

# Potentiale und Herausforderungen der Materialflusskostenrechnung

Felix Hemke<sup>1</sup>, Anna Lütje<sup>1,2</sup>, Hans-Knud Arndt<sup>3</sup>, Volker Wohlgemuth<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, Wilhelminenhofstr. 75A,  
12459 Berlin, Germany

{Felix.Hemke, Anna.Luetje, Volker.Wohlgemuth}@htw-berlin.de

<sup>2</sup> Leuphana Universität Lüneburg, Germany

Anna.Luetje@htw-berlin.de

<sup>3</sup> Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Fakultät für Informatik, 39016  
Magdeburg, Germany

Hans-Knud.Arndt@iti.cs.uni-magdeburg.de

**Abstract.** The article gives a description of the method of material flow cost accounting. Secondly general obstacles and capabilities are described. The gathering of the necessary data is a serious problem for applying companies. A series of software requirements, with the potential to reduce the problem, were determined through a usability study and are presented in the last part. The implementation of these requirements can help to diminish the obstacles and help with the diffusion of the method.

**Keywords:** Material Flow Cost Accounting, Software Requirements

## 1 Einführung

Die Materialflusskostenrechnung (engl. Material Flow Cost Accounting, kurz MFCA-Methode) zielt darauf ab, die Kosten, die aus Verlusten während der Erzeugung von Produkten in der Prozess- und Fertigungsindustrie entstehen, aufzudecken. Damit bilden die Ergebnisse eine Entscheidungsgrundlage für eine Reduzierung der Materialkosten. Ungewünschte Nebenprodukte im Produktionsprozess lassen sich lokalisieren und minimieren. Damit ist sie geeignet, eine Verringerung von schädlichen unternehmerischen Umweltwirkungen bei gleichzeitiger Erhöhung der ökonomischen Effizienz zu realisieren. Die klassische Kostenkalkulation eines Produktes basiert darauf, dass alle in die Produktion fließenden Rohstoffe letztlich im Produkt landen und in die Preisgestaltung einbezogen werden (Vgl. [1] S. 3-5, [2] S. 3-6). Dies ist insofern konsequent, dass das produzierende Unternehmen diese Kosten in der Produktion hatte und in den Endpreis des Produktes einpreisen muss, um keine Verluste zu machen. Andererseits verhindert es eine zielgerichtete Reduzierung von Ressourcenverschwendung und vermeidbarer Kosten. Die Menge an Rohstoffen, die als Abfall nicht im Produkt landen, wird dabei vernachlässigt. Jedoch macht nur die Kenntnis dieser Mengen und Kosten, eine Reduzierung des Abfalls möglich. Der

Vorteil der Materialflusskostenrechnung gegenüber der Stoffstromanalyse liegt in der einfacheren Vergleichbarkeit, da das Ergebnis in einer einzelnen monetären Kennzahl (Kosten der Materialverluste) angegeben wird, während die Stoffstromanalyse in der Regel eine Ökobilanz mit der Aufstellung von Umweltwirkungen zum Ergebnis hat, die schwieriger zu vergleichen sind. Das Ziel des Beitrags ist es, die Methode besser nutzbar zu machen, indem diese durch eine anwenderfreundliche Software unterstützt wird.

Die Forschungsfragen des vorliegenden Beitrags sind:

- Welche Vorteile bietet die Methode?
- Welche Schwierigkeiten verhindern eine weitere Ausbreitung?
- Welche technischen Hilfsmittel können zu einer Reduzierung der Schwierigkeiten beitragen?
- Wie lassen sich die Ergebnisse einer Materialflusskostenrechnung nutzen, um damit Kosten und negative Umweltauswirkungen zu reduzieren?

Zunächst erfolgt eine grundlegende Beschreibung zum Verständnis der Methode, da dieses wichtig ist, um Softwareanforderungen zur Methodenumsetzung zu verstehen. Anschließend wird die bisherige Verbreitung der Methode dargestellt. Eine Reihe von Hindernissen, die eine stärkere Akzeptanz bisher verhindern, kommt im darauf folgenden Abschnitt zur Sprache. Die Hindernisse werden schließlich aufgegriffen, um eine Reihe von Anforderungen an eine Software zu definieren, die das Potential besitzen, die Hindernisse zu reduzieren. Den letzten Abschnitt bilden ein Fazit und ein Ausblick auf die weitere Entwicklung.

## **2 Vorgehen**

Die Idee zu dem Beitrag entstand durch Beobachtungen bei Unternehmen, die sich für die Reduzierung der Materialverluste interessieren, sich jedoch, aufgrund bestehender Probleme, vor der Umsetzung der Methode scheuen. Die Befragung von Unternehmensvertretern ließ den Schluss zu, dass die Softwareunterstützung die Methode nicht wesentlich vereinfacht. Anschließend wurde mittels systematischer Literaturrecherche nach Quellen gesucht, die einen tieferen Einblick in die Methodik zulassen. Eine Betrachtung der bestehenden Softwarelösungen, führte dann zu einer Reihe von Fragen, die sich mittels einer Benutzerbefragung beantworten lassen. Aus diesem Grund wurde ein typisches Vorgehen bei der Methodenanwendung ausgearbeitet und Benutzer im Rahmen einer Usability-Studie mit der Bearbeitung beauftragt.

