

Quelle: Sankey Diagramm aus dem Umberto Fallbeispiel

Carina Gallien, Markus Gram

Materialflusskostenrechnung - eine Weiterentwicklung des Life Cycle Assessments

Dieser Artikel geht auf die Materialflusskostenrechnung als Teil des Life Cycle Assessments (Ökobilanz) ein. Hierzu wird am Beginn die historische Entwicklung der Materialflusskostenrechnung und deren Verbindung zu dem Life Cycle Assessment gezeigt. Weiters wird auf die Durchführung der Materialflusskostenrechnung nach ISO 14051 eingegangen. Mithilfe eines Fallbeispiels wird die Durchführung einer Materialflusskostenrechnung veranschaulicht. Die veranschaulichte Produktion ist eine Roheisenproduktion deren Stoffströme mit UMBERTO visualisiert wurden.

I. EINFÜHRUNG

Durch die boomenden Schwellenländer ist in den letzten Jahren eine stetige internationale Nachfrage an Rohstoffen zu verzeichnen. Das trifft vor allem das rohstoffarme Europa dessen Industriestaaten zunehmend importabhängig werden. Die Industrie ist gezwungen ihre Produktionen möglichst ressourceneffizient zu gestalten. Um dieses Ziel zu erreichen ist es notwendig die Material- und Energieverbräuche von Unternehmen systematisch zu erfassen, auf Verschwendungen zu analysieren, zu Bewerten und dementsprechend Maßnahmen abzuleiten. Für diesen Zweck existieren eine Vielzahl an Methoden und Ansätze. In diesem Beitrag wird auf die nach ISO 14051 definierten Materialflusskostenrechnung (MFKR) näher eingegangen. Hierzu wird zu Beginn dessen Entwicklung und deren Integration in das Life Cycle

Assessment veranschaulicht. Daraufaufgehend wird der Ablauf der MFKR und dessen Schritte dargestellt. Zuletzt wird anhand eines Beispiels auf die Anwendung der MFKR Mithilfe von Umberto eingegangen.

II. MATERIALFLUSSKOSTENRECHNUNG UND LIFE CYCLE ASSESSMENT

Der Ursprung der Materialflusskostenrechnung liegt in der am Ende der 80iger Jahre entwickelten betrieblichen Ökobilanzierung. Unter Ökobilanz versteht man die „Zusammenfassung und Bewertung der ökologisch relevanten Aktivitäten eines Unternehmens in Form einer Bilanz. Die Ökobilanz ist Teil eines ökologischen Management-Informationssystems, welches eine controllinggerechte Planung, Kontrolle und Steuerung von ökologischen Zielsetzungen unterstützt. Voraussetzung

ist eine ökologische Buchhaltung, die alle ökologisch relevanten Aktivitäten erfasst und bewertet. Auch zur Kommunikation nach außen (Kunden, Lieferanten etc.) kann das Unternehmen die Ökobilanz einsetzen.“¹

Die Ökobilanzierung ist im Rahmen des Umweltmanagements in der ISO Norm 14040 beschrieben. Wobei die Ökobilanzierung als die Betrachtung des gesamten Lebenswegs eines Produktes beschrieben wird. Weiters ist ein Kerninhalt die Erstellung einer Sachbilanz bzw. Massebilanz mit Input Output Definition des Systems. In der Norm wird die Ökobilanz auch als Life Cycle Assessment bezeichnet.²

Parallel zu der Entwicklung der betrieblichen Ökobilanz /Life Cycle Assessment wurde Mitte der 90er

¹ URL: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/oekobilanz.html> (22.05.2013)

² Vgl. EN ISO 14040 (2006).

Jahre die so genannte Reststoffkostenrechnung konzipiert. Diese Methodik hat das Ziel die Kosten für Reststoffe der Produktion transparent zu machen. Ende der 90er Jahre wurde die Flusskostenrechnung von Industrieunternehmen ausgearbeitet und in der Praxis erprobt. Hierzu wurden zwei Leitfäden für deren Umsetzung veröffentlicht.³

Diese beiden Konzepte, Reststoffkostenrechnung und Flusskostenrechnung wurden vor allem in Japan mit großem Interesse aufgenommen. Anfang des 21. Jahrhunderts ist aus diesen beiden europäischen Konzepten in Japan das sogenannte Material Flow Accounting entwickelt worden. Japan hat darauffolgend die Entwicklung einer eigenen Norm zu Material Flow Accounting angestrebt. Jedoch wurde 2009 beschlossen einen internationalen Standard auf Basis des Material Flow Accountings zu entwickeln. Das Resultat dieser Entscheidung ist die im Oktober 2011 erschienene NORM ISO 14051.⁴

tenbewertung der in der Produktion vorkommenden Verbräuche.

