

Energie- und Materialflusskostenrechnung in der Gießereiindustrie

Masterarbeit
von
Sarah Kammerlander, BSc.



eingereicht am
Lehrstuhl Wirtschafts- und Betriebswissenschaften
der
Montanuniversität Leoben

Leoben, am 11. Februar 2016

Aufgabenstellung

Nur bei Master- und Bachelorarbeiten!

Die Aufgabenstellung ist ein einseitiges, bei Masterarbeiten vom Lehrstuhlleiter, bei Bachelorarbeiten vom Betreuer unterschriebenes Dokument. Die Erstellung erfolgt vom Betreuer und wird dem Verfasser noch vor Abschluss der wissenschaftlichen Arbeit ausgehändigt. Die Aufgabenstellung muss direkt nach dem Titelblatt bei jedem Exemplar der Arbeit in Original (Institutsexemplar) bzw. in Kopie mit eingebunden werden. (Siehe Richtlinie zur Erstellung wissenschaftlicher Arbeiten)

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfsmittel bedient habe.

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Leoben, 11. Februar 2016

Sarah Kammerlander

Gleichheitsgrundsatz

Aus Gründen der Lesbarkeit wurde in dieser Arbeit darauf verzichtet, geschlechtsspezifische Formulierungen zu verwenden. Es wird ausdrücklich festgehalten, dass die bei Personen verwendeten maskulinen Formen für beide Geschlechter zu verstehen sind.

Danksagung

Zuerst möchte ich mich beim Lehrstuhl für Wirtschafts- und Betriebswissenschaften und hier im Speziellen bei Herrn Professor DI Dr. Hubert Biedermann für das Thema und die Möglichkeit, die Arbeit zu verfassen, bedanken. Besonderen Dank an Dr. Milan Topić für die vielen Denkanstöße, die Vorschläge für Verbesserungen, die heitere Atmosphäre, die Geduld und Aufmerksamkeit, die er dieser Arbeit entgegenbrachte. Sie entstand in Kooperation mit der Georg Fischer Fittings GmbH, daher gilt mein großer Dank dem Geschäftsführer Herrn DI Bernhard Dichtl. Bei DI Kurt König und DI Uwe Löcker möchte ich mich für die Unterstützung und die vielen Ratschläge, mit denen sie mir immer zur Seite gestanden sind, bedanken.

An meine Familie und Freunde für die liebevollen und ermunternden Worte, hier besonders meiner Mama auch für den Ausgleich des Beistrich-Flusses. Dem fabelhaften Sepp.

Kurzfassung

Ziel dieser Arbeit ist es, durch die Auseinandersetzung mit der Energie- und Materialflusskostenrechnung die Ressourceneffizienz der Georg Fischer Fittings GmbH zu steigern. Dabei liegt die Herausforderung darin, Ineffizienzen im Produktionssystem zu finden. Die angewendete Methodik der Materialflusskostenrechnung nach der ISO NORM 14051 beruht auf einer durchgängigen Stoffflussbetrachtung und hat die Reduktion des Material- und Energieverbrauchs als Ziel. Mit der Behandlung des Materialverlusts als Kostenträger werden die Kosten für Ineffizienzen transparent ausgewiesen und eine Lücke, die die klassische Kostenrechnung hinterlässt, geschlossen. Im ersten Schritt werden die erfassten physikalischen Flussmengen modelliert und mit Kosteninformationen verknüpft. Das Ergebnis ist eine Materialflusskostenmatrix, welche die angefallenen Material- und Energiekosten den jeweiligen Mengenstellen zuordnet. Auf dieser Kalkulation der Materialflusskosten auf Prozessebene basierend, werden die Kosten je Output berechnet. Eine ABC-Analyse der Verluste, zeigt Schwerpunkte für die Effizienzmaßnahmen. Ausgehend vom Ist-Zustand des Unternehmens wird mittels einer Szenarienrechnung untersucht, inwieweit die Reduktion spezifischer Verlustströme in einen Kostenvorteil resultiert.

Abstract

The aim of this thesis is to discuss the Material Flow Cost Accounting (MFCA) approach, to increase the resource efficiency of the Georg Fischer Fittings Ltd. However, finding those inefficiencies within the production system is the challenge that needs to be overcome. The methodology of the MFCA, according to ISO NORM 14051, bases on a consistent material and energy flow analyses and strives after a decrease of their consumption. By handling losses equal to products as a cost unit, this method increases transparency when showing the costs that arise from inefficiency. It therefore bridges a gap that other cost accounting systems leave open. First the flows are modeled in their physical units and linked with monetary units afterwards. This results in a flow cost matrix to evaluate the total cost for each process step. Based on this, the costs for the specific outputs are determined. From a performed ABC-analysis of the losses the priorities for measures to increase the efficiency can be derived. The effect of a reduction of the identified losses is calculated in scenarios, which show the potential for cost savings.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Ausgangssituation und Problemstellung	1
1.2	Zielsetzung und Forschungsfrage	2
1.3	Methodische Vorgehensweise	2
1.4	Aufbau der Arbeit.....	3
2	Vorstellung der Gießereiindustrie	6
3	Umweltkostenrechnung	8
3.1	Rolle der Umweltkostenrechnung	8
3.2	Ansätze der Umweltkostenrechnung.....	10
3.2.1	Grundidee der Flusskostenrechnung.....	22
3.2.2	Relevanz der Flusskostenrechnung	25
3.2.3	Kritische Betrachtung der Flusskostenrechnung.....	27
4	Grundlagen der Materialflusskostenrechnung.....	28
4.1	Materialflusskostenrechnung als Erweiterung der Flusskostenrechnung.....	28
4.2	Materialflusskostenrechnung vs. traditionelle Kostenrechnung	29
4.3	Mit der ISO Norm 14051 zum Standard	34
4.3.1	Anwendungsbereiche.....	34
4.3.2	Zielvorgaben und Grundsätze der Materialflusskostenrechnung	35
4.3.3	Begriffe und grundlegende Elemente der Materialflusskostenrechnung.....	35
4.3.4	Methodik bei der Implementierung einer Materialflusskostenrechnung.....	40
4.3.5	Zwischenfazit	43
4.4	Abseits der ISO NORM 14051: Erweiterungen der Materialflusskostenrechnung	46
4.4.1	Materialflusskostenrechnung als Basis für Investitionen.....	46
4.4.2	Materialflusskostenrechnung in der Supply Chain	49
4.4.3	Materialflusskostenrechnung als Lebenszyklusrechnung	52
4.4.4	Materialflusskostenrechnung und die Modellierung von Energieflüssen.....	53
4.4.5	Materialflusskostenrechnung und die Behandlung interner Kreisläufe.....	55
4.4.6	Materialflusskostenrechnung und die Behandlung von Erträgen	58
4.5	Kritische Betrachtung der Materialflusskostenrechnung.....	59
5	Praktische Fallstudie: Georg Fischer Fittings GmbH.....	62
5.1	Vorstellung Georg Fischer Fittings GmbH.....	62
5.2	Prozessanalyse- und modellierung	63
5.3	Bilanzierung: Kostenrechnung auf Produktebene	67
5.3.1	Material- und Energieflusskostenrechnung.....	67

5.3.2	Behandlung interner Kreisläufe	72
5.3.3	Schmelzerei	79
5.3.4	Gießen	81
5.3.5	Auspacken & Trennen.....	82
5.3.6	Wärmbehandlung.....	83
5.3.7	Gussfertigstellung	84
5.3.8	Verzinkung	85
5.3.9	Mechanische Bearbeitung.....	86
5.3.10	Endkontrolle	89
5.3.11	Kernmacherei.....	90
5.3.12	Formanlage.....	92
5.3.13	Druckluftstation	93
5.3.14	Gebäude und Sonstiges.....	93
5.3.15	Warenausgang.....	94
5.3.16	Produktspezifische Bilanzierung der Material und Energieflüsse	96
5.4	Analyse & Zwischenfazit	104
5.5	Bestimmung abfallspezifischer Einsparpotenziale und Kosten.....	107
5.6	Ökonomische Maßnahmenbewertung.....	111
6	Zusammenfassung und Ausblick	114
7	Literaturverzeichnis	116

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau dieser Arbeit	5
Abbildung 2: Rohstoffpreisentwicklung	6
Abbildung 3: Entwicklung Erdgasindex.....	7
Abbildung 4: Entwicklung Stromindex.....	7
Abbildung 5: Laufende Aufwendungen im Produzierenden Gewerbe	9
Abbildung 6: Umweltkosten	10
Abbildung 7: Überblick Umweltkostenrechnungssysteme	11
Abbildung 8: Erfassung und Verrechnung von Umweltschutzkosten	13
Abbildung 9: Flusskosten	23
Abbildung 10: Kostenstruktur produzierendes Gewerbe 2012	26
Abbildung 11: Kostenverteilung KORE vs. Kostenverteilung MFKR	32
Abbildung 12: Kostenverrechnung KORE vs. MFKR	33
Abbildung 13: Materialbilanz einer Mengenstelle.....	37
Abbildung 14: Vereinfachtes Materialflussmodell	38
Abbildung 15: PDCA-Zyklus	41
Abbildung 16: Lebenszyklus Flussbetrachtung.....	52
Abbildung 17: Kreislaufführung mit Reststoffe	56
Abbildung 18: Kreislaufführung ohne Reststoffe.....	56
Abbildung 19: Ausschleusen der Kreislaufkosten	57
Abbildung 20: Flussmodell ohne virtuelle Mengenstellen	58
Abbildung 21: Flussmodell mit virtuellen Mengenstellen.....	59
Abbildung 22: Produktgruppen	62
Abbildung 23: Hauptprozesse	63
Abbildung 24: Energie- und Materialströme.....	66
Abbildung 25: Vorlage Input-Output-Bilanz.....	68
Abbildung 26: Übersicht Berechnung	70
Abbildung 27: Verteilung Kosten Guss	74
Abbildung 28: Verteilung Kosten Formen & Kerne	74
Abbildung 29: Verteilung Kosten Hilfs- und Betriebsstoffe	75
Abbildung 30: Zuordnung Kosten verzinkter Output	88
Abbildung 31: Zuordnung Kosten unverzinkter Output	88
Abbildung 32: Zuordnung sonstiger Kosten.....	89
Abbildung 33: Kostenflüsse	102
Abbildung 34: Kostentwicklung Prozesse	105

Abbildung 35: Verhältnis Produkt : Verlust	106
Abbildung 36: ABC-Analyse der Verluste	107
Abbildung 37: MFKR - Gesamtkosten Szenario 1	109
Abbildung 38: MFKR - Gesamtkosten Szenario 2	110
Abbildung 39: Gesamtkosten je Szenario	112
Abbildung 40: Kostenersparnis je Szenario	112
Abbildung 41: Reduktion abfallinduzierter Kosten je Szenario	113

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Flusskostenmatrix.....	25
Tabelle 2: Materialflusskosten-Matrix für eine Mengenstelle.....	42
Tabelle 3: Variablen für lineares Gleichungssystem	73
Tabelle 4: Interne Leistungsverrechnung - Material (Schrottkreislauf)	75
Tabelle 5: Lineares Gleichungssystem - Material (Schrottkreislauf).....	76
Tabelle 6: Interne Verrechnungskosten – Material (Schrottkreislauf).....	77
Tabelle 7: Interne Leistungsverrechnung – Energie (Schrottkreislauf).....	77
Tabelle 8: Interne Verrechnungskosten - Energie.....	77
Tabelle 9: Interne Leistungsverrechnung - Material (Formenkreislauf)	78
Tabelle 10: Interne Verrechnungskosten - Material Formen	78
Tabelle 11: Interne Leistungsverrechnung - Energie (Formenkreislauf).....	79
Tabelle 12: Interne Verrechnungskosten - Energie Formen.....	79
Tabelle 13: Input-Output-Bilanz Schmelzerei.....	80
Tabelle 14: Input-Output-Bilanz Gießen	82
Tabelle 15: Input-Output-Bilanz Auspacken & Trennen	83
Tabelle 16: Input-Output-Bilanz Wärmebehandlung	84
Tabelle 17: Input-Output-Bilanz Gussfertigstellung.....	85
Tabelle 18: Input-Output-Bilanz Verzinkung	86
Tabelle 19: Input-Output-Bilanz Mechanische Bearbeitung	87
Tabelle 20: Input-Output-Bilanz Endkontrolle	90
Tabelle 21: Input-Output-Bilanz Kernmacherei	91
Tabelle 22: Input-Output-Bilanz Formanlage	92
Tabelle 23: Input-Output-Bilanz Druckluftstation.....	93
Tabelle 24: Input-Output-Bilanz Gebäude und Sonstiges	94
Tabelle 25: Input-Output-Bilanz Warenausgang	95
Tabelle 26: Materialflusskostenmatrix Gesamt	96
Tabelle 27: Materialflusskostenmatrix Schmelzerei.....	97
Tabelle 28: Materialflusskostenmatrix Gießen	97
Tabelle 29: Materialflusskostenmatrix Auspacken & Trennen.....	97
Tabelle 30: Materialflusskostenmatrix Wärmebehandlung.....	98
Tabelle 31: Materialflusskostenmatrix Gussfertigstellung	98
Tabelle 32: Materialflusskostenmatrix Verzinkung	98
Tabelle 33: Materialflusskostenmatrix Mechanische Bearbeitung.....	99
Tabelle 34: Materialflusskostenmatrix Endkontrolle	99

Tabelle 35: Materialflusskostenrechnung Warenausgang	99
Tabelle 36: Materialflusskostenmatrix Kerne	100
Tabelle 37: Materialflusskostenrechnung Formen	100
Tabelle 38: Materialflusskostenrechnung Druckluft.....	100
Tabelle 39: Materialflusskostenmatrix Gebäude & Sonstiges	101
Tabelle 40: Kosten Produkt	103
Tabelle 41: Kosten Verlust	104
Tabelle 42: Szenario 1 - Neue Outputmenge.....	109

Abkürzungsverzeichnis

DEMEA	Deutsche Materialeffizienz Agentur
+GF+	Georg Fischer Fittings GmbH
KORE	Klassische Kostenrechnung
METI	Ministry of Economy, Trade and Industry
MFCA	Material Flow Cost Accounting (englisch für Materialflusskostenrechnung)
MFKR	Materialflusskostenrechnung
NPO	Non-Product-Output
PO	Product-Output
REAP	Ressourceneffizienz Aktionsplan
UKR	Umweltkostenrechnung

1 Einleitung

In diesem Kapitel wird zu Beginn die Problemstellung erläutert, ausgehend von der globalen Situation des Ressourcenverbrauchs wird besprochen, wie die Materialflusskostenrechnung zur Lösung der Herausforderungen beitragen kann. Anschließend werden die Ziele der Masterarbeit definiert und welche Methoden für deren Erreichung angewendet werden.

1.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Der weltweite Verbrauch von Ressourcen stieg von 1980 – 2005 um rd. 70%¹ und stellt inzwischen eine globale Herausforderung dar. Aus diesem Grund veröffentlichte das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft im Jahr 2012 einen Aktionsplan für Ressourceneffizienz (REAP). Dieser Plan beinhaltet Zielvorgaben zur Steigerung der Ressourceneffizienz und Instrumente bzw. Maßnahmen für deren Umsetzung. Das langfristige Ziel ist, das Wirtschaftswachstum vom Ressourcenverbrauch und dessen Folgen zu entkoppeln.² Die Relevanz dieses Themas zeigt auch eine vom Fraunhofer-Institut erstellte Studie, bei der 60% der teilnehmenden Unternehmen aus dem produzierenden Gewerbe angaben, dass die Ressourceneffizienz einen hohen Stellenwert für sie habe.³ Infolge volatiler Rohstoffmärkte,^{4,5} steigender Nachfrage und einer Anbieterkonzentration⁶ sehen sich Unternehmen vermehrt mit steigenden Rohstoffkosten konfrontiert. Eine EU-weit durchgeführte Umfrage aus dem Jahr 2011 ergab, dass 75 % der befragten Manager einen Anstieg der Materialkosten in den letzten fünf Jahren verzeichneten, 9 von 10 gaben an, dass sie mit weiteren Steigerungen in den nächsten 5 - 10 Jahre rechnen.⁷ Die Entwicklung ist umso bedenklicher, da die Materialkosten in der produzierenden Industrie bereits 45 % der Gesamtkosten betragen.⁸ Andererseits bieten die Materialkosten wegen ihres Einflusses auf die Kostenstruktur ein hohes Potenzial zur Kostensenkung. Zwar ist die Gießereiindustrie nach der Wirtschaftskrise aus dem Jahr 2008/09 wieder im Aufschwung, angesichts geringer Margen und zur Erhaltung der Wettbewerbsfähigkeit werden aber weiterhin Möglichkeiten zur Kostensenkung gesucht.⁹ Die Herausforderung für Unternehmen besteht darin, Ineffizienzen im Produktionssystem zu finden. Mithilfe der durchgängigen Betrachtung der Energie- und

¹ Vgl. Krausemann et al. (2009), S. 8

² Vgl. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft Umwelt und Wasserwirtschaft (2012), S. 5

³ Vgl. Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO (2010), S. 32

⁴ Vgl. Fachverband der Gießereiindustrie (2014), S. 24

⁵ Vgl. Industriellen Vereinigung (2012), S. 9

⁶ Vgl. Industriellen Vereinigung (2012), S. 9

⁷ Vgl. Gallup Organization (2011), S. 7

⁸ Vgl. Deutsche Materialeffizienzagentur (2012), S. 1

⁹ Vgl. Fachverband der Gießereiindustrie (2014), S. 4

Materialflüsse soll hier Transparenz geschaffen werden.¹⁰ Die Materialflusskostenrechnung, deren Berechnungen auf den Stoffströmen aufbauen, zeigt die Umwandlung des Inputs in zwei Arten von Outputs: Dem gewünschten Produkt-Output und dem unerwünschten Nicht-Produkt-Output, in Form von Abfallströmen. Sie verknüpft physikalische mit finanziellen Daten¹¹ und legt damit offen, welche Kosten durch Ineffizienzen in der Produktion entstehen.¹²

1.2 Zielsetzung und Forschungsfrage

Abgeleitet aus der Ausgangssituation und der Problemstellung, ist der Inhalt der vorliegenden Arbeit die Auseinandersetzung mit den Energie- und Materialflusskosten in der Gießereiindustrie. Das Ziel dieser Arbeit ist es, die Ist-Situation der Energie- und Materialflusskosten der Georg Fischer Fittings GmbH zu berechnen, daraus Szenarien zur Steigerung der Ökoeffizienz abzuleiten und diese ökonomisch zu bewerten. Die Ermittlung der Stoffflusskosten basierend auf der ISO NORM 14051 war von Beginn an festgelegt und führt zu den Forschungsfragen:

Frage 1: Wie ist die Materialflusskostenrechnung nach der ISO NORM 14051 von anderen Umweltkostenrechnungssystemen abzugrenzen und welche Chancen und Risiken bietet sie?

Frage 2: Wo und in welcher Höhe fallen die Kosten für die Materialverschwendung in der Gießereiindustrie an?

Frage 3: Welche monetäre Auswirkung hat die Reduzierung der Materialverluste auf das Stoffstromsystem?

1.3 Methodische Vorgehensweise

Für die Erarbeitung der theoretischen Grundlage dieser Arbeit wird eine umfassende Literaturrecherche von über 50 thematisch relevanten:

- Fachbüchern,
- Fachartikeln aus wissenschaftlichen Zeitungen, Journals und Zeitungen,
- Normen (v.a. ISO NORM 14051) und
- Dissertationen

vorgenommen. Die Veröffentlichungen werden systematisch mit einem Top-Down Ansatz gesichtet. Beginnend mit der Frage, warum es zur Entstehung einer Umweltkostenrechnung kam, werden die verschiedenen Ansätze vorgestellt. Während auf dieser Ebene noch eine grob gehaltene, überblickhafte Darstellung im Vordergrund steht, wird der Detaillierungsgrad auf der Ebene der Flusskostenrechnung erhöht/verbreitert. Die Materialflusskostenrechnung selbst wird basierend auf der 2011 erschienen ISO NORM 14051 erläutert und durch aktuelle Forschungsergebnisse ergänzt.

¹⁰ Vgl. ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 5

¹¹ Vgl. ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 9

¹² Vgl. Viere et al. (2009), S. 47

Das Projekt-Kick-Off Meeting, als Beginn des praktischen Teils der Masterarbeit, erfolgte am 11. Juni 2015 bei der Georg Fischer Fittings GmbH in Traisen. Dabei wurde der Umfang des Praxisteils festgelegt, die Systemgrenzen definiert und erste Daten ausgetauscht. Die von der Controllingabteilung zur Verfügung gestellten Daten aus dem Jahr 2014 wurden in einem Workshop den Input- und Output-Bilanzen, die für jede Mengenstelle separat erstellt wurde, zugeordnet. Die Input- und Output-Bilanzen stellen die Grundlage der Materialflusskostenrechnung dar.¹³ Darauf aufbauend werden zur Lösung der Fallstudie verschiedene Methoden, wie Modellbildung, Kategorisierung, ABC-Klassifizierung und Szenarienrechnung, angewendet. Die Modellierung der Prozesse mit den jeweiligen In- und Outputs dient der Verringerung der Komplexität und der Erhöhung der Verständlichkeit. Dabei steht die Umweltmanagement-Software Umberto[®] nxt mfca (Version 7.1) zur Verfügung. Bei dieser Software Version handelte es sich zum Zeitpunkt der Erstellung der Masterarbeit um eine Testversion, die von der ifu Hamburg GmbH im März 2015 auf der Hannover Messe öffentlich präsentiert wurde. Neben der Darstellung der Energie- und Materialflüsse sind die Berechnung der Materialflusskosten gemäß ISO NORM 14051 und eine entsprechende Auswertung Teile des Software-Pakets. Zusätzlich erfolgt noch die Berechnung der Materialkosten mit Microsoft Excel[®]. Dies geschieht einerseits, um die Berechnungen der Software, die nur als eine Testversion vorhanden ist, zu kontrollieren und andererseits, um eine erweiterte und detailliertere Auswertung als jener von Umberto, zu erstellen. Die Kategorisierung der Outputs in Produkt und Verlust stellt die Grundlage der Auswertung dar. Mithilfe einer durchgeführten ABC-Analyse, die der Klassifizierung von Objekten dient, werden die größten Verlustarten identifiziert und gereiht. Zur Bewertung des Einsparpotenzials wird eine Szenarienrechnung durchgeführt, in der spezifische Verlustarten auf einen realistischen Soll-Wert reduziert und die Berechnung von neuem angestoßen wird.

1.4 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit teilt sich in sechs Abschnitte (s. Abbildung 1). Als Einführung in die Gießereiindustrie werden die wichtigsten Kennzahlen vorgestellt, sowie der wirtschaftliche Kontext (Rohstoff- und Energiepreisentwicklung) in der sie sich befindet erläutert (Kapitel 2).

Zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage werden zuerst alle Umweltkostenrechnungssysteme vorgestellt (Kapitel 3) und gezeigt wie sich die Materialflusskostenrechnung nach der ISO NORM 14051 als Erweiterung der Flusskostenrechnung entwickelte. Aufbauend darauf wird der aktuelle Stand der Forschung bezüglich der existierenden Erweiterungen zur Materialflusskostenrechnung abseits der ISO NORM 14051 ermittelt (Kapitel 4). Der theoretische Teil der Arbeit ist die Basis für die praktische Umsetzung der Berechnung.

¹³ Vgl. ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 16

Um die zweite und dritte Forschungsfrage zu beantworten wird als erster Schritt der Ist-Zustand des Unternehmens modelliert. Die identifizierten Stoffströme werden quantifiziert und monetär bewertet. Anhand der Visualisierung und exakten Berechnung der Kosten für die Material- und Energieverluste werden Einsparpotenziale aufgedeckt. Das Ergebnis dieser Arbeit dient als Entscheidungsunterstützung für Maßnahmen zur Steigerung der Ökoeffizienz. Sie ermöglicht die Identifikation der größten Verlustkosten und zeigt mithilfe der erstellten Szenarienrechnungen auf, welche Auswirkung eine Verminderung der Verluste auf das Materialflusssystem hat (Kapitel 5). Den Abschluss bildet eine Diskussion und kritische Betrachtung der Ergebnisse (Kapitel 6).

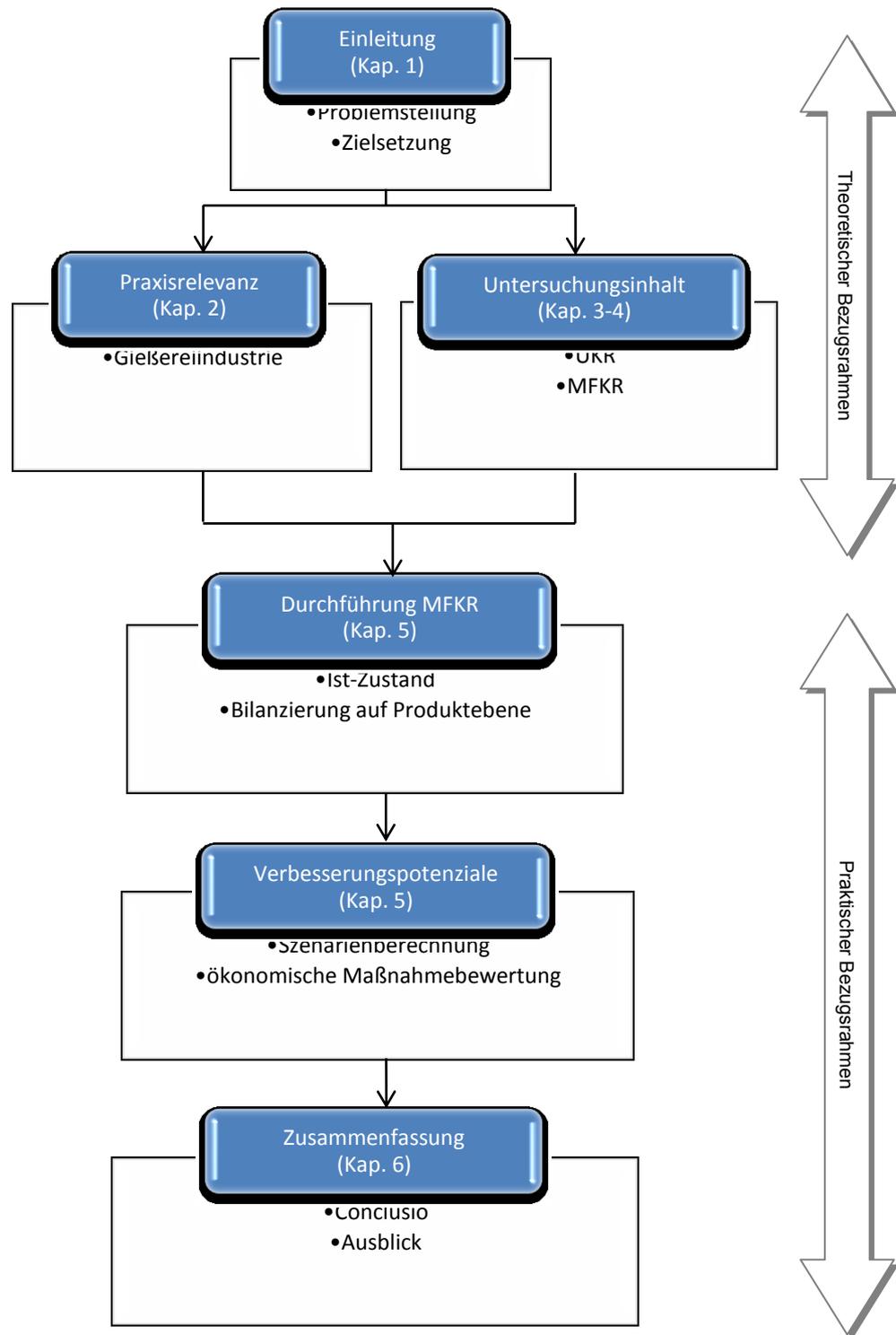


Abbildung 1: Aufbau dieser Arbeit

2 Vorstellung der Gießereiindustrie

In diesem Abschnitt werden kurz der Kontext, in dem sich die österreichische Gießereiindustrie befindet sowie die aktuellen Rohstoff- und Energiepreisentwicklungen gezeigt.

Die Gießereiindustrie umfasst 40 Unternehmen, die in Summe einen Umsatz von über 1,41 Mrd. € erwirtschaften. Die Gießerei-Industrie wird zu 50 % von klein- und mittelgroßen Betrieben geprägt, welche weniger als 100 Angestellte/Arbeiter beschäftigen. Insgesamt hat die Branche 7.381 Mitarbeiter, wovon 395 Lehrlinge sich in Ausbildung befinden. Die Gießereiindustrie ist mit volatilen Rohstoffmärkten^{14,15} konfrontiert. Ihre Schwankungen sind in der Abbildung 2 veranschaulicht, welche die Rohstoffpreisentwicklung von 2007 bis 2014 zeigt. Der Preis für den Kupolofenschrott hatte 2008 seine Spitze und ist derzeit leicht im Sinken. Im Gegenzug ist der Preis für Gießerei-Roheisen stark angestiegen und beträgt derzeit knapp unter 400 €/t. Gießkoks liegt nach einem starken Anstieg 2008, gefolgt von einem starken Abfall im Jahr 2009, bei rd. 300 €/t.

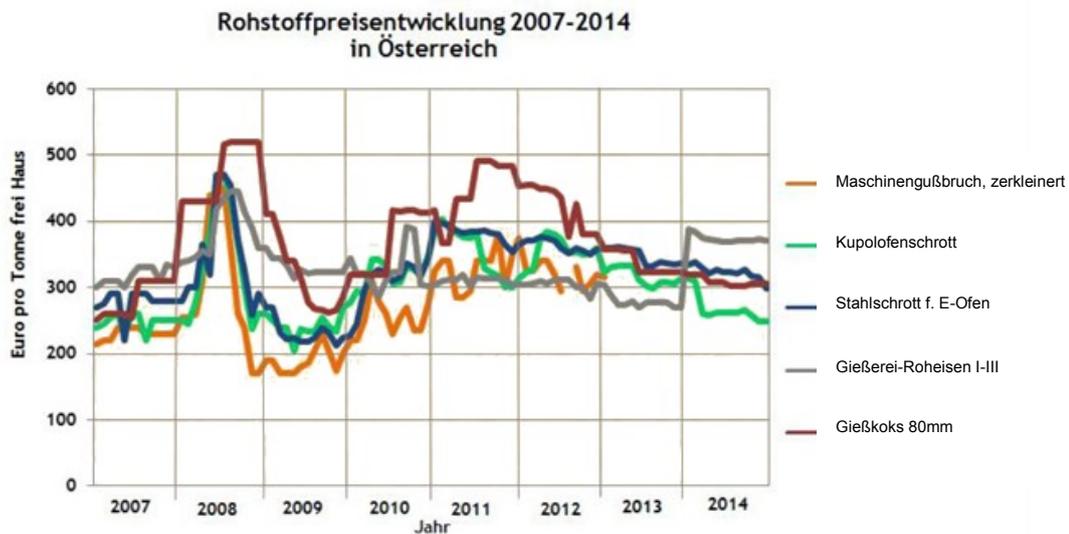


Abbildung 2: Rohstoffpreisentwicklung¹⁶

Nach Angaben der Österreichischen Energieagentur ist der EPI im Vergleich zum Vorjahr um 2 % gesunken. Der Strompreis ist nahezu unverändert auf demselben Stand wie 2013.¹⁷ Um jedoch die Änderungen der Energiepreise beurteilen zu können muss ein längerer Zeitraum betrachtet werden. Das statistische Bundesamt in Deutschland veröffentlichte im Oktober 2015 die Entwicklung der Energiepreise seit

¹⁴ Vgl. Industriellen Vereinigung (2012), S. 9

¹⁵ Vgl. Fachverband der Gießereiindustrie (2014), S. 24

¹⁶ Quelle: Fachverband der Gießereiindustrie (2014), S. 24

¹⁷ Vgl. Österreichische Energieagentur (2014), S. S. 1 ff.

01/2000 bis 09/2015. In Abbildung 3 sind die Entwicklungen der verschiedenen Indizes für Erdgas (Einfuhrpreisindex Erdgas, Erzeugerpreisindex leichtes Heizöl, Erzeugerpreisindex Erdgas bei Abgabe an die Industrie und Verbraucherpreise Erdgas) gezeigt.