## **3 Methodenbeschreibung**

Die Durchführung einer Materialflusskostenrechnung setzt zunächst die Festlegung eines Untersuchungsobjekts voraus (z.B. das gesamte Unternehmen oder ein bestimmtes Produkt (Vgl. [3], S. 30)). Für das gewählte Betrachtungsobjekt, werden die generellen Stoffströme sowie die darin enthaltenen Materialverluste quantitativ

erfasst. Zu diesen gehören alle Stoffe und Energien, die nicht direkt ins Endprodukt fließen, z.B.:

- Ungewünschte Nebenprodukte (z.B. Späne, Schnittreste, Stanzstreifen, Rückstände) (Vgl. [4], S. 87)
- Verpackungsabfälle von Vorprodukten, Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen
- Abfälle durch unsachgemäße Lagerung (z.B. durch Verderb, Verfall) (Vgl. [4], S. 87)
- ungenutzte Materialien (z.B. Körnerverluste bei der Getreideernte)
- aussortierte Fehlprodukte, beschädigte und verunreinigte Produkte (Vgl. [4], S. 87)
- aussortierte Produkte, für die keine Nachfrage existiert, z.B. durch veränderte Modetrends in der Textilindustrie
- Testprodukte und Muster
- Betriebsstoffe (z.B. Schmiermittel, Druckluft, Wärmemittel, Kühlmittel, Energieträger, Reinigungsmittel zur Anlagen Vor- und Nachbereitung) (Vgl. [4], S. 87)

Nicht enthalten sind weitere vermeidbare Verluste, die jedoch im Endprodukt enthalten sind und somit nicht als Materialverluste klassifiziert werden können, wie Materialien die bspw. durch überdimensionierte Produktabmessungen verbraucht werden oder ineffizient ins Produkt integrierte Materialien und Energien. Somit fokussiert die Methode auf das Verhältnis zwischen Inputs, die in den Produktionsprozess fließen und Outputs, die im Endprodukt landen. Demnach sind alle Stoffe, die nicht im Endprodukt verwendet werden, Materialverluste. Nach der Erfassung der Mengen an tatsächlich ins Produkt geflossenen Input-Materialien und der nicht ins Produkt geflossenen Materialverluste, erfolgt die Umrechnung der physischen Mengen mittels monetärer Einheiten in die Kosten der Materialverluste. Dazu werden zunächst die Beschaffungskosten der als Materialverluste klassifizierten Produktionsmittel mit den Kosten für die Entsorgung der Materialverluste summiert. Außerdem werden bestimmte Gemeinkosten anteilig hinzugerechnet. Somit enthalten bspw. die Materialverlustkosten für Schnittreste die Kosten für die Rohstoffbeschaffung, die Energiekosten für den Betrieb der Produktionsanlagen bei der Erzeugung des Verschnitts, die Abfallmanagementkosten, wie auch die Personalkosten für die Erzeugung und die anteiligen Wertverluste der Produktionsanlagen (Abschreibungen) und anderer versteckter Kosten (Vgl. [5], S. 234-235). Wenn eine Maschine in 5% der Betriebszeit Fehlteile produziert, so werden die Kosten für die Wartung der Maschine mit gleichem Anteil den Kosten der Materialverluste hinzugerechnet.



**Abb. 1.** Exemplarische Darstellung von Materialverlusten über den gesamten Herstellungszyklus eines Produkts

Die Stoffe und Energien werden entlang des gesamten Produktionszyklus über sog. Mengenebenen verfolgt. Eine Mengenebene kann entweder ein Produktionsprozess oder ein Ort, an dem Bestandsveränderungen durchgeführt werden (z.B. ein Zwischenlager), sein. Damit können sowohl für jede Mengenebene die Materialverlustkosten einzeln berechnet, als auch eine Summierung der gesamten Materialverlustkosten über den gesamten Produktionsprozess vorgenommen werden.

Sobald die Materialverluste erfasst sind, können mittels der Ergebnisse zielgerichtete Maßnahmen geplant und umgesetzt werden, die dazu führen, dass die kostenintensivsten Verluste vermieden oder zumindest minimiert werden. Mögliche Maßnahmen sind, bspw.:

- Die Nutzung von mathematischen Planungsverfahren zur Verschnittminimierung,
- Die Optimierung der Anlagenumrüstung bzw. von Werkzeugwechseln zur Reduzierung des Betriebsstoffverbrauchs, bspw. durch Total Productive Maintenance (TPM) (Vgl. [4]),
- Die Instandhaltung und Wartung von Maschinen zur Verringerung von Fehlproduktionen,
- Die Optimierung der (Produktions-)Anlagenkonfiguration hinsichtlich eines möglichst effizienten Materialverbrauchs,
- Die Überarbeitung des Produktdesigns im Hinblick auf eine möglichst verlustfreie Herstellbarkeit (Vgl. [4], S. 78),
- Die Verwendung von Produktionsanlagen mit einer hohen Energieeffizienz zur Reduzierung des Energieverbrauchs bei der Produktion von nicht vermeidbaren Materialverlusten,
- Die Nutzung von effektiven Verfahren zur Nachfrageprognose (z.B.: Qualitative Prognosen, Zeitreihenprognosen), um möglichst keine Produkte herzustellen, für die keine Nachfrage besteht,
- Die Minimierung von Lager- und Transportvorgängen,
- Die effiziente Nutzung von Verpackungs- und Transportmaterialien,

- Die Verstärkung der Zusammenarbeit mit vor- und nachgelagerten Akteuren in der Produktionskette im Hinblick auf Datenaustausch und die Kosten durch Materialverluste.