III. MATERIALFLUSSKOSTENRECHNUNG NACH ISO 14051

Die in der Norm beschriebene Vorgehensweise hat vor allem das Ziel die Transparenz der Material- und Energieflüsse zu erhöhen wie auch deren Kosten zu bestimmen. Daraus kann es zu einer Erhöhung der Umwelt- und kostenbezogenen Leistungsfähigkeit der Produktion durch Senkung der identifizierten Verluste kommen. Um eine Materialflusskostenrechnung durchführen zu können sind folgende Grundsätze zu beachten. Neben dem Verständnis von Materialfluss und Energieeinsatz in der Produktion ist vor allem die Verknüpfung der physikalischen und finanziellen Daten als primär anzusehen. Es muss weiters sichergestellt werden, dass die Daten fehlerfrei, vollständig und vergleichbar sind und den Materialverlusten die entsprechenden Kosten zugeordnet werden können.

Der Ablauf und die Implementierung in die Organisation der Materialflusskostenrechnung erfolgt durch die Anwendung eines PDCA Kreislaufes der in Abbildung 1 dargestellt ist.⁵

Es ist besonders wichtig, wie in jedem Verbesserungsprozess das Management in den Ablauf mit einzubeziehen. Dieses soll die Einführung der MFKR unterstützen, Ressourcen

MFKR ist die Abgrenzung der Systemgrenzen. Das betrachtete System kann die ganze Produktion umfassen aber auch nur einen Prozess beinhalten. Während der Systemabgrenzung wird weiters der Betrachtungszeitraum, in dem die Datenerfassung stattfindet festgelegt. Nachdem das System definiert ist, werden sogenannte Mengengstellen bestimmt. Eine Mengengstelle können verschiedene Prozesse wie z.B. Reinigen, Schneiden, Erhitzen,... sein. Neben diesen wertschöpfenden Tätigkeiten können auch Mengengstellen für den innerbetrieblichen Transport und Lagerung festgelegt werden. Eine Mengengstelle ist wie bereits erwähnt ein Prozess bzw. ein Teil eines Prozesses von dem die Inputs und Outputs physikalisch und finanziell mit Einheiten belegt werden. Daten über den Materialfluss und die Energieverbräuche wie auch die entstehenden Kosten sind zur Definition der Mengengstelle wichtig. Zusätzlich werden die allgemeinen Systemkosten und die Kosten für das Abfallmanagement erfasst. Das Bestimmen der Inputs und Outputs einer Mengengstelle ist der erste Schritt der Ausführungsphase des Verbesserungsprozesses. Die vorhin genannten Aktivitäten fallen unter Planung der Implementierung. Bei der Mengengstellenbestimmung der Materialflüsse muss beachtet werden, dass die Inputs und Outputs ausbalanciert sind. Bei verfahrenstechnischen Prozessen kann es vorkommen, dass dieses Gleichgewicht durch z.B. chemische Reaktionen, Sauerstoffaufnahme nicht erreicht wird. Dies muss geklärt und in der Materialbilanz einer Mengengstelle berücksichtigt werden. Nachdem die physikalischen Größen bestimmt worden sind werden diese in monetäre Einheiten überführt. Es werden drei Kostenarten verwendet: Materialkosten, Systemkosten und Abfallmengenkosten. Die Energiekosten einer Mengengstelle werden den Materialkosten durch Kostenallokation zugewiesen. System und Energiekosten werden mithilfe eines geeigneten Schlüssels zu den Materialkosten zugerechnet. Die Energiekosten können auch mithilfe von z.B. der Auslastung der Anlage, Anlaufverluste,... verrechnet werden. Die Abfallmanagementkosten werden direkt den Materialverlusten zugerechnet. Am Ende der Kostenzuordnung liegt eine detaillierte Auflistung der Kosten der gefertigten