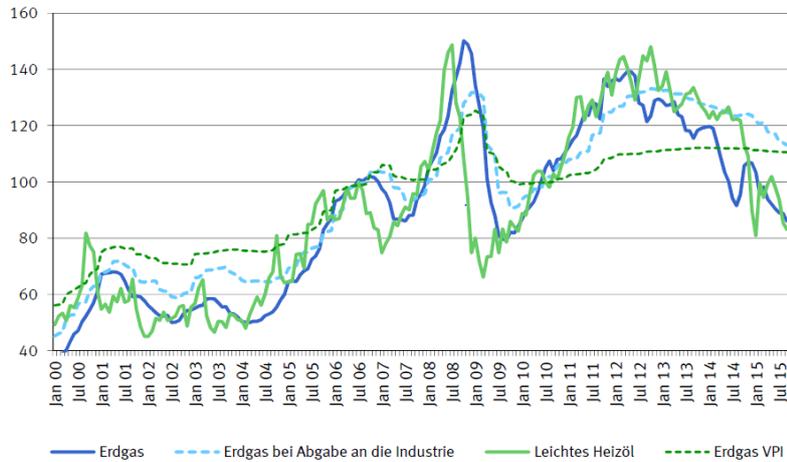


Abbildung 3: Entwicklung Erdgasindex¹⁸

Die jeweiligen Indizes haben ihr bisheriges Maximum 2008/2009 erreicht und sind derzeit im Sinken begriffen, aber liegen dennoch deutlich höher als zu Beginn des Beobachtungszeitraums. Für die Entwicklung der Strompreisindizes ist die Steigung noch deutlicher zu sehen (vgl. Abbildung 4).

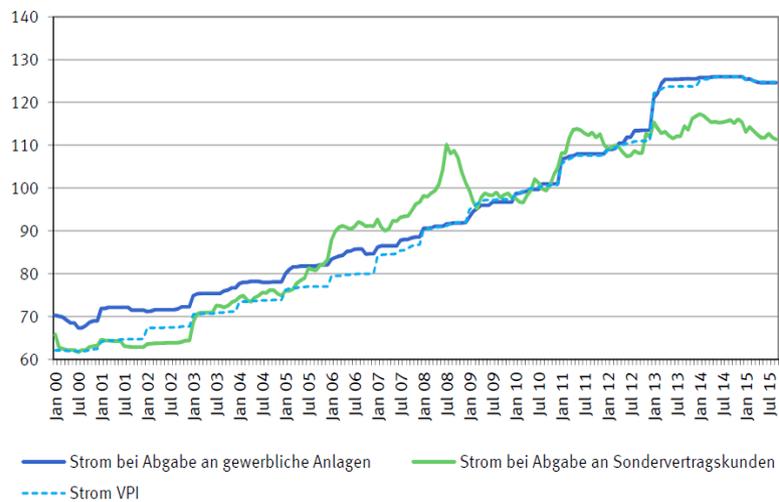


Abbildung 4: Entwicklung Stromindex¹⁹

Der Stromindex für gewerbliche Anlagen hat sich von 2000-2013 um rund 80% erhöht.

¹⁸ Quelle: Statistisches Bundesamt Deutschland (2015), S. 14

¹⁹ Quelle: Statistisches Bundesamt Deutschland (2015), S. 15

3 Umweltkostenrechnung

Zu Beginn dieses Kapitels wird geklärt, warum sich die Umweltkostenrechnung entwickelt hat und welche unterschiedlichen Ansätze es gibt. Des Weiteren werden diese Ansätze vorgestellt, wobei besonders auf die Flusskostenrechnung, die als Vorläufer der Materialflusskostenrechnung zu sehen ist, eingegangen wird.²⁰

3.1 Rolle der Umweltkostenrechnung

Bedingt durch steigende Umweltschutzkosten gab es bereits in den 70er Jahren erste Ansätze zur Durchführung einer Umweltkostenrechnung, wobei sich diese damals auf die Ermittlung der Kosten des end-of-pipe²¹ Umweltschutzes beschränkte und als Sonderrechnung durchgeführt wurde. Eine Integration der Berechnungen in die laufende Kostenermittlung fand nicht statt.²² Erst in den 90er Jahren begannen erste Versuche, die Umweltkostenrechnung in die bestehenden Kostenrechnungssysteme einzubeziehen. Gründe für das wachsende Interesse an einer Umweltkostenrechnung werden im:²³

- Anstieg der betrieblichen Umweltschutzkosten seit den 70er Jahren,
- im steigenden Kosten- und Wettbewerbsdruck und in
- der Erfahrung der Unternehmen, dass mit Umweltschutz Kosten gesenkt werden können

gesehen.

Um den Anstieg der betrieblichen Umweltschutzkosten in der heutigen Zeit besser zu veranschaulichen, wurden die Daten für die laufenden Aufwendungen von produzierenden Unternehmen in Deutschland²⁴ im Zeitraum 2001-2010 ausgewertet und in Abbildung 5 dargestellt²⁵

²⁰ Vgl. Fachverband der Gießereiindustrie (2014), S. S. 14 ff.

²¹ End-of-pipe Umweltschutz: Umweltbelastung wird durch nachgeschaltete Maßnahmen vermindert (z.B. Einbau eines Filters). Der Produktionsprozess selbst wird nicht geändert.

²² Vgl. Fichter et al. (1997), S. 1

²³ Vgl. Fichter et al. (1997), S. 1

²⁴ Die Auswertung der Daten der deutschen Industrie hat den Grund, dass viele der hier vorgestellten Umweltkostenrechnungsansätze in Deutschland ihren Ursprung haben. Die Gründe für das Vorantreiben der Umweltkostenrechnung müssen daher auch hier gesucht werden.

²⁵ Die Fachserie, herausgegeben vom deutschen statistischen Bundesamt, erschien bis 2004 jährlich, ab 2006 nur noch alle drei Jahre

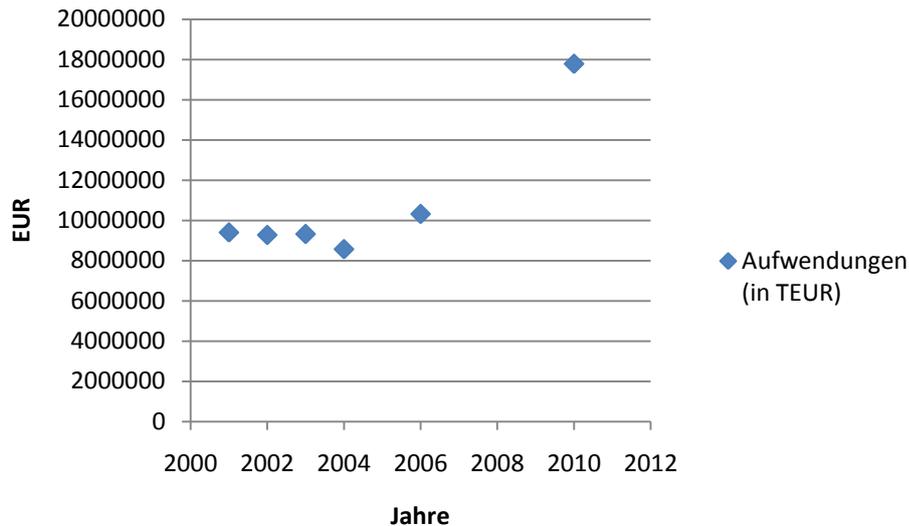


Abbildung 5: Laufende Aufwendungen im Produzierenden Gewerbe²⁶

Die Erfahrung, dass Umweltschutz Kosten senkt, ist deshalb interessant, weil im Generellen die Annahme herrscht, dass Umweltschutz vor allem eines bedeutet: mehr Kosten. Wenn berücksichtigt wird, dass 5 - 15% der Gesamtkosten in einem Industrieunternehmen als Abwasser, Abfall oder Abluft „endet“, so kann dies tatsächlich den Schluss zulassen, dass erhebliche Einsparungen mit Umweltschutzmaßnahmen möglich sind.²⁷ Als Beispiel sei hier die KUNERT AG angeführt, die bereits seit den 70er Jahren Umweltschutz im Unternehmen betreibt und die Einsparungen pro Jahr mit bis zu 2 Mio. DM (umgerechnet rd. 1,02 Mio. EUR) beziffert. Möglich war dies, nach eigenen Angaben, durch die Beseitigung des „unnötigen Ressourcenverbrauchs“.²⁸ Aus diesen vermeintlichen Widersprüchen lassen sich die Aufgaben der Umweltkostenrechnung ableiten:

- **Höhe der Umweltkosten ermitteln:** damit soll die Transparenz der Umweltschutzkosten erhöht werden, um sie besser zu planen, überwachen und steuern zu können. Die ermittelten Umweltkosten sollen verursachungsgerecht weiterverrechnet werden, um jene Produkte zu identifizieren, die hohe Umweltkosten verursachen.²⁹ Einige Unternehmen nutzen die Umweltkostenrechnung, um ihre Kunden öffentlichkeitswirksam auf ihre Umweltschutzleistungen aufmerksam zu machen bzw. sind sie von Gesetzes wegen verpflichtet, die Umweltschutzkosten zu ermitteln und an die Behörden zu melden.³⁰
- **Einsparpotenzial aufdecken:** jenes Umweltschutzprojekt, bei dem die größte Kosteneinsparung erwartet wird, wird am schnellsten umgesetzt. Die Bewertung von Einzelmaßnahmen, die zu Einsparungen führen und die Umwelt schützen, müssen von der Umweltkostenrechnung identifiziert werden, um so Informationen für Entscheidungen bereit zu stellen.³¹

²⁶ Vgl. Statistisches Bundesamt (2001-2010), S. 6

²⁷ Vgl. Fischer et al. (1997), S. 1

²⁸ Fischer et al. (1997), S. IX

²⁹ Vgl. Loew et al. (2003), S. 20

³⁰ Vgl. Bundesumweltministerium und Umweltbundesamt (2001), S. 505

³¹ Vgl. Bundesumweltministerium und Umweltbundesamt (2001), S. 505 f.

3.2 Ansätze der Umweltkostenrechnung

Im Zuge der Literaturrecherche hat sich gezeigt, dass zu dem Begriff „Umweltkosten“ keine eindeutige Definition vorhanden ist. Umweltkosten sind „ein Sammelbegriff für verschiedene Kosten, die im Zusammenhang mit Umweltmanagement, Umweltschutzmaßnahmen und Umweltauswirkungen ermittelt werden.“³² Sie leiten sich aus den unterschiedlichen Kostenrechnungskonzepten, Anwendungsbereichen und Zielsetzungen ab.³³ In dieser Arbeit wird die Definition des deutschen Bundesumweltamts verwendet.³⁴

- Umweltschutzkosten sind jene Kosten die „für Umweltschutzanlagen und Maßnahmen, mit denen negative Umweltauswirkungen vermieden, verringert, beseitigt, überwacht oder dokumentiert werden sollen“ anfallen.
- Umweltkosten: entstehen durch die tatsächliche Belastung der Umwelt. Unter ihnen werden die bewerteten Verbräuche von Gütern der Umwelt (z.B.: der Verbrauch an nichtnachwachsenden Rohstoffen) und die bewerteten Schäden an der Umwelt (Schäden an Ökosystemen, Gesundheitsschäden, Gebäudeschäden usw.) verstanden.

Wie in Abbildung 6 ersichtlich, wird bei den Umwelt- und Umweltschutzkosten aber unterschieden in interne und externe Kosten. Die Umweltschutzkosten werden von den Unternehmen getragen, sie sind interne Kosten.

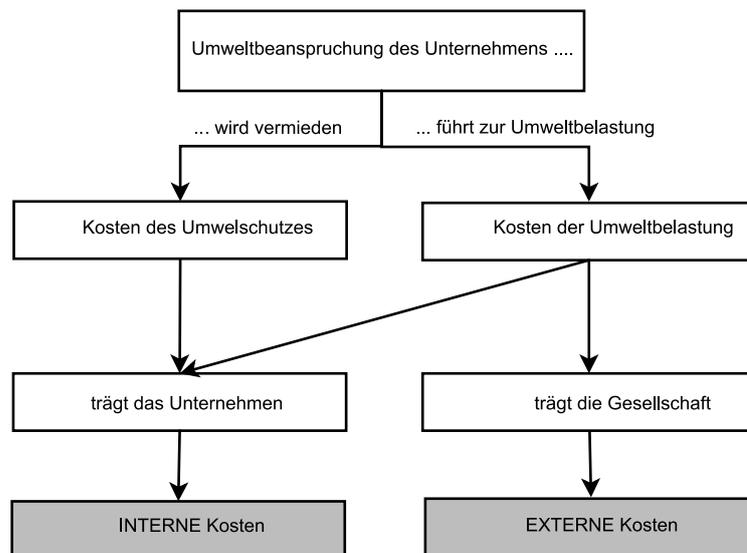


Abbildung 6: Umweltkosten³⁵

Bei den Kosten, die durch die Umweltbelastung entstehen, wird in interne und externe Kosten unterschieden. Durch Umweltabgaben oder das Haftungsrecht kommt es zu einer teilweisen Internalisierung der Umweltkosten.³⁶ Die Internalisierung beschreibt den Vorgang, dass (externe) Kosten für die Umweltbeanspruchung durch Maßnahmen

³² Loew et al. (2003), S. 181

³³ Vgl. Loew et al. (2003), S. 181

³⁴ Vgl. Umweltbundesamt (2003), S. 7

³⁵ Quelle: Schreiner (1996), S. 253

³⁶ Vgl. Loew et al. (2003), S. 178

des Staates, beispielweise durch Abwasserabgaben, einzelwirtschaftlich im Unternehmen wirksam gemacht werden.³⁷ Externe Kosten sind Kosten der Schäden an der Umwelt (außerhalb des Betriebes) aus der Tätigkeit von Unternehmen, welche jedoch nicht von den Unternehmen getragen werden. Die wirtschaftliche Belastung, die aus der unternehmerischen Tätigkeit entsteht, wird der Gesellschaft übertragen.³⁸

Unter der Umweltkostenrechnung wird viel mehr ein: „Sammelbegriff für verschiedene Methoden, Ansätze und Verfahren Umweltkosten zu ermitteln und für unternehmensinterne oder externe Zwecke auszuweisen“³⁹ verstanden. Die Vielzahl der Umweltkostenrechnungssysteme kann wie in der Abbildung 7 vorgestellten Gliederung, welche auf der Kategorisierung von Burschel et al. basiert, gruppiert werden.

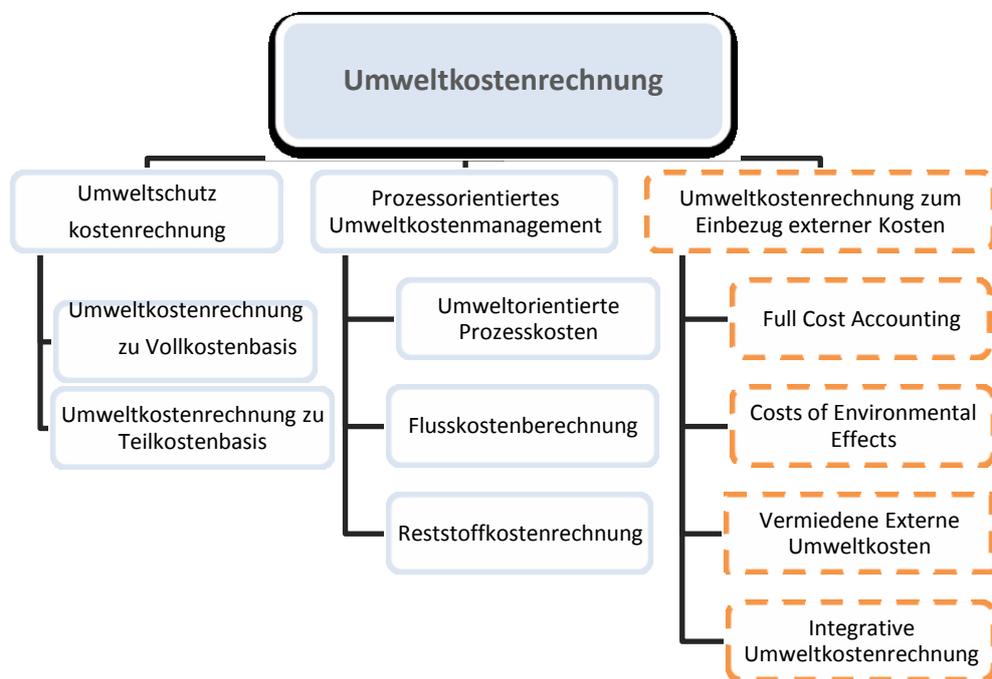


Abbildung 7: Überblick Umweltkostenrechnungssysteme⁴⁰

Das Ziel der Umweltschutzkostenrechnung ist die klare Abgrenzung der Umweltschutzkosten von den Gesamtkosten. Um dies zu bewerkstelligen, werden umweltorientierte Kosten von den nicht umweltorientierten Kosten getrennt betrachtet und analysiert. Die Umweltschutzkostenrechnung dient auch der externen Kommunikation, beispielsweise der Kommunikation der laufenden Aufwendungen für Umweltschutzmaßnahmen an das Umweltstatistikamt oder der Ermittlung der Kosten für nachgelagerte Umweltschutzaktivitäten.⁴¹ Bei dem Ansatz des prozessorientierten Umweltkostenmanagements steht die Optimierung der betrieblichen Material- und

³⁷ Vgl. Schreiner (1996), S. 329

³⁸ Vgl. Schreiner (1996), S. 255

³⁹ Loew et al. (2003), S. 181

⁴⁰ Quelle: Burschel et al. (2004), S. 462

⁴¹ Vgl. Loew et al. (2003), S. 3 f.

Energieflüsse im Zentrum der Betrachtung. Ausgehend von knappen Ressourcen und hohem Wettbewerbsdruck entwickelte sich dieser Ansatz, dessen Grundlage die Betrachtung der physikalischen Stoffströme ist. Mithilfe der Stoffströme können die Kosten dann verursachungsgerecht dem Kostenträger zugerechnet werden.⁴² Die dritte Kategorie versucht die entstandenen externen Kosten zu berücksichtigen. Externe Kosten entstehen durch die Umweltbelastung aus der unternehmerischen Tätigkeit und werden von der Gesellschaft getragen. Ansätze, die externe Kosten in ihrer Berechnung berücksichtigen, haben das Ziel, zukünftige Investitionstätigkeiten abzusichern. Des Weiteren wird diese Rechnung zu Marketingzwecken verwendet, um beispielsweise ein neues umweltschonenderes Produkt zu bewerben.⁴³ Nach Fischer et al. sind Kostenrechnungsansätze, die die Berücksichtigung externer Kosten verlangen, derzeit in der Praxis nicht relevant, da Unternehmen nur in Ausnahmefällen die verursachten Belastungen wiedergutmachen müssen.⁴⁴

Umweltkostenrechnung auf Vollkostenbasis

Bei der Vollkostenrechnung werden alle Kosten eines Unternehmens erfasst, es kommt zu keiner weiteren Unterscheidung in beschäftigungsabhängig bzw. –unabhängig.⁴⁵ Die Umweltschutzkosten können in das betriebliche Kostenrechnungssystem mit einbezogen werden, indem separate Umweltschutzkostenarten und –stellen gebildet werden. Die Kostenarten bzw. -stellen werden dabei aufgespalten in umweltschutzbezogene und umweltschutzunabhängige Anteile. So ist es möglich, die Umweltschutzkosten verursachungsgerecht auf die Kostenträger zu verrechnen und ermöglicht damit eine Verbesserung der umweltorientierten Kostenkontrolle und –verrechnung.⁴⁶

Bei der Bildung der Kostenstellen unterscheidet Rentz zwischen den folgenden Fällen:⁴⁷

- Reine Umweltschutzkostenstellen z.B.: Wasseraufbereitungsanlagen
- Gemischte Kostenstellen: diese enthalten Kostenanteile für Umweltschutzmaßnahmen und Anteile für die Produktion etc. Gemischte Kostenstellen sind der häufigste Fall.
- Reine Kostenstellen: z.B. Produktion

Ebenso werden die Kostenarten um „Umweltschutzkostenarten“ ergänzt, wenn eine eindeutige Abgrenzung sichergestellt werden kann. Ein Beispiel für eine Umweltschutzkostenart sind Personalkosten für den Betrieb einer Umweltschutzanlage.⁴⁸

⁴² Vgl. Burschel et al. (2004), S. 492

⁴³ Vgl. Loew et al. (2003), S. 4

⁴⁴ Vgl. Fischer et al. (1997), S. 14 f.

⁴⁵ Vgl. Coenenberg et al. (2012), S. 71

⁴⁶ Vgl. Haasis (1992), S. 119

⁴⁷ Vgl. Rentz (1979), S. 80 f.

⁴⁸ Vgl. Haasis (1992), S. 120

Der Ablauf bei der Verrechnung der Umweltschutzkosten erfolgt in den in Abbildung 8 dargestellten Schritten:⁴⁹

1. Reine Umweltschutzkostenstelle. Kosten, die einer reinen Umweltschutzkostenstelle zugerechnet werden können, sind selbst reine Umweltschutzkosten
2. Gemischte Kostenstellen enthalten neben Kostenanteilen für Umweltschutzmaßnahmen auch andere Kostenanteile, wie z.B. Kosten für die Produktion und müssen daher aufgeteilt werden.
3. Bei Aufträgen wird unterschieden, ob sie für den Markt oder als Innenleistung erstellt werden. Wenn der Auftrag für den Markt bestimmt ist, entfällt die Aussonderung des Umweltschutzkostenanteils. Ist der Auftrag eine Innenleistung, so werden sie auf eine „zeitlich befristete [-] Pseudo-Kostenstellen“⁵⁰ verrechnet, welche ebenfalls rein bzw. gemischt sein können
4. Umweltschutzkosten, die nicht auf Kostenstellen verrechnet werden oder verrechenbar sind, werden auf gesonderten Abrechnungseinheiten gesammelt (z.B. Kosten für Immissionsmessungen)
5. Neutrale Aufwendungen, die nicht einer Kostenart angehören, werden ebenfalls in einer gesonderten Abrechnungseinheit gesammelt

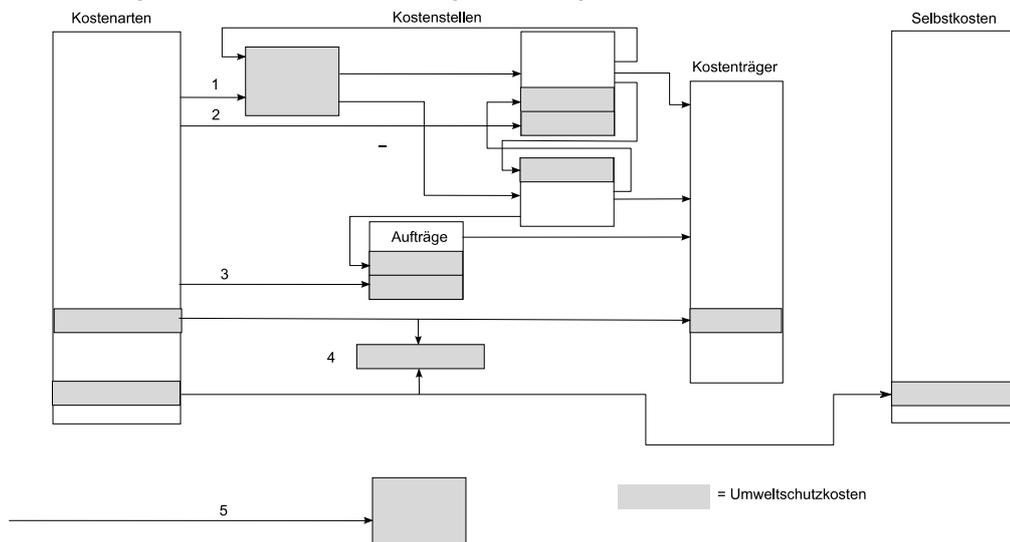


Abbildung 8: Erfassung und Verrechnung von Umweltschutzkosten⁵¹

Loew et al. raten jedoch wegen des hohen Aufwands davon ab, die Kostenartenrechnung um die Umweltschutzkostenarten zu erweitern. Sie empfehlen zur Vereinfachung nur die Kostenstellengliederung entsprechend anzupassen.⁵²

Vorteile der Vollkostenrechnung

- Die Bildung von speziellen Umweltkostenstellen macht es nötig, geeignete Bezugsgrößen für die Weiterverrechnung zu suchen. Damit wird eine verbesserte Zuordnung der angefallenen Umweltschutzkosten gewährleistet.⁵³

⁴⁹ Vgl. Rentz (1979), S. 82 ff.

⁵⁰ Rentz (1979), S. 85

⁵¹ Quelle: Rentz (1979), S. 8

⁵² Vgl. Loew et al. (2003), S. 5

⁵³ Vgl. Fichter et al. (1997), S. 47

- Durch die Aufspaltung der Kostenarten- und stellen in umweltschutzbezogene bzw. unabhängige Anteile wird die Kostenkontrolle für die Abteilungen und Produkte verbessert.⁵⁴
- Es können umweltbezogene Kennzahlen ermittelt werden.⁵⁵
- Da der Anteil an umweltschutzbedingten Kosten an einem Produkt transparent wird,⁵⁶ können vermehrt Einsparungspotenziale gesucht werden.⁵⁷

Nachteile der Vollkostenrechnung

- Umweltauflagen werden als Kostentreiber gesehen⁵⁸
- Dadurch kann es zu einer Verringerung der Umweltschutzbemühungen kommen gleichzeitig wird die Sicht darauf verstellt, dass Umweltschutz zur Senkung von Kosten führen kann.⁵⁹
- Durch den Fixkostencharakter der Umweltschutzkosten kommt es bei Beschäftigungsschwankungen zu einer starken Belastung der Gesamtkosten mit umweltschutzinduzierten Kosten.⁶⁰
- Die Kosten für den unterlassenen Umweltschutz werden nicht ermittelt.⁶¹
- Eine sachliche Abgrenzung der Kosten wird in der Literatur als schwierig angesehen⁶²
- Der Fokus bei der Umweltkostenrechnung auf Vollkostenbasis liegt auf dem nachsorgenden Umweltschutz, der Nutzen des integrierten Umweltschutzes wird unterbewertet.⁶³

Umweltkostenrechnung auf Teilkostenbasis

Der Unterschied zur bereits vorgestellten Umweltkostenrechnung ist die Wahl des Kostenrechnungssystems. Durch die Verrechnung der Umweltkostenrechnung auf Basis der Teilkosten werden die Nachteile der Vollkostenrechnung, nämlich das gemeinsame Verrechnen von fixen und beschäftigungsvariablen Kosten, vermieden.⁶⁴ Ausgangspunkt der Umweltkostenrechnung auf Teilkostenbasis ist die bereits vorhandene Kostenrechnung. Innerhalb dieser werden die Umweltschutzkosten getrennt als Kostenarten erfasst, in den Kostenstellen verrechnet und den Kostenträgern zugerechnet.

Roth schlägt die Trennung der Kosten in:⁶⁵

- beschäftigungsabhängige prozessbedingte
- beschäftigungsabhängige umweltschutzbedingte
- beschäftigungsfixe prozessbedingte

⁵⁴ Vgl. Haasis (1992), S. 119

⁵⁵ Vgl. Burschel et al. (2004), S. 474

⁵⁶ Vgl. Haasis (1992), S. 122

⁵⁷ Vgl. Fichter et al. (1997), S. 47

⁵⁸ Vgl. Burschel et al. (2004), S. 474

⁵⁹ Vgl. Fichter et al. (1997), S. 47

⁶⁰ Vgl. Burschel et al. (2004), S. 474

⁶¹ Vgl. Fichter et al. (1997), S. 48

⁶² Vgl. Burschel et al. (2004), S. 474

⁶³ Vgl. Fichter et al. (1997), S. 47

⁶⁴ Vgl. Fichter et al. (1997), S. 51

⁶⁵ Vgl. Roth (1992), S. 112

- beschäftigungsfixe umweltschutzbedingte vor.

In der Teilkostenrechnung werden nur die variablen Kosten auf die Kostenstellen und –träger weiterverrechnet. Die Kostenstellengliederung erfolgt nach denselben Prinzipien wie in der Vollkostenrechnung. Auch hier werden die Kostenstellen in drei Gruppen unterschieden: Kostenstellen, die keine Umweltschutzfunktion ausüben, gemischte Kostenstellen und Kostenstellen die ausschließlich Umweltschutzfunktionen erfüllen.⁶⁶

Burschel et al. sehen die Umweltschutzkosten als größtenteils fixe Kosten an, die in der Teilkostenträgerrechnung keine Berücksichtigung finden. Nur ein kleiner Teil der Umweltschutzkosten findet daher Eingang in die Produktkalkulation und damit hat die Umweltschutzkostenrechnung auf Teilkostenbasis aus kurzfristiger Sicht gesehen nur eine geringe Bedeutung.⁶⁷ Bei der einstufigen Deckungsbeitragsrechnung werden die Fixkosten in einem Block von den Erlösen abgezogen. Da die Umweltschutzkosten vor allem Fixkosten sind und daher in einer Summe von dem Betriebsergebnis abgezogen werden, kommt es zu keiner erhöhten Kostentransparenz.⁶⁸ Bei der mehrstufigen Deckungsbeitragsrechnung hingegen ist es möglich, die Umweltschutzkosten verschiedenen Bereichen, Produktgruppen oder Produkten zuzuordnen. Die Umweltschutzkosten werden dann Stufe für Stufe dem Betriebsergebnis verrechnet und die Transparenz dadurch erhöht.⁶⁹

Die **Vorteile** der Umweltkostenrechnung auf Teilkostenbasis sind dieselben wie die der Vollkostenrechnung. Hinzu kommt, dass es durch die mehrstufige Deckungsbeitragsrechnung zu einer differenzierteren Betrachtung der Umweltkosten und –erlöse kommt.⁷⁰ Die **Nachteile** sind:⁷¹

- Die Aufspaltung in umweltschutzbedingt und nicht-umweltschutzbedingte Kosten ist schwierig, weil keine Kriterien für die Trennung genannt werden.
- Für die mehrstufige Deckungsbeitragsrechnung gilt, dass die Trennung in produktfixe Kosten, produktgruppenfixe Kosten etc. sehr aufwändig ist.
- Es wird die Praktikabilität des Ansatzes bezweifelt.

Außerdem kritisieren Fichter et al. die generelle Problematik der Teilkostenrechnung: durch die Fokussierung auf die variablen Kosten, wird vernachlässigt, dass auch die Fixkosten auf lange Sicht beeinflusst werden können.⁷²

Umweltorientierte Prozesskosten

⁶⁶ Vgl. Roth (1992), S. 119

⁶⁷ Vgl. Burschel et al. (2004), S. 475

⁶⁸ Vgl. Burschel et al. (2004), S. 475

⁶⁹ Vgl. Burschel et al. (2004), S. 475

⁷⁰ Vgl. Fichter et al. (1997), S. 59

⁷¹ Vgl. Fichter et al. (1997), S. 59 f.

⁷² Vgl. Fichter et al. (1997), S. 60

Bei der klassischen Kostenrechnung werden die Gemeinkosten mithilfe eines Verrechnungsschlüssel auf die Kostenstelle und in Folge dann auf die Kostenträger umgelegt. Diese Proportionalisierung der Kosten wird in vielen Fällen kritisiert, da sie nicht dem Prinzip der verursachungsgerechten Zurechnung entspricht. Als Lösung für diese Problematik hat sich die Prozesskostenrechnung entwickelt, mit deren Hilfe die Gemeinkosten eines Unternehmens zuerst analysiert werden, um sie anschließend verursachungsgerecht dem Produkt zu zurechnen.