Lassen sich die Materialverluste nicht vermeiden oder minimieren, kommt auch noch eine Wiederverwendung in Betracht, bspw. durch das Einschmelzen und Recyceln von Metallspänen. Diese führt ebenfalls zu einer Senkung der Kosten, die aus den Materialverlusten resultieren. Allerdings ist die Wiederverwendung in der Regel signifikant nachteilig gegenüber der Vermeidung von Materialverlusten (Vgl. [4], S. 86-87). Das Recycling führt dazu, dass die Materialien den vorherigen vermeidbaren Arbeits- und Energieaufwand in der Stoffbilanz weiter tragen. Deshalb ist es besser, Produktionsprozesse so anzupassen, dass der Materialverlust und damit der gesamte Materialbedarf des Produktionsprozesses minimiert wird, anstatt Fehlprodukte oder Verschnitt in einem nachgelagerten Prozess erneut zu verwerten (Vgl. [3], S. 24). Das Idealziel der MFCA ist es, die Materialverlustkosten auf null zu senken (Vgl. [2], S. 16). Hierbei gilt die Einschränkung der Wirtschaftlichkeit. Somit sollten die Kosten für die Reduzierungsmaßnahmen die daraus resultierenden Kostenpotentiale nicht übersteigen.

MFCA kann von Beginn an als integrativer Produktionsprozessbestandteil systematisch implementiert werden. Jedoch besteht auch allgemein die Gefahr, dass das Verhältnis zwischen dem Aufwand und dem Nutzen negativ wird, wenn die gesamten Implementierungskosten (also die Kosten der Datenerfassung, Modellierung, Analyse und Maßnahmenumsetzung) die späteren Reduzierungspotentiale übersteigen. Im Regelfall dürfte das vor allem bei weniger materialintensiven Industrien und kleinen Stückzahlen der Fall sein. Da die Anwendung der Methode vor allem bei einem positiven Verhältnis zwischen Aufwand und Nutzen vorteilhaft ist, schlägt die maßgebliche ISO-Norm 14051 zunächst eine Pilotanwendung bei einer Produktionslinie vor, die als besonders ressourcenintensiv gilt (Vgl. [3], S. 30), da dort auch die größten Einsparpotentiale für Materialverluste zu erwarten sind. Nach der erfolgreichen Durchführung, kann mit Hilfe der gewonnenen Erkenntnisse entschieden werden, auf welche anderen Produktionsbereiche sie angewandt wird und ob eine systematische Einbindung in das Produktionsmanagement erfolgt.

#### **4 Ausbreitung und Potential der MFCA-Methode**

Obwohl die MFCA-Methode bereits seit den 1980er Jahren existiert und seit 2011 ISO normiert ist, ist die Ausbreitung bisher eher schleppend verlaufen (Vgl. [6], S. 2-6). Recherchen zum Stichwort Materialflusskostenrechnung fördern aktuell hauptsächlich Veröffentlichungen von Wissenschaftlern, Wirtschaftsverbänden (bspw. International Federation of Accountants), Regierungsvertretern und NGOs (UN) zutage. Unternehmensreferenzen gibt es mit Ausnahme einer Studie des japanischen Ministeriums für Wirtschaft, Handel und Industrie (METI) [4] bisher nur in geringer Anzahl. Die Ausbreitung befindet sich momentan in der Diffusionsphase der „Early Adopters“ (Initialphase) (Vgl. [6], S. 2-4). Die Methode wird somit noch nicht von

einem breiten Anwenderkreis getragen. Ein wesentlicher Grund dafür liegt in der Komplexität der Methode (Vgl. [6], S.5-8). Die Geschwindigkeit, mit der eine Innovation in Unternehmen integriert wird, sinkt mit einer höheren Komplexität und bei einer zunehmenden Voraussetzung von Kenntnissen und Fähigkeiten (ebd.). Für die potentiellen Nutzer ist zunächst nicht erkenntlich, wann der Aufwand für die Einführung der Methode sich durch Kosteneinsparungen amortisieren wird, da vorher nicht erfasst wurde, wieviel Prozent eines bestimmten Inputs nicht im Endprodukt landen, weil sie etwa als Teil von Fehlprodukten von der Qualitätssicherung aussortiert werden. Der Schlüssel zu einer umfassenderen Ausbreitung liegt darin, dass die Methode in den Unternehmen, in denen sie prototypisch angewandt wird, ein positives Kosten-Nutzen-Verhältnis erzeugt und somit einen Wettbewerbsvorteil bewirkt (Vgl. [7], S. 17-29). Die Wettbewerber sind dann aus Wirtschaftlichkeitserwägungen gezwungen, ebenfalls die Methode anzuwenden.