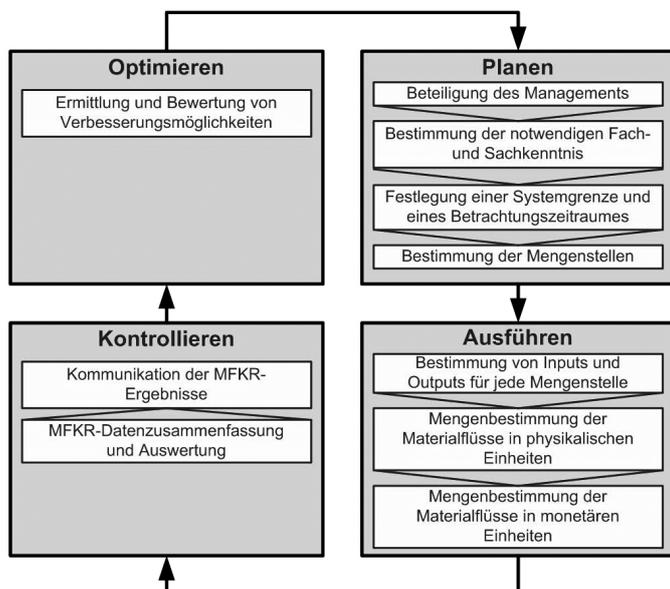


ABBILDUNG 1 ABLAUF DER IMPLEMENTIERUNG DER MATERIALFLUSSKOSTENRECHNUNG⁶

Aus dieser historischen Entwicklung ist zu erkennen, dass die Materialflusskostenrechnung als ein fixer Bestandteil des Life Cycle Assessments anzusehen ist. Die MFKR ist demzufolge eine Weiterentwicklung der in der klassischen Ökobilanzierung angewendeten Sachbilanz um eine Kos-

bereitstellen und den Fortschritt kontrollieren. Neben der Führungsunterstützung wird von allen beteiligten an dem Verbesserungsprozess eine Fach- und Sachkenntnis gefordert. Benötigt werden z.B. betriebliche, technische, umweltbezogene und kostenrechnungsbezogene Fach- und Sachkenntnisse. Ein wichtiger Schritt nach der

³ Vgl. Wagner/ Nakajima/ Prox (2010): 197–202.

⁴ Vgl. Schmidt (2012): 241–255.

⁵ Vgl. DIN EN ISO 14051 (2011).

⁶ Vgl. DIN EN ISO 14051 (2011).

Produkte und der Materialverluste vor. Auf dessen Basis werden Maßnahmen zur Reduzierung der Verluste abgeleitet. Der Vorteil dieser Berechnungsart liegt vor allem bei der verursachungsgerechten Verrechnung der Kosten auf Produkte und Materialverluste. Jeglicher Ressourcenverlust innerhalb der Produktion wird systematisch monetär dargestellt und für Entscheidungen wie z.B. Investitionen und Verbesserungen zur Erhöhung der Ressourceneffizienz und dementsprechend der Wirtschaftlichkeit herangezogen.⁷

Im folgenden Kapitel wird die Durchführung einer Materialflusskostenrechnung anhand eines Fallbeispiels veranschaulicht. Die untersuchte Produktion ist eine Roheisenherstellung, die mithilfe von Umberto modelliert und dessen Stoffströme berechnet worden sind.

IV. EIN FALLBEISPIEL ZUR ANWENDUNG DER MFKR IN EINEM STAHLWERK

Der Ansatz der Materialflusskostenrechnung kann durch die Unterstützung einer etablierten Software anhand des Beispiels der Stahlproduktion veranschaulicht werden. Nach einer kurzen Einführung in die Software Umberto erfolgt eine detaillierte Beschreibung der Prozessschritte, der verwendeten Material- und Energieströme und abschließend wird eine Auswertung der Ergebnisse der Materialflusskostenrechnung mithilfe der Berechnungen und Visualisierungen aus der Software dargestellt.