Für eine Prozesskostenrechnung wird zu Beginn eine Prozessanalyse durchgeführt. Bei dieser Analyse der Aktivitäten kommt es zu einer Unterscheidung in leistungsmengeninduziert (mengenvariabel) und leistungsmengenneutral (mengenfix). Für jeden leistungsmengeninduzierten Prozess muss ein Cost Driver, d.h. eine Maßgröße definiert werden.⁷³ In der Umweltkostenrechnung könnten Produkte, die Umweltkosten verursachen, Cost Driver sein.⁷⁴ Ein Cost Driver sollte in einem hohen proportionalen Zusammenhang mit dem Prozess stehen.⁷⁵ Zusätzlich ist es von Vorteil, wenn zwischen dem Cost Driver und dem Kostenträger eine Beziehung besteht, denn dann können die jeweiligen Prozesskostensätze dem Kostenträger verursachungsgerecht zugerechnet werden.⁷⁶ Einen großen Aufwand in der Prozesskostenrechnung stellt die Ermittlung der Mengenausprägung für die Cost Driver dar, weil diese Information in den Unternehmen meist nicht erfasst wurde.⁷⁷ Burschel et al. schlagen vor, die Prozessmenge mithilfe geeigneter Geräte festzustellen und führt den Abwasserzähler als Beispiel an. Der Prozesskostensatz selbst ist dann der Quotient aus den Prozesskosten und der Prozessmenge.⁷⁸ Er gibt Auskunft darüber, wie viele Prozesskosten für die Erstellung eines Produktes anfallen⁷⁹ und wird zur Kalkulation von Produkten verwendet.⁸⁰ Für jene Prozesse mit stark dispositivem Charakter, den sogenannten leistungsmengenneutralen Prozessen, kann ein solcher Cost Driver schwer ermittelt werden. Diese Kosten müssen weiterhin mit Hilfe von Verrechnungssätzen den Prozesskostenstellen und danach dem Produkt/der Dienstleistung zugerechnet werden.⁸¹

Vorteile der Prozesskostenrechnung liegen in:

- der Offenlegung, welcher Prozess Umweltschutzkosten verursacht⁸²
- der verursachungsgerechten Zurechnung mithilfe der gefunden Bezugsgrößen⁸³ (z.B.: Abwasser in m³)
- ihrer starken Handlungsorientierung⁸⁴

Die **Nachteile** des Prozesskostenansatzes in der Umweltkostenrechnung sind:

⁷³ Vgl. Jung (2007), S. 98

⁷⁴ Vgl. Burschel et al. (2004), S. 482

⁷⁵ Vgl. Jung (2007), S. 98

⁷⁶ Vgl. Götze (2004), S. 216

⁷⁷ Vgl. Weber; Schäffer (2000), S. 270

⁷⁸ Vgl. Burschel et al. (2004), S. 481

⁷⁹ Vgl. Fichter et al. (1997), S. 31

⁸⁰ Vgl. Götze (2004), S. 220

⁸¹ Vgl. Burschel et al. (2004), S. 482

⁸² Vgl. Burschel et al. (2004), S. 482

⁸³ Vgl. Fichter et al. (1997), S. 31

⁸⁴ Vgl. Burschel et al. (2004), S. 482

- Die Einführung einer Prozesskostenrechnung nur für die Umweltkostenrechnung ist nicht sinnvoll, da der Aufwand für die Prozesskostenrechnung zu hoch ist.⁸⁵
- Die Erfassung zukünftiger Umweltkosten, z.B. Sanierungskosten, können schwer abgeschätzt werden.⁸⁶

Flusskostenrechnung

Die Flusskostenrechnung hat das Ziel, die Transparenz der Stoffströme zu erhöhen. Den ermittelten Stoffströmen werden sämtliche Kosten, beginnend mit der Beschaffung, über die Bearbeitung und schlussendlich dem Verkauf/Abfall, zugeordnet. Die Flusskostenrechnung zählt zu den material- und energieflussorientierten Kostenrechnungssystemen und stellt laut Loew et al. den bisher am meisten ausgereiften Ansatz dar. Weil die traditionelle Kostenrechnung nicht in der Lage ist, die Stoffströme in ihrer Berechnung richtig darzustellen, bietet es sich bei großen Unternehmen mit einer hohen Materialvielfalt an, eine Flusskostenrechnung durchzuführen.⁸⁷ Im Unterschied zur Prozesskostenrechnung zielt die Flusskostenrechnung nicht auf eine Reduktion der Personalkosten ab, sondern auf die Reduzierung der Materialkosten.⁸⁸ Da sich die vorliegende Arbeit mit dem Materialflusskostenrechnungsansatz beschäftigt, welcher eine Weiterentwicklung der Flusskostenrechnung darstellt, werden der Flusskostenrechnung die Kapitel 3.2.1 bis 3.2.3 zur detaillierteren Abhandlung gewidmet.

Reststoffkostenrechnung

Das Ziel der Reststoffkostenrechnung ist es, die Reststoffe transparent zu bewerten und so Maßnahmen anzustoßen, um den Anteil an Reststoffen im Unternehmen zu verringern. Der hier vorgestellte Ansatz der Reststoffkostenrechnung bezieht sich auf das Kapitel „Umweltkostenrechnung“ herausgegeben vom BMU/UBA im Handbuch Umweltcontrolling 1995. In diesem Ansatz stellen Reststoffe das „Bindeglied zwischen Umweltschutz und Kosten“⁸⁹ her. Fallen Reststoffe im Produktionsprozess an, müssen sie erfasst, behandelt, gelagert und transportiert werden, um sie danach entweder wieder im Unternehmen einzusetzen oder zu entsorgen. Auch für die Entsorgung fallen Kosten an: für die Anschaffung von Abluftreinigungsanlagen, Abwasserbehandlungen oder Auffangwannen. Reststoffe verursachen demzufolge in jedem Fall gleich zweimal Kosten, zum ersten Mal in der „Produktion“ und zweiten Mal bei der Entsorgung.⁹⁰ Der Umweltkostenbegriff wird definiert, als „all jene Ausgaben, die wegfallen würden, wenn das Unternehmen keine Reststoffe mehr hätte.“⁹¹

Eine Kostensenkung kann durch drei Maßnahmen erreicht werden. Nämlich durch

- das Verringern der Reststoffmenge,

⁸⁵ Vgl. Loew et al. (2003), S. 32

⁸⁶ Vgl. Burschel et al. (2004), S. 482

⁸⁷ Vgl. Loew et al. (2003), S. 6

⁸⁸ Vgl. Strobel; Müller (2012), S. 147

⁸⁹ Bundesumweltministerium und Umweltbundesamt (1995), S. 439

⁹⁰ Vgl. Bundesumweltministerium und Umweltbundesamt (1995), S. 439 f.

⁹¹ Bundesumweltministerium und Umweltbundesamt (1995), S. 442

- das Verwenden von kostengünstigen Verfahren zur Reststoffentsorgung und
- die Reduktion von umweltbelastenden Inhalten von Reststoffen.

Alle drei Maßnahmen wirken, in unterschiedlichem Ausmaß, umweltentlastend.⁹² Die Umsetzung von Maßnahmen benötigt eine Transparenz der Kosten. Das BMU/UBA empfiehlt daher als ersten Schritt die Erfassung der Umweltkosten, bei der die Gesamtkosten in Umweltkosten, d.h. jenen Kosten, die sich proportional zu den Reststoffen verhalten, und in die anderen Kosten getrennt werden. Ein Teil der Kosten kann hierzu in einem ersten Schritt aus dem Betriebsabrechnungsbogen abgelesen werden. Im nächsten Schritt können weitere Umweltkosten aus der Anlagenbuchhaltung (Abschreibungen für End-of-Pipe Umweltschutzanlagen), oder aus der Lohn- und Gehaltsbuchhaltung (Personalkosten, die entfallen würden, wenn keine Abfälle mehr „produziert“ würden) ermittelt werden. Im letzten Schritt müssen jene Umweltkosten ermittelt werden, die nicht aus den betrieblichen Unterlagen abgeleitet werden können. Darunter fallen Kosten für den Ausschuss und Materialverluste und die damit verbundenen anteiligen Maschinen- und Personalkosten. Sie können durch zählen/messen ermittelt, oder müssen geschätzt/hochgerechnet werden.⁹³

Für die Kostenstellenrechnung sind transparente Stoffströme nötig, um die Zurechnung der Umweltkosten verursachungsgerecht vornehmen zu können. Die Verrechnung erfolgt auf Basis der erstellten Prozessbilanz, bei der die stofflichen und energetischen Inputs für den Produktionsprozess und die Outputs erfasst werden. Das BMU/UBA schlägt vor, dass sich die in der Prozessbilanz ermittelten Prozesseinheiten mit den Kostenstellen decken und somit die gleiche Bezugsbasis verwenden. Bei dieser Zuordnung sollen die Auswirkungen von vorgelagerten Entscheidungen auf den End-of-pipe Bereich besser abgeschätzt werden und so ein ganzheitliches, kostenstellenübergreifendes Denken im Unternehmens fördern. Bei der Kostenträgerrechnung werden die mit den Reststoffen variablen Umweltkosten den Kostenträgern zugeordnet. Die Zuordnung erfolgt „auf der Basis rudimentärer, auf den Betrieb bezogener Produktbilanzen“⁹⁴ und macht für das Management sofort jene Produkte transparent, die die höchsten Reststoffkosten verursachen.

Vorteile⁹⁵

- Umweltschutz wird hier nicht als Kostentreiber gesehen, sondern als Chance um Kosten zu senken.
- Die Annahme, dass weniger Reststoffe zu weniger Umweltbelastung führen, ist plausibel.
- Durch die Definition der Umweltkosten als jene Kosten die sich variabel zu den Reststoffen verhalten, fördert sie den integrierten Umweltschutz.
- Diese Definition der Umweltkosten ist zudem zweckmäßiger, als jene, bei der eine Unterscheidung der Kosten in „umweltschutzbedingt“ und andere Kosten erfolgen muss.

⁹² Vgl. Bundesumweltministerium und Umweltbundesamt (1995), S. 441

⁹³ Vgl. Bundesumweltministerium und Umweltbundesamt (1995), S. 443 ff.

⁹⁴ Vgl. Bundesumweltministerium und Umweltbundesamt (1995), S. 449

⁹⁵ Vgl. Fichter et al. (1997), S. 74

- Die Reststoffkostenrechnung liefert handlungsorientierte und entscheidungsorientierte Informationen.
- Der Ansatz wird in der Praxis verwendet.

Nachteile⁹⁶

- Die Reststoffkosten setzt eine hohe Transparenz der Material- und Energiestoffströme voraus, zusätzlich baut sie auf Produkt- und Prozessbilanzen auf. Die Schaffung dieser Grundlagen ist jedoch sehr aufwändig.
- Der Ansatz bietet keinen produktbezogenen Umweltschutz, die Lebensdauer und die damit verbundenen Lebenszykluskosten eines Produkts werden nicht betrachtet.
- Externe Umweltkosten werden nicht explizit behandelt.

Full Cost Accounting

Der Full Cost Accounting Ansatz wurde von der Ontario Hydro, einem kanadischen Energieversorgungsunternehmen, entwickelt und eingesetzt.⁹⁷ Im Zentrum dieses Ansatzes ist der Versuch, die externen Effekte der betrieblichen Tätigkeit zu monetarisieren und die Kosten in Form einer Sonderrechnung zu berücksichtigen. Die Monetarisierungskonzepte sind dabei gekennzeichnet von der „willingness to pay“⁹⁸ und der „willingness to sell“⁹⁹. Bei dem „willingness to pay“ - Ansatz wird ermittelt, welchen Betrag die (externen) Betroffenen bereit wären zu zahlen, um ihre Umweltsituation zu verbessern bzw. zu verhindern, dass die Umweltqualität sich verschlechtert. Beim zweiten Ansatz, dem „willingness to sell“, wird ermittelt, was den Betroffenen gezahlt werden müsste, damit sie eine Verschlechterung der Umweltbedingungen akzeptierten bzw. auf eine Verbesserung der Umweltbedingungen verzichteten.¹⁰⁰ Von Ontario wurden nicht alle externen Kosten als entscheidungsrelevant eingestuft, es wurden fünf Wirkungskategorien von Effekten (Sterblichkeit, Krankheit, Krebsfälle, Ernteausfälle, Gebäudeschäden) identifiziert und bewertet.¹⁰¹

Vorteile des Full Cost Accounting:

- Berücksichtigung der von einem Unternehmen verursachten Umweltauswirkung, interne sowie externe, und deren monetäre Bewertung.¹⁰²
- Mit dem Ansatz können Kosten, die derzeit zwar noch externe Kosten sind, in Zukunft aber internalisiert werden müssen, berücksichtigt werden.¹⁰³

Nachteile des Full Cost Accounting:

- Es ist unklar, inwieweit Ergebnisse der Berechnung die konkreten unternehmerischen Entscheidungen bei Ontario Hydro beeinflusst hat.¹⁰⁴

⁹⁶ Vgl. Fichter et al. (1997), S. 75

⁹⁷ Vgl. Fichter et al. (1997), S. 104 f.

⁹⁸ Fichter et al. (1997), S. 105

⁹⁹ Burschel et al. (2004), S. 495

¹⁰⁰ Vgl. Burschel et al. (2004), S. 495

¹⁰¹ Vgl. Loew et al. (2003), S. 149

¹⁰² Vgl. Fichter et al. (1997), S. 109

¹⁰³ Vgl. Loew et al. (2003), S. 149

- Der Full Cost Accounting Ansatz wird als Sonderrechnung durchgeführt – die betriebliche Kostenrechnung bleibt davon unberührt.¹⁰⁵
- Das Ausdrücken der externen Kosten in Geldeinheiten ist methodisch schwierig und umstritten.¹⁰⁶

Costs of Environmental Effects (CEE)

Der Unterschied zu den bisher vorgestellten Ansätzen ist, dass nicht eine interne Kosten- und Erlösrechnung erstellt wird, sondern dass interne wie externe Umweltschutzkosten in der Gewinn- und Verlustrechnung erfasst werden. Dieser einzigartige Ansatz wird seit den 90er Jahren von der Unternehmensberatungsfirma BSO/Origin durchgeführt. Das Ziel ist es, die externen Umweltschäden zu erfassen und zu bewerten.¹⁰⁷ Die Umweltkosten umfassen „die durch Vermeidung, Verminderung oder Kontrolle von Emissionen, Abwässern und die Deponierung von Rückständen“¹⁰⁸ entstandenen Kosten.

Die Berechnung der Wertschöpfung erfolgt in mehreren Schritten. Zuerst werden die Umweltkosten aufgrund der erfassten Energie- und Stoffflussströme ermittelt. Von diesen Kosten werden die getätigten Umweltschutzausgaben abgezogen. Die Differenz - der getätigte, aber nicht bezahlte Umweltverbrauch - wird anschließend in der gewöhnlichen Gewinn- und Verlustrechnung berücksichtigt.¹⁰⁹

Fichter et al. erkennt bei der Methode folgende Vorteile¹¹⁰:

- Es wird versucht, externe Kosten zu internalisieren
- Durch die Aufnahme der Umweltkosten in die gewöhnliche Gewinn- und Verlustrechnung wird versucht, die Wertschöpfung im Unternehmen festzustellen.
- Die Basis der Berechnung sind Stoff- und Energieströme eines Unternehmens
- Die Bewertung der Umweltkosten basiert auf Umweltzielen, die gesellschaftlich akzeptiert sind. In einem demokratischen Prozess wird festgelegt, wie hoch die maximale Umweltbelastung sein darf.
- Das Ergebnis der Berechnung fließt in die unternehmerische Entscheidungsfindung ein.
- Sie wird als Sonderrechnung durchgeführt und kann kurzfristig durchgeführt werden. Die betriebliche Kostenrechnung bleibt davon unberührt.

Nachteil der Methode ist, dass die Ermittlung der Kosten methodisch noch nicht sauber gelöst werden kann. Die Basis bilden zwar die Energie – und Stoffströme, es fehlen aber die Schadenskosten sowie Bestandskosten.¹¹¹

¹⁰⁴ Vgl. Fichter et al. (1997), S. 110

¹⁰⁵ Vgl. Burschel et al. (2004), S. 497

¹⁰⁶ Vgl. Fichter et al. (1997), S. 110

¹⁰⁷ Vgl. Fichter et al. (1997), S. 98

¹⁰⁸ Burschel et al. (2004), S. 497

¹⁰⁹ Vgl. Burschel et al. (2004), S. 98

¹¹⁰ Vgl. Fichter et al. (1997), S. 103 f.

Vermiedene externe Umweltkosten

Der Ansatz wurde von der Neumarkter Lammsbräu, die eine ökologische Unternehmens- und Produktpolitik betreibt, entwickelt. Die Rohstoffe für die Brauerei werden aus ökologischer Landwirtschaft gewonnen und verursachen dadurch geringere externe Kosten.¹¹² Die Vermeidung umweltschädigenden Verhaltens hat bei diesem Ansatz Vorrang gegenüber der Verminderung von Umweltschäden.¹¹³ Die Vermeidung der externen Kosten führt jedoch zu höheren Einstandspreisen. Um diese höheren Kosten an die Kunden „weiterzugeben“, wird eine transparente Kalkulation durchgeführt. In dieser Kalkulation wird der Produktpreis zuerst klassisch ermittelt, darauf aufgeschlagen werden jedoch die nunmehr internalisierten Kosten für die Vermeidung der Umweltschäden. Es ist dadurch möglich, den geleisteten Beitrag zum Umweltschutz an den Kunden zu kommunizieren und die höheren Verkaufspreise zu rechtfertigen.¹¹⁴ Dieser Ansatz dient damit einerseits der unternehmerischen Entscheidungsfindung, und andererseits als Werbe- und Kommunikationsmittel.¹¹⁵

Integrative Umweltkostenrechnung

Das Ziel ist es, umweltrelevante Entscheidungsfaktoren in die bestehende Kostenrechnung mit einzubeziehen.¹¹⁶

Es wird dabei unterschieden zwischen:¹¹⁷

- Integrierten Umweltschutzkosten: diese Kosten scheinen in der traditionellen Kostenrechnung auf und kommen dem Umweltschutz zugute (z.B. ökologische Rohstoffe)
- Integrierte Umweltbelastungskosten: werden ebenfalls in der traditionellen Kostenrechnung geführt (z.B.: Abwasser, Abfall...)
- Zusätzliche Umweltkosten: sind externe Kosten, die nicht in der traditionellen Kostenrechnung aufscheinen
- Zusätzliche Umweltleistungen: Externer Nutzen, der nicht in der traditionellen Kostenrechnung aufscheint

Die Integrierten Umweltschutz- und belastungskosten zählen zu den internen Selbstkosten. Davon werden die zusätzlichen Umweltleistungen abgezogen bzw. die zusätzlichen Umweltkosten hinzu addiert und ergeben damit die "ökologisch verantwortungsbewußten Selbstkosten".¹¹⁸ So können dem Kunden Preiserhöhungen durch Leistungen im Umweltschutz erklärt und eine gute Akzeptanz erreicht werden.¹¹⁹

¹¹¹ Vgl. Loew et al. (2003), S. 149

¹¹² Vgl. Burschel et al. (2004), S. 499 f.

¹¹³ Vgl. Loew et al. (2003), S. 150

¹¹⁴ Vgl. Burschel et al. (2004), S. 500

¹¹⁵ Vgl. Loew et al. (2003), S. 150

¹¹⁶ Vgl. Loew et al. (2003), S. 151

¹¹⁷ Vgl. Burschel et al. (2004), S. 504

¹¹⁸ Vgl. Burschel et al. (2004), S. 504 f.

¹¹⁹ Vgl. Loew et al. (2003), S. 151

3.2.1 Grundidee der Flusskostenrechnung

Bei der Flusskostenrechnung steht die Betrachtung der Material- und Energieflussbetrachtung im Zentrum, um die Flüsse möglich effizient zu gestalten. Die Wahl des Kostenrechnungssystems hat Einfluss darauf, welche Sicht auf die Kosten herrscht und in welchen Bereichen eine Kostensenkung versucht wird. Die Flusskostenrechnung versucht die Kosten und die Umweltbelastungen gleichermaßen zu senken. Die Grundlage der Flusskostenrechnung sind innerbetrieblichen Material- und Energieflüsse, die erforscht und mit Mengendaten verknüpft werden müssen.¹²⁰ Sie liefert damit handlungsorientierte Auswertungen und zeigt Kostensenkungspotenziale auf. Unter Flusskosten wird „jener bewertete sachzielbezogene Verzehr von Gütern und Diensten verstanden, der mit betrieblichen Stoff- und Energieflüssen bzw. einzelnen Stoffen und Energien verbunden ist.“¹²¹ Sie setzen sich zusammen aus:¹²²

- Input aus Material und Energie (z.B. Einkaufskosten)
- Interne Fließkosten (z.B. Lagerkosten)
- Outputausgaben (z.B.: Abfallgebühren)

Materialkosten

Jeder Fluss, interne Flüsse für Zwischenprodukte oder Flüsse für Abfall, werden mit den reinen Materialkosten und zusätzlich mit den Materialnebenkosten bewertet.¹²³

Bearbeitungskosten

Diese Kosten entstehen bei der Fertigung, der Verarbeitung, der Lagerung und dem innerbetrieblichen Transport. Sie beinhalten die dafür angefallenen Personalkosten, Miete, Abschreibungen und die übrigen Kosten. Kosten, die aus der Disposition, wie beispielweise der Produktionsplanung entstehen, werden ebenso den Bearbeitungskosten hinzugerechnet.¹²⁴

Entsorgungskosten

Erst wenn der Fluss die Firma verlässt, entstehen Entsorgungskosten. Sie können einen direkten Charakter haben, wenn ein proportionaler Zusammenhang mit der Flussmenge besteht, oder als indirekte Entsorgungskosten für den Transport oder die Verwaltung anfallen.¹²⁵

¹²⁰ Vgl. Bundesumweltministerium und Umweltbundesamt (2001), S. 523

¹²¹ Fichter et al. (1997), S. 77

¹²² Vgl. Fichter et al. (1997), S. 77

¹²³ Vgl. Bundesumweltministerium und Umweltbundesamt (2001), S. 524

¹²⁴ Vgl. Bundesumweltministerium und Umweltbundesamt (2001), S. 524

¹²⁵ Vgl. Bundesumweltministerium und Umweltbundesamt (2001), S. 524

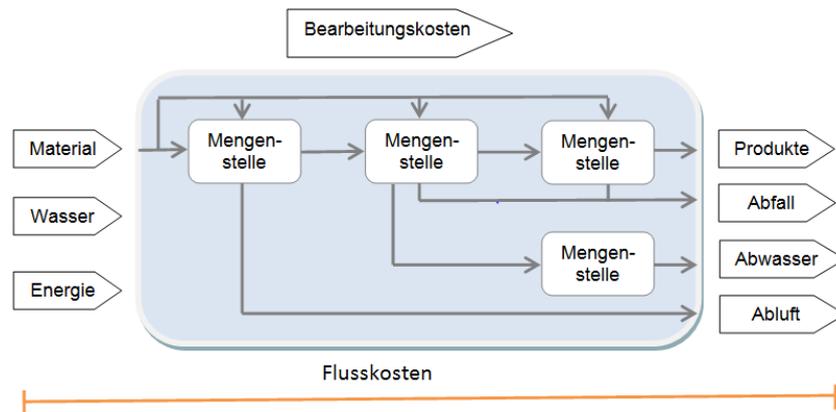


Abbildung 9: Flusskosten¹²⁶

Die Flusskostenrechnung erfasst alle mit den Flüssen verbundenen Kosten und rechnet sie verursachungsgerecht zu, trifft dabei aber keine Unterscheidung zwischen variablen und fixen Kosten. Sie kann daher als Vollkostenrechnungssystem eingeordnet werden.¹²⁷

Vorgehensweise bei der Einführung

Die Vorgehensweise bei der Einführung der Flusskostenrechnung wird vom BMU/UBA im Handbuch Umweltcontrolling erläutert – der folgende Abschnitt bezieht sich größtenteils auf diese Abhandlung:¹²⁸

Als Grundlage für die Berechnung der innerbetrieblichen Energie- und Materialflüsse wird ein Flussmodell erstellt. Ein Flussmodell besteht aus Mengenstellen und gerichteten Flüssen. Als Mengenstellen werden räumliche Einheiten, an denen das Material bearbeitet oder gelagert werden, bezeichnet. Eine Mengenstelle kann beispielsweise eine Produktionsmaschine oder eine Filteranlage symbolisieren. Die Mengenstellen werden über Flüsse verbunden. Um die Komplexität möglichst gering zu halten, werden zu Beginn nur die wichtigsten Mengenstellen ausgewählt und der Material –und der Energiefluss vom Eintritt in das System, über die Mengenstellen hinweg bis zum Austritt beobachtet und eingetragen.

Um ein bereichsübergreifendes Denken beim Erfassen der Zusammenhänge zu erreichen, wird empfohlen, für die Erstellung des Flussmodells ein Team bestehend aus unterschiedlichen Bereichen (z.B. Produktion, Umwelt- und Qualitätsmanagement etc.) einzusetzen.

Das Erstellen des Flussmodells beinhaltet folgende Schritte:¹²⁹

1. Systemgrenzen festlegen
2. Mengenstellen festlegen

¹²⁶ Quelle: Bundesumweltministerium und Umweltbundesamt (2001), S. 524

¹²⁷ Vgl. Fichter et al. (1997), S. 79

¹²⁸ Bundesumweltministerium und Umweltbundesamt (2001), S. 527 ff.

¹²⁹ Vgl. Bundesumweltministerium und Umweltbundesamt (2001), S. 529

3. Material – und Energieströme analysieren
4. Flussmodell erstellen und dokumentieren

Die Systemgrenzen definieren den Beobachtungsraum für die Modellierung. Das Ziehen der Grenzen richtet sich nach der Zielsetzung und Aufgabenstellung. Üblicherweise wird der Standort als Systemgrenze gewählt, innerhalb des Standorts kann eine Eingrenzung auf die Produktion, ohne Verwaltung, Eingangs- und Ausgangslager, erfolgen. Alternativ dazu, als noch engere Eingrenzung, ist es möglich, einzelne Prozesse oder ein bestimmtes Produkt zu betrachten.¹³⁰ Es ist hier anzumerken, dass es in der Literatur auch die Auffassung gibt, dass die Flusskostenrechnung als Ziel hat, *alle* Stoff- und Energieflüsse transparent zu machen und nicht auf die Betrachtung eines Produktes eingegrenzt werden soll.¹³¹

Als zweiter Schritt müssen die Mengenstellen festgelegt werden. Eine Mengenstelle kann dabei mit einer gebildeten Kostenstelle übereinstimmen. Es ist möglich, dass eine Kostenstelle aus mehreren Mengenstellen besteht, da die Gliederung der Mengenstelle sich am Materialfluss orientiert und nicht wie im Fall der Kostenstelle an der Kostengliederung. Der entgegengesetzte Fall, nämlich, dass eine Mengenstelle mehrere Kostenstellen beinhaltet, ist unüblich und kommt bei abstrakten Flussmodellen vor. In welchem Detaillierungsgrad die Mengenstellenbildung vorzunehmen ist, ist schwierig zu beantworten. Die Möglichkeiten liegen bei der Erfassung der gesamten Produktion als Mengenstelle bis zur Erfassung einer einzelnen Maschine als Mengenstelle. Es wird schlussendlich der Kompromiss zwischen zu wenig Information mit wenig Aussagekraft und zu viel Information und damit einhergehender Komplexität gesucht werden. Das BMW/UBA empfiehlt zu Anfang den wertschöpfenden Fluss darzustellen und erst in Folge die Betriebsmittel und die Entsorgung zu betrachten. Die beobachteten Materialien müssen in die Gruppen:

- Produktmaterial
- Betriebsstoffe
- Wasser
- Energie

aggregiert werden, um die Komplexität zu verringern.

Ist das Flussmodell erstellt, werden im dritten Schritt die Flusskosten in einer Nebenrechnung ermittelt. Den betrachteten Flüssen werden die jeweiligen Kosten und Mengen zugeordnet. Die Ergebnisse dienen der Erfassung der Ausgangssituation, aus der die Stärken, Schwächen und erste Handlungsrichtungen abgeleitet werden können. Aus den EDV-Systemen der Materialwirtschaft können die Daten für die geflossenen Materialmengen eines jeden Flusses gewonnen werden. Mithilfe von Schätzungen und einfachen Annahmen müssen sie an das Flussmodell angepasst werden. Um diese Vereinfachungen abzusichern und die Qualität der Daten zu

¹³⁰ Vgl. Fischer et al. (1997), S. 33

¹³¹ Vgl. Wagner et al. (2010), S. 198

verbessern, wird die Durchführung von stichprobenartigen Messungen empfohlen. Die Materialkosten berechnen sich nach der folgenden Formel:

$$\text{Materialkosten} = \text{Menge} \times \text{Materialpreis}$$

Wenn beispielsweise ein Zwischenprodukt in ein Halbfertigwarenlager gebucht wird, fließt nur der reine Materialwert in die Berechnung ein. Anteilige Fertigungskosten und der Mehrverbrauch für den Ausschuss finden keine Berücksichtigung. Als Materialpreis empfiehlt es sich, einen Standardwert anzusetzen, um Verzerrungen durch etwaige Preisschwankungen in der Materialkostenberechnung zu vermeiden, die zu Fehlinterpretation führen können.

Die Ermittlung der Bearbeitungskosten erfolgt einerseits aus der Prozesssicht und andererseits aus Mengenstellensicht. Mengenstellenkosten fallen durch das Beitreiben und Instandhalten der Mengenstelle an und setzen sich dementsprechend aus Personalkosten und Abschreibungskosten zusammen. Prozesskosten fallen für die Organisation und Verwaltung (Produktionsplanung, Materialbeschaffung etc.) an. Wenn eine Kostenstelle mehrere Mengenstellen umfasst, müssen die Kosten aufgeteilt werden. Die Zuordnung kann sehr aufwändig gestaltet werden, das BMU/UBA empfiehlt eine zu dem jeweiligen ausgehenden Gewicht proportionale Aufteilung. Als letzte Kategorie sind noch die Entsorgungskosten zu ermitteln. Die externen Entsorgungskosten sind den entsprechenden Rechnungen und Entsorgungsnachweisen zu entnehmen. Die internen Entsorgungskosten fanden ihre Berücksichtigung bereits in den Bearbeitungskosten und müssen dementsprechend nicht mehr gesondert einbezogen werden. Das Ergebnis wird in einer sogenannten Flusskostenmatrix dargestellt, eine vereinfachte Variante ist in Tabelle 1 gezeigt:

Tabelle 1: Flusskostenmatrix¹³²

Produktkosten	Materialkosten	Bearbeitung	Entsorgung	Summe
Produkt	60	12,5	0,1	72,6
Verpackung	20	12,5	1,2	33,7
Materialverlust	10,7	3,2	0,8	14,7
Summe	90,7	28,2	2,1	121

In dem gezeigten Beispiel werden die Flüsse in Produkt, Verpackung und Materialverlust unterteilt.

3.2.2 Relevanz der Flusskostenrechnung

Im Juni 2014 veröffentlichte das statistische Bundesamt die Kostenstruktur für das produzierende Gewerbe und den Bergbau, zusammengefasst von der DEMA¹³³ ergab sich die folgende in Abbildung 10 gezeigte Struktur.

¹³² Vgl. Bundesumweltministerium und Umweltbundesamt (2001), S. 532

¹³³ DEMA = Deutsche Materialeffizienz Agentur

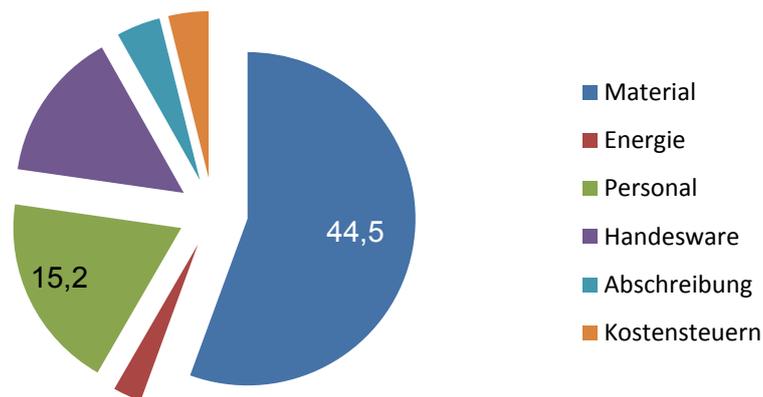


Abbildung 10: Kostenstruktur produzierendes Gewerbe 2012¹³⁴

Der mit Abstand größte Block, nämlich 44,5%, ist den Materialkosten geschuldet. Mit der Flusskostenrechnung können die Materialkosten sichtbar gemacht und damit deren sparsamer Umgang gefördert werden. Das BMU geht bei einem Materialkostenanteil von über 40% davon aus, dass die Flusskostenrechnung das Controlling verbessert und die Materialeffizienz erhöht werden kann.¹³⁵ Dennoch lagen in den letzten Jahren die Bemühungen, Kosten zu reduzieren im Personalbereich. Es wird davon ausgegangen, dass durch den hohen Grad an Automatisierungen die untere Grenze erreicht ist. Und damit ist zu erwarten, dass die Kostensenkungsbemühungen vermehrt auf den Materialbereich gerichtet werden.¹³⁶ Um dies zu bewerkstelligen, müssen Kenntnisse über die Materialströme und den Verbleib der eingesetzten Materialien gewonnen werden. Die klassische Kostenrechnung gibt zwar Auskunft darüber, welche Materialien in welcher Höhe verbraucht wurden¹³⁷, jedoch bleibt die Frage wofür sie eingesetzt wurden, unbeantwortet.

Die Flusskostenrechnung soll daher die klassische Kostenrechnung ergänzen und hat als Ziele:¹³⁸

- Transparenz der innerbetrieblichen Materialflüsse von der Beschaffung, über die Produktion bis hin zum Kunden zu schaffen.
- Den Materialflüssen und den –beständen die ihnen entsprechenden die Mengen, Werte und Kosten, bewertet zu Einkaufspreisen, zu zuordnen
- Verfügbarkeit von handlungsrelevanten Informationen über die Flussmengen und Flusskosten für den Einkauf, die Produktion, die Entwicklung, Vertrieb, Versand und der Logistik zu gewährleisten
- Anstoßen von Maßnahmen zur Reduktion von Materialverlusten und der Entwicklung von materialreduzierten Produkten/Verpackung

¹³⁴ Quelle: Deutsche Materialeffizienzagentur (2012), S. 1

¹³⁵ Vgl. Bundesumweltministerium und Umweltbundesamt (2001), S. 527

¹³⁶ Vgl. Tschandl; Posch (2003), S. 121

¹³⁷ Vgl. Götze, Kostenrechnung und Kostenmanagement (2004), S. 28 ff.