In Japan kennen, begünstigt durch eine Initiative des Ministeriums für Wirtschaft, Handel und Industrie (METI), 80 % der Unternehmen die Methode, es setzen sie aber nur 6,5% ein (Vgl. [8], S. 332). Das lässt darauf schließen, dass die Methode nicht aufgrund von Unkenntnis nicht über die Phase der Early Adopters hinaus gekommen ist, sondern aufgrund von Schwierigkeiten bei der Umsetzung. Das Ministerium hat eine Fallstudie erstellt, in der die Implementierung der Methode von 23 japanischen Unternehmen vorgestellt werden. Davon haben 12 Unternehmen quantitative Angaben zu den Ergebnissen gemacht. Mit einem durchschnittlichen Anteil von 25,9% Materialverlusten an den Gesamtkosten, ist ein bedeutendes Optimierungspotential vorhanden (Vgl. [4], S. 8-84). Von den 23 aufgezeigten Beispielen, finden sich auch fünf Unternehmen, die nicht selbst produzieren, sondern im Dienstleistungsbereich zu verorten sind. Die Beispiele zeigen, dass die Methode zwar generell eher für die Industrieproduktion geeignet ist, aber auch darüber hinaus zu einem Prozessverständnis und zu Effizienzgewinnen führen kann (sog. Awareness). Für die Datenerhebung wird zwar die Expertise von Ingenieuren, Produktionsplanern sowie Buchhaltern gleichermaßen benötigt, die Methode an sich wird aber auch schnell von Nicht-Spezialisten verstanden (Vgl. [6], S. 5). Für die Anwendung der Methode bietet es sich deshalb an, interdisziplinäre Teams zu bilden.

Zwar ist die MFCA prinzipiell eher gut für produzierende Industrien geeignet, jedoch zeigt die Studie des METI [4] in fünf verschiedenen Fallstudien Möglichkeiten auf, die Methode bei Dienstleistungsunternehmen einzusetzen. Dabei werden alle Ressourcen, die bei der Erbringung der Dienstleistung notwendig sind und während des Dienstleistungsprozesses verloren gehen oder unnötig aufgewendet werden, als Materialverluste gewertet, wie bspw. defektes Büroinventar oder nicht verwendete Essensreste in einem Restaurant. Die Methode ist nicht geeignet, die externen Kosten der Materialverluste (z.B. Umweltbelastungen, die aus der Abfallentsorgung resultieren) abzuschätzen und somit die ökologischen Folgen die sich durch die Ineffizienzen ergeben, zu beziffern. Dadurch ist es möglich, dass die Ergebnisse finanzielle Einsparpotentiale aufzeigen, die durch Substitution eines Materialverlustes durch ein anderes Material möglich sind. Diese Substitution kann dann zwar

ökonomisch sinnvoll, aber ökologisch nachteilig sein. Dies wäre bspw. der Fall, wenn ein Blei-Säure-Energiespeichersystem aufgrund niedrigerer Kosten durch ein Speichersystem auf Lithium-Eisenphosphat-Basis ersetzt würde, das eine schlechtere Ökobilanz aufweist (Vgl. [9], S. 74 ff.).

Selbst wenn keine signifikanten Einsparungen erzielt werden, bringt die Methode den Vorteil, dass das generelle Verständnis der Produktion erhöht wird und eine grundlegende Transparenz in der Lieferkette erzeugt wird.

## **5 Herausforderungen bei der Implementierung einer Materialflusskostenrechnung**

Vergleichsweise wenige Unternehmen erheben die für eine MFCA erforderlichen Daten systematisch, bezogen auf Materialien, Produkte oder Prozesse, sodass die Methode nicht ad hoc am Schreibtisch angewandt werden kann (Vgl. [8], S. 26-32). Die generelle Berechnung der Kosten, die über die Verkettung von Mengenstellen für Materialverluste anfallen, ist dabei nicht die größte Herausforderung, sondern die Erfassung von bisher unbekanntem Mengendaten bzw. das Zusammentragen der Daten aus verschiedenen Quellen. Im Prinzip wäre die Erfassung der relevanten Daten trivial, wenn man zunächst alle Materialien, die als Input in die Produktion fließen, wiegen würde und nach der Produktion die Anteile am Endprodukt erneut wiegen könnte, da die Differenz zwischen beiden Werten die physischen Materialverluste darstellen. Da jedoch während der Produktion Stoffe Verbindungen eingehen und genaue Anteile einzelner Materialien im Endprodukt im Regelfall nicht ohne weiteres zu bestimmen sind, müssen als Materialverluste die Mengen bestimmt werden, die nicht ins Endprodukt geflossen sind. Eine Ausnahme davon bilden Prozesse, bei denen lediglich ein einzelnes Material als Input verwendet wird.

Bei der Datenerfassung wird bisher häufig auf eine maßgeschneiderte Softwareunterstützung verzichtet, stattdessen wird auf allgemeine Tabellenkalkulationsprogramme zurückgegriffen oder mit Zettel und Stift gearbeitet (Vgl. [4], S. 8-84). Prinzipiell kann die Methode auch ohne Softwareunterstützung angewandt werden, da als Ergebnis die Materialkosten in tabellarischer Form dargestellt werden. Die bevorzugte Darstellungsform ist eine nach ISO 14051 normierte Kostenmatrix (siehe Abb. 2).

	Materialkosten	Energiekosten	Systemkosten	Entsorgungskosten	Gesamtkosten
Endprodukt	15.000	1.000	17.000	-	33.000
	38,7%	2,6%	43,8%	-	85%
Materialverluste	3.000	300	2.000	-	5.300
	7,7%	0,8%	5,2%	-	14%
Abfall / Recycling	-	-	-	500	500
	-	-	-	-	1%
Gesamt	18.000	1.300	19.000	500	38.800
	46,4%	3,4%	49,0%	1,3%	100%