Software zur Erstellung einer Materialflusskostenrechnung

Mit dem Programm Umberto ist es möglich vernetzte Stoff- und Energieströme abzubilden. Diese Software liefert neben der Modellierung der Stoffstromnetze auch eine Auswertung der Stoffstrommodelle. Ziel dabei ist es, die Mengenflüsse im Stoff- und Energiestromsystem in ihrer ganzen Komplexität abzubilden. Die grafische Darstellung und Simulation der Stoffströme erfolgt mit der Petri-Netz-Theorie. Ein Bestandteil der Stoffstromanalyse-Software Umberto sind Materiallisten in denen die relevanten Stoff- und Energiearten strukturiert

⁷ Vgl. DIN EN ISO 14051 (2011).

hinterlegt werden. Zudem besteht die Möglichkeit die Maßeinheiten mit einer vereinfachten ökologischen sowie ökonomischen Einteilung (Gut, Übel, Neutrum) festzulegen und mit Hilfe anderer Eigenschaften zu beschreiben. Einen wesentlichen Bestandteil der Software bietet ein graphischer Netzeditor; mit diesem können interaktiv Stoff- und Energiestromnetze modelliert werden. Wesentlich für die Erstellung einer Materialflusskostenrechnung sind die Funktionsmöglichkeiten der Software betreffend der produkt- und prozessspezifischen Bilanzierung der Material- und Energieflüsse sowie der Kosten. Die Kostenrechnungsfunktion ermöglicht die Berechnung der gesamten Lebenszykluskosten eines Produktes, Verfahrens, Prozesses oder einer gesamten wirtschaftlichen Einheit.⁸

Fallbeispiel: Erzeugung von Roheisen

Das Fallbeispiel stellt einen vereinfachten Roheisenproduktionsprozess dar unter der Annahme, dass keine Abfallkosten berücksichtigt werden sondern eine Berechnung der Material- und Energieflusskosten nur anhand der Inputströme erfolgt. Die schematische Prozesskette zur Produktion von Roheisen ist der nachfolgenden Abbildung zu entnehmen:

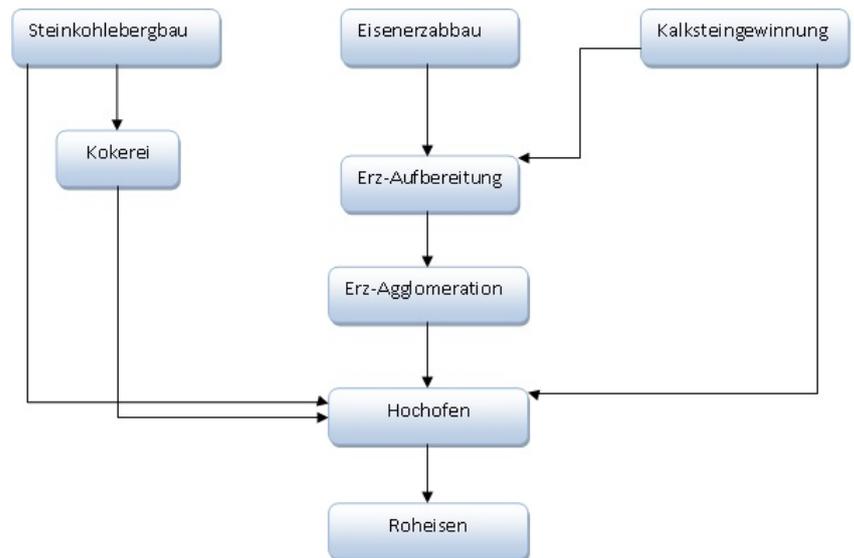


ABBILDUNG 2: PROZESSCHRITTE ROHEISENPRODUKTION⁹

⁸ Vgl. ifu Institut für Umweltinformatik (2011)

⁹ Vgl. Holger, Rohn, Liedtke, Christa (2002)

Die benötigten Stoff- und Energiemengen, sowie Kosten der einzelnen Materialien liefern die Basisdaten für die Erstellung der Materialflusskostenrechnung in Umberto. Die MFKR soll insgesamt für 150 t produziertes Roheisen ein Ergebnis liefern. Nachfolgend werden die einzelnen Prozessschritte detailliert mit Mengenangaben beschrieben.