¹³⁸ Vgl. Tschandl; Posch (2003), S. 122

Der Nutzen der Flusskostenrechnung liegt nicht nur auf der unmittelbaren Ermittlung der Kostensenkungsmöglichkeiten, sondern darin, die Flusskosten in Zukunft zu steuern und zu gestalten.¹³⁹ Die Flusskostenrechnung ist Teil eines umfassenden Managementansatzes zur Gestaltung der gesamten Material- und Informationsflüsse.

3.2.3 Kritische Betrachtung der Flusskostenrechnung

Als Abschluss des Kapitels werden in diesem Abschnitt die Vor- und Nachteile der Flusskostenrechnung herausgearbeitet.

Die Flusskostenrechnung hat folgende **Vorteile**:¹⁴⁰

- Die Grundidee der Flusskostenrechnung basiert darauf, dass eine Verringerung der Material- bzw. Energieflüsse zu einer Verringerung der Kosten führen wird und vereint damit ökologische und ökonomische Ziele.
- Umweltauflagen werden nicht länger als Treiber von Umweltkosten gesehen.
- Dem Unternehmen steht mit der Flusskostenrechnung ein Werkzeug zur Verfügung, selbst Kostentreiber und Kostensenkungspotenziale zu ermitteln und ist damit entscheidungs- und handlungsorientiert.

Die **Nachteile** sind:¹⁴¹

- Es ist mit einem hohen Aufwand für die Erstellung der Flusskostenrechnung zu rechnen, da erst transparente Material- und Energieströme geschaffen werden müssen.
- Die Zuordnung der Bearbeitungskosten (Abschreibung, Löhne...) gestaltet sich als schwierig
- Während die verursachungsgerechte Zuordnung der physischen Ströme noch recht unkompliziert ist, ist die Zurechnung der dispositiven Kosten (Planung etc.) schwierig.

¹³⁹ Vgl. Bundesumweltministerium und Umweltbundesamt (2001), S. 536

¹⁴⁰ Vgl. Fichter et al. (1997), S. 84

¹⁴¹ Vgl. Fichter et al. (1997), S. 85

4 Grundlagen der Materialflusskostenrechnung

In dem folgenden Kapitel werden zuerst die Grundlagen der Materialflusskostenrechnung, die als Erweiterung zur Flusskostenrechnung gesehen werden kann, erläutert. Im nächsten Abschnitt erfolgt die Abgrenzung der Materialflusskostenrechnung zur traditionellen Kostenrechnung. Mit der 2011 erschienenen ISO NORM 14051, mit der die Materialflusskostenrechnung zum Standard wurde, erfolgt der Einstieg in den normativen Teil der Thematik, welcher die Begriffsdefinition, Vorgehensweisen und Anwendungsbereiche enthält. Bei der Literaturrecherche wurden einige Lücken bzw. Kritikpunkte zur ISO NORM 14051 entdeckt, die genauer betrachtet und in einem Zwischenfazit beschrieben werden. Mit der Vorstellung von methodischen Lösungsansätzen, um die Defizite der ISO NORM 14051 auszugleichen, wird zugleich der aktuelle Stand der Forschung wiedergegeben. Als Abschluss dieses Abschnitts wird die Materialflusskostenrechnung einer kritischen Betrachtung unterworfen.

4.1 Materialflusskostenrechnung als Erweiterung der Flusskostenrechnung

Die Materialflusskostenrechnung zählt zu den Stoff – und Energieflussorientierten Kostenrechnungssystemen. Der Ansatz der Materialflusskostenrechnung wurde in Deutschland in den 1990er Jahren entwickelt.¹⁴² Bis dahin wurde ein Unternehmen als Black Box¹⁴³ angesehen. Um den Materialeinsatz zu beherrschen, müssen jedoch die Prozesse sowohl auf physischer als auch auf monetärer Ebene transparent sein.¹⁴⁴ Parallel dazu, ebenfalls in den 90ern, entwickelten Fischer und Blasius die Reststoffkostenrechnung.¹⁴⁵ Die Grundidee der Materialflusskostenrechnung baut auf der Idee der Reststoff- und Flusskostenrechnung¹⁴⁶ dahingehend auf, dass sie ebenfalls die Stoff- und Energieflüsse transparent macht und zusätzlich die mit den Materialverlusten entstandenen Kosten monetär bewertet. Besonders viel Beachtung fand die Methode in Japan. Die Materialflusskostenrechnung (kurz MFKR) ist eine Erweiterung und Anpassung der bereits vorhandenen Flusskostenrechnung durch das japanische Wirtschaftsinstitut.¹⁴⁷ Das japanische Ministerium für Wirtschaft, Handel und Industrie (METI), trieb die Entwicklung der Materialflusskostenrechnung mithilfe von Forschungsprojekten und Fallstudien an. Das METI führte 2002 die Materialflusskostenrechnung als „wichtigste Umweltkostenrechnungsmethode im Produktionsbereich“¹⁴⁸ an.

¹⁴² Vgl. Fichter et al. (1997), S. 35

¹⁴³ Black Box: nur die Ein- und Ausgänge in ein Unternehmen werden betrachtet. Die innerbetrieblich Vorgänge sind nicht von Interesse, auch wenn sie bekannt wären.

¹⁴⁴ Vgl. Wagner et al. (2010), S. 197

¹⁴⁵ Vgl. Fichter et al. (1997), S. 35

¹⁴⁶ Vgl. Schmidt M. (2011), S. 1

¹⁴⁷ Vgl. Crönertz (2011), S. 213

¹⁴⁸ Schmidt M. (2012), S. 250

Im Vergleich zur Materialflusskostenrechnung stellt die Flusskostenrechnung den umfassenderen Ansatz dar. Die Flusskostenrechnung hat als Ziel, *alle* Stoff- und Energieflüsse transparent zu machen. Die angestrebte vollständige Erfassung aller Flüsse macht es notwendig, dass die Flusskostenrechnung in die betrieblichen Abläufe und in das Enterprise Resource Planning (ERP)-System integriert wird. Die Implementierung einer Flusskostenrechnung wird daher auch als große Herausforderung wahrgenommen.¹⁴⁹ Im Gegensatz dazu wird in der Materialflusskostenrechnung nicht der Anspruch auf Vollständigkeit erhoben. Sie kann auch nur auf einen ausgewählten Produkt- bzw. Produktionsbereich angewendet werden.¹⁵⁰

Der Kostenbegriff der Materialflusskostenrechnung deckt sich mit der Definition laut Flusskostenrechnung.¹⁵¹ Flusskosten wurden definiert als: „jener bewertete sachzielbezogene Verzehr von Gütern und Diensten [...], der mit betrieblichen Stoff- und Energieflüssen bzw. einzelnen Stoffen und Energien verbunden ist.“¹⁵² Wie im Kapitel 3.2.1 Grundidee der Flusskostenrechnung erläutert, werden die Flusskosten unterschieden in: Material-, Bearbeitungs- und Entsorgungskosten. Die Materialflusskostenrechnung ergänzt die Kostengruppen der Flusskostenrechnung noch um die Energiekosten, welche als Material geführt werden, oder separat erfasst werden können.¹⁵³ Während die Flusskostenrechnung in die Systematik der Vollkostenrechnung eingeordnet werden kann,¹⁵⁴ werden nach Rieckhof, abhängig vom betrachteten Zeithorizont, in der Materialflusskostenrechnung nicht alle Kosten in die Rechnung einbezogen. So werden für eine kurzfristige Entscheidungsfindung nur die *relevanten variablen* Kosten (Material- und Energiekosten) einbezogen.¹⁵⁵

4.2 Materialflusskostenrechnung vs. traditionelle Kostenrechnung

Zielsetzung

Die Aufgaben der klassischen Kostenrechnung umfassen: dokumentieren, überwachen und informieren. Die Kostenrechnung zählt zum internen Rechnungswesen und muss die Kosten und Leistungen für alle Arbeitsbereiche ermitteln. Die ermittelten Kosten werden durch die Kostenrechnung überwacht und auf Basis ihrer Auswertungen wird die Wirtschaftlichkeit der Unternehmung evaluiert. Sie stellt Informationen zur

¹⁴⁹ Vgl. Wagner et al. (2010), S. 198

¹⁵⁰ Vgl. Wagner et al. (2010), S. 198

¹⁵¹ Vgl. Crönertz (2011), S. 214

¹⁵² Fichter et al. (1997), S. 77

¹⁵³ Vgl. Schmidt M. (2011), S. 3

¹⁵⁴ Vgl. Fichter et al. (1997), S. 79

¹⁵⁵ Vgl. Rieckhof (2014), S. 9

Verfügung, die als Entscheidungsgrundlage für Verbesserungen dienen.¹⁵⁶ Mithilfe der Kostenrechnung werden die wirtschaftlichen Auswirkungen von Entscheidungen bestimmt, dazu zählt auch die Wahl zwischen Eigen- oder Fremdbezug, Bestimmung der Preisobergrenzen und die Entscheidung über das gewinnoptimierende Produktionsprogramm. Für den Absatzbereich ermittelt sie die kurzfristige Preisuntergrenze, die Selbstkosten und beurteilt bestimmte Absatzgebiete bzw. -wege. Die Kostenrechnung kann sich aber auch an externe Adressaten wenden: die Ermittlung der Herstellkosten, der Bestandveränderungen und die aktivierten Eigenleistungen sind Beispiele dafür.¹⁵⁷

Unter Berücksichtigung der oben genannten umfassenden Aufgaben der traditionellen Kostenrechnung kann die Materialflusskostenrechnung hingegen nur als Ergänzung zur traditionellen Kostenrechnung angesehen werden. Sie hat als Ziel die Steigerung der Ökoeffizienz. Ihre Aufgabe besteht im Auffinden von Material- und Energieeffizienzpotenzialen und die transparente Visualisierung der Stoffflüsse.¹⁵⁸ Sie liefert jedoch keine Grundlage für die Produktionsprogrammentscheidung oder Preisfestlegungen.¹⁵⁹

Kostenarten

Schmalenbach definiert die Kosten der traditionellen Kostenrechnung als „anzusetzende Werte der für Leistungen verzehrten Güter“¹⁶⁰. Materialkosten sind der in Geld bewertete Verbrauch von fremdbezogenen Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen. Sie können sowohl als Einzelkosten als auch als Gemeinkosten in die Kostenrechnung eingehen.¹⁶¹ Die traditionelle Kostenrechnung unterscheidet in die folgenden verschiedenen Kostenartengruppen:¹⁶²

1. Arbeitskosten: dazu zählen Löhne, Gehälter, Provisionen etc.
2. Materialkosten: Betriebsmittel (z.B.: Werkzeuge), Rohstoffe (z.B.: Einsatzmaterial), Hilfsstoffe, Betriebsstoffe, Energiekosten, Verpackungsmaterial
3. Kapitalkosten: kalkulatorische Zinsen und Abschreibung
4. Kosten für bezogene Dienstleistung: z.B.: Instandsetzung, Frachten
5. Kosten für Fremdrechte: Lizenzen, Patente etc.
6. Öffentliche Abgaben und Steuern
7. Versicherungskosten und kalkulatorische Wagnisse

Bei der Materialflusskostenrechnung steht bei der Kostendefinition die durchgängige Betrachtung der Werteflüsse im Zentrum der Betrachtung. Kosten im Sinne der Materialflusskostenrechnung sind der in Geldeinheiten ausgedrückte Wert von

¹⁵⁶ Vgl. Stahl (2006), S. 6

¹⁵⁷ Vgl. Coenenberg et al. (2012), S. 22 f.

¹⁵⁸ Vgl. Schrack (2014), S. 59

¹⁵⁹ Vgl. Götze; Sygulla (2014), S. Folie 40

¹⁶⁰ Schmalenbach (1963), S. 6

¹⁶¹ Vgl. Götze (2004), S. 28

¹⁶² Vgl. Coenenberg et al. (2012), S. 72 f.

Ressourcen für die Leistungserstellung, welche mit den Energie- und Stoffflüssen eines Unternehmens (siehe dazu Kapitel 4.1 und Kapitel 4.3.3) verbunden sind. Die Gruppierung der Kostenarten erfolgt in nur drei bzw. vier verschiedene Kostengruppen:¹⁶³

1. Materialkosten
2. Systemkosten (z.B. Abschreibungen, Löhne, Transport)
3. Abfallmanagementkosten
4. ev. Energiekosten

Die Energiekosten können unter den Materialkosten erfasst werden, oder die vierte Kategorie der Kostengruppen darstellen.

Kostenstellen/Mengenstellen

Kostenstellen können nach unterschiedlichen Kriterien gebildet werden, entweder nach räumlichen bzw. funktionalen Aspekten, oder nach Verantwortungsbereichen. Wenn ein Bereich nur von einem Produkttyp in Anspruch genommen wird, kann sie auch nach Kostenträgergesichtspunkten erfolgen.¹⁶⁴ Generell gilt für die Kostenstellenbildung, dass:¹⁶⁵

- a) zwischen der angefallenen Kosten und der in der Kostenstelle erstellten Leistung ein proportionaler Zusammenhang besteht
- b) die Kosten der Kostenstelle eindeutig zuordenbar sein sollen
- c) der Detaillierungsgrad der Kostenstellenbildung wirtschaftlich gerechtfertigt sein soll
- d) die Kostenstelle in einem klar definierten Verantwortungsbereich liegt

Die Bildung der Mengenstellen bei der Materialflusskostenrechnung erfolgt aus Prozesssicht. Eine Mengenstelle umfasst dabei einen oder mehrere Prozesse.¹⁶⁶ In einer Mengenstelle werden die Inputs entweder be- bzw. verarbeitet oder gelagert. Die Punkte a) – c) der Grundsätze für die Kostenstellenbildung der traditionellen Kostenrechnung können auch für die Bildung von Mengenstellen übernommen werden. Der Punkt d) muss insofern erweitert werden, als mit der Materialflusskostenrechnung Verluste transparent werden, die vorher nicht bekannt waren. Dies ist ein erklärtes Ziel der Materialflusskostenrechnung, die Frage, die sich dabei stellt, ist, wer die Verantwortung für die „neuen“ Verluste übernehmen wird. Mit der Frage nach der Verantwortlichkeit geht die Frage, wer die Kosten beeinflussen kann, einher. Das imu Augsburg schreibt dazu, dass mit den betroffenen Abteilungen vereinbart werden muss, wer die Hauptverantwortung für die Reduzierung der Materialkosten tragen soll und welche Kompetenzen diesen Abteilungen zuteil werden. Bestimmte Materialflüsse lassen sich nur abteilungsübergreifend beeinflussen, beispielsweise haben auf den Verlust in der Produktion die Produktentwicklung, der Einkauf, die Arbeitsvorbereitung und schlussendlich die Produktion selbst Einfluss.¹⁶⁷ Das lässt die Schlussfolgerung

¹⁶³ Vgl. ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 11

¹⁶⁴ Vgl. Hummel; Männel (1986), S. 196 f.

¹⁶⁵ Vgl. Hummel; Männel (1986), S. 198

¹⁶⁶ Vgl. ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 10, S. 10

¹⁶⁷ Vgl. imu augsburg GmbH & Co KG (2003), S. 29 f.

zu, dass abteilungsübergreifende Teams zur Identifizierung von Maßnahmen zur Steigerung der Effizienz gebildet werden müssen.

Methodik der klassischen Kostenrechnung im Vergleich zur Materialflusskostenrechnung

Bei der klassischen Kostenrechnung werden die Einzelkosten direkt dem Kostenträger (dem Produkt) zugerechnet (siehe Abbildung 11 linke Seite). Für die Materialkosten ergeben sich nun folgende Defizite: werden die Materialkosten als Einzelkosten verrechnet, so umgehen sie die Kostenstellen und damit der Kostenverantwortung.

Über die Kostenstellenrechnung werden die Gemeinkosten verursachungsgerecht dem Produkt zugerechnet. Der ermittelte Zuschlagssatz, mit dem die Verrechnung der Gemeinkosten auf das Produkt erfolgt, soll die Stärke der Inanspruchnahme der Kostenstelle durch den Kostenträger widerspiegeln.¹⁶⁸ In der Kostenträgerrechnung werden durch die Zuschlagssätze alle Kosten – und damit auch die Kosten für die Verluste – pauschal den Produkten zugerechnet.

Der Unterschied zwischen der Materialflusskostenrechnung und der konventionellen Kostenrechnung ist, dass die Materialflusskostenrechnung sämtliche Kosten, Einzelkosten wie auch die Gemeinkosten, nicht nur dem Produkt, sondern anteilmäßig auch dem Verlust zurechnet. Wie in Abbildung 11 (rechte Seite) dargestellt, werden neben dem Produkt auch die Abfälle als Kostenträger behandelt.¹⁶⁹ Damit kann sie die Kosten, die für die Verluste aufzuwenden sind, beziffern und Informationen liefern, die aus der traditionellen Kostenrechnung nicht abgeleitet werden können.

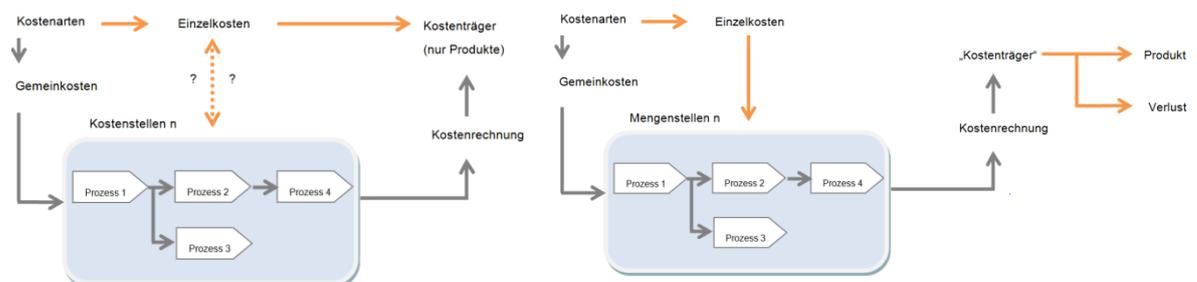


Abbildung 11: Kostenverteilung KORE vs. Kostenverteilung MFKR^{170,171}

Die Materialflusskostenrechnung geht von einem linearen Zusammenhang zwischen dem Input und dem Output aus.¹⁷² Um die Materialflusskostenrechnung durchzuführen sind Mengenangaben für die Material- und Energieflüsse notwendig. Die Umrechnung der gesamten Kosten auf das Produkt bzw. den Abfall erfolgt auf Basis des Mengenverhältnisses zwischen dem Materialverlust und dem Produkt.

¹⁶⁸ Vgl. Götze, Kostenrechnung und Kostenmanagement (2004), S. 71

¹⁶⁹ Vgl. Schmidt M. (2011), S. 3

¹⁷⁰ Quelle: Kunsleben; Tschesche (2010), S. 490, linker Teil Abbildung

¹⁷¹ Quelle: Schmidt M. (2011), S. 3, rechter Teil der Abbildung

¹⁷² Vgl. Viere et al. (2009), S. 48

Zur Veranschaulichung wird hier ein kurzes Rechenbeispiel angeführt:¹⁷³

Als Material-Input-Kosten fallen € 1.000,00 an. Die Prozesskosten in der Mengenstelle betragen € 930,00, die sich aufteilen in:

Energiekosten:	€	50,00
Systemkosten:	€	800,00
Abfallkosten:	€	80,00

Prozesskosten:	€	930,00

Bei der Analyse der Materialflüsse hat sich herausgestellt, dass 70% der Stoff- und Energieströme ins Produkt gehen und 30% als Verlust anfallen. Für die klassische Kostenrechnung hat diese Information keine Auswirkung, in der Materialflusskostenrechnung kommt es dadurch aber zu einer Verteilung aller Kosten gemäß einem 70:30 Schlüssel (die Abfallkosten stellen hier eine Ausnahme dar). Das bedeutet, dass beispielsweise die gesamten Systemkosten i.H.v. € 800,00 aufgeteilt werden: 70% (also € 560,00) für das Produkt und 30% (also € 240,00) für den Verlust. Wie in der Abbildung 12 gezeigt, sind die Resultate der beiden Verrechnungssysteme unterschiedlich.

Kostenverteilung klassische Kostenrechnung

Produkt	
Material	€ 1.000,00
Prozesskosten	€ 930,00

Gesamtkosten	€ 1.930,00

Kostenverteilung Materialflusskostenrechnung

Produkt	
Material	€ 700,00
Energie:	€ 35,00
System	€ 560,00

Gesamtkosten	€ 1.295,00

Verlust	
Material	€ 300,00
Energie:	€ 15,00
System	€ 240,00
Abfall	€ 80,00

Gesamtkosten	€ 635,00

Abbildung 12: Kostenverrechnung KORE vs. MFKR¹⁷⁴

¹⁷³ Vgl. ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 21

¹⁷⁴ Quelle: in Anlehnung an ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 21

Während die klassische Kostenrechnung Produktkosten i.H.v. € 1.930,00 berechnet, ergibt die Berechnung laut der Materialflusskostenrechnung Produktkosten i.H.v. € 1.295,00, die restlichen Kosten werden dem Verlust zugerechnet.¹⁷⁵

4.3 Mit der ISO Norm 14051 zum Standard

Vor allem in Japan wurde die Entwicklung einer ISO NORM für die Materialflusskostenrechnung unterstützt.¹⁷⁶ Die Ende 2011 erschienene Norm kann den Unternehmen als Umsetzungsleitfaden dienen. Der folgende Abschnitt bezieht sich auf die ISO NORM 14051.¹⁷⁷ In diesem werden grundlegende Begriffe und Elemente der Materialflusskostenrechnung nach der ISO NORM 14051 erläutert. Die Norm hat den folgenden Aufbau:

1. Anwendungsbereiche
2. Normative Verweise
3. Begriffe
4. Zielvorgaben und Grundsätze der Materialflusskostenrechnung
5. Grundlegende Elemente der Materialflusskostenrechnung
6. Implementierungsschritte der Materialflusskostenrechnung

Anhang A (informativ): Unterschied zwischen der Materialflusskostenrechnung und konventioneller Kostenrechnung

Anhang B (informativ): Kostenrechnung und Allokation in der Materialflusskostenrechnung

Anhang C (informativ): Fallbeispiel einer Materialflusskostenrechnung

Die ISO NORM 14051 erläutert die Systematik der Materialflusskostenrechnung und führt einen Standard ein, um so eine größere Verbreitung der Methode voranzutreiben und die Effizienz und Ressourcenschonung zu erhöhen.¹⁷⁸

4.3.1 Anwendungsbereiche

Mit der ISO NORM 14051 soll ein Bezugsrahmen für die Materialflusskostenrechnung, zur Erfassung der Stoffflüsse und –bestände eines Unternehmens, zur Verfügung gestellt werden. Die Flüsse werden einerseits in ihrer physikalischen Dimension (Masse, Volumen) und andererseits mit den dadurch entstandenen Kosten quantifiziert. Die Materialflusskostenrechnung versucht damit die Ziele des Unternehmens, einerseits Gewinne zu erwirtschaften und andererseits unerwünschte Umweltauswirkungen zu vermindern, zu verbinden. Die Materialflusskostenrechnung kann laut ISO NORM 14051 „in jeder Organisation, die Material oder Energie einsetzt“¹⁷⁹ angewendet werden. Ihre Anwendungsbereiche sind unabhängig von den hergestellten Produkten bzw. Dienstleistungen, der Größe und des Standorts. Die ISO

¹⁷⁵ Anmerkung: Wie in der Abbildung 12 gezeigt, werden die Abfallkosten nur den Verlusten zugerechnet.

¹⁷⁶ Vgl. Schmidt M. (2012), S. 252

¹⁷⁷ Vgl. ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 6 ff.

¹⁷⁸ Vgl. Wagner et al. (2010), S. 201

¹⁷⁹ ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 6

NORM 14051 erwähnt explizit, dass der Einsatz der Materialflusskostenrechnung auf die gesamte Lieferkette ausgedehnt werden kann, um „die Entwicklung eines integrierten Ansatzes zur Verbesserung der Material- und Energieeffizienz“¹⁸⁰ zu unterstützen. Die externen Kosten bleiben bei diesem Ansatz unberücksichtigt und sind nicht Teil des Anwendungsbereichs.¹⁸¹

4.3.2 Zielvorgaben und Grundsätze der Materialflusskostenrechnung

Nach der ISO NORM 14051 ist das Ziel der Materialflusskostenrechnung, sowohl die kostenbezogene als auch die umweltbezogene Leistung des Unternehmens zu steigern. Sie motiviert Unternehmen, ihre Material- und Energieverbräuche zu senken. Die Materialflusskostenrechnung leistet dabei folgendes:¹⁸²

- Verbesserung der Transparenz der Material- und Energieflüsse
- Entscheidungsunterstützung
- Verbesserung der Koordination der Material- und Energieverbräuche innerhalb des Unternehmens
- Verbesserung der Koordination der Material- und Energieverbräuche

Die Materialflusskostenrechnung schafft durch die Betrachtung der Stoff- und Energieflüsse Transparenz und Verständnis. Sie zeigt, wohin sich die Materialien bewegen, wo sie gelagert werden und wie viel Energie in den Mengenstellen eingesetzt wurde. Sie verknüpft physikalische Daten der Materialmenge (z.B.: Masse [kg] oder eingesetzte Energie [kWh]) mit den finanziellen Daten und stellt sie übersichtlich in einem Materialflussmodell dar. Ein weiterer Grundsatz, der Einsatz von einheitlichen Maßeinheiten in der Materialflusskostenrechnung, stellt sicher, dass die physikalischen Daten vergleichbar sind und die Fehlerfreiheit und Vollständigkeit gewährleistet wird. Die Aufwendungen für Stoffverluste werden nicht, wie in der klassischen Kostenrechnung, den Produkten zugerechnet, sondern gesondert erfasst. Die entstandenen Aufwendungen werden möglichst genau veranschlagt und dem Materialverlust zugerechnet.¹⁸³

4.3.3 Begriffe und grundlegende Elemente der Materialflusskostenrechnung

In dieser Arbeit werden die grundlegenden Elemente und Begriffe der Materialflusskostenrechnung aus Gründen der Übersichtlichkeit in eine physische und eine monetäre Ebene kategorisiert. Die physische Ebene beschäftigt sich mit den Begriffen, die im Zusammenhang mit den physischen Material- und Energieströmen stehen. Der zweite Teil widmet sich den Definitionen der monetären Ebene, also all jenen, die für die Beschreibung der Stoffströme aus Kostensicht notwendig sind.

¹⁸⁰ ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 6

¹⁸¹ Vgl. ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 6

¹⁸² Vgl. ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 9

¹⁸³ Vgl. ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 8 f.

Physische Ebene

Material: „Stoff, der in eine Mengenstelle eintritt und/oder diese verlässt“. Dabei kann unterschieden werden in Material, das Teil des Produkts werden soll (Rohstoff, Hilfsmittel etc.), oder Stoffe, die nicht Teil des Produkts werden sollen (Reinigungsmittel), diese werden auch „Betriebsstoffe“ genannt.¹⁸⁴

Materialverlust: Materialoutput, der nicht in das Produkt geht, er beinhaltet Emissionen und Abwasser. Auch wenn ein Material wiederverwertet, verkauft oder neu genutzt werden kann, zählt es als Materialverlust. Kuppelprodukte können entweder als Produkt oder als Materialverlust gesehen werden.¹⁸⁵

Energieeinsatz: beantwortet die Frage, wie die Energie verwendet wurde (z.B.: Lüftung, Heizung, Transport etc.).¹⁸⁶

Energieverlust: ergibt sich aus der gesamten genutzten Energie, abzüglich jener Energie, die für die Produkterstellung aufgewendet wurde. Der Energieverlust kann mit den Materialverlusten zusammengefasst werden, oder, abhängig von den Vorgaben des Unternehmens, separat ausgewiesen werden.¹⁸⁷

Input: Tritt in die Mengenstelle als Material- oder Energiefluss ein.¹⁸⁸

Output: Tritt aus der Mengenstelle als Produkt, Energie- oder Materialverlust aus.¹⁸⁹

Mengenstelle: abgegrenzter Teil bzw. Teilbereich eines Prozesses. In der Mengenstelle werden die Mengen der In- und Outputs in physikalischen und monetären Einheiten erfasst. In einer Mengenstelle werden Materialien bearbeitet und/oder gelagert. Mit einer Mengenstelle wird somit eine Produktionseinheit, ein Lagerraum oder ein Verladepunkt abgebildet. Sie ist der Ausgangspunkt der Materialflusskostenrechnung, d.h. es werden hier zu Beginn der Materialfluss- und der Energieverbrauch festgestellt, um anschließend die Material-, Energie-, System- und Entsorgungskosten zu quantifizieren.¹⁹⁰

Materialbilanz: Je Mengenstelle wird eine Materialbilanz erstellt. Sie vergleicht die Inputs mit den Outputs über einen bestimmten Zeitraum. Verbleibt ein Material in der Mengenstelle, führt dies zu einer Bestandveränderung (= Anfangsbestand – Endbestand) in der Mengenstelle.

Folgendes Beispiel veranschaulicht die Erstellung einer Materialbilanz¹⁹¹:

¹⁸⁴ ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 7

¹⁸⁵ Vgl. ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 8

¹⁸⁶ Vgl. ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 7

¹⁸⁷ Vgl. ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 7

¹⁸⁸ Vgl. ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 7

¹⁸⁹ Vgl. ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 7

¹⁹⁰ Vgl. ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 10

¹⁹¹ Vgl. ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 10 f.

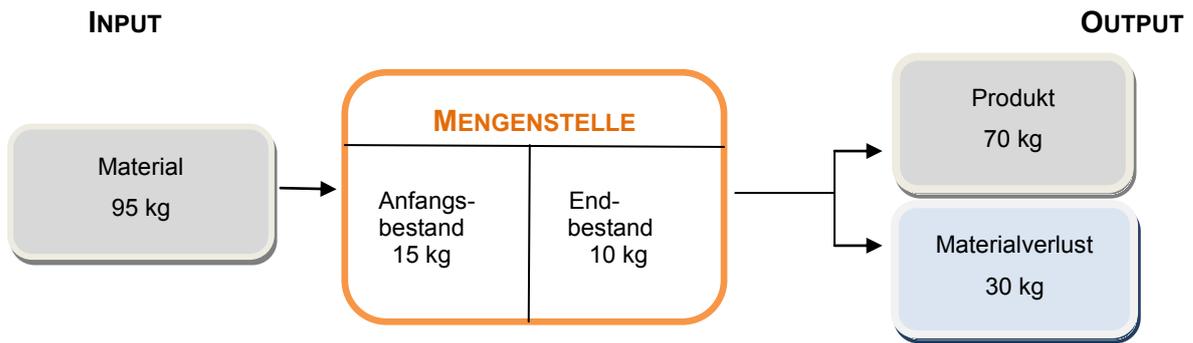


Abbildung 13: Materialbilanz einer Mengenstelle¹⁹²

Die in Abbildung 13 dargestellten Mengenstelle gehen 95 kg als Input ein. In der Mengenstelle sind zu diesem Zeitpunkt 15 kg Materialien vorhanden. Die Mengenstelle wird über einen genau festgelegten Zeitraum beobachtet und hat nach Ablauf der Periode noch 10 kg als Endbestand. 100 kg verlassen die Materialstelle, das entspricht dem Input von 95 kg zuzüglich der Anfangsbestand (15 kg) und abzüglich 10 kg Endbestand. Der Output teilt sich wiederum auf in 70 kg für das Produkt und 30 kg als Materialverlust.

Die Berücksichtigung der Bestandveränderung ist notwendig, um Materialverluste ermitteln zu können.¹⁹³ Ist eine Materialbilanz nicht ausgeglichen, so muss Ursachenforschung für die „fehlende“ Materialmenge betrieben werden und eventuelle Datenlücken müssen geschlossen werden. Die Ursache für unausgeglichene Materialbilanzen kann aber auch physikalischer Natur sein. Durch die Aufnahme von Feuchtigkeit oder durch Auswirkungen chemischer Reaktionen kann es zu Schwankungen kommen. Derart verursachte Ungleichgewichte lassen sich nicht einfach messen, trotzdem müssen größere Differenzen geklärt und in der Materialbilanz berücksichtigt werden.

