chris, Lappin Bill, Gilson Michael, Linich David: Lifecycle Assessment: Where is it on your sustainability agenda?, 2009, online im Internet: http://www.deloitte.com/assets/DcomUnitedStates/Local%20Assets/Documents/us_es_LifecycleAssessment.pdf, Zugriff: 02.06.2014

[4] DIN EN ISO 14044: Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen (ISO 14044:2006) Deutsche und englische Fassung EN ISO 14044:2006. Berlin: Beuth, 2006-10-00

[5] UNEP: Evaluation of Environmental Impacts in Life Cycle Assessment, Brüssel / Brighton, United Nations Publication, 2003

[6] Klöpffer W., Grahl B.: Ökobilanz (ÖKOBILANZ): Ein Leitfaden für Ausbildung und Beruf, 3. Aufl. Weinheim, Wiley-VCH Verlag, 2007

[7] Feifel S.; Walk W.; Wursthorn S.; Schebek L.: Ökobilanzierung 2009: Ansätze und Weiterentwicklungen zur Operationalisierung von Nachhaltigkeit, Karlsruhe, KIT Scientific Publishing, 2009

[8] Lundie S., Ökobilanzierung und Entscheidungstheorie: Praxisorientierte Produktbewertung auf der Basis gesellschaftlicher Werthaltungen, Wiesbaden, Springer – Verlag, 1999

[9] Statistisches Bundesamt: Erhebung bestimmter klimawirksamer Stoffe –Ergebnisbericht, Wiesbaden, 2012, online im Internet: https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/UmweltstatistischeErhebungen/Luftreinhaltung/ErhebungKlimawirksamerStoffe5324201127004.pdf?__blob=publicationFile, Zugriff: 06.08.2014

[10] Statistische Ämter der Länder: Umweltökonomische Gesamtrechnung der Länder, Düsseldorf, 2013, online im Internet: http://www.ugrdl.de/veroeffentlichungen.htm,Zugriff: 05.08.2014

[11] Statistisches Bundesamt: Erhebung über die Abfallerzeugung – Ergebnisbericht,Wiesbaden, 2012, online im Internet: https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/Umwelt/UmweltstatistischeErhebu

ngen/Abfallwirtschaft/Tabellen/ErgebnisberichtAbfallerzeugung.pdf?__blob=publicationFile, Zugriff: 06.08.2014
[12] Statistisches Bundesamt: Umweltnutzung und Wirtschaft: Tabellen zu den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen Teil 4: Rohstoffe, Wassereinsatz, Abwasser, Abfall, Wiesbaden 2014, online im Internet: https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/UmweltoekonomischeGesamtrechnungen/Querschnitt/UmweltnutzungundWirtschaftTabelle5850007147006Teil_4.pdf?
[13] Wiechers, Ralph (VDMA): Maschinenbau in Zahl und Bild, Frankfurt am Main, 2014, online im Internet: http://www.vdma.org/documents/105628/778064/Maschinenbau%20in%20Zahl%20und%20Bild%202014/a1f7f97f-49db-48bc-a562-39255b2e55f6, Zugriff: 05.03.2015
[14] Umweltbundesamt: Handreichung Bewertung in Ökobilanzen, Dessau-Roßlau, online im Internet: http://www.probas.umweltbundesamt.de/download/uba_bewertungsmethode.pdf, 2000, Zugriff: 05.03.2015
[15] Grundig, C.-G.: Fabrikplanung; Planungssystematik – Methoden- Anwendungen, 4., aktualisierte Auflage, München: Hanser Verlag, 2013 S200ff