- Für die Herstellung von einer Tonne geförderttes Eisenerz (FE-Gehalt 46 %) werden 1,47 kWh Strom, 0,27 kg Sprengstoff, 58 MJ Diesel und 1882 kg Eisenerz und Deckmantel benötigt.
- Im nächsten Schritt wird das Eisenerz (FE-Gehalt 46 %) aufbereitet und liefert als Output Eisenerz mit 65 % FE-Gehalt. Zusätzlich werden noch 18,71 kWh Strom und 1.519 kg Wasser benötigt. Für 1 Tonne aufbereitetes Eisenerz erfolgt eine Beanspruchung von 1.685 kg
- In der Erz-Agglomeration werden 1.033 kg Eisenerz (65 % FE-Gehalt) zu einer Tonne agglomeriertes Eisenerz (Sinter und Pellets) verarbeitet. Dazu sind 46,50 kg Kalkstein, 228 MJ Erdgas, 2,20 Nm³Luft (1 Nm³Luft > 1,293 kg), 41,10 kWh Strom und Wasser mit einer Menge von 379 kg erforderlich.
- Als weiterer Bestandteil wird Koks für die Roheisenproduktion benöti-

gt. Dafür müssen 1350 kg Steinkohle aus dem Bergbau und Brennstoffe sekundär in der Höhe von 3500 MJ zur Verfügung gestellt werden. Zu-

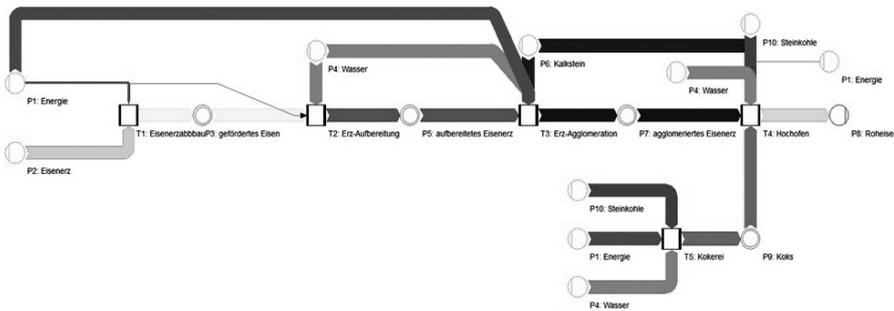


ABBILDUNG 3: MATERIALFLUSSMODELLIERUNG UND VISUALISIERUNG IN UMBERTO

Die Materialflusskostenrechnung der Roheisenproduktion kann in einer Fortführung des Fallbeispiels durch Abfallmengen, Rückgewinnungsprozesse und Material- und Energieverluste erweitert werden. Essentiell ist dabei aber die Erhebung von realitätsnahen Daten um diese in der Bewertung mit der Software zu berücksichtigen. Aus diesem Grund wurde derzeit nur die Input-Seite der Stoff- und Energiebilanz betrachtet und als Output das erstellte Roheisen dargestellt.

nächst ist noch bekannt, dass 50 kg Wasser, 33,06 kWh Strom und 1.600 kg Druckluft für die Herstellung von Roheisen beansprucht wird. ■ Im letzten Schritt für die Herstellung von einer Tonne Roheisen werden folgende Stoffe benötigt: Zum einen 1.034 kg Sinter, 404 kg Pellets und 475 kg Koks und zum anderen Kalkstein mit einer Menge von 13 kg, weiters 57 kg Steinkohle, 12.032 kg Wasser und 92 kWh Strom.¹⁰

Zusätzlich zur Stoffmengenberechnung in Umberto erfolgt auch die Aufstellung einer Kostenrechnung. Die spezifischen Materialpreise für die Erstellung der Materialflusskostenrechnung wurden aus verfügbaren Marktpreisen erhoben. Die Visualisierung und Modellierung der Stoff- und Energieströme basierend auf Mengendaten wird in der Abbildung 6 dargestellt.

Die Ergebnisse der Mengenbilanzierung basieren auf den Berech-

zeigt Abbildung 7, dass die größten Mengenstellen durch das verwendete Wasser und das Eisenerz mit Deckmantel verursacht werden. Alle weiteren Inputmaterialien liegen im einstelligen Prozentbereich.

Die Auswertung der visualisierten Mengenverhältnisse der eingesetzten Energieträger liefern als Ergebnis, dass der eingesetzte Sekundärbrennstoff in der Kokerei mit rund 75 % den größten Anteil einnimmt. Der Einsatz von Strom als Energie kann verhältnismäßig nur mit 9 % beziffert werden während der Energieträger Erdgas einen Anteil von 15 % erreicht - durch den Einsatz in der Erz-Agglomeration.