Materialverteilungsschlüssel: gibt an in welchem Verhältnis sich der Materialeinsatz auf das Produkt bzw. den Materialverlust aufteilt.¹⁹⁴

Materialfluss: beschreibt die Bewegung von Materialien zwischen den Mengenstellen.¹⁹⁵

Materialflussmodell: mit dem Materialflussmodell werden den Flüssen und Beständen die entsprechenden Mengen und Werte der Materialflusskostenrechnung zugeordnet. Das Modell soll den gesamten Materialfluss innerhalb der gewählten Systemgrenzen darstellen.¹⁹⁶

¹⁹² Quelle: ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 11

¹⁹³ Vgl. Deutsche Materialeffizienzagentur (2012), S. 4

¹⁹⁴ ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 8

¹⁹⁵ ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 8

¹⁹⁶ Vgl. ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 14

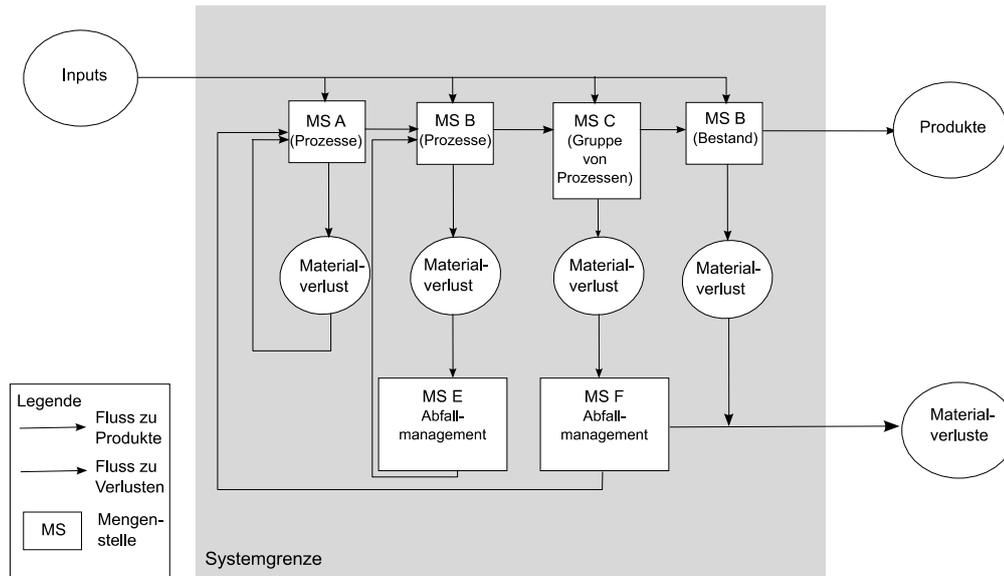


Abbildung 14: Vereinfachtes Materialflussmodell¹⁹⁷

Abbildung 14 zeigt eine beispielhafte Modellierung eines (stark vereinfachten) Systems, das den gesamten Materialfluss eines Unternehmens abbildet. Innerhalb der Systemgrenzen befinden sich Mengenstellen für die Herstellung von Produkten, Mengenstellen für die Lagerung, sowie Bereiche für die Wiederaufbereitung bzw. Entsorgung von Abfällen.

Monetäre Ebene

Kosten: werden aufgewendet, um Aktivitäten auszuführen. Sie geben den monetären Wert von Ressourcen wieder.¹⁹⁸ Die ISO NORM 14051 unterscheidet zwischen drei Arten von Kosten, nämlich den:¹⁹⁹

- Materialkosten
- Systemkosten
- Abfallmanagementkosten

Die Energiekosten werden entweder separat geführt oder den Materialkosten hinzugerechnet.

Materialkosten: Bewertung der ein- bzw. ausgehenden Stoffe in Geldeinheiten. Die Entscheidung über die Wahl der Kostenberechnungsmethode (Standard-, Durchschnitt- oder Anschaffungskosten) obliegt dem Unternehmen.

Energiekosten: umfassen die Kosten für Treibstoffe, Elektrizität, Wärme usw. Sie können entweder gesondert erfasst oder unter den Materialkosten subsummiert werden.²⁰⁰

¹⁹⁷ Quelle: ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 14

¹⁹⁸ Vgl. ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 6

¹⁹⁹ Vgl. ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 11

²⁰⁰ Vgl. ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 7

Systemkosten: beinhalten alle Kosten, die für die innerbetriebliche Bearbeitung anfallen, abzüglich der Material-, Energie- und Abfallmanagementkosten. Als Systemkosten werden Kosten für Abschreibung, Löhne/Gehälter, Transport etc. erfasst.²⁰¹

Abfallmanagementkosten: entstehen durch Materialverluste.²⁰²

Kostenallokation: Kosten können *indirekt* den Objekten (Produkten/Prozesse) mithilfe von Verteilungsschlüsseln zugerechnet werden. In der Materialflusskostenrechnung umfasst der Begriff „Objekte“: Mengenstellen, Produkte, Materialverluste und Prozesse. Um die Analysegenauigkeit und Aussagekraft der Materialflusskostenrechnung zu erhalten/erhöhen, sollte die direkte Zurechnung der Kosten in jedem Fall der indirekten Zuordnung vorgezogen werden. In der Praxis sind die Energie-, System und Abfallkosten aber oft nur für den Gesamtprozess oder den gesamten Betrieb vorhanden. Es ist also notwendig, die Kosten auf die einzelnen Mengenstellen umzulegen. Die ISO NORM 14051 schlägt dazu ein Zwei-Schritte-Verfahren vor²⁰³:

1. Die prozessumfassenden bzw. die betriebsweiten Kosten werden den Mengenstellen indirekt zugerechnet
2. Die so ermittelten Mengenstellenkosten werden auf die Produkte/Materialverluste allokiert

Für jeden Schritt muss ein „angemessenes Allokationskriterium, das so gut wie möglich die verursachungsgerechte Kostenzuweisung widerspiegelt, ausgewählt werden“²⁰⁴. Für den ersten Schritt, das Umlegen der prozessumfassenden bzw. der unternehmensweiten Kosten, sind Maschinenlaufzeiten, Anzahl der Angestellten, Arbeitsstunden, Platzbedarf etc. angemessene Allokationskriterien. Beim zweiten Schritt, in deren Folge die ermittelten Mengenstellenkosten auf das Produkt bzw. auf den Materialverlust verteilt werden, kann das Verhältnis aus der Aufteilung der verwendeten Gesamtmaterialien in Produkt und Verlust verwendet werden.

Kostenzuteilung: beschreibt das Gegenteil der Kostenallokation. Die Kosten werden den Objekten *direkt* zugerechnet.²⁰⁵

Kostenübertragung zwischen Mengenstellen: der Output der vorgelagerten Mengenstelle ergibt den Input der folgenden Mengenstelle.²⁰⁶

Kostenübertragung von intern wiederaufbereiteten Materialien: interne Recyclingkreisläufe zur Wiederverwendung von Materialien beschreiben einen Output, der in derselben Mengenstelle wieder zu einem Input wird. In den meisten Fällen überwiegen die Vorteile eines internen Kreislaufs, dennoch können die internen Recyclingkreisläufe auf Ineffizienzen im ursprünglichen Prozess hinweisen,²⁰⁷ weil sie den Durchsatz der Mengenstelle zwar erhöhen, damit auch die Kosten des gesamten Systems ansteigen lassen, nicht aber den Produkt-Output – der Produkt-Output ist

²⁰¹ Vgl. ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 17

²⁰² Vgl. ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 18

²⁰³ Vgl. ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 12

²⁰⁴ ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 13

²⁰⁵ Vgl. ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 6

²⁰⁶ Vgl. ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 13

²⁰⁷ Vgl. Viere et al. (2010), S. 205

gleichbleibend. Nach der ISO NORM 14051 sollen Materialverluste, die nach einer internen Wiederaufbereitung der Mengenstelle wieder zugeführt werden, genauso behandelt werden wie alle anderen Materialverluste. Das heißt, dass die entstandenen Mengenstellenkosten auf das Produkt bzw. den Verlust zugerechnet werden. Durch das interne Recycling kommt es einerseits zu einer Kostenersparnis, da weniger Material eingekauft werden muss, andererseits müssen aber für die Wiederaufbereitung zusätzliche Kosten aufgewendet werden. Außerdem entstehen in den anderen Mengenstellen noch Kosten durch den Fluss des wiederaufbereiteten Materials.²⁰⁸

4.3.4 Methodik bei der Implementierung einer Materialflusskostenrechnung

Für die Implementierung einer Materialflusskostenrechnung in ein Unternehmen schlägt die ISO NORM 14051 den PDCA-Zyklus nach Deming vor, der in Abbildung 15 gezeigt ist. Das „PDCA“ steht dabei für die vier Phasen des Zyklus, nämlich: Plan-Do-Check-Act. Das Hauptaugenmerk bei der Methode liegt darin, die Prozesse kontinuierlich zu verbessern, um damit die Qualität zu steigern und Kosten zu senken.²⁰⁹ In der ersten Phase, der Planungsphase, muss die Ist-Situation analysiert werden, um daraus Verbesserungspotenziale abzuleiten, ebenso erfolgt die Zieldefinition in dieser Phase. Um die geplanten Maßnahmen effektiv umzusetzen, muss das Management von Anfang an mit eingebunden werden. Der Führungsebene muss der Nutzen der Materialflusskostenrechnung bewusst sein. Nach ISO NORM 14051 soll das Management folgende Aufgaben übernehmen:²¹⁰

- Leitung der Einführung der Materialflusskostenrechnung
- Zuteilung des Verantwortungsbereichs und Definition von Rollen
- Bereitstellen von notwendigen Ressourcen
- Fortschrittsüberwachung
- Beurteilung der Ergebnisse
- Entscheiden über vorgeschlagene Verbesserungsmaßnahmen aufgrund der Materialflusskostenrechnungs-Ergebnisse

²⁰⁸ Vgl. ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 13

²⁰⁹ Vgl. Syska (2006), S. 100

²¹⁰ Vgl. ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 15

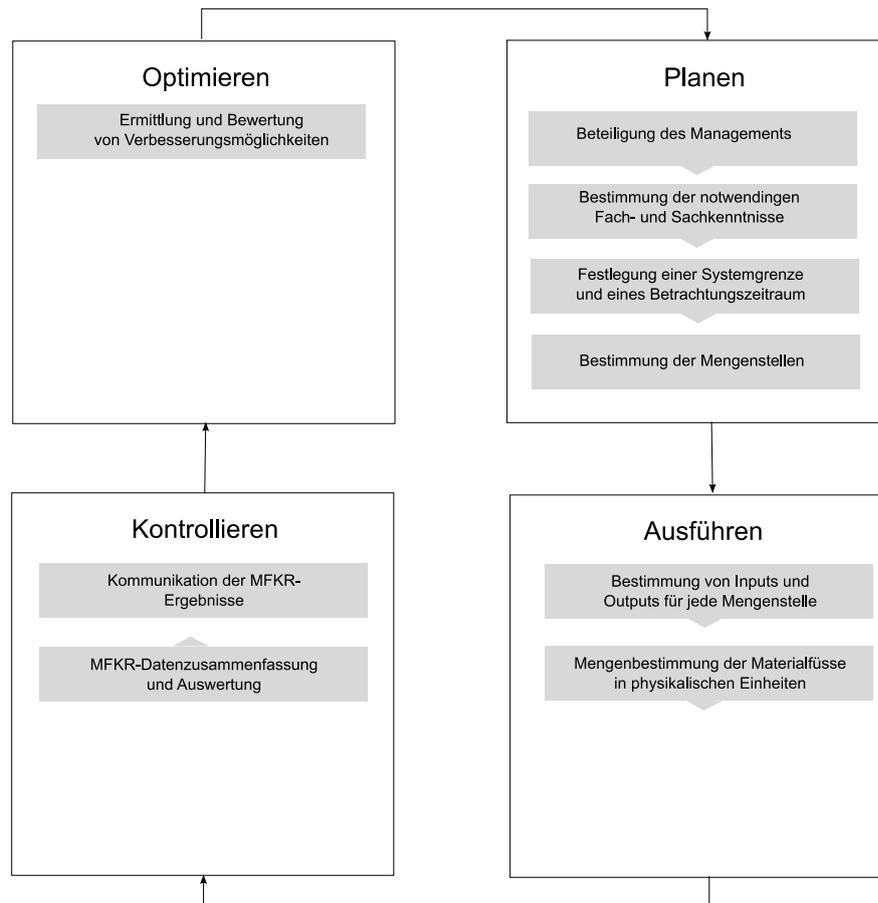


Abbildung 15: PDCA-Zyklus²¹¹

Zur Erstellung einer Materialflusskostenrechnung sind verschiedene Sach- und Fachkenntnisse notwendig. Dazu zählen Kenntnisse über die betriebliche Organisation, beispielsweise das Auftragswesen und die Herstellung, soweit sie den Material- bzw. Energiefluss betreffen. Technische/ingenieurtechnische Kenntnisse über die Auswirkung von ablaufenden Prozessen auf die Materialbilanz, auch über die chemischen Prozesse, sind notwendig. Kenntnisse über die Qualitätskontrolle, also der Häufigkeit und Ursache von Ausschüssen und deren nachfolgende Bearbeitungsschritte müssen vorhanden sein. Hinzu kommen noch umweltbezogene Kenntnisse über die Umweltauswirkungen, die verschiedenen Abfallarten und das Abfallmanagement. Und zuletzt sind noch kostenrechnungsbezogene Kenntnisse notwendig.²¹²

Im dritten Schritt der Planungsphase werden die Systemgrenzen definiert. Die Grenze kann je nach Organisation variieren zwischen der Betrachtung einzelner Prozesse, des gesamten Unternehmens, oder sich auf die gesamte Lieferkette ausdehnen. Die ISO NORM 14051 empfiehlt die Konzentration auf jene Prozesse, bei denen die größten Kosteneinsparungen und der größte umweltbezogene Nutzen erwartet werden. Sind die Systemgrenzen hinreichend definiert, werden die Daten für die

²¹¹ Quelle: ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 15

²¹² Vgl. ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 16

Materialflusskostenrechnung gesammelt. Der dafür notwendige Zeitrahmen kann nicht genau definiert werden, da er sehr stark von der jeweiligen Branche abhängig ist. Als angemessen werden in der Literatur Werte zwischen einem Monat und einem Jahr angesehen. Es kann bisweilen von Vorteil sein, den Zeitraum für die Datensammlung so zu planen, dass es zu einer Überschneidung mit der Herstellung einer Charge des zu beobachtenden Produktes kommt.²¹³ Als Mengenstellen können Prozesse wie Schneiden, Montage, Verpacken oder Örtlichkeiten wie Lagerflächen angesehen werden. Sie können durch vorhandene Prozessinformationen festgelegt werden, oder sich an der Aufzeichnungen der Kostenrechnung (den Kostenstellen) orientieren.

In der zweiten Phase, der Act-Phase, werden die geplanten Aktivitäten umgesetzt.²¹⁴ Es werden die In- und Outputs für jede definierte Mengenstelle erfasst. Als Input kommen Materialien und Energie infrage, der Output kann in Form eines Produktes oder eines Material- bzw. Energieverlusts auftreten. Sind die Daten vorhanden, können die Mengenstellen miteinander verbunden werden und so ein Gesamtsystem erzeugen.²¹⁵ Alle erfassten Inputs und Outputs werden anschließend mit physikalischen Daten, dem Gewicht, Volumen oder ähnlichem, quantifiziert. Für die Erstellung einer durchgängigen Materialbilanz ist es notwendig, dass Einheiten gewählt werden, die in eine genormte Maßeinheit umgerechnet werden können.²¹⁶ Im letzten Schritt dieser Phase werden die ermittelten Mengen in Geldeinheiten ausgedrückt.

Die durch die Materialflusskostenrechnung ermittelten Kosten werden in der Kontrollphase zusammengefasst und ausgewertet. Die ISO NORM 14051 empfiehlt die Daten als Materialflusskosten-Matrix oder in einem Materialflusskostendiagramm darzustellen. Für jede Mengenstelle wird eine in Tabelle 2 dargestellte Materialflusskosten-Matrix erstellt.²¹⁷

Tabelle 2: Materialflusskosten-Matrix für eine Mengenstelle²¹⁸

	Masse [kg]	Material [\$]	Energie [\$]	System [\$]	Abfall [\$]	Gesamt [\$]
Materialeinsatz	100	1.000	50	800	80	1.930
Produkte	70	700	35	560	0	1.295
Verluste	30	300	15	240	80	635
Gesamt	100	1.000	50	800	80	1.930

Pro Spalte werden die angeführten Kostenarten eingetragen und die errechneten Kosten aufgeteilt in einen Produkt- und einen Materialverlust-Anteil. Es ist auch zu erkennen, dass die Abfallkosten dem Materialverlust zugerechnet werden. Durch die Übersicht ist es möglich, die Daten zu begutachten und auszuwerten. Die mit den

²¹³ Vgl. ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 16

²¹⁴ Vgl. Syska (2006), S. 100

²¹⁵ Vgl. ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 16

²¹⁶ Vgl. ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 17

²¹⁷ Vgl. ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 18

²¹⁸ Quelle: ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 18

Materialverlusten zusammenhängenden Kosten sind ersichtlich und zeigen die Ineffizienzen des Prozesses auf. Mit diesem Wissen können Schwachstellen und die kostenverursachenden Faktoren bestimmt werden.²¹⁹ Die erzielten Ergebnisse können anschließend vom Management für Verbesserungen an der kosten- und umweltbezogenen Leistungsfähigkeit“ verwendet werden. Werden die Ergebnisse auch der Belegschaft kommuniziert, lassen sich geplante Veränderungen in den Prozessen besser begründen. Die erstellten Diagramme und Tabellen dienen als Grundlage für Diskussionen, in die auch externe Stakeholder mit eingebunden werden können.²²⁰

Die letzte Phase umfasst das Ermitteln und Bewerten von Verbesserungsmöglichkeiten. Wurden mit der Materialflusskostenrechnung die Konsequenzen des Materialeinsatzes und der Verluste erkannt, können Verbesserungsmaßnahmen für das Unternehmen gesucht werden. Die Maßnahmen können den effizienteren Einsatz von Materialien, den Ablauf von Prozessen betreffen oder verstärkte Forschungs- und Entwicklungsarbeit anstoßen. Die Einführung einer Materialflusskostenrechnung in eine Unternehmung kann genutzt werden, um generelle Verbesserungen der Kosten- und Informationssysteme vorzunehmen. Während der Implementierung aufgedeckte Verbesserungspotenziale sollen dokumentiert werden, um sie im nächsten Verbesserungszyklus zu berücksichtigen.²²¹

4.3.5 Zwischenfazit

Beim Studium der ISO NORM 14051 konnten einige Erkenntnisse und Kritikpunkte festgestellt werden, die in diesem Abschnitt erläutert werden.

Zwischenfazit 1: Es fehlt die Verbindung zwischen der Materialflusskostenrechnung und einer dynamischen Investitionsrechnung

Die Materialflusskostenrechnung zeigt Potenziale für Effizienzsteigerungen. Falls für die Verbesserung neue Anlagen notwendig sind, gibt es jedoch keine Möglichkeit, eine Investitionsrechnung auf der Basis der Ergebnisse der Materialflusskostenrechnung durchzuführen. Es wird ein Ansatz benötigt, der diese Lücke schließt und die berechneten Kosten in eine dynamische Investitionsrechnung überführt (siehe dazu: Kapitel 4.4.1 Materialflusskostenrechnung als Basis für Investitionen).²²²

Zwischenfazit 2: Die Materialflusskostenrechnung ist standortbezogen

Sehr ausführlich behandelt Schrack den Punkt, dass die Materialflusskostenrechnung meist standortbezogen durchgeführt wird. Das Risiko dabei ist, dass Umweltauswirkungen auf die vor- oder nachgeschalteten Stufen der Supply-Chain ausgelagert werden könnten. In den meisten Fällen ist aber eine Effizienzsteigerung bzw. eine Verlustreduktion im eigenen Unternehmen nur durch verstärkte

²¹⁹ Vgl. ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 18

²²⁰ Vgl. ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 19

²²¹ Vgl. ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 19

²²² Vgl. Götze; Sygulla (2014), S. 37

Zusammenarbeit mit dem Lieferanten bzw. dem Kunden möglich. So können im eigenen Unternehmen Verluste reduziert bzw. Effizienz gesteigert werden, weil der Lieferant das Produkt beispielsweise in einer anderen Zusammensetzung liefert, oder der Kunde seine Anforderungen konkreter angibt.²²³ Aus diesem Grund vermerkt die ISO NORM 14051 auch: dass der Einsatz der Materialflusskostenrechnung auf die gesamte Lieferkette ausgedehnt werden kann, um „die Entwicklung eines integrierten Ansatzes zur Verbesserung der Material- und Energieeffizienz“ zu unterstützen.²²⁴

Zwischenfazit 3: Die Materialflusskostenrechnung ist auf die Produktionsphase bezogen

Um die, im Zwischenfazit 2 erwähnte Problemverschiebung auf die vor- und nachgelagerten Wertschöpfungsstufen zu verhindern, müssen ganzheitliche Ansätze verwendet werden. Denn „Nachhaltiges Wirtschaften erfordert von Unternehmen ein lebenszyklusorientiertes Handeln.“²²⁵ Das Ziel des (Produkt) Life Cycle Costings (LCC) ist es, alle Anschaffungs- und Folgekosten eines Produkts über die ganze Lebensdauer hinweg zu erfassen und in Folge zu minimieren.²²⁶ Dabei werden Modelle gebildet, die produktspezifische Analysen und Unterstützung beim Treffen von lebenszyklusbezogenen Entscheidungen ermöglichen.²²⁷ Im Gegensatz zur Kostenorientierung des Life Cycle Costings, versucht das Life Cycle Assessment²²⁸ die entstandenen Umweltauswirkungen eines Produkts zu erfassen. Dabei werden die entstandenen Belastungen von der Rohstoffgewinnung über den gesamten Lebenszyklus bis zur Entsorgung offengelegt. Das Ziel des LCA ist es, Potenziale zur Verbesserung der Umwelteigenschaften der Produkte aufzuzeigen.²²⁹ Das LCC und das LCA werden meist getrennt voneinander durchgeführt, was zur Folge hatte, dass zwei Modelle erstellt wurden und auch zwei getrennte Datenbanken erstellt und gewartet werden mussten. Die Materialflusskostenrechnung wird als geeignete Methode zum Schließen der Lücke zwischen der LCC und der LCA gesehen.²³⁰

Zwischenfazit 4: Energie nicht genügend berücksichtigt

Wie der Name „Materialflusskostenrechnung“ bereits sagt, liegt der Fokus auf der Analyse der Materialkosten. Zu den Energiekosten wird in der ISO NORM 14051 erläutert, dass die Energiekosten entweder zum Material hinzuzurechnen sind, oder gesondert erfasst werden sollen.²³¹ Da es das Ziel dieser Arbeit ist, sowohl die Material als auch die Energieeffizienz mithilfe der Materialflusskostenrechnung zu erhöhen, müssen noch Methoden, die sich speziell mit den Energiekosten auseinandersetzen,

²²³ Vgl. Schrack (2014), S. 64

²²⁴ ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 6

²²⁵ Herrmann (2010), S. 4

²²⁶ Vgl. Coenenberg et al. (2012), S. 600

²²⁷ Vgl. Götze (2004), S. 287

²²⁸ Deutsch: Ökobilanz

²²⁹ Vgl. ÖNORM EN ISO 14040:2009-11, S. 4

²³⁰ Bierer et al. (2014), S. 3

²³¹ Vgl. ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 7

erforscht werden. Ein Ansatz, um diese Lücke zu schließen, wird im Kapitel 4.4.4 Materialflusskostenrechnung und die Modellierung von Energieflüssen vorgestellt.

Zwischenfazit 5: Behandlung von Redundanzen/interner Recyclingkreisläufe ungenügend definiert

Die Behandlung von Ineffizienzen, die nicht Abfall sind, sondern durch interne Recyclingkreisläufen entstehen, ist derzeit noch eine methodische Herausforderung.²³² Die Wiederaufbereitung von Abfall ist zwar besser als die externe Entsorgung, deutet aber trotzdem auf Ineffizienzen des Prozesses hin.²³³ Im Kapitel 4.4.5 Materialflusskostenrechnung und die Behandlung interner Kreisläufe wird für die Behandlung dieser Thematik vorgestellt.

Zwischenfazit 6: Die Behandlung von Erlösen aus dem Verkauf von Reststoffen ist noch ungeklärt

In der ISO NORM 14051 werden bisher lediglich die Kosten berücksichtigt, doch der Verkauf von Reststoffen und die damit verbundenen Erträge müssen ebenfalls eine Berücksichtigung in der Materialflusskostenrechnung finden. Der Grund ist, dass aus den Verkäufen erzielten Erlöse den Grad der Ineffizienz beeinflussen.²³⁴ Im Kapitel 4.4.6 Materialflusskostenrechnung und die Behandlung von Erträgen wird näher auf diese Thematik eingegangen.

Zwischenfazit 7 – Fehlende Berücksichtigung externer Kosten

Bei der Berechnung der Materialkosten schlägt die ISO NORM 14051 vor: Standard-, Durchschnitts- oder Anschaffungskosten als Basis zu verwenden. Allerdings sind in den derzeitigen Preisen noch keine externen Kosten erfasst, sondern lediglich die bereits internalisierten Kosten berücksichtigt. Die Kosten für die Inanspruchnahme der Umwelt sind derzeit noch ungeklärt, vermutlich orientiert sich deren Berechnung eher an einzelwirtschaftlichen Gewinnungskosten, als an der „tatsächlichen“ Umweltbeanspruchung.²³⁵ Schrack hält fest, dass - solange die Marktpreise nicht die tatsächlichen Kosten, also *alle* Kosten, die durch die Umwelteinwirkung des Produkts entstehen, beinhalten - die Materialflusskostenrechnung vom ökologischen Standpunkt aus gesehen, zu irrationalen Entscheidungen führen wird, die eine andauernde Ressourcenübernutzung nach sich zieht.²³⁶ Auch die selbst verursachten externen Kosten finden keine Berücksichtigung in den Berechnungen. Die ISO NORM 14051 schreibt dazu, dass ein Unternehmen externe Kosten, sollte es gewünscht sein, mit einbeziehen kann, aber die externen Kosten „sind [...] nicht dem Anwendungsbereich dieser Internationalen Norm zugeordnet“²³⁷. Die Materialflusskostenrechnung ist damit in erster Linie ein Ansatz zur ökonomischen Optimierung und zum Auffinden von

²³² Vgl. Schrack (2014), S. 63

²³³ Vgl. Viere et al. (2010), S. 205

²³⁴ Vgl. Schmidt et al. (2014), S. 7

²³⁵ Vgl. Schreiner (1996), S. 18f.

²³⁶ Vgl. Schrack (2014), S. 62

²³⁷ ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 6

innerbetrieblichen Effizienzpotenzialen, die ökologische Optimierung ist dabei ein untergeordnetes Bestreben.²³⁸

4.4 Abseits der ISO NORM 14051: Erweiterungen der Materialflusskostenrechnung

Wie im oben dargestellten Zwischenfazit festgehalten, gibt es in der Literatur einige Kritikpunkte an der vorliegenden ISO NORM 14051. In diesem Kapitel werden die Ansätze, die in der Zwischenzeit entwickelt wurden, um die Lücken zu schließen, vorgestellt.

4.4.1 Materialflusskostenrechnung als Basis für Investitionen

Die Implementierung einer Materialflusskostenrechnung und die daraus resultierende Analyse der Materialverluste führen nach Nakajima zur Verbesserung der Prozesse und zu Investitionen.²³⁹ Die Vorteilhaftigkeit einer Investition, die durch die Durchführung einer Materialflusskostenrechnung angestoßen wurde, muss aber beurteilt werden können. Durch die Materialflusskostenrechnung werden bereits einige Kosten, die investitionsrelevant sind, erfasst, beispielweise die Abschreibung, die nach der ISO NORM 14051, Teil der Systemkosten²⁴⁰ sind. Werden zusätzlich noch Zinsen, Versicherung und Instandhaltung inkludiert, kann die Materialflusskostenrechnung bereits als eine Form der Investitionsrechnung gesehen werden, wenn sie mit zukunftsorientierten geplanten Daten arbeitet. Schmidt et al. ordnen sie dem Ansatz der Kostenvergleichsrechnung bzw., wenn auch Erlöse mit einbezogen werden, der Gewinnvergleichsrechnung zu.²⁴¹

Die Kostenvergleichsrechnung zählt zu den statischen Investitionsrechnungsansätzen, welche wiederum „Modelle für [die] „Vorteilhaftigkeitsentscheidungen bei einer Zielgröße“²⁴² beschreiben. Bei der Entscheidung über die Vorteilhaftigkeit wird unterschieden zwischen einem absoluten und einem relativen Vorteil. Wenn einer Investition dem Unterlassen einer Investition der Vorzug gegeben wird, wird sie als absolut vorteilhaft bezeichnet. Wenn eine Investition gegenüber mehreren Investitionen, die sich untereinander ausschließen, vorteilhaft ist, dann wird sie als relativ vorteilhaft bezeichnet. Bei der Vorteilhaftigkeitsentscheidung wird nur eine Zielgröße berücksichtigt. Die Zielgröße ist eine monetäre Größe, oder eine von ihr abgeleitete. Bei der statischen Investitionsrechnung wird nur ein durchschnittlicher (hypothetischer) Zeitabschnitt berücksichtigt. Beim Kostenvergleichsverfahren sind die Kosten die Zielgröße, die als Durchschnittsgröße für den Planungszeitraum berechnet

²³⁸ Vgl. Schrack (2014), S. 62

²³⁹ Vgl. Nakajima, Environmental Management Accounting for Cleaner Production: Systematization of Material Flow Cost Accounting (MFCA) into Corporate Management System (2011), S. 20

²⁴⁰ Götze; Sygulla (2014), S. 37

²⁴¹ Vgl. Schmidt et al. (2014), S. 10

²⁴² Götze (2008), S. 49

werden. Werden neben den Kosten auch die Erlöse einbezogen, handelt es sich um die Gewinnvergleichsrechnung. Die Folge der Bildung von Durchschnittsgrößen ist, dass die zeitlichen Unterschiede beim Anfallen der Kosten verloren gehen. Am Anfang der Investition ist die Kapitalbindung beispielsweise noch hoch und sinkt über die Zeit, d.h. dass zu Beginn noch höhere Zinsen anfallen als am Ende. Im Gegensatz dazu ziehen dynamische Modelle mehrere Perioden in die Berechnung mit ein. Sie bilden damit die erwarteten Ein- und Auszahlungen im Zeitverlauf ab.²⁴³ Der von der finanzwirtschaftlichen Literatur am stärksten empfohlene Ansatz der dynamischen Investitionsrechnung ist die Kapitalwertmethode.²⁴⁴

Die Kapitalwertmethode wird verwendet, um verschiedene Investitionsalternativen miteinander zu vergleichen, das Entscheidungs-Kriterium ist der „Kapitalwert“. Der Kapitalwert einer Investition ist „die Summe aller auf einen Zeitpunkt $t = m$ ab- bzw. aufgezinsten Ein- und Auszahlungen, die mit der Investition verbunden sind.“²⁴⁵ Wird der Kapitalwert abgezinst auf den Beginn des Planungszeitraums, was häufig geschieht, bezeichnet man ihn als „Barwert“. Die Formel zur Berechnung des Kapitalwert, oder Barwert, zum Zeitpunkt $t = 0$ lautet:²⁴⁶

$$KW = \sum_{t=0}^T (e_t - a_t) * q^{-t}$$

Wobei:

KW = Kapitalwert

T = letzter Zeitpunkt, in dem Zahlungen anfallen

e_t = Einzahlungen zum Zeitpunkt t

a_t = Auszahlungen zum Zeitpunkt t

q^{-t} = Abzinsungsfaktor für den Zeitpunkt t

Der Abzinsungsfaktor q^{-t} kann auch angeschrieben werden als $(1 + i)^{-t}$. Für den Zinssatz (i) wird bei der Kapitalwertmethode von einem „vollkommenen“ Kapitalmarkt ausgegangen, auf dem unbegrenzt finanzielle Mittel zu einem einheitlichen Kalkulationszinssatz angelegt bzw. aufgenommen werden können.

Wenn der ermittelte Kapitalwert größer Null, also positiv ist, dann wird von einer absoluten Vorteilhaftigkeit gesprochen. Werden mehrere konkurrierende Investitionsobjekte miteinander verglichen, dann muss die relative Vorteilhaftigkeit der Investitionen ermittelt werden. Die relative Vorteilhaftigkeit einer Investition ist für jenes Projekt gegeben, das den höchsten Kapitalwert besitzt.²⁴⁷ Für jeweils zwei Objekte lässt sich die relative Vorteilhaftigkeit mithilfe der sogenannten Differenzinvestition

²⁴³ Vgl. Götze (2008), S. 49 f.

²⁴⁴ Vgl. Müller (2008), S. 98

²⁴⁵ Busse v. Colb; G. (1977), S. 291

²⁴⁶ Vgl. Götze (2008), S. 71 f.