Abb. 2. Materialflusskostenmatrix als Ergebnis der MFCA-Analyse

In der Praxis führt die Methodendurchführung ohne spezialisierte Hilfsmittel aber zu einer Reihe von Umsetzungsschwierigkeiten. Vor allem bei großen Datenmengen und einer dauerhaften Implementierung der Methode wird eine systematische Herangehensweise erforderlich, die vor allem mit Hilfe von Softwareunterstützung erreicht werden kann (Vgl. [4], S. 64.). Die Mengen werden in der Regel über einen vorbestimmten Zeitraum durch Zählung, Wiegen oder andere Messverfahren exemplarisch erfasst. Aus diesen Beispieldaten müssen die Werte für den Betrachtungszeitraum der MFCA-Analyse extrapoliert werden, da eine exaktere Bestimmung häufig nicht möglich ist. Materialverluste können teilweise sehr unregelmäßig auftreten und es fehlt an einfachen Messmethoden, da die Materialverluste nicht automatisch durch die Produktionsanlagen erfasst werden. Durch benutzerfreundliche Softwareanwendungen lässt sich die Komplexität bei der Datenerfassung jedoch senken (Vgl. [10], S. 1-10). In Problemfällen können Hilfestellungen zur Verfügung gestellt werden. So kann eine Anwendung bspw. darauf hinweisen, dass es sinnvoller sein kann mit Referenz- oder Schätzwerten zu arbeiten, anstatt über einen langen Zeitraum exakte Daten zu erfassen und die Methodenanwendung so unrentabel werden zu lassen. Materialien, bei denen geringe finanzielle und ökologische Auswirkungen erwartet werden, können bei der Datenerfassung ausgeklammert werden (Vgl. [2], S. 9). Jedoch nimmt damit auch die Qualität und damit die Aussagekraft der Ergebnisse ab. Es ist also das richtige Maß zu finden zwischen einer kostspieligen und aufwendigen Erhebung exakter Messwerte einerseits und der wirtschaftlichen Implementierung der Methode mittels weniger genauer Messwerte andererseits. Generell lassen sich diese Schwierigkeiten aber verringern, so dass das Potential für eine schnelle Ausbreitung gegeben ist (Vgl. [6], S. 8).

Ein zuvor veröffentlichter Beitrag von Hemke und Wohlgemuth [11] stellt eine Auswahl bestehender Softwareanwendungen zur Durchführung einer MFCA vor. Dazu gehören Umberto Efficiency+ [12] und bw!MFCA [13] der ifu Hamburg GmbH, der Materialflusskostenrechner des VDI Zentrum Ressourceneffizienz [14] sowie Excel-Kalkulatoren, die jedoch in japanischer Sprache verfasst sind [15]. Die Software-Lösungen sind jedoch noch nicht auf dem Entwicklungsstand, der die genannten Herausforderungen für Unternehmen senkt und eine systematische Umsetzung begünstigt. Einige der Kritikpunkte sind:



- Die fehlende Unterstützung bei der Datenerfassung,
- geringfügige Unterstützung zum Verständnis der Methode,
- unzureichende grafische Auswertungsmöglichkeiten,
- die Vernachlässigung der Vorgaben der ISO 14051,
- fehlende Verknüpfung mit anderen Datenbeständen mittels Schnittstellen,
- ein, über die MFCA hinaus gehender, Funktionsumfang und damit verbundene unnötige Anschaffungskosten, sowie
- eine fehlende Unterstützung verschiedener Einsatzszenarien (z.B. Pilotstudie).

Gleichwohl treffen diese Kritikpunkte nicht generell auf alle genannten Anwendungen zu.

## **6 Softwareanforderungen zur systematischen Umsetzung der MFCA-Methode**

Eine Reihe von Anforderungen, deren Umsetzung mittels Software zu einer Vereinfachung der Datenerfassung und Modellbildung förderlich ist, wird im folgenden Abschnitt zusammenfassend beschrieben. Zur Ermittlung wurde von den Autoren eine Usability-Studie durchgeführt, bei der sechs Testpersonen typische Aufgaben im Rahmen einer Materialflusskostenrechnung erledigt haben. Die Testpersonen setzten sich aus Firmenvertretern und Masterstudenten der Umweltinformatik zusammen, bei denen eine Affinität zu dem Thema gegeben ist. Ziel war es, Hinweise zu erarbeiten, wie die Methode effektiv, effizient und zufriedenstellend umgesetzt werden kann. Die sechs teilnehmenden Testpersonen verfügten bereits Vorkenntnisse aus dem Bereich der Umweltinformatik. Der Ablauf und weitere Ergebnisse werden von Hemke und Wohlgemuth [11] vorgestellt. Weitere Anforderungen wurden mittels einer Anforderungsanalyse ermittelt.

### **6.1 Datenerfassung**

Zunächst sollte die noch zu entwickelnde Anwendung den Spagat bewältigen, den die Empfehlung der ISO 14051 nahelegt, nämlich die Methode zunächst testweise in einer kleinen Pilotphase einzusetzen und mit den gewonnenen Erkenntnissen diese dann in weiteren Unternehmensteilen bis hin zum gesamten Unternehmen zu implementieren. Dadurch sollte sie es ermöglichen, sowohl kleine Ketten von Mengenstellen übersichtlich zu modellieren, als auch große Eingabemasken für die Darstellung von globalen Produktionsketten zur Verfügung stellen. Sobald das Modell größere Ketten von Mengenstellen abbildet, muss eine Skalierung der Benutzungsoberfläche dafür sorgen, dass die Übersichtlichkeit nicht verloren geht (bspw. mittels Responsive Design). Sind die Mengenstellen für das Untersuchungsobjekt vollständig erfasst, müssen zu diesen Mengenstellen jeweils die genutzten Materialtypen der Input-Stoffe, deren Mengen und Kosten gesammelt werden. Bei der Angabe von Materialtypen können Materialdatenbanken eine Hilfestellung geben (wie z.B. MatWeb [16]). Anschließend muss der Anteil der Input-Materialien bestimmt werden, der nicht ins