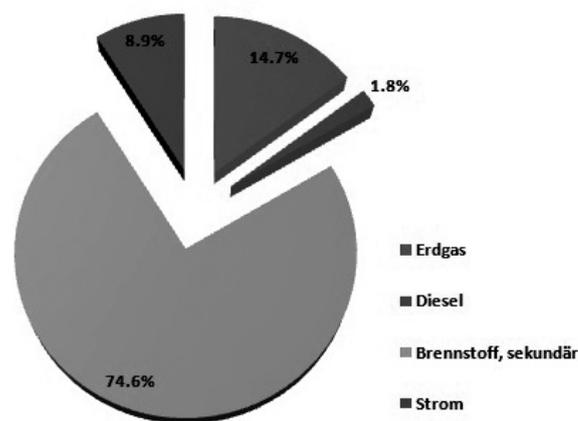


ABBILDUNG 5: VISUALISIERUNG DER VERHÄLTNISSSE DER ENERGIEMENGEN

nungen der Energie- und Stoffströme des Produktionsprozesses zur Roheisenerstellung. In der Betrachtung der Materialmengen auf der Inputseite

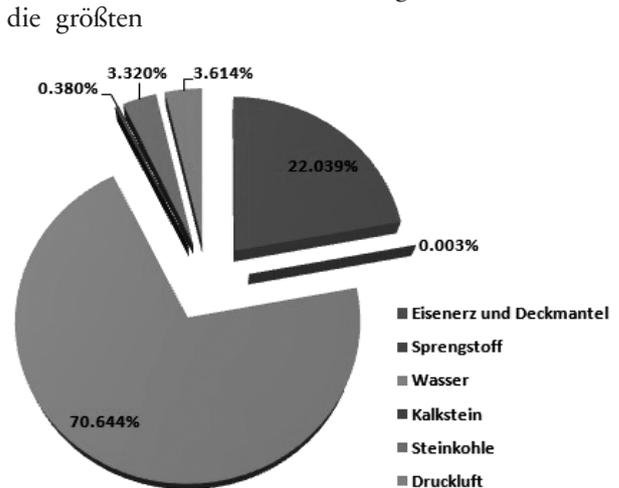


ABBILDUNG 4: VISUALISIERUNG DER MENGENVERHÄLTNISSSE DER INPUT-MATERIALMENGEN

V. SCHLUßFOLGERUNG

Das primäre Ziel der Materialflusskostenrechnung ist die Darstellung und monetäre Bewertung aller Material- und Energieverbräuche und Gegenüberstellung der Verluste. Aus der historischen Entwicklung ist zu erkennen, dass die MFKR ein neuer Bestandteil des Life Cycle Assessments (Ökobilanz) ist. Dies veranschaulicht auch die ISO Norm 14051 die in der Praxis noch nicht oft eingesetzt worden ist.

Eine Anwendungsmöglichkeit soll Mithilfe des Fallbeispiels veranschaulicht werden. Ziel des Fallbeispiels war es die Software auf die Möglichkeiten der Visualisierung und Materialflusskostenberechnung nach ISO 14051 zu testen und die Potentiale dafür darzustellen. Wesentlich dafür ist, dass die Software gute Basiseigenschaften aufweist und die Erstellung einer Materialflusskostenrechnung erleichtert, und neben der Kostenrechnung auch die ökologische Bewertung berücksichtigen kann um eine ganzheitliche

¹⁰ Vgl. Holger, Rohn, Liedtke, Christa (2002)

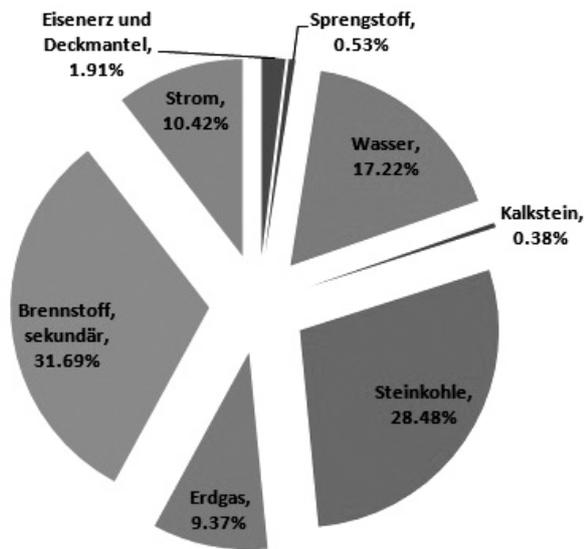


ABBILDUNG 6: MATERIALFLUSSKOSTEN IM VERHÄLTNISS DER MATERIAL- UND ENERGIEMENGEN (AUSGENOMMEN DIESEL)