²⁴⁷ Vgl. Pape (2011), S. 353

ermitteln. Der Kapitalwert der Differenzinvestition (KW_D) wird aus der Differenz der Kapitalwerte zweier Investitionen ermittelt. Es gilt für die Objekte A und B, wobei A die höheren Anschaffungsauszahlungen besitzt:²⁴⁸

$$KW_D = KW_A - KW_B = \sum_{t=0}^T \{(e_{tA} - a_{tA}) - (e_{tB} - a_{tB})\} * q^{-t}$$

Ist die Differenzinvestition größer Null, heißt das, dass das Investitionsobjekt A einen höheren Kapitalwert als das Investitionsobjekt B hat und damit relativ vorteilhaft ist.²⁴⁹

Nachdem nun die grundlegenden Begriffe der statischen und dynamischen Investitionsrechnung erläutert wurden, kann festgehalten werden, dass die Ergebnisse der Materialflusskostenrechnung nach ISO NORM 14051 aus der Sicht der Investitionsrechnung statisch und auf eine Periode begrenzt sind.²⁵⁰ Es wurde gezeigt, dass unter der Prämisse, dass die Materialflusskostenrechnung mit zukunftsorientierten Daten arbeitet, sie als eine Art der statischen Investitionsrechnung gesehen werden kann. Da die statische Investitionsrechnung aus dem oben genannten Grund kritisiert wird, sollen die Ergebnisse der Materialflusskostenrechnung in eine dynamische Investitionsrechnung überführt werden. Schmidt et al. stellen dazu einen Ansatz vor und zeigen, wie die Ergebnisse der Materialflusskostenrechnung in eine dynamische Investitionsrechnung eingebunden werden können: zuerst muss der betrachtete Zeitraum ausgeweitet werden. Die auf eine Periode begrenzte Berechnung kann als Start dienen, muss jedoch um zukunftsbezogene geplante Daten erweitert werden. Neben der Erweiterung des Zeithorizonts müssen auch jene Kosten, die noch nicht in der Materialflusskostenrechnung Berücksichtigung gefunden haben, aber monetären Charakter aufweisen, noch eingerechnet werden.²⁵¹ Um Prognosedaten zu ermitteln, werden von der Literatur mehrere Verfahren zur Verfügung gestellt, z.B.: Zeitreihenanalyse, die jedoch hier nicht erörtert werden soll, stattdessen wird auf die spezifische Literatur verwiesen.²⁵² Da die Prognosedaten Unsicherheiten unterliegen, schlagen Schmidt et al. vor, eine Sensitivitäts-Analyse durchzuführen, um die Konsequenzen aus den Schwankungen der Daten abschätzen zu können.

Als nächster Schritt müssen die ermittelten Kosten in Ein- und Auszahlungen umgewandelt werden, es muss eine sogenannte Cashflow Rechnung durchgeführt werden. Als Cashflow wird der erwirtschaftete Zahlungsüberschuss aus einer Periode bezeichnet. Der Cashflow wird zur Bewertung der Innenfinanzierungsmöglichkeit und der Finanzlage eines Unternehmens eingesetzt.²⁵³ Zur Berechnung des Cashflows schlagen Schmidt et al. das folgende Schema vor:

²⁴⁸ Vgl. Götze (2008), S. 73

²⁴⁹ Vgl. Götze (2008), S. 73

²⁵⁰ Götze; Sygulla (2014), S. 37

²⁵¹ Vgl. Schmidt et al. (2014), S. 10

²⁵² z.B.: Hüttner Manfred: Prognoseverfahren und ihre Anwendung

²⁵³ Vgl. Horvath (1998), S. 443

Ergebnis = Erlöse - Kosten
+ Kosten, die nicht Auszahlungen sind
- Erlöse, die keine Einzahlungen sind
- Auszahlungen, die keine Kosten sind
+ Einzahlungen, die keine Erlöse sind
<hr/>
Netto-Cash Flow
<hr/> <hr/>

Welche Positionen zum Ansatz in der Cashflow Rechnung kommen, ist situationsabhängig. Die Abschreibung muss auf jeden Fall vom Ergebnis abgezogen werden, da sie als Kosten im Ergebnis berücksichtigt wird, aber zu keiner Auszahlung führt. Dafür müssen Investitionskosten und Liquidationserlöse noch mit einbezogen werden. Da die kalkulatorischen Zinsen für die Investition bereits in der Kapitalwertberechnung berücksichtigt werden, müssen sie aus dem Cashflow ausgeschlossen werden.²⁵⁴

Die bisher offen gebliebene Frage ist, wie die notwendigen Anpassungen, um den Cashflow zu berechnen, in den Kontext der Materialflusskostenrechnung gestellt werden können. Schmidt et al. stellen zwei Arten vor, um die Anpassungen vorzunehmen. Beim ersten Vorschlag wird die Ermittlung der Kosten umgestellt auf die Ermittlung des Cashflows. Es werden „System Auszahlungen“ anstatt der Systemkosten berechnet. Die Materialflusskostenrechnung wäre dann keine Kostenrechnung mehr, sondern eine Materialcashflowrechnung. Der zweite Vorschlag versucht, die Ergebnisse der „traditionellen“ Materialflusskostenrechnung anzupassen und ist damit weniger komplex als der erste Vorschlag. Die Anpassung erfordert lediglich, dass das ermittelte Ergebnis um die Abschreibung und die kalkulatorischen Zinsen bereinigt werden müsste.²⁵⁵

4.4.2 Materialflusskostenrechnung in der Supply Chain

Da die Materialflusskostenrechnung meist standortbezogen durchgeführt wird, besteht das Risiko, dass Umweltauswirkungen auf die auf die vor- oder nachgeschalteten Stufen der Supply-Chain ausgelagert werden könnten.²⁵⁶ Zusätzlich können die durch die Materialflusskostenrechnung aufgedeckten Verluste in zwei Kategorien eingeteilt werden. Die erste Kategorie umfasst Verluste, die von dem Unternehmen selbst kontrolliert werden können. Die zweite Kategorie beschreibt jene Verluste, die nicht allein von der Firma kontrolliert werden.²⁵⁷ Werden Verluste in die zweite Kategorie eingeordnet, ist eine Effizienzsteigerung nur mit Beteiligung der vor- bzw. nachgelagerten Wertschöpfungsstufen möglich.

²⁵⁴ Vgl. Schmidt et al. (2014), S. 11

²⁵⁵ Vgl. Schmidt et al. (2014), S. 11

²⁵⁶ Vgl. Schrack (2014), S. 64

²⁵⁷ Vgl. Nakajima et al. (2013), Folie 12

Darüber hinaus vollzieht sich in der Industrie ein andauernder Strukturwandel: statt billiger Rohstoffe werden hochkomplexe Zwischenprodukte eingekauft. Durch das Streben der Unternehmen, die Fertigungstiefe zu senken, wird die Wertschöpfung auf immer mehr Teilnehmer verteilt. Jeder Teilnehmer (jede Stufe in der Supply Chain) fügt mit seinen Prozessen dem Produkt ökonomischen Wert hinzu, was zur Folge hat, dass die Zwischenprodukte zwar ein geringeres physisches Gewicht haben können als das des vormaligen Rohstoffes, der monetäre Wert jedoch deutlich höher ist. Arbeitet ein Unternehmen am Ende der Kette ineffizient, so hat selbst ein kleiner Materialverlust großen ökonomischen Verlust zur Folge, weil damit auch hohe Wertschöpfungsteile verloren gehen.²⁵⁸

Führt ein Unternehmen in der Wertschöpfungskette eine Materialflusskostenrechnung durch und kann damit seine Effizienz steigern, hat dies auf die vor- und nachgelagerten Stufen unterschiedliche Auswirkungen. Die gesteigerte Materialeffizienz führt zu verringerten Verlusten,²⁵⁹ was zur Folge hat, dass sich auch der Input verringert. Das in der Supply-Chain vorgelagerte Unternehmen wird dies durch verminderte Bestellmengen bemerken, sofern der Absatz beim fokalen Unternehmen nicht gesteigert werden kann. Auf der Kundenseite kann das fokale Unternehmen versuchen, die erhöhte Materialeffizienz und die damit verbunden niedrigeren Kosten als Wettbewerbsvorteil zu nutzen, indem es die Ersparnisse teilweise weitergibt.²⁶⁰

Um das volle Potenzial der Materialflusskostenrechnung auszuschöpfen, ist die Bildung eines umfassenden Materialflusskostenrechnung-Netzwerks notwendig, in dem die Materialflusskostenrechnung durchgängig in allen beteiligten Unternehmen eingesetzt wird. Voraussetzungen für das Funktionieren dieses Netzwerks sind:²⁶¹

- Informationstransparenz
- Kommunikation
- Zusammenarbeit
- Definierte Schnittstellen
- Koordination
- Einheitliche Mengen- und Kostenrechnung
- Synchronisation der IT Systeme
- Vertrauen und die
- Identifikation mit den definierten Zielen

Wenn alle Unternehmen in der Lieferkette die Materialflusskostenrechnung einführen, kommt es zu wechselseitigen (reziproken,) Mengen – und Kostenwirkungen entlang der Lieferkette.

²⁵⁸ Vgl. Schmidt M. (2012), S. 243f.

²⁵⁹ Verluste werden auch Non-Produkt-Output (NPO) genannt

²⁶⁰ Vgl. Schrack (2014), S. 69

²⁶¹ Vgl. Schrack (2014), S. 70f

Das Konzept für die Ausweitung der Materialflusskostenrechnung auf die gesamte Wertschöpfungskette lehnt Schrack an das Konzept der Zielkostenrechnung an.²⁶² Die Zielkostenrechnung ist stark markt- und kundenorientiert.²⁶³ Es wird dabei untersucht, wie hoch der vom Markt bestimmte Absatzpreis ist. Um die zulässigen Produktionskosten zu erhalten, wird die gewünschte Zielrendite vom geplanten Absatzpreis abgezogen.²⁶⁴ Die vom Markt erlaubten Soll-Kosten liegen zumeist über den derzeitigen in der Produktion erreichbaren Ist-Kosten.²⁶⁵ Die Differenz zwischen Soll- und Istkosten gibt Aufschluss darüber, wie hoch die notwendige Kostenreduktion sein sollte. In einem Wertschöpfungssystem kann der Zulieferer in die Mitverantwortung zur gewünschten Kostenreduktion gezogen werden. Die Preisgrenze für das Produkt sind die erlaubten Soll-Kosten des bestellenden Unternehmens.²⁶⁶

Die Materialflusskostenrechnung in der Lieferkette hat also ihren Anfang darin, dass vom Kunden der gewünschte Verkaufspreis festgelegt wird oder der Kunde mit dem Wunsch nach einem niedrigeren Preis an das Unternehmen herantritt. Nach Berücksichtigung eines Gewinnaufschlages sind die Soll-Kosten bekannt. Die höher liegenden Ist-Kosten im Vergleich zu den Soll-Kosten sind die Zielvorgabe für die Kostenreduktion. Je nach Effizienzsituation und auch Marktmacht versucht das Unternehmen nun die Kosten entweder durch eigene Effizienzsteigerungsmaßnahmen zu senken, oder die gewünschte Kostenreduktion durch Preisverhandlungen mit dem Lieferanten zu generieren. Die Preisverhandlungen mit dem Lieferanten sind danach wieder der Ausgangspunkt für Effizienzsteigerungen beim Lieferanten. Je mehr Unternehmen sich beteiligen und Maßnahmen zur Steigerung der Material- und Energieeffizienz einführen, desto kleiner wird der NPO-Anteil und desto höher die Effizienz der gesamten Lieferkette.²⁶⁷

Die Potenziale einer Ausdehnung der Materialflusskostenrechnung auf die gesamte Supply-Chain sieht Schrack:²⁶⁸

- im Identifizieren der besonders ineffizienten Produktionsbereiche in der Lieferkette, um Verbesserungen anzustoßen
- in der Steigerung der Ökoeffizienz
- in der Entstehung einer gemeinsamen Produktentwicklung und einer engeren Zusammenarbeit zwischen den einzelnen Unternehmen
- im unternehmensübergreifenden Lernen und gemeinsamem Wissensaufbau
- durch eine verbesserte Lieferqualität, Fehlerfreiheit und geringere Lagerbestände aufgrund genauerer Bestellmengen

Die Forderung nach der Ausdehnung der Materialflusskostenrechnung auf die Lieferkette wurde vom Normungsinstitut wahrgenommen.²⁶⁹ Die ISO NORM 14052,

²⁶² Vgl. Schrack (2014), S. 72

²⁶³ Vgl. imu augsburg GmbH & Co KG (2003), S. 6

²⁶⁴ Vgl. Coenenberg et al. (2012), S. 559

²⁶⁵ Vgl. Götze (2004), S. 273

²⁶⁶ Vgl. Coenenberg et al. (2012), S. 591

²⁶⁷ Vgl. Schrack (2014), S. 74 f.

²⁶⁸ Vgl. Schrack (2014), S. 75

deren Veröffentlichung für 2017 geplant ist, beschäftigt sich daher mit dieser Erweiterung.

4.4.3 Materialflusskostenrechnung als Lebenszyklusrechnung

Eine Schwäche der Materialflusskostenrechnung ist ihre Beschränkung auf den Produktionsbereich. Es gibt aber Vorschläge in der Literatur, den Horizont auf den gesamten Lebenszyklus eines Produkts zu erweitern. Die Materialflusskostenrechnung kann in diesem Ansatz dann als Verbindung zwischen dem LCC und dem LCA gesehen werden. Bierer et al. schlagen dafür ein Drei-Schritte-Modell vor:²⁷⁰

1. Flussmodellierung entlang des gesamten Lebenszyklus
2. Feststellen der Mengenströme für jede Phase
3. Abschätzen der ökonomischen und ökologischen Auswirkungen der Flüsse

Die Betrachtung des gesamten Lebenszyklus' des Produkts bedeutet auch die Integration aller beteiligten Teilnehmer der Wertschöpfungskette in die Materialflusskostenrechnung. Das Erstellen eines Lebenszykluskonzepts führt zur Unterteilung des Produktlebenszyklus in verschiedene Phasen. Die Phasen Rohstoffgewinnung, Produktion und Entsorgung, die in der Materialflusskostenrechnung als Mengenstellen dargestellt eingehen, werden von den Stoff- und Energieströmen im Regelfall nur einmal durchlaufen.

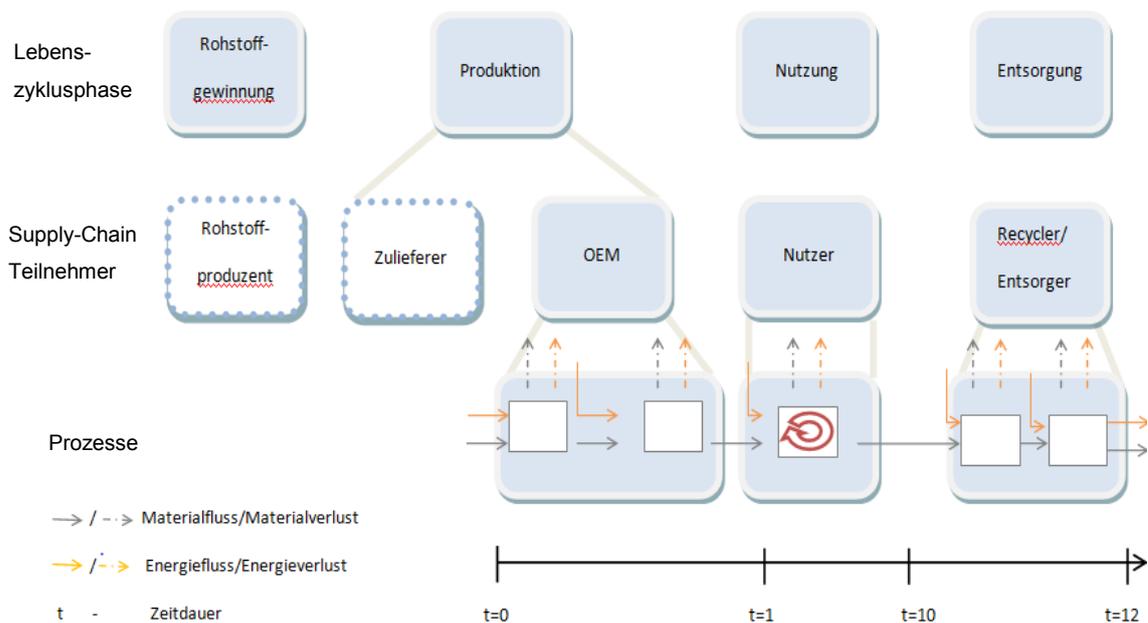


Abbildung 16: Lebenszyklus Flussbetrachtung²⁷¹

Während der Nutzungsphase wird das Produkt aber mehrere Male verwendet, es durchläuft also die Mengenstelle mehrmals. Zusätzlich ändert sich die Flussmenge über den betrachteten Zeitraum, was zur Konsequenz haben kann, dass ein einziges über die Zeit konstantes bleibendes Flussmodell zur Modellierung nicht mehr genügt.

²⁶⁹ Vgl. Prox (2014), S. 178 f.

²⁷⁰ Vgl. Bierer et al. (2014), S. 7

²⁷¹ Quelle: Sygulla et. al: Material Flow Cost Accounting as the tie for integrating LCC and LCA, 2013, S. 145 – 149 nach Bierer et al. (2014), S. 10

Eine weitere Herausforderung bei der Flussmodellierung über den gesamten Produktlebenszyklus ist die Betrachtung von Kreisläufen und Überschneidungen von Prozessen, wie z.B. in den Recyclingprozessen. Auch die Wiederverwendung eines Produkts, das nach einer ersten Nutzungsphase erneuert und modernisiert wird, um danach weitergenutzt zu werden, stellt einen solchen Kreislauf dar. Recyclingprozesse verursachen Stoff- und Energiekreisläufe. Die Herausforderung dabei besteht darin, dass sie sich über mehrere Periodenlängen erstrecken können und Zeitlücken zwischen dem Recycling und den Produktionsaktivitäten bestehen können.²⁷² Da das LCC auf einer dynamischen Investitionsrechnung basiert, müssen die ermittelten Kosten in den Cashflow überführt werden.²⁷³

Kosten
+ Kosten, die nicht Auszahlungen sind
- Auszahlungen, die keine Kosten sind
<hr style="width: 100%;"/>
Zahlungsausgänge
<hr style="width: 100%;"/>

Im dritten Schritt muss die ökologische Wirkung durch das Produkt ermittelt werden, sie wird beispielsweise durch den CO₂-Ausstoß oder Flächenbedarf ausgedrückt. Den schwierigsten Schritt in der Erweiterung der Materialflusskostenrechnung auf den gesamten Produktlebenszyklus sehen Bierer et al. aber in der Generierung der benötigten Daten. Einerseits müssen die Daten der anderen Teilnehmer der Wertschöpfungskette bekannt gegeben, andererseits müssen die Berechnungsarten und Definitionen aneinander angepasst werden.²⁷⁴

4.4.4 Materialflusskostenrechnung und die Modellierung von Energieflüssen

Wie im Zwischenfazit 4 bemerkt, wird für die Berücksichtigung von Energieflüssen laut der ISO NORM 14051 festgehalten, dass sie entweder als Material oder auch gesondert erfasst werden können. Es werden jedoch keine methodischen Grundlagen für den Umgang mit Energie geschaffen.²⁷⁵ Wenn die Energieverluste unter den Materialverlusten subsummiert werden, geht die angestrebte Transparenz verloren. Wird die Energie nicht gesondert ausgewiesen, hat das zur Folge, dass es unwahrscheinlich ist, dass Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz vom Management ergriffen werden. Wird die Entscheidung getroffen, die Energie separat zu erfassen, dann können die folgenden Fälle voneinander abgegrenzt werden:

- a. Energie als energetischer Output: In diesem Fall kommt es zu einer Umwandlung des Inputs „Energie“ in einen Output „Energie“. Als Output liegt die Energie in der gewünschten physikalischen Form (z.B.: elektrische Energie) und als Verlust (z.B.: Abwärme, Vibration) vor. Die Prozessstelle, in der die

²⁷² Vgl. Bierer et al. (2014), S. 9 f.

²⁷³ Vgl. Bierer et al. (2014), S. 10

²⁷⁴ Vgl. Bierer et al. (2014), S. 10

²⁷⁵ Vgl. Sygulla et al. (2011), S. 4

physikalische Umwandlung erfolgt, wird in Analogie zur Mengenstelle, als „Energienmengenstelle“²⁷⁶ bezeichnet. Im Flussmodell wird dieser Energiefluss in derselben Form wie der Materialfluss dargestellt.²⁷⁷

- b. Energie als materieller Output: hier ist die eingesetzte Energie in das Produkt bzw. den Verlust mit eingegangen. Der Anteil der Energie der zur Erstellung des Produktes verwendet wurde, soll nach Schmidt et al. „aktive Energie“, oder „Arbeit“ genannt werden.²⁷⁸ Sygulla et al. schlagen in diesem Fall vor, in der Modellierung diese Tatsache zu visualisieren. Die Verbindung aus dem stofflichen und energetischen Fluss wird mit einem zweifarbigen Pfeil markiert.²⁷⁹

Nachdem also die Behandlung von Energieflüssen im Flussmodell geklärt wurde, ist die Frage der Quantifizierung noch zu beantworten. Die von der ISO NORM 14051 vorgeschlagene Einheit für Material ist das Kilogramm [kg]. Um verschiedene Energieinputs zu modellieren, ist sie nicht geeignet. Die passendere Einheit ist die Kilowattstunde [kWh], die Einheit für die geleistete Arbeit. Die Feststellung der Menge der geflossenen Energie, kann im Fall a, bei der Energie auch Output ist, mithilfe von Messgeräten in der Energienmengenstelle bewerkstelligt werden.

Im Fall b, bei dem die Energie in das Produkt respektive in den Verlust eingeht, ist die Quantifizierung der Energieflüsse viel komplizierter und kann oft nur mit sehr hohem Aufwand festgestellt werden.²⁸⁰ Aus diesem Grund schlagen Schmidt et al. eine differenzierte, je nach Aufwand/Nutzen abgeschätzte Vorgehensweise vor, um die eingesetzte Energie zu ermitteln:

- Messen: wenn der Aufwand den Nutzen rechtfertigt, soll gemessen werden
- Berechnen mithilfe physikalischer Gesetzmäßigkeiten
- Experimentell bestimmen
- Schätzen aufgrund von bekannten Wirkungsgraden

Die nunmehr identifizierten, modellierten und quantifizierten die Energieflüsse müssen nun noch mit den entstandenen Kosten verknüpft werden. Die extra erfassten Energiekosten werden nicht mehr dem Material oder einer Mengenstelle zugerechnet werden, sondern sind direkte Kosten. Das bedeutet, dass nun zwei Arten von direkten Kosten vorhanden sind: Material und Energie. Für die Allokation der Systemkosten bedeutet das, dass sie auf zwei unterschiedliche Arten von Flüssen erfolgen muss. Die Regeln für die Umrechnung müssen angepasst werden, da die Mengenstelle zwei Outputs (Energie und Material), aber auch zwei Maßeinheiten (kg und kWh) hat. Schmidt et al. schlagen vor, dass die Systemkosten jenem Output zugerechnet werden, der ‚hauptsächlich gewünscht‘ war. Kann eine Mengenstelle eindeutig als Materialmengenstelle identifiziert werden, werden die Systemkosten dem Material zugerechnet, ansonsten dem Energieoutput. Da eine Mengenstelle aber mehrere Prozesse beinhalten kann, ist es möglich, dass die Mengenstelle zwei gewünschte Outputs hat. Die indirekten Kosten müssen dann anteilmäßig auf die Energie und das Material aufgeteilt werden. Der Anteil berechnet sich aus dem Verhältnis des Energie

²⁷⁶ Frei aus dem Englischen übersetzt: ‚energy quantity center‘

²⁷⁷ Vgl. Schmidt et al. (2014), S. 5

²⁷⁸ Vgl. Schmidt et al. (2014), S. 5

²⁷⁹ Vgl. Sygulla et al. (2011), S. 4

²⁸⁰ Vgl. Schmidt et al. (2014), S. 5

bzw. Materialoutputs zum Gesamtoutput. Wurden die Systemkosten verteilt auf den Stoff- bzw. Energieoutput umgelegt, müssen sie noch aliquot auf den gewünschten und unerwünschten Output aufgeteilt werden.²⁸¹

4.4.5 Materialflusskostenrechnung und die Behandlung interner Kreisläufe

Interne Kreisläufe, die in den meisten Branchen vorkommen, benötigen zusätzliche Energie und verursachen eine Verschwendung von Systemkosten. Dem Nutzen des internen Recyclings steht ein ökonomischer und ökologischer Aufwand gegenüber, der abgewogen werden muss. Es gilt, dass der Fokus des Unternehmens auf der Reduktion der Materialströme zu liegen hat. Die Reduktion soll zuerst durch einen sparsamen Umgang mit Ressourcen, oder aber durch Vermeiden von Ausschuss herbeigeführt werden. Erst als zweite Möglichkeit soll das interne Recycling zur Reduktion der Stoffströme in Erwägung gezogen werden. Bei dem Vorteil, den die interne Kreislaufführung - ohne Zweifel - gegenüber der externen Entsorgung hat, wird der Aufwand jedoch von den meisten Unternehmen unterschätzt.²⁸² Die Materialflusskostenrechnung kann hierbei die Unternehmung unterstützen, das Einsparpotenzial beim internen Recycling aufzuzeigen. Viere et al. haben sich mit dieser Thematik beschäftigt und schlagen zwei Verfahren vor, um diese Einsparpotenziale zu ermitteln: entweder durch Szenarienvergleich oder durch Ausschleusen der Kreislaufkosten

Szenarienvergleich²⁸³

Beim Szenarienvergleich wird der, rein hypothetische Fall einer Minimierung der Materialrückläufe auf Null, abgebildet.²⁸⁴ Das erste Szenario, in Abbildung 18 berücksichtigt nicht die internen Kreisläufe. Weil der Reststoffstrom das Unternehmen nicht verlässt, muss es zu keinem Ausweis der mit dem Verlust zusammenhängenden Materialkosten kommen. Jedenfalls zeigt die Abbildung, dass für den Prozess 100 [kg] Rohmaterial und zusätzlich noch 25 [kg] wiederaufbereitetes Rohmaterial benötigt wird, um 100 [kg] von einem Produkt zu erzeugen. Die Gesamtkosten für diesen Prozess belaufen sich demnach auf:

$$\begin{aligned} \text{Gesamtkosten} &= \text{Materialkosten}_{\text{Rohstoff}} + \text{Materialkosten}_{\text{Rohmittlersatz}} + \\ \text{Systemkosten} &= 500 \text{ [€]} + 50 \text{ [€]} + 250 \text{ [€]} = 800 \text{ [€]} \end{aligned}$$

²⁸¹ Vgl. Schmidt et al. (2014), S. 5

²⁸² Vgl. Viere et al. (2010), S. 203

²⁸³ Vgl. Viere et al. (2010), S. 206

²⁸⁴ Vgl. Viere et al. (2010), S. 204

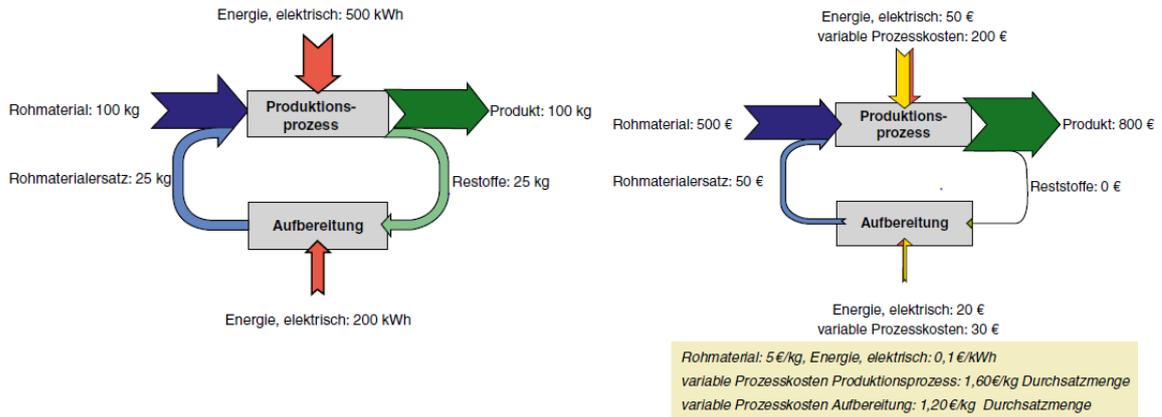


Abbildung 17: Kreislaufführung mit Reststoffe²⁸⁵

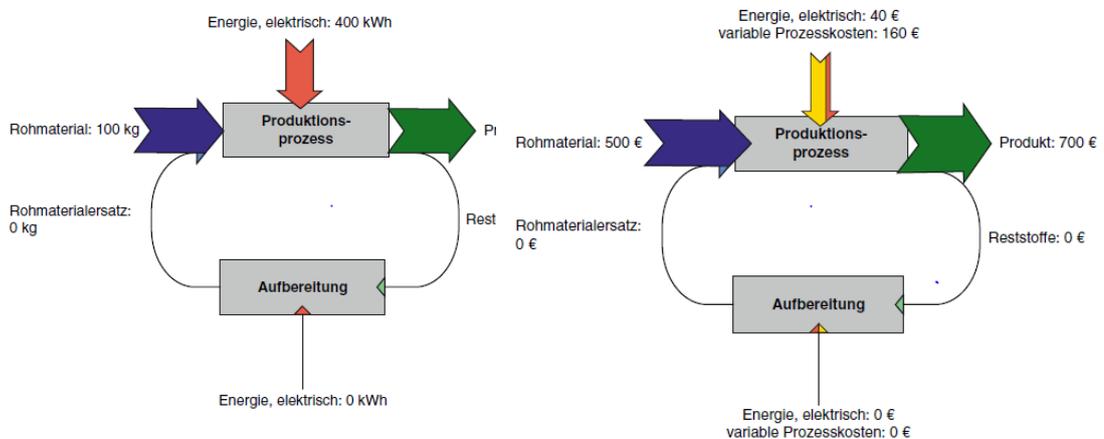


Abbildung 18: Kreislaufführung ohne Reststoffe²⁸⁶

Würde der Prozess ohne Verlust laufen, siehe Abbildung 18, dann könnten einerseits die Kosten für die Wiederaufbereitung gespart werden (hier: die elektrische Energie und Prozesskosten i.H.v. 50 [€]) und andererseits würde auch die für den Produktionsprozess benötigten System- und Energiekosten, aufgrund der verringerten Durchflussmenge, verringert werden (im Beispiel beträgt die Verminderung des der Produktionskosten 50 [€]).²⁸⁷ Würden beim Prozess keine Reststoffe anfallen, könnten in Summe 100 [€] gespart werden.

$$\begin{aligned}
 \text{Einsparpotenzial} &= \frac{\text{Gesamtkosten}_{real} - \text{Gesamtkosten}_{ideal}}{\text{Gesamtkosten}_{real}} \\
 &= \frac{800 - 700}{800} = 0.125 \sim 12,5\%
 \end{aligned}$$

Der ideal ablaufende Prozess, ohne Reststoffe, benötigt einen Materialeinsatz i.H.v. 700 [€], während der nicht-ideale insgesamt 800 [€] kostet – das Einsparpotenzial beträgt also 12,5%.

²⁸⁵ Quelle: Viere et al. (2010), S. 204

²⁸⁶ Quelle: Viere et al. (2010), S. 206

²⁸⁷ Vgl. Viere et al. (2010), S. 206

Ausschleusen der Kreislaufkosten²⁸⁸

Bei dieser Variante hat ein Produktionsprozess (eine Mengenstelle) als Output ein Kuppelprodukt, welches aus Produkt und Reststoff besteht. Die Allokation des Aufwands erfolgt massebezogen auf das Produkt bzw. den Reststoff.²⁸⁹ Viere et al. stellten eine Lösung für die Bewertung der internen Kreisläufe vor, um die Frage zu beantworten, welches Einsparpotenzial das interne Recycling hat. Sie schlagen vor, dass die Bewertung des durch die Aufbereitung wiedergewonnen Rohstoffs zum ursprünglichen Rohstoffpreis erfolgen soll und begründen diese Entscheidung damit, dass der zurückgeführte Rohstoff dieselbe Qualität wie der gekaufte Rohstoff besitzen muss. Allerdings beinhaltet der rückgeführte Reststoff noch „verschwendete Wertschöpfung des Produktionsprozesses und die Wiederaufbereitungskosten“.²⁹⁰ Das Einsparpotenzial setzt sich daher aus dem internen Verrechnungspreis abzüglich des Rohstoffpreises zusammen.