Endprodukt fließt und damit als Materialverlust zu werten ist. Die Erfassung dieser Mengen ist in der Regel der Knackpunkt bei der MFCA-Analyse, da Unternehmen vorher noch nicht über alle notwendigen Daten und Erfahrungen verfügen und es mitunter zu Schwierigkeiten oder Fragen kommt, etwa:

- Wieviel Kilogramm wiegt ein 7 m<sup>3</sup> Container in dem sich Verschnitt befindet?
- Ist die aktuell gemessene Menge an Fehlteilen repräsentativ für den Betrachtungszeitraum?
- Wieviel Strom hat die Anlage zur Herstellung von einem Produkt verbraucht?
- Welche Menge von Hilfsstoff X wird exakt für die Herstellung eines Produkts benötigt?
- Wie werden Materialmengen, die in unterschiedlichen Einheiten gemessen werden, auf eine gemeinsame Einheit umgerechnet (z.B. von Liter in Kilogramm)?

Der Aufwand zur Datenerfassung wird sich nicht gänzlich durch eine Software beheben lassen, aber er kann gesenkt werden, in dem die Anwendung eine möglichst große Bandbreite an Hilfestellungen für diesen sensiblen Punkt in der Materialflussanalyse bereitstellt. Hierzu gehören etwa Durchschnittswerte für die Umrechnung von Volumen zu Masse, die softwareseitige Unterstützung zur Datenintegration von mobilen Messsensoren (digitale Wagen, Smart Meter etc.) und Datenschnittstellen zu bestehenden Datenbanken und ERP-Systemen. Die Ergebnisse bei der Nutzung von Durchschnittswerten und Näherungswerten entsprechen zwar nicht immer exakt der Realität, sie sind jedoch der Alternative, keine Daten zu erheben und damit auch keine Materialflusskostenrechnung durchzuführen, überlegen. Auch begründete Schätzwerte können ein wichtiger Baustein sein, um sonst nicht überbrückbare Lücken in der Datenerfassung auszugleichen (Vgl. [17], S. 20-31). Die Materialien müssen in unterschiedlichen Einheiten angegeben werden können, so dass eine interne Umrechnung stattfindet. Gleiches gilt für die Währung, in denen die Materialien bezogen wurden.

Eine besondere Hürde besteht außerdem im Ausgleich der Bilanz zwischen Input-Mengen und Output-Mengen einer Mengenstelle. So muss die Gesamtmasse der Materialien, die in der Produktion eingesetzt werden, genau so groß sein, wie die Gesamtmasse des Endprodukts und der Materialverluste. In der Praxis kommt es hierbei häufig zu Problemen, da es zu Rundungsfehlern kommen kann oder Materialien, von denen nur geringe Mengen genutzt werden, vergessen werden. Für diese Hürde ist eine Hilfestellung zu konzipieren, etwa indem die Anwendung selbst ermittelt, in welcher Mengenstelle es zum Konflikt gekommen ist, wie groß die Abweichung ist und wie sie zu beheben ist.

Zusätzlich zu den direkten Kosten, die die Beschaffung der Input-Materialien verursacht hat, müssen allgemeine Systemkosten bzw. Prozesskosten erfassbar sein. Zu diesen zählen etwa Energiekosten, die Abfallmanagementkosten und andere Kosten (etwa Abschreibungen auf Anlagen, Personalkosten, Instandhaltungskosten etc.). Diese

Systemkosten, werden anteilig den Materialverlusten hinzugerechnet, so dass die Kosten der Materialverluste bspw. zuletzt auch den Anteil der Personalkosten enthalten, der für die Produktion von Fehlprodukten aufgewendet wurde. Vorteilhaft ist an diesem Punkt, eine Eingabemöglichkeit sowohl von absoluten, als auch von prozentualen Anteilen (Vgl. [14]).

Projektteams, die mit der Umsetzung betraut werden, sollten einen Querschnitt des Unternehmens abbilden, bestehend aus der Unternehmensleitung, der Buchhaltung, der Produktionsplanung, der Umweltabteilung und Produktionsmitarbeitern, die mit dem genauen Ablauf der Produktion vertraut sind und die Änderungen im Produktionsprozess umsetzen müssen (Vgl. [2], S. 12). Insofern muss die Anwendung für Benutzer mit unterschiedlichen Sichtweisen und Kenntnisständen gleichermaßen konzipiert sein.

## **6.2 Datenauswertung**

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt generell in Form der MFCA-Kostenmatrix nach ISO 14051 (siehe Abb. 2), diese sollte daher auch den Kern der Datenauswertung darstellen. Zusätzlich sind jedoch weitere Auswertungsfunktionen denkbar, die die Aussagekraft der Ergebnisse steigern können bzw. bei großen Analysen bestimmte Ausschnitte leichter ersichtlich machen. Eine Aufschlüsselung der Materialverlustkosten je Mengenstelle kann dabei eben so viel beitragen wie eine Nachvollziehbarkeit der Verluste eines spezifischen Materials über mehrere Mengenstellen hinweg. Zur grafischen Veranschaulichung des Mengenstellenmodells bietet sich ein Materialflussmodell an, das die Mengenstellen und deren Zusammenhänge darstellt. Die Kostenströme können durch Sankey-Diagramme visualisiert werden, die die Kosten durch größenproportionale Pfeilen darstellen. Die Ergebnisse einer MFCA sind wichtige Kommunikationsmittel bei der Managementunterstützung wie auch in der Außendarstellung (Vgl. [3], S. 16). Demzufolge bieten Möglichkeiten zur grafischen Aufbereitung und Verdichtung der Ergebnisse (z.B. mittels Kennzahlen) einen wichtigen Vorteil bei der Nutzung der Methode. Die Auswertungsmöglichkeiten müssen dem Ziel der Methode, nämlich unnötige Materialverluste aufzudecken, angepasst werden.