Lebenszyklusbetrachtung zu ermöglichen.

VI. LITERATUR

EN ISO 14040. „Umweltmanagement-Ökobilanz-Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040: 2006)“. Deutsche und Englische Fassung EN ISO 14040 (2006).
 EN ISO 14051, DIN. „Materialflusskostenrechnung- Allgemeine Rahmenbedingungen“: 2011.
 Gabler Verlag (Herausgeber), Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort: Ökobilanz, online im Internet:
<http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/57090/oekobilanz-v12.html>



Dipl.-Ing. Markus Gram
 Wissensch. Mitarbeiter am Lehrstuhl für Wirtschafts- und Betriebswissenschaften der Montanuniversität Leoben

Holger, Rohn, Liedtke, Christa: „MIPS berechnen Ressourcenproduktivität

ter/10.1007/978-3-8349-6638-4_15.

Simon, Franz-Georg, und Klaus Dosch. „Verbesserung der Materialeffizienz von kleinen und mittleren Unternehmen“. Wirtschaftsdienst 90, Nr. 11 (2010): 754-759.

Wagner, Bernd, Michiasu Nakajima, und Martina Prox. „Materialflusskostenrechnung–die internationale Karriere einer Methode zu Identifikation von Ineffizienzen in Produktionssystemen“. uwf-UmweltWirtschaftsForum 18, Nr. 3 (2010): 197-202.



Dipl.-Ing. (FH) Carina Gallien
 Wissensch. Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Wirtschafts- und Betriebswissenschaften der Montanuniversität Leoben

2010 als wissenschaftlicher Mitarbeiter im Schwerpunktbereich Anlagen- und

von Produkten und Dienstleistungen“, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH im Wissenschaftszentrum Nordrhein-Westfalen, 2002

ifu Institut für Umweltinformatik : „Umberto - Benutzerhandbuch“, Version 5, Hamburg, 2011

Schmidt, Mario. „Material Flow Cost Accounting in der produzierenden Industrie“. In Industrial Ecology Management, 241-255. Springer, 2012. http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-8349-6638-4_15.

Produktionsmanagement am Lehrstuhl für Wirtschafts- und Betriebswissenschaften der Montanuniversität Leoben beschäftigt.

Nach Abschluss der HTL für Elektrotechnik mit dem Schwerpunkt Energietechnik und Leistungselektronik in St. Pölten studierte er Industrielogistik mit dem Schwerpunkt Logistikmanagement an der Montanuniversität Leoben.

Während des Studiums konnte er bereits Erfahrungen durch Praktika bei der AUDI AG und Daimler AG als auch durch Abschlussarbeiten bei KNAPP AG und REHAU AG+CO sammeln. In seiner Dissertation bearbeitet er das Thema der Wandlungsfähigkeit in der Grundstoff- und Prozessindustrie.

Dipl.-Ing. (FH) Carina Gallien ist

seit Oktober 2011 als wissenschaftliche Mitarbeiterin im Schwerpunktbereich Energie- und Nachhaltigkeitsmanagement am Lehrstuhl für Wirtschafts- und Betriebswissenschaften der Montanuniversität Leoben beschäftigt.

Nach Abschluss der Handelsakademie mit Schwerpunkt Controlling studierte sie Infrastrukturwirtschaft mit der Vertiefung Energie- und Umwelttechnik an der Fachhochschule Joanneum. Während des Studiums konnte sie bereits Erfahrungen als Projektassistentin an der TU Graz und Andritz AG sammeln sowie auch durch Praktika und ihre Abschlussarbeit bei der AEE – Institut für nachhaltige Technologien.

Autoren:

Dipl.-Ing. Markus Gram ist seit Mai