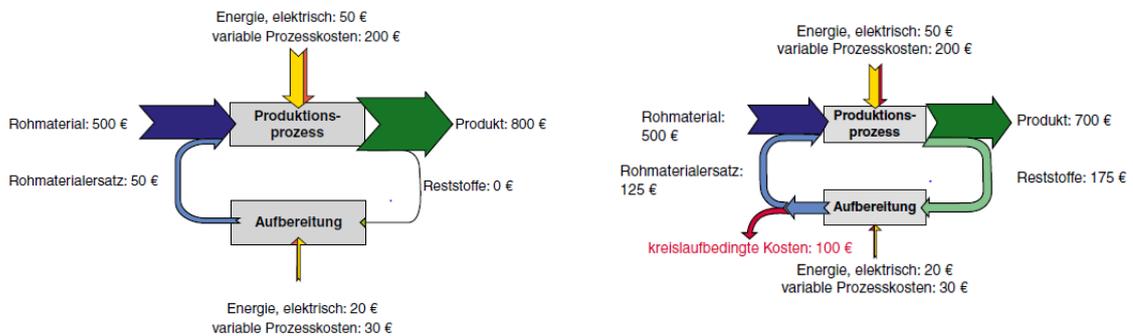


Abbildung 19: Ausschleusen der Kreislaufkosten²⁹¹

Bei dem in Abbildung 19 gezeigten Beispiel sind wieder 25 [kg] Reststoffe, die in den internen Recyclingkreislauf eingehen. Das Rohmaterial kostet 5 [€/kg] und wie die Abbildung auf der rechten Seite zeigt, wurden die 25 [kg] des wiederaufbereitete Material ebenfalls zu diesem Preis bewertet (5 [€/kg] * 25[kg] = 125 [€]). Der Wert des gesamten Material-Inputs beträgt 625 [€], zuzüglich der 250 [€] Systemkosten ergeben sich 875 [€] für 125 [kg] Material, dies entspricht einem Preis pro Kilogramm Output von 7 [€/kg]. Die Reststoffkosten belaufen sich also nach dem Produktionsprozess für 25 [kg] Reststoffe 175 [€]. Die Kosten für die Wiederaufbereitung betragen 50 [€], damit wurden von den Reststoffen bereits 225 [€] verbraucht. Das Einsparpotenzial berechnet sich hier folgendermaßen:

$$\text{Verrechnungspreis} - \text{Rohstoffpreis} = 225 \text{ [€]} - 125 \text{ [€]} = 100 \text{ [€]} \quad (4.1)$$

Das Ausschleusen der Kreislaufkosten kommt zu derselben Ersparnis, wie der Szenarienvergleich. Das Ausschleusen weist ebenfalls das Einsparpotenzial der kompletten Vermeidung der Reststoffe aus.

²⁸⁸ Vgl. Viere et al. (2010), S. 207

²⁸⁹ Vgl. Viere et al. (2010), S. 207

²⁹⁰ Viere et al. (2010), S. 204

²⁹¹ Quelle: Viere et al. (2010), S. 205, 207

4.4.6 Materialflusskostenrechnung und die Behandlung von Erträgen

Die Materialflusskostenrechnung hat ihr Hauptaugenmerk auf der Ressourceneffizienz und ist daher Input orientiert. Für den Umgang mit Erlösen aus „Verlusten“, die z.B. aus dem Verkauf von Aluminiumabfällen entstehen, fehlte bisher ein methodischer Ansatz. Die erzielten Erlöse beeinflussen den Grad der Ineffektivität direkt und sollten aus diesem Grund eine Berücksichtigung in der Rechnung finden.²⁹² Schmidt et al. beschäftigten sich 2014 mit der Frage, wie solche Erlöse in der Materialflusskostenrechnung handzuhaben sind und der folgende Abschnitt bezieht sich auf ihre Ausführung. Ihr Vorschlag umfasst nicht nur die Behandlung von Erlösen, sondern er ermöglicht, mehrere Prozessalternativen, die qualitativ oder einen mengenmäßig unterschiedlichen Prozessoutput haben, miteinander zu vergleichen. Sie lösen diese Problemstellungen durch die Einführung von virtuellen Output-Mengenstellen.²⁹³ Für jeden relevanten Output wird eine solche virtuelle Mengenstelle gebildet, welche die monetäre Auswirkung des nachgelagerten Prozessschritts aufzeigt.

Zum Vergleich wurde in der Abbildung 20, ein Flussdiagramm ohne virtuelle Mengenstellen abgebildet. Wie zu sehen ist, finden die aus dem Verkauf von Reststoffen erzielbare Erlöse hier keine Berücksichtigung. Für jeden Prozess und Output werden nur die damit verbundenen Kosten visualisiert.

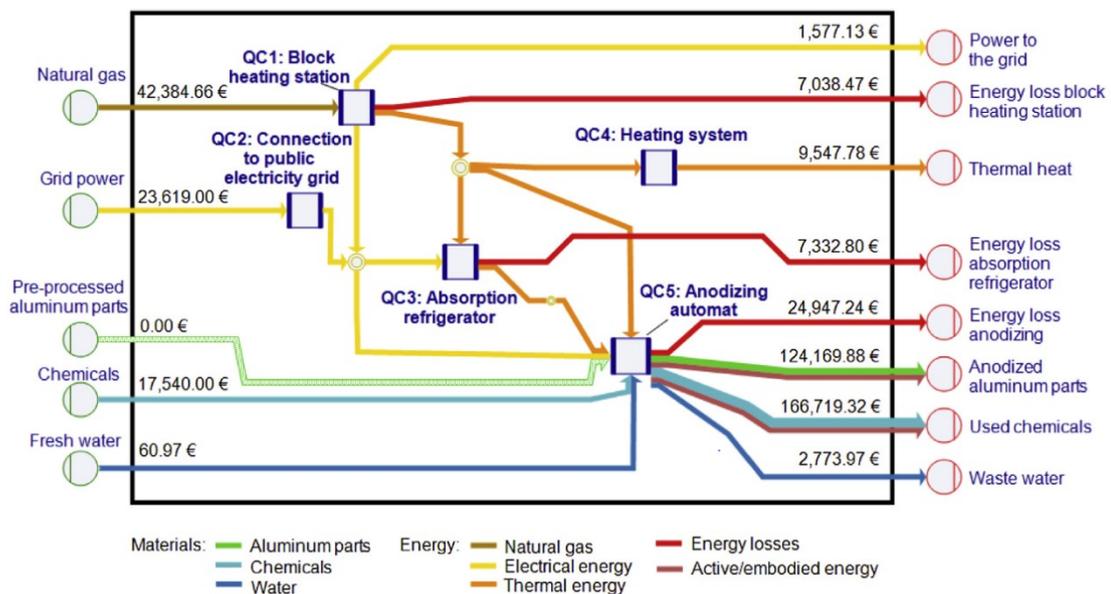


Abbildung 20: Flussmodell ohne virtuelle Mengenstellen²⁹⁴

Demgegenüber steht die Abbildung 21, in der für jeden relevanten Output eine virtuelle Mengenstelle (diese wurden in der Abbildung mit einer gepunkteten Linie

²⁹² Vgl. Schmidt et al. (2014), S. 7

²⁹³ Es werden von Schmidt et al. drei verschiedene Modellierungsmöglichkeiten vorgeschlagen, jedoch wird die Strategie der Schaffung von „virtuellen“ Output-Mengenstellen von ihnen favorisiert.

²⁹⁴ Quelle: Schmidt et al. (2014), S. 8

gekennzeichnet) gebildet wurde. Dem Output „Power to the grid“, wurde eine virtuelle Mengenstelle vorgelagert. Die virtuelle Mengenstelle wiederum wurde mit einem neuen Input verknüpft, der die Erlöse aus dem Verkauf der Energie an das Stromnetzwerk darstellt. Die vormaligen Kosten i.H.v. 1,577.13 [€] wurden also um die Erlöse aus dem Verkauf (1,065.30 [€]) vermindert und dem Unternehmen entstehen nur noch Kosten über 511.83 [€]. Der Verkauf der anodisierten Aluminiumteile trägt mit 1,195,371.20 [€] positiv zum Unternehmenserfolg bei, während in der Abbildung 20 ohne der virtuellen Mengenstellen nur die Kosten über 124,169.88 [€] transparent wurden. Diese zusätzliche Information ist in hohem Maße entscheidungsrelevant, da sie die Sicht/die Wahrnehmung auf die Effizienz des Prozesses direkt verändert.

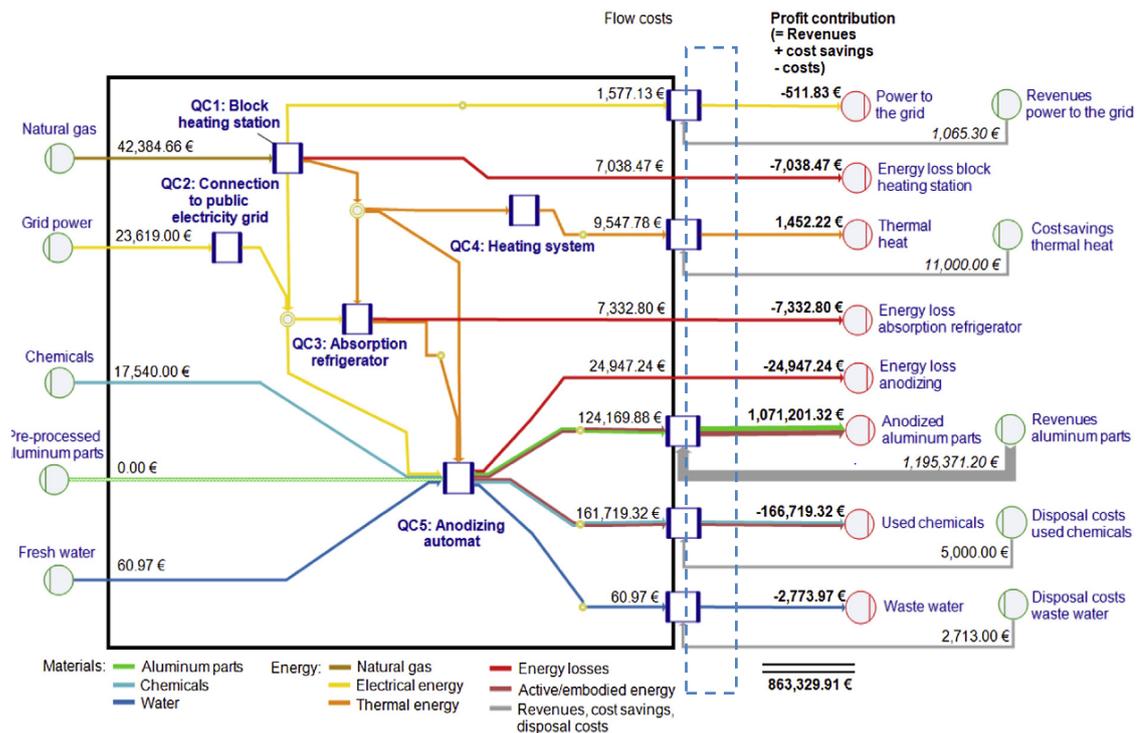


Abbildung 21: Flussmodell mit virtuellen Mengenstellen²⁹⁵

Terminologisch schlagen Schmidt et al. die Bezeichnung „Deckungsbeitrag²⁹⁶“ für die Saldierung der Erlöse mit den Kosten. Der Deckungsbeitrag, der Beitrag zum Gewinn, berechnet sich demnach, wie oben gezeigt, aus den Erlösen plus der Kostenersparnis, abzüglich der Kosten.

4.5 Kritische Betrachtung der Materialflusskostenrechnung

In Anbetracht des hohen Anteils der Energie- und Materialkosten in der Gießereiindustrie sind Ansätze, die dazu beitragen, deren Einsatz zu optimieren, von hoher unternehmerischer und umweltpolitischer Bedeutung. Doch nur wenn Kenntnis über die Stoffströme, also dem Verbrauch und Verbleib der Stoffe, herrscht, können Maßnahmen für deren effiziente Gestaltung gesucht werden. Genau hier liegt der

²⁹⁵ Quelle: Schmidt et al. (2014), S. 9

²⁹⁶ Im Original verwenden Sie den Begriff „profit contribution“.

Einsatzbereich der Materialflusskostenrechnung. Die durchgängige Stoffflussbetrachtung erhöht die Transparenz und durch die Visualisierung der Verluste werden diese den Unternehmen bewusst und Diskussionen angestoßen. Bei der Suche nach Optimierungspotenzialen wird eine systematische Schwachstellenanalyse durchgeführt und das Aufzeigen von entdeckten Kostensenkungspotenzialen liefert handlungsorientierte Informationen für Entscheidungen. Die Materialflusskostenrechnung ist, wenn periodisch durchgeführt, ein geeignetes Mittel zur kontinuierlichen Verbesserung in den Betrieben. Da die Materialflusskostenrechnung den Verlusten aus Energie und Material Kosten zuweist, schließt sie eine Lücke, die die klassische Kostenrechnung hinterlässt. Auch wenn das Hauptziel der Materialflusskostenrechnung die ökonomische Optimierung durch niedrigere Energie- und Materialkosten ist, leistet eine erhöhte Effizienz beim Energie- und Materialeinsatz einen positiven Beitrag zur Ressourcenschonung. In diesem Sinne wird bei der Materialflusskostenrechnung der betriebliche Umweltschutz nicht als Kostentreiber verstanden, sondern als Möglichkeit, Kosten zu senken.

Das auf Basis der Materialflusskostenrechnung geschaffene Modell basiert jedoch auf einer starken Vereinfachung der Realität: es wird ein linearer Zusammenhang zwischen Input und Output angenommen. Nach der Logik der Materialflusskostenrechnung bedeutet eine 10%-ige Reduzierung der Produktionsabfälle eine 10%-ige Reduzierung der Inputs, die zu einer Reduktion des Energieverbrauchs, des Abwassers und der Kohlenstoffemissionen führt. Ergebnisse der Materialflusskostenrechnung können aus diesem Grund nur als Näherung betrachtet werden und nicht als exaktes Ergebnis.²⁹⁷

Zusätzlich kann die Fixierung auf die Material- und Energieverluste als problematisch angesehen werden. Es kann der Verschnitt, der ja offensichtlich einen Materialverlust darstellt, eventuell noch durch Algorithmen verringert werden (auch hier sind technische Grenzen vorhanden). Ganz anders stellt sich jedoch die Situation der Verluste im Bereich der Gießereiindustrie dar. Denn hier ist der „Verschnitt“, also die Höhe der Bei- und Abprodukte durch die Stöchiometrie, welches das Verhältnis der verschiedenen Inputs zueinander für eine vollständige chemische Reaktion festlegt, von vornherein bestimmt. Der Produkt-Output und der Nicht-Produkt-Output²⁹⁸ sind in diesem Fall nicht beliebig veränderbar, sondern stehen in einem direkten Verhältnis zueinander. Zusätzlich zu dieser Schwachstelle kommt noch hinzu, dass zwar gezeigt werden kann, wo Material „verschwendet“ wird und welche monetäre Folge das hat, jedoch gibt die Kostenrechnung keinerlei Auskunft, wie der Verlust verringert werden kann. Für eine Verbesserung ist dann meist eine technische Lösung notwendig. Es ist also notwendig, um tatsächlich eine Verminderung der Verluste zu erzeugen, verschiedene Produktionsverfahren bzw. Produktgestaltungen miteinander zu

²⁹⁷ Vgl. Viere et al. (2009), S. 49

²⁹⁸ Gemäß IFAC Definition ist ein Nicht-Produkt-Output: Jeder Output der nicht ein Produkt ist, ist ein Nicht-Produkt-Output. (Vgl. IFAC (2005), S. 33)

vergleichen.²⁹⁹ Eine reine Materialflusskostenrechnung wie von der ISO NORM 14051 vorgeschlagen kann daher nur als Ausgangspunkt für weitere Schritte gesehen werden. Um das kostengünstigste Produktionsverfahren auszuwählen ist eine darauf aufbauende Investitionsrechnung, wie im Kapitel 4.4.1 vorgestellt, notwendig.

²⁹⁹ Vgl. Schmidt M. (2012), S. 247ff.

5 Praktische Fallstudie: Georg Fischer Fittings GmbH

Im ersten Abschnitt des praktischen Teils wird die Planungsphase erläutert in der die Prozesse analysiert und modelliert werden. Als Systemgrenzen wurde der Produktionsprozess definiert. Innerhalb dieser wurden acht Hauptprozesse und vier Nebenprozesse identifiziert. Der betrachtete Zeitraum umfasst das gesamte Kalenderjahr 2014. Im nächsten Schritt wurden die Mengenstellen festgelegt und die Material- und Energieflüsse zwischen den einzelnen Stellen erfasst und grafisch dargestellt. Das gebildete Stoffstromnetz zeigt alle Bewegungen innerhalb des Unternehmens, welche Rohstoffe und Energieträger eingesetzt werden und wo diese in (Zwischen)Produkte und Verluste umgewandelt werden. Basierend auf den Stoffströmen wurde die Materialflusskostenrechnung durchgeführt die als Ergebnis die Produkt- und Verlustkosten hat. Den Abschluss des Praxisteils stellen die aus der Ist-Situation abgeleiteten Einsparpotenziale und deren ökonomische Bewertung dar.

5.1 Vorstellung Georg Fischer Fittings GmbH

Das Geschäftsfeld der Georg Fischer AG (GF) kann in drei Divisionen unterteilt werden: GF Automotive, GF Piping Systems und GF Machine Solutions. Das Unternehmen mit dem Hauptsitz in der Schweiz wurde 1802 gegründet. Sie unterhält in 31 verschiedenen Ländern 126 Gesellschaften (47 davon sind Produktionsstätten) und beschäftigt 14.100 Mitarbeitende.³⁰⁰ Die Georg Fischer Fitting GmbH, Teil der GF Piping Systems, in Traisen (Niederösterreich), produziert rd. 52 Millionen Stück Rohrverbindungen (Fittings) aus Temperguss und hat derzeit ca. 460 Mitarbeitende.³⁰¹ Bei den Fittings werden zwei Produktgruppen unterschieden, welche in Abbildung 22 gezeigt sind.



Abbildung 22: Produktgruppen³⁰²

³⁰⁰ Vgl. Georg Fischer AG, <http://www.georgfischer.com/content/gfar/2014/de/business-report/all-about-gf.html> (Zugriff: 28.12.2015)

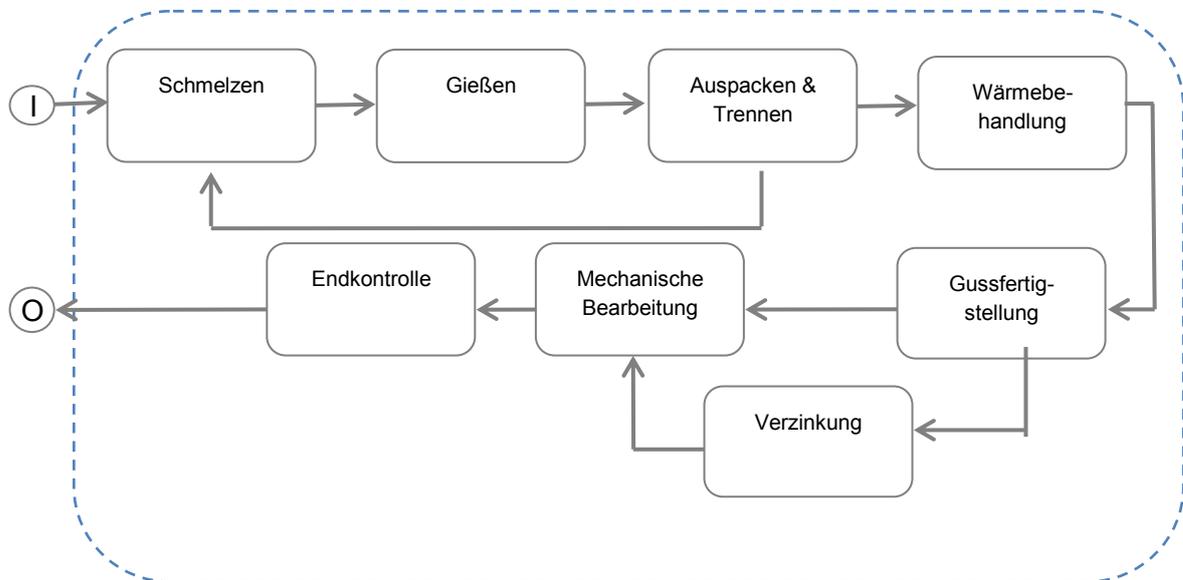
³⁰¹ Vgl. GF Fittings GmbH, <http://www.gfps.com/traisen/de/about-GF-Fittings.html> (Zugriff: 28.12.2015)

³⁰² Quelle: GF Fittings GmbH, Produkte, http://www.gfps.com/traisen/de/products_and_solutions/products_traisen.html (Zugriff: 28.12.2015)

Links in der Abbildung 22 gezeigt, ist das Tempergussfitting, das v. a. im Sanitär- und Heizungs- und Gasinstallation, bei Klimaanlage und im Industrie-Anlagenbau verwendet wird. Der Primofit (rechter Teil der Abbildung 22) ist ein Klemmverbinder aus Temperguss, der überwiegend bei Sanitär-, Gas- und Ölinstallationen eingesetzt wird.³⁰³ Für die Produktion kommt ein Kaltwindkupolofen, welcher Frischluft in den Schmelzraum einbläst, zum Einsatz. Der Kupolofen erzeugt zum Schmelzen der Einsatzstoffe eine Temperatur von rd. 1.520 °C. Für den Temperguss kommt ein Temperofen, der eine Glühtemperatur von ca. 1.060 °C erzeugen kann, zum Einsatz.

5.2 Prozessanalyse- und modellierung

Die Prozessanalyse umfasste den Produktionsprozess, welcher aus vielen einzelnen Aktivitäten besteht und im ersten Schritt zu den folgenden, in der Abbildung 23 gezeigten, Hauptprozessen zusammengefasst wurde:



Im Prozessschritt „Schmelzen“ werden die Rohstoffe, wie Schrott und Siliciumcarbid, unter hohen Temperaturen eingeschmolzen, um sie danach im Prozessschritt „Gießen“ in die gewünschte Form zu bringen. Für das Schmelzen kommt ein Kupolofen zum Einsatz. Der senkrechte, hohe Schacht wird mit Schrott, Kreislaufmaterial und Koks als Energieträger beschickt. Der von unten eingeblasene Sauerstoff bewirkt das Verbrennen von Koks. Die dabei entstehenden Abgase steigen auf und erwärmen die oben zugeführten Rohmaterialien. Der Ofeninhalt, die sogenannte Gattierung, schmilzt dabei und nimmt den vom Koks stammenden Kohlenstoff auf. Beim Verbrennen des Kohlenstoffs und des Sauerstoffs kommt es zur Bildung von CO₂ und CO.³⁰⁴ Im nächsten Schritt wird die flüssige Schmelze in Formen gegossen. Die Schmelze wird mit einer feuerfesten Transportpfanne zu dem Gießplatz transportiert, von dem aus die

³⁰³ Vgl. GF Fittings GmbH, http://www.gfps.com/traisen/de/products_and_solutions/products_traisen.html (Zugriff: 28.12.2015)

³⁰⁴ Vgl. Umweltbundesamt (2012), S. 23

Schmelze in die Formkästen gegossen wird. Die für die Formgebung benötigten Formen und Kerne werden danach im Prozessschritt „Auspacken und Trennen“ von dem Gussstück getrennt. Der Großteil des hier anfallenden Materialverlusts wird über einen internen Recyclingkreislauf wieder der Schmelze zugeführt. Das Zwischenprodukt wird einer Wärmebehandlung unterzogen, um die physikalischen Eigenschaften, wie Zähigkeit, zu verbessern. Nach der Gussfertigstellung erfolgt eine Aufteilung des Tempergussstücks. Ein Teil des wärmebehandelten Gusses wird vor der mechanischen Bearbeitung noch verzinkt. Die mechanische Bearbeitung umfasst unter anderem: Gewindeschneiden, Stanzen, Dornen und Schleifen. In der Endkontrolle werden abschließende Qualitätsüberprüfungen durchgeführt. In der Abbildung 23 nicht gezeigt sind die Nebenprozesse:

- Kernmacherei
- Formanlage

Hier werden die im Prozess „Gießen“ verwendeten Formen produziert. Es werden zweiteilige Formen, bestehend aus Ober- und Unterkästen verwendet. Mit ihrer Hilfe kann der Guss in die gewünschte Fitting-Form gebracht werden. Um die für die Fittings notwendigen Hohlräume zu schaffen werden Kerne die in die Formen gepresst.

Ein wichtiger Schritt zur Steigerung der Ressourceneffizienz ist die Visualisierung der Stoffströme. Das gebildete Stoffstromnetz zeigt alle Bewegungen innerhalb des Unternehmens, welche Rohstoffe und Energieträger eingesetzt werden und wo diese in (Zwischen)Produkte und Verluste umgewandelt werden. Die Basis der Analyse wird von der Input- und Output-Bilanz gebildet, welche im Kapitel 5.3 „Bilanzierung: Kostenrechnung auf Produktebene“ detailliert behandelt wird. Mit der Modellierung der Stoffströme wird der Ist-Zustand abgebildet. Die Modellierung wurde mit der Software Umberto NXT MFCA[®] vorgenommen, die eine Darstellung der Stoffflüsse als Sankey-Diagramm möglich macht.

Das Sankey-Diagramm wurde im 19. Jhd von Captain Matthew Henry Phineas Riall Sankey erstellt, um die thermische Effizienz einer Maschine darzustellen. Das Charakteristikum des Sankey-Diagramms ist die Proportionalität zwischen der Pfeilbreite und der Flussmenge, ein doppelt so breiter Pfeil bedeutet die doppelte Flussmenge. Regeln für ein Sankey-Diagramm liegen nicht vor, es wird aber im Allgemeinen davon ausgegangen, dass Flüsse über einen bestimmten Zeitraum beobachtet werden. Zusätzlich wird von einer Massenerhaltung ausgegangen.³⁰⁵

Für die Georg Fischer Fittings GmbH (kurz: +GF+) zeigt die Analyse der Stoffströme die in der Abbildung 24 gezeigte Modellierung. Die grauen Pfeile stellen die Energieflüsse für Gas, Strom, Druckluft und Koks dar. Hier sind auch die Nebenstationen „Druckluft“ und „Gebäude & Sonstiges“ zu sehen. Die im Zentrum der Abbildung gezeigten blau/grau markierten Flüsse sind die Hauptprozesse, wie „Schmelzen“, „Gießen“ und „Gussfertigstellung“. „Auspacken & Trennen“ hat gleich

³⁰⁵ Vgl. Schmidt M. (2012), S. 263 ff.

mehrere Outputs: den Produkt-Output, Kreislaufmaterial, Formen & Kerne und sonstige Verluste. Die Formen & Kerne werden in den jeweiligen Prozessstellen nach einem Prozessdurchlauf aufbereitet und wiederverwendet (im Modell als violetter/blauer Kreislauf zu erkennen). Orange markiert sind die Verluste, die das Unternehmen verlassen. Hier zeigt sich auch die Eignung des Sankey-Diagramms für ad-hoc Analysen: bereits auf den ersten Blick wird ersichtlich, dass sich das Sankey-Diagramm von den ersten Schritten der Produktion hin zum fertigen Produkt stark verjüngt. Die Materialflüsse sind stark konzentriert auf die ersten drei Prozesse („Schmelzen“, „Gießen“ und „Auspacken & Trennen“). Während den Gießprozess rd. 45.000 Tonnen an Material durchlaufen, verlassen nur etwa 11.000 Tonnen der Materialien das Unternehmen als Produkt. Der größte Teil der Inputmaterialien wird in der Schmelzerei hinzugefügt, jedoch gehen bereits hier rd. 5.000 Tonnen sofort als Verlust verloren. Der Energiefluss wird vor allem durch das zugefügte Koks (rd. 3.000 Tonnen) mit rd. 24.000 MWh generiert, zusätzlich werden Strom- und Gasflüsse i.H.v. 3.159 MWh zugeführt. In der Gießerei wird der Materialfluss durch das Zufügen der Formen und Kerne nochmals stark erhöht und bleibt bis zu dem Trennungsprozess in „Auspacken&Trennen“ hoch. Hier ist auch zu erkennen, dass in etwa 50% des Materials wieder an den Produktionsprozessanfang als Kreislaufmaterial zurückgeht. Die Formen und Kerne, die ebenfalls einen hohen Anteil am Gesamtgewicht darstellen, werden nach der Aufbereitung wieder in den Prozess eingebracht.

Der Zwischenproduktfluss, der inzwischen nur noch rd. 13.000 Tonnen ausmacht, wird wärmebehandelt. Wie in der Modellierung dargestellt, ist die Wärmebehandlung der einzige Prozess bei dem es zu keinem Materialverlust kommt. Bei genauerer Betrachtung wird hier aber auch offensichtlich, dass es zwischen dem Input und Output zu Differenzen kommt. Die Masseerhaltung konnte hier nicht eingehalten werden. Die Gründe für solche Differenzen sind vielfältig und werden im Kapitel 5.3.1 behandelt. An der Dicke des Energiestrom-Pfeils hin zur Wärmebehandlung lässt sich bereits intuitiv ablesen, dass dies der Prozess mit dem zweithöchsten Energieeinsatz ist. Die Wärmebehandlung beansprucht 12.000 MWh. Jedenfalls teilt sich der Materialstrom nach der Gussfertigstellung auf: mehr als die Hälfte des Tempergusses werden verzinkt. Für den verzinkten Temperguss findet danach, gemeinsam mit dem unverzinkten Temperguss, die mechanische Bearbeitung statt. Die Bearbeitung verlassen rd. 11.000 Tonnen als Zwischenprodukt – rd. 20% des Materialoutputs geht als Verlust für das Unternehmen verloren. In der Endkontrolle kommt es noch zu kleineren Verlusten in der Höhe von 63.000 kg. Die Mengenstelle „Warenausgang“ wurde künstlich geschaffen, um die erfassten Energiekosten für die Gebäude noch dem Produkt zuzurechnen. Während der gesamten Berechnung wurden keine Gemeinkosten erfasst, sondern nur jene Kosten die direkt in der Mengenstelle angefallen sind. Die Anforderung war jedoch, dass auch die Strom- und Gaskosten, die für das Gebäude anfallen, mitberücksichtigt werden. Dies wurde so gelöst, dass diese Energieströme nach der letzten Mengenstelle in Summe mit einbezogen werden. So bleibt das Ergebnis bis zur Endkontrolle von den Gemeinkosten unberührt. Der Nachteil: den bis dahin angefallenen Verlusten fehlt der Gebäude-Energie-Anteil.

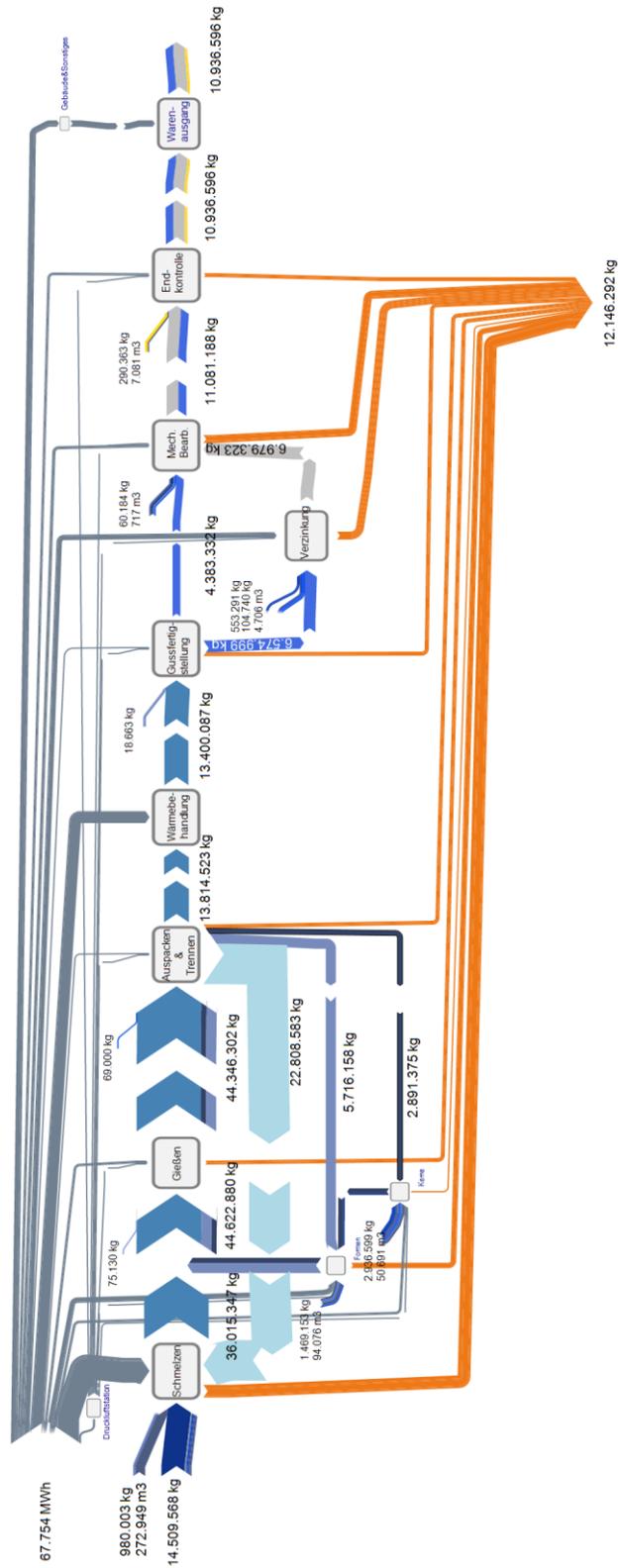


Abbildung 24: Energie- und Materialströme

5.3 Bilanzierung: Kostenrechnung auf Produktebene

Nachdem die Modellierung mit den Stoffmengenflüssen abgeschlossen ist, werden im nächsten Schritt für jeden Output die Materialflusskosten ermittelt. Im folgenden Abschnitt wird auf die Methodik der Berechnung eingegangen und Lösungsvorschläge für die Schwierigkeiten der internen Leistungsverrechnung und der Kreislaufführung erarbeitet. Im Kapitel 5.4 werden die Ergebnisse dargestellt und analysiert. Die dabei aufgezeigten Effizienzpotenziale werden mit dementsprechenden Szenarienrechnungen untermauert und ökonomisch bewertet.