## **6.3 Weitere Anforderungen**

Neben der Darstellung der Ergebnisse, sollte die Anwendung Hilfestellungen zur Ergebnisinterpretation geben und den Benutzern somit einen Einstieg in die Reduzierung der Materialverluste geben (z.B. in Form von Best Practices oder Vergleichsstudien). Das größte Potential zur Reduzierung bringen in der Regel die Mengenstellen mit den höchsten Kosten durch Materialverluste. Hierbei sollten dem Benutzer aber Hilfestellungen zur Ergebnisinterpretation und zum Verständnis der Methode bereitgestellt werden. Für Materialverluste, die sich nicht beseitigen lassen, sollte die Anwendung Möglichkeiten zum Recycling vorschlagen. So könnte bspw. eine Vermittlung von mehreren Unternehmen hin zu einer Industriesymbiose erfolgen,

so dass die Abwärme eines Unternehmens von einem anderen Unternehmen als Prozessinput verwendet wird (Vgl. [18]). Um eine parallele Datenhaltung zu vermeiden und die erhobenen Daten auch in anderen Kontexten nutzen zu können (bspw. Carbon Footprinting), sollte die Anwendung eine Funktionalität zum Daten Import und Export enthalten. Weitere administrative Anforderungen, wie das Festlegen von Rollen und Zuständigkeiten, das Festlegen der Systemgrenzen und die Erfassung von Erfahrungswerten (Lessons Learned) werden von der Asian Productivity Organization [2], S. 17-25 genannt. Sinnvoll ist zu diesem Zweck eine Sammlung von Best Practices in Form eines Repository.

## **7 Zusammenfassung und Ausblick**

Die aktuelle Situation bei der Ausbreitung der Materialflusskostenrechnung kann als ambivalent eingeschätzt werden. Einerseits bietet die Methode ein großes Potential, die unternehmerische Effizienz zu erhöhen und damit die Kosten bei gleichbleibendem Sinken der negativen Umweltauswirkungen zu reduzieren. Eine ausführliche Pilotstudie in Japan, die auf einer Initiative des METI basiert, zeigt die großen Einsparpotentiale auf (Vgl. [19], S.401-407). Abgesehen davon bleibt die Ausbreitung bisher aber hinter den Erwartungen zurück. Als wichtiger Grund dafür ist die Notwendigkeit der Erfassung von Daten, die bisher in der erforderlichen Form selten vorliegen. Der Aufwand lässt sich schwer gegen einen vermuteten Nutzen abwägen, zumal eine Befragung ergeben hat, dass Unternehmen häufig der trügerischen Überzeugung sind, dass bei ihnen keine unnötige Verschwendung stattfindet (Vgl. [4], S. 91), Fallstudien jedoch das Gegenteil zeigen (Vgl. [20], S. 7-8).

Da bei der Datenerhebung, je nach Komplexität der Produktion, sehr große Datenmengen zu managen sind, ist ein systematischer Ansatz bei der Erfassung sowie der MFCA Berechnung notwendig (Vgl. [4], S. 64), der durch eine zielgerichtete Softwareunterstützung sicher gestellt werden kann. Die beschriebenen Schwierigkeiten bei der Datenerfassung sollten im Fokus der Anwendung stehen, da hier die größten Potentiale bestehen, die Methodenanwendung zu vereinfachen. Der vorliegende Beitrag hat in einer ersten Studie eine Vielzahl von Softwareanforderungen ermittelt, die jedoch noch keine abschließende Auflistung darstellen. Die bestehenden Anwendungen decken schon Teile der Anforderungen ab, liefern aber keine zufriedenstellende Gesamtlösung. Sie sind jeweils nur auf bestimmte Anwendungsfälle fokussiert. Außerdem bieten die zur Verfügung stehenden Softwarelösungen an neuralgischen Punkten, wie der Datenerfassung, wichtige Hilfestellungen nicht an, so dass die Benutzer auf externe Hilfsmittel angewiesen sind, oder unnötigen Mehraufwand in Kauf nehmen müssen. Eine Softwarelösung zur Durchführung der MFCA, die an den Bedürfnissen der Benutzer ausgerichtet ist und damit über eine gute Usability verfügt, kann die Kosten der Methodenumsetzung deutlich reduzieren und damit die Vorteile der Methode besser nutzbar machen.

In folgenden Studien, ist geplant, mittels Interviews und Marktforschung mit Beratern, die bereits Erfahrung bei der Einführung der Methodik und der ISO-Norm besitzen, da hier das größte Potential besteht, die Anforderungen an Hilfestellungen bei der Implementierung der Methodik zu ermitteln und Einblick in die Akzeptanz im Managementbereich zu erlangen (Vgl. [6], S. 8). Welche Treiber und Hindernisse sind

bei der Implementierung festzustellen? Wie können die Treiber der Methode durch eine benutzerfreundliche Anwendung zur Geltung gebracht und die Hindernisse abgeschwächt werden? Zur Bearbeitung dieser Fragen werden zukünftig weitere Untersuchungen folgen. Angedacht sind Interviews und Umfragen unter Unternehmensvertretern, die in die Förderung und Anwendung der MFCA-Methode involviert sind. Diese Untersuchungen werden vor allem dann verwertbare Informationen liefern, wenn die Methode in Zukunft weitere Ausbreitung und Bekanntheit erlangt.

## Literaturverzeichnis

1. Nakajima and Michiyasu, "On the Differences between Material Flow Cost Accounting and Traditional Cost Accounting - In Reply to the Questions and Misunderstandings on Material Flow Cost Accounting," in *Kansai University Review of Business and Commerce*, Suita, Kansai University, 2004. May, P., Ehrlich, H.C., Steinke, T.: ZIB Structure Prediction Pipeline: Composing a Complex Biological Workflow through Web Services. In: Nagel, W.E., Walter, W.V., Lehner, W. (eds.) *Euro-Par 2006. LNCS*, vol. 4128, pp. 1148–1158. Springer, Heidelberg (2006)
2. Asian Productivity Organization, "Manual on Material Flow Cost Accounting ISO 14051," Tokyo, 2014.
3. DIN Deutsches Institut für Normung, *DIN EN ISO 14051: Environmental Management – Material Flow Cost Accounting – General Framework (ISO 14051:2011)*, Berlin, 2011.
4. The Ministry of Economy, Trade and Industry of Japan, "Material Flow Cost Accounting MFCA Case Examples," Japan, 2010.
5. A. Schmidt, B. Hache, F. Herold and U. Götze, "Material Flow Cost Accounting with Umberto®," R. Neugebauer, U. Götze and W. Drossel, Eds., Auerbach, Verlag wissenschaftliche Scripten, pp. 231–248.
6. K. L. Christ and R. L. Burritt, "ISO 14051: A new era for MFCA implementation and research," in *Revista de Contabilidad – Spanish Accounting Review* 19, 2014, pp. 1-9.
7. P. Gorecki and P. Pautsch, *Lean Management*, München: Carl Hanser Verlag, 2018.
8. K. Kokubu and E. Nashioka, "Environmental Management Accounting Practices in Japan," in *Implementing Environmental Management Accounting: Status and Challenges*, Dordrecht, Springer, 2005, pp. 321-343.
9. A. R. Köhler, Y. Baron, W. Bulach, C. Heinemann, M. Vogel, S. Behrendt, M. Degel, N. Krauß and M. Buchert, "Ökologische und ökonomische Bewertung des Ressourcenaufwands - Stationäre Energiespeichersysteme," VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH, Berlin, April 2018.
10. M. Richter and M. Flückiger, "Usability Engineering kompakt 3. Auflage," Berlin Heidelberg, Springer Vieweg, 2013.
11. F. Hemke and V. Wohlgemuth, "Analyse aktueller Softwareanwendungen zur Durchführung einer Materialflusskostenrechnung (MFCA)," in *Proceedings des 6. Workshop Umweltinformatik zwischen Nachhaltigkeit und Wandel*, 2018.
12. ifu Hamburg GmbH, "Umberto Efficiency+," <https://www.ifu.com/umberto/effizienz-software/>. (Accessed 08 2018).
13. ifu Hamburg GmbH, "bw!MFCA," <https://www.ifu.com/umberto/bwmfca/>. (Accessed 08 2018).

14. VDI Zentrum Ressourceneffizienz, "Materialflusskostenrechner," 2014. <https://kostenrechner.ressource-deutschland.de/#/materialverluste>. (Accessed 08 2018).
15. JMA Consultants Inc, "MFCA Thinking," 2010. <http://www.jmac.co.jp/mfca/thinking/07.php>. (Accessed 08 2018).
16. MatWeb, "Material Property Data," 2018. <http://www.matweb.com/>. (Accessed 08 2018).
17. Bundesumweltministerium / Umweltbundesamt, "Leitfaden Betriebliches Umweltkostenmanagement," Berlin, 2003.
18. A. Lütje, A. Möller and V. Wohlgemuth, "A Preliminary Concept for an IT-Supported Industrial Symbiosis (IS) Tool Using Extended Material Flow Cost Accounting (MFCA) - Impulses for Environmental Management Information Systems (EMIS)," in *Advances and New Trends in Environmental Informatics*, Garching, Springer Nature Switzerland AG, 2018.
19. Y. Onishi, K. Kokubu and M. Nakajima, "Implementing Material Flow Cost Accounting in a Pharmaceutical Company," in *Environmental Management Accounting for Cleaner Production*, S. Schaltegger, M. Bennett, R. L. Burritt and C. M. Jasch, Eds., Springer, 2008, pp. 295-409.
20. K. Kokubu and H. Kitada, *Conflicts And Solutions Between Material Flow Cost Accounting And Conventional Managemnt Thinking [sic]*, Sydney, 2010.
21. M. Schmidt and M. Nakajima, "Material Flow Cost Accounting as an Approach to Improve Resource Efficiency in Manufacturing Companies," *resources*, no. 2, pp. 358-369, 2013.
22. S. Geib, "VDI-Z Integrierte Produktion," 03 2018. <https://www.vdi-z.de/2018/Ausgabe-03/Sonderteil-Materialfluss/Mehr-Transparenz-beim-Materialfluss>. (Accessed 08 2018).