5.3.1 Material- und Energieflusskostenrechnung

Die Basis für die Material- und Energieflusskostenrechnung bildet die Input- und Outputbilanz. Der Schwerpunkt liegt auf der Analyse der materiellen Stoffströme der Roh- und Hilfsstoffe und der eingesetzten Energie je Prozessschritt. Auf der Outputseite wurden die ausgehenden (Zwischen)Produkte und die Verluste erfasst. Emissionen wie CO₂-Ausstoß oder Lärmbelastung wurden aus der Betrachtung ausgeschlossen. Das Formular zum Erfassen der Stoff- und Energieströme, das in Abbildung 25 veranschaulicht ist, hat den folgenden Aufbau:

- Formularkopf:
 - Art des Prozess: Haupt- oder Nebenprozess
 - Name des Prozess
 - Prozessnummer
- Inputseite: hier werden alle Material- und Energieflüsse, die in die Mengenstelle eintreten, erfasst. Für jede Inputart wird die Menge, die physikalische Maßeinheit (kg, MWh), und - wenn a priori bekannt - der Preis eingetragen. Es wird unterschieden in:
 - Rohstoffe und Zwischenprodukte
 - Hilfs- und Betriebsstoff und
 - Energie
- Outputseite: auf dieser Seite werden alle Stoff- und Energieströme erfasst, die die Mengenstelle verlassen. Analog zur Inputseite wird auch hier wieder der Typ des Outputs, die Menge, die gemessene Einheit eingetragen. Werden die Verluste kostenpflichtig entsorgt oder verkauft, werden die damit verbundenen Kosten bzw. Erlöse erfasst. Ansonsten bleibt das Kosten-Feld zu Beginn leer und wird im Zuge der Berechnung der Materialflusskosten ausgefüllt. Die Outputseite wird in die folgenden Kategorien eingeteilt:
 - (Vor-)Produkte
 - Entsorgung(Abfall)
 - Emissionen

Hauptprozess:						Nr.				
Input	Menge	Einheit	Kosten	Output	Menge	Einheit	Kosten			
Rohstoffe				(Vor-)Produkte						
Materialeinsatz				Vorprodukt - Output						
	Summe					Summe				
Hilfs- und Betriebsstoffe	Menge	Einheit	Kosten	Entsorgung (Abfall)	Menge	Einheit	Kosten			
Sonstige Ressourcen				Abfall						
	Summe					Summe				
Energie	Menge	Einheit	Kosten	Emissionen (Luft, Wasser, Boden)	Menge	Einheit	Kosten			
Energie				Emission						
	Summe									
Sonstige prozessbezogene Informationen										

Abbildung 25: Vorlage Input-Output-Bilanz

Die Input-Output-Bilanz je Prozess wird in den folgenden Kapiteln abgebildet und im Detail erläutert (siehe Kapitel 5.3.3 - 5.3.15). Bei der Durchsicht der erstellten Bilanzen

wurden teilweise beträchtliche Differenzen zwischen den Input- und Outputmengen festgestellt und die folgenden Ursachen für Differenzen identifiziert:

- Massebeitrag eines Energielieferanten
- Näherungswerte anstatt exakter Messungen
- Fehlende Berücksichtigung von Bestandsveränderungen
- Komplexe Prozesse
- Stoffliche Veränderungen unter hohen Temperaturen

Im Prozessschritt „Schmelzerei“ beträgt die Inputmenge 38.302.730 kg und steht einer Outputmenge (ohne Abgase) von 41.415.232 kg gegenüber und ergibt damit eine Differenz von rd. 3.000 t. In der „Schmelzerei“ kann die Differenz mit der Umrechnung des Kokes von kg in die MWh begründet werden. Denn Koks liefert einerseits einen Beitrag zur Inputmasse, in der Energie- und Materialflusskostenrechnung wird sie aber als Energieträger behandelt und in die Einheit für die geleistete Arbeit umgerechnet werden. Doch nicht immer sind die Differenzen auf diese Weise zu erklären. Als eine weitere Fehlerquelle sei hier als Beispiel der Gieß-Prozess, bei dem die Differenz zwischen Input und Output 222.391 kg beträgt, erwähnt. Die in diesem Prozessschritt erzeugte Gusstraubenmenge wird nicht gemessen, sondern rechnerisch ermittelt. Dieser ermittelte Wert muss als Näherung und nicht als exakter Wert verstanden werden. Die errechnete Gusstraubenmasse stellt jedoch ihrerseits wieder den Input für den nachgelagerten Prozess dar. Der Fehler der bei der Berechnung gemacht wird, setzt sich dementsprechend fort. Die fehlende Berücksichtigung von Beständen kann ein weiterer Grund für Differenzen sein. Wie im Rechenbeispiel im Abschnitt 4.3.3 Begriffe und grundlegende Elemente der Materialflusskostenrechnung bereits ausführlich behandelt, gehen 100 kg aus der Mengenstelle aus, während nur 95 kg eingehen. Der Output von 100 kg war möglich, weil der Lagerbestand am Jahresende genau um diese 5 kg geringer war, als zu Jahresanfang. Es kam also in dem betrachteten Jahr zu einer Bestandsverminderung. Bei +GF+ waren keine detaillierten Inventurdaten vorhanden, daher konnte keine Kontrolle der Bewegungen durchgeführt und keine etwaige Bestandsveränderung mit einbezogen werden. Eine weitere Ursache dafür, dass Differenzen schwer abgeklärt werden können, liegt darin, dass in der Gießerei eine Vielzahl an komplexen chemischen Prozessen abläuft. Für diese können keine beschreibenden Reaktionsgleichungen, die einen Zusammenhang zwischen dem Input und dem Output herstellen, angeschrieben werden. Damit entfällt aber auch die Möglichkeit, die ermittelten Zahlen zu überprüfen. Gleichzeitig kommt es bei den Prozessen, die unter sehr hohen Temperaturen ablaufen, zu stofflichen Veränderungen. Diese Veränderungen, wie auch in der ISO NORM 14051 beschrieben, verursachen ein Ungleichgewicht zwischen der Inputmenge und der Outputmenge, z.B.: durch die Aufnahme oder Abgabe von Sauerstoff und Feuchtigkeit.³⁰⁶

Die Zurechnung der Energiemengen und Kosten zu den Mengenstellen wurden bereits in einem parallel laufenden Projekt erhoben und konnte für diese weiterführende Berechnung herangezogen werden. Im nächsten Schritt wurden die Kosten, die in der

³⁰⁶ Vgl. ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 11

Mengenstelle anfallen, auf die Produkte bzw. Verluste zu gerechnet. Die nächstliegende Möglichkeit, die Energiekosten umzulegen, ist, den Materialverteilungsschlüssel als Basis zu verwenden. Als problematisch stellt sich dabei heraus, dass der Informationsgehalt für Aussagen über die Energieeffizienz sinkt, weil die Energieeffizienz nun mit der Materialeffizienz verknüpft wurde. Daher sollte besonders bei einer energieintensiven Branche wie der Gießereiindustrie, versucht werden zusätzliche technische Daten zu gewinnen, um eine Alternative zu dem genannten Materialverteilungsschlüssel zu erhalten. Aufgrund des Fehlens dieser Daten, die es ermöglichen würden, eine differenzierte Basis für die Zurechnung der Energie zu finden, musste in der vorliegenden Arbeit auf die massebasierte Allokation zurückgegriffen werden. Der Nachteil dieser Methode ist besonders offensichtlich bei dem Prozess „Wärmebehandlung“: wie die Abbildung 24 zeigt, kommt es in diesem Prozess zu keinem materiellen Verlust, damit liegt auch die Energieeffizienz bei unrealistischen 100%. Gerade für den zweit-energieintensivsten Prozess wäre ein aussagekräftigeres Allokationskriterium von hohem Interesse.

Der Ablauf der Berechnung ist in Abbildung 26 grob dargestellt.

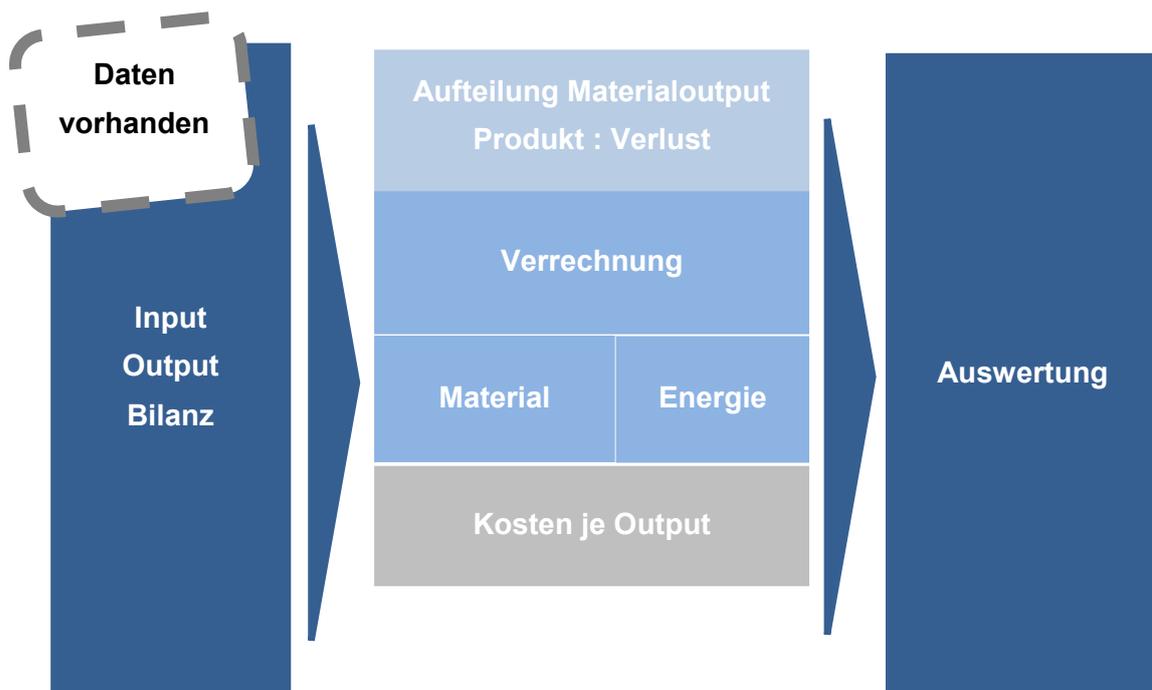


Abbildung 26: Übersicht Berechnung

Ausgehend von der Input-Output-Bilanz wird zu Beginn der Materialkostenanteil für den Output ermittelt. Die ISO NORM 14051 schreibt dazu, dass die Materialkosten „dem Produkt oder Materialverlust, beruhend auf dem Verhältnis des Inputs, der in das Produkt und den Materialverlust fließt“, zugerechnet werden.³⁰⁷ Bei einfachen Prozessen können alle Inputs von Anfang bis zum Schluss verfolgt werden. In der Gießerei ist das aufgrund der komplexen Prozesse nicht möglich. Es müssen

³⁰⁷ ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 12

dementsprechend die Outputs zu Zwischenprodukten (wie z.B.: der Gusstraube) zusammengefasst werden. Um nun die Materialkosten zu berechnen, muss ein Durchschnittspreis (pro kg) des gesamten Inputs berechnet werden. Die ISO NORM 14051 schlägt dafür vor, die Summe der gesamten Inputmaterialkosten durch die gesamte Inputmenge zu dividieren.³⁰⁸ Für den Fall, dass die Inputmenge ungleich der Outputmenge ist, hätte das aber die Folge, dass auch die Outputkosten ungleich den Inputkosten sind. Um dies zu umgehen, wurde der Materialverrechnungssatz wie folgt berechnet:

$$\text{Verrechnungssatz}_{\text{Materialkosten}} = \frac{\sum \text{Materialkosten}}{\sum \text{Outputmenge}} \quad (5.1)$$

Die Material-Outputkosten ergeben sich pro Output:

$$\text{Outputkosten}_{\text{Material}} = \text{Outputmenge} \times \text{Verrechnungssatz}_{\text{Materialkosten}} \quad (5.2)$$

Die Energiekosten können nicht direkt mit dem Output in Verbindung gebracht werden. Sie müssen als indirekte Kosten allokiert werden. Die Zurechnung erfolgt auf die Outputmenge bezogen:

$$\text{Verrechnungssatz}_{\text{Energiekosten}} = \frac{\sum \text{Energiekosten}}{\sum \text{Outputmenge}} \quad (5.3)$$

$$\text{Outputkosten}_{\text{Energie}} = \text{Outputmenge} \times \text{Verrechnungssatz}_{\text{Energiekosten}} \quad (5.4)$$

Sämtliche angefallenen Energie- und Materialeinsätze werden auf den Output je nach Gewicht verteilt. Eine Ausnahme dieser Regelung wurde für die Formen und Kerne (s. 5.3.2 Behandlung interner Kreisläufe) und für den verzinkten/unverzinkten Output gemacht. Bei +GF+ kommt es nach der Gussfertigstellung zur Aufteilung des Zwischenprodukts. 60% werden verzinkt, der Rest bleibt unverzinkt. Beim Gussprozess sind Formen & Kerne notwendig, die beim Auspacken vom Produkt-Output wieder abgeschlagen werden. In diesen beiden Fällen dürfen die Inputkosten nicht gleichmäßig auf den Output verteilt werden. Das bedeutet, dass die Kosten, die für die Formen entstehen, nicht auf den Guss verrechnet werden und vice versa, oder in der mechanischen Behandlung, dass der unverzinkte und verzinkte Materialfluss auch kostentechnisch getrennt bleibt.

Außerdem kommt es in der vorliegenden Arbeit zu einer gesonderten Behandlung von (Kühl)Wasser. Wie aus der Formel für die $\text{Outputkosten}_{\text{Material}}$ (s. Gleichung (5.2)) ersichtlich, berechnen sich die Outputkosten durch die Multiplikation der Outputmenge in kg mit dem Materialverrechnungssatz. In der Gießerei kommt in einigen Prozessschritten Kühlwasser zum Einsatz. Beispielsweise werden beim Schmelzen 272.948,928 m³ Wasser, das entspricht 272.948.928 kg, eingesetzt. Im Vergleich dazu wurde ein Zwischenprodukt-Output von 36.015.347 hergestellt, der Produkt-Output ist also im Verhältnis sehr viel kleiner als der Kühlwasser-Output. Würde das Kühlwasser wie jeder andere Output behandelt werden, hätte dies zur Folge, dass das Kühlwasser mit rd. 87% der Kosten belastet wird. Demgegenüber

³⁰⁸ Vgl. ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 25

stehen sehr geringe Inputkosten für Kühlwasser von rd. 9.000 € bei Gesamtkosten der Mengenstelle von ca. 8.300.000 € (ohne Kreislaufkosten). Für die Behandlung von Kühlwasser wurden zwei Möglichkeiten in Betracht gezogen:

1. Alternatives Allokationskriterium
2. Output von Kühlwasser vernachlässigen

Bei der ersten Methode werden dem Kühlwasser-Output nur die Estandskosten für das Wasser direkt zugewiesen und somit die starke Belastung über den Materialverteilungsschlüssel umgangen. Für die Zurechnung der Energiekosten müsste allerdings ein alternativer Verteilungsschlüssel gefunden werden,³⁰⁹ weil die massebasierte Umrechnung, wie bereits erläutert, zu einer Zurechnung von 87% der Energiekosten führen würde. Bei der zweiten Methode werden die Inputkosten zwar in die Berechnung der Gesamtkosten einbezogen, von der Berechnung der gesamten Outputmenge und der Outputkosten wird das Kühlwasser jedoch ausgeschlossen. Die dahinterliegende Idee ist, dass das Wasser einen sehr geringen Estandpreis hat und keine Entsorgungskosten verursacht, in Summe also eine zu vernachlässigende kleine Auswirkung auf die Kostenstruktur im Unternehmen hat. Die erste Methode konnte in dieser Arbeit nicht angewendet werden, weil kein alternatives Allokationskriterium für die Energiekosten vorhanden ist, daher wurde die zweite Methode zum Einsatz gebracht.

5.3.2 Behandlung interner Kreisläufe

Der in der Mengenstelle „Auspacken & Trennen“ angefallene Schrott wird einem internen Kreislauf zugeführt und im Prozessschritt „Schmelzen“ wiederverwendet. Im gleichen Prozessschritt werden auch die Formen und Kerne in die Sandaufbereitung weitergeleitet, um danach wiederverwendet zu werden. Zwischen den Mengenstellen kommt es damit zu einer internen Leistungsverrechnung. Die Frage, die sich bei der internen Leistungsverrechnung stellt, ist, zu welchen Kosten die interne Leistung erbracht wird. Das heißt, um beim Beispiel des Schrott-Kreislaufs zu bleiben, zu welchem Preis muss die „Schmelzerei“ den Schrott von „Auspacken & Trennen“ ‚kaufen‘. Dies wiederum hat Einfluss auf die Inputkosten in der „Schmelzerei“. Zwischen der „Schmelzerei“ und „Auspacken & Trennen“ besteht also eine wechselseitige Beziehung. Bestehen solche Interdependenzen, dann kann keine davon betroffene Mengenstelle ihre Kosten berechnen, bevor nicht die Kosten der mit ihr in Beziehung stehenden Mengenstelle bekannt sind.³¹⁰

Um den Verrechnungssatz für die interne Leistungsverrechnung zu berechnen, wird die folgende Formel verwendet:³¹¹

$$\text{Inputkosten}_i + \text{Empfangene Leistung}_j * q_j = \text{Erbrachte Leistung}_i * q_i \quad (5.5)$$

Die Bedeutung der eingeführten Variablen ist Tabelle 3 zu entnehmen.

³⁰⁹ Vgl. ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 27

³¹⁰ Vgl. Plinke; Reese (2006), S. 95

³¹¹ Die Formel steht in ähnlicher Form in Plinke; Reese (2006), S. 96

Tabelle 3: Variablen für lineares Gleichungssystem

Variable	Beschreibung
$Inputkosten_i$	Kosten des Material- und Energieeinsatzes in der Mengenstelle i [€]
$Empfangene Leistung_j$	Inputmenge aus einer vor-oder nachgelagerten Mengenstelle [kg]
q_j	Verrechnungspreis für die empfangene Leistung [€/kg]
$Erbrachte Leistung_i$	Outputmenge der betrachteten Mengenstelle [kg]
q_i	Verrechnungspreis für die erbrachte Leistung [€/kg]

Für jede Mengenstelle muss die oben genannte Gleichung erstellt werden. Zusammen ergeben sie ein lineares Gleichungssystem, das simultan gelöst werden muss. Die Berechnung der internen Verrechnungspreise ist in der Literatur ausreichend beschrieben und kann den Anleitungen folgend durchgeführt werden. Ein noch nicht ausreichend geklärt Punkt in der Literatur ist der Umgang mit internen Materialkreisläufen in der Materialflusskostenrechnung nach der ISO NORM 14051. Wie im Abschnitt 4.3.3 vermerkt, schlägt die ISO NORM 14051 bei intern wiederaufbereitetem Material vor, die Kostenersparnis (die Materialkosten), die Kosten für die Aufbereitung und die Kosten verursacht durch das Passieren der Mengenstellen zu berücksichtigen.³¹² Da in der vorliegenden Arbeit keine Systemkosten, wie Personalkosten oder Abschreibung, berücksichtigt werden, ist die Konsequenz, dass Kreisläufe nur mit den weiterverrechneten Energiekosten in der Rechnung aufscheinen würden. Im Gegensatz dazu schreibt Viere et al., wenn ein Rohstoff durch die interne Kreislaufführung teilweise ersetzt werden kann, sollte der Rohstoffpreis angesetzt werden. Der interne Verrechnungspreis (der alle Kosten beinhaltet) wird parallel und gleichrangig dazu mitgeführt, um das Effizienzpotenzial zu ermitteln. In der vorliegenden Arbeit wurden beide Ansätze verwendet. Für den Schrott-Kreislauf wird die Methode von Viere et al. verwendet, weil das Kreislaufmaterial tatsächlich den zugekauften Rohstoff teilweise ersetzt. Zudem kann hier auch der hypothetische Fall, dass kein Kreislaufmaterial mehr anfällt, angenommen werden. In der Berechnung wird der interne Verrechnungssatz verwendet und in der Auswertung dann das Effizienzpotenzial aus der Differenz zwischen dem Rohstoffpreis und dem internen Verrechnungspreis abgeleitet. Bei dem zweiten Kreislauf für die Formen & Kerne liegt der Fall anders. Das Material für die Formen und Kerne wird zwar in einem Kreislauf (inklusive einer Aufbereitung) geführt - es ist aber nicht gewollt den Material-Kreislauf auf null zu reduzieren, weil die Formen & Kerne prozessbedingt notwendig sind. Für den Formenkreislauf wird also die Methodik der ISO NORM 14051 verwendet. Das bedeutet, dass die Rohstoffkosten für die Formen und Kerne nicht in die Weiterverrechnung mit einbezogen werden.

Die in die Verrechnung involvierten Mengenstellen sind:

1. für den Schrottkreislauf: „Schmelzen“, „Gießen“, „Auspacken & Trennen“

³¹² Vgl. ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 13

2. für den Formenkreislauf: „Gießen“, „Auspacken & Trennen“, „Formmacherei“, „Kernmacherei“

Bei der Verrechnung der Kosten dürfen, wie im Kapitel 5.3.1 bereits erwähnt, nicht alle Inputkosten auf den gesamten Output verrechnet werden. Die Kosten werden nach den folgenden Regeln auf den Output verteilt:

1. Kosten der Schmelze bzw. Guss: auf jeden Output, ausgenommen Formen & Kerne, verteilen

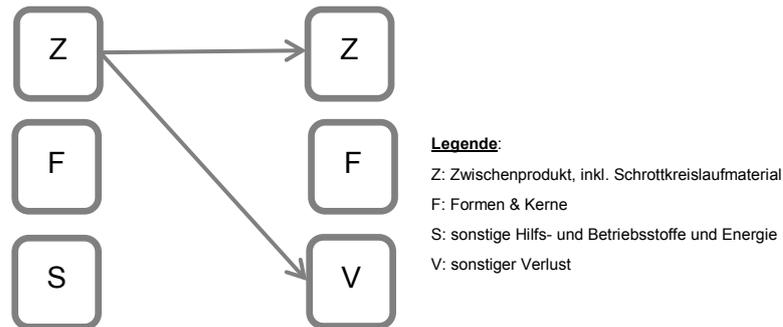


Abbildung 27: Verteilung Kosten Guss

2. Kosten der Forme & Kerne: werden ausschließlich den Formen & Kernen zugerechnet

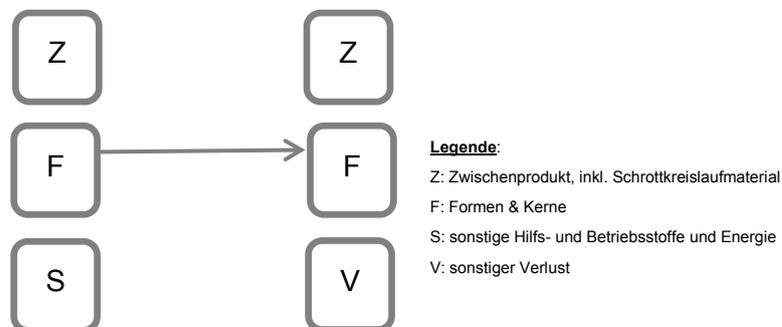


Abbildung 28: Verteilung Kosten Formen & Kerne

3. Kosten für Hilfs- und Betriebsstoffe und Energie Gießerei und Auspacken & Trennen: auf den gesamten Output verteilen

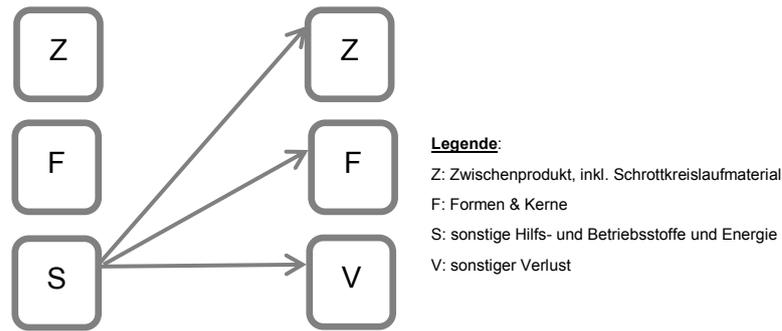


Abbildung 29: Verteilung Kosten Hilfs- und Betriebsstoffe

Der erste Schritt ist die Ermittlung der Kosten pro Kilogramm für die Hilfs- und Betriebsstoffe und der Energie in der Gießerei und „Auspacken & Trennen“, die, wie in Abbildung 29 gezeigt, auf den gesamten Output verteilt werden:

- Gießerei: Material 0,0009 €/kg, Energie 0,0021 €/kg
- „Auspacken & Trennen“: Material 0,0013 €/kg, Energie 0,00212 €/kg

Anmerkung: Die in diesem Abschnitt verwendeten Kosten wurden den jeweiligen Input-Output-Bilanzen (s. Tabelle 13 „Input-Output-Bilanz Schmelzerei“ - Tabelle 15 „Input-Output-Bilanz Auspacken & Trennen“ bzw. Tabelle 21 „Input-Output-Bilanz Kernmacherei“ - Tabelle 22 „Input-Output-Bilanz Formanlage“) entnommen.

Schrottkreislauf

Für die Berechnung der Materialkosten des Schrottkreislaufs ergeben sich die in der Tabelle 4 dargestellten Gleichungen. Zur Erläuterung: In der „Schmelzerei“ entstehen durch zugekaufte Rohstoffe (Schienen-Schrott, Kalk etc.) und Hilfs- und Betriebskosten (Feuerfestmaterial, Wasser etc.) Material-Inputkosten i.H.v. rd. 4,7 Mio. €. Des Weiteren bezieht die „Schmelzerei“ noch 22.808.583 kg Schrott aus dem internen Kreislaufsystem von der Mengenstelle „Auspacken & Trennen“. Der Preis, zu dem sie dies macht, ist noch nicht bekannt und Teil der Fragestellung. Als Output hat die „Schmelzerei“ 41.415.232 kg (inkl. Verluste), wovon 36.015.347 kg weiter in die Gießerei (siehe dritte Zeile, dritte Spalte in der Tabelle 4) gehen. Wie in Abbildung 27 und Abbildung 29 zu sehen ist, werden die Kosten des Zwischenprodukts und der Hilfs- und Betriebsstoffe auf wieder auf das Zwischenprodukte und die Verluste aufgeteilt. Dementsprechend wurde die erbrachte Leistung für die Gießerei und für „Auspacken & Trennen“ als Summe aus dem Zwischenprodukt und den Verlusten eingetragen.

Tabelle 4: Interne Leistungsverrechnung - Material (Schrottkreislauf)

Gleichungssystem Schrottkreislauf- Material	Input- kosten	Empfangene Leistung Schmelzerei	Empfangene Leistung Gießen	Empfangene Leistung Auspkg&Trennen	Erbrachte Leistung
Schmelzerei	4.738.538	0	0	22.808.583	41.415.232
Gießen	31.445	36.015.347	0	0	35.868.086
Auspkg&Trennen	47.614	0	35.738.769	0	37.238.358

Die dazugehörigen Inputkosten wurden mithilfe des im ersten Schritt berechneten Kilopreises der Roh- und Hilfsstoffe auf die erbrachte Leistung umgerechnet. Für „Gießen“ bedeutet das beispielsweise:

$$\text{Inputkosten} = 35.868.086 \text{ [kg]} * 0,0009 \text{ [€/kg]} = 31.445 \text{ [€]}$$

Das ausformulierte Gleichungssystem stellt sich wie folgt dar:

$$\text{Schmelzerei: } 4.738.538 + 22.808.583 q_3 = 41.415.232 q_1$$

$$\text{Gießen: } 31.445 + 36.015.347 q_1 = 35.868.086 q_2$$

$$\text{Auspacken \& Trennen: } 47.614 + 35.738.769 q_2 = 37.238.358 q_3$$

Um das System aus linearen Gleichungen zu lösen, werden sie in die folgende Form gebracht:

$$A * \vec{q} = \vec{b} \tag{5.6}$$

$$\vec{q} = A^{-1} * \vec{b} \tag{5.7}$$

Mit **A** als Koeffizientenmatrix und dem Lösungsvektor \vec{b} , der die Inputkosten enthält. In der Tabelle 5 ist die Koeffizientenmatrix und die Einträge von \vec{b} nochmal dargestellt:

Tabelle 5: Lineares Gleichungssystem - Material (Schrottkreislauf)

Gleichungssystem	q1	q2	q3	Inputkosten
Schmelzerei	41.415.232	0	-22.808.583	4.738.538
A Gießen	-36.015.347	35.868.086	0	\vec{b} 31.445
Auspackg&Trennen	0	-35.738.769	37.238.358	47.614

Zu Beginn muss überprüft werden, ob das Gleichungssystem lösbar ist. Bei der vorliegenden Koeffizientenmatrix handelt es sich um eine quadratische Matrix, da die Zeilenanzahl mit der Spaltenanzahl übereinstimmt. In dem Fall kann die Determinante der Koeffizientenmatrix zur Entscheidung über die Lösbarkeit herangezogen werden. Wenn die Bedingung:

$$\text{Det}(A) \neq 0 \tag{5.8}$$

erfüllt ist, dann hat das Gleichungssystem eine eindeutige Lösung.³¹³ Die Überprüfung für die angegebene Koeffizientenmatrix ergab $\text{Det}(A) = 2,5959 \cdot 10^{22}$, sie ist also ungleich null und somit ist das Gleichungssystem lösbar. Der Vektor \vec{q} enthält die Kosten pro kg für die interne Leistungsverrechnung. q_1 ist der Leistungsverrechnungssatz für die „Schmelzerei“, q_2 für „Gießen“ und q_3 für „Auspacken & Trennen“ und haben die in der Tabelle 6 angegebenen Werte.

³¹³ Vgl. Schmidt J. (2015), S. 125

Tabelle 6: Interne Verrechnungskosten – Material (Schrottkreislauf)

\vec{q}	Verrechnungssatz
q_1	0,2463 [€/kg]
q_2	0,2482 [€/kg]
q_3	0,2395 [€/kg]

Die Energiekosten werden auf die gleiche Art und Weise berechnet. Um bei dem Beispiel der „Schmelzerei“ zu bleiben, werden auch hier die Zahlen für diese näher erläutert. Die Inputkosten fallen an für Strom, Gas, Druckluft und Koks und ergeben in Summe 1.286.882 €. Die Inputkosten der Gießerei und „Auspacken & Trennen“ werden mithilfe des im ersten Schritt berechneten Preises pro kg berechnet.

Tabelle 7: Interne Leistungsverrechnung – Energie (Schrottkreislauf)

Gleichungssystem Energie	Input kosten	Empf. Leistung Schmelzerei	Empf. Leistung Gießen	Empf. Leistung Auspackg & Trennen	Erbrachte Leistung
Schmelzerei	1.286.882	0	0	22.808.583	41.415.232
Gießen	75.380	36.015.347	0	0	35.868.086
Auspackg & Trennen	78.770	0	35.738.769	0	37.238.358

Das ausformulierte Gleichungssystem stellt sich wie folgt dar:

$$\text{Schmelzerei: } 1.286.882 + 22.808.583 q_3 = 41.415.232 q_1$$

$$\text{Gießen: } 75.380 + 36.015.347 q_1 = 35.868.086 q_2$$

$$\text{Auspacken & Trennen: } 78.770 + 35.738.760 q_2 = 37.238.358 q_3$$

Die Kosten pro kg ergeben damit die in der Tabelle 8 angeführten Werte. Der Vektor \vec{q} beinhaltet wieder den Verrechnungssatz der jeweiligen Mengenstelle: q_1 ist für die „Schmelzerei“, q_2 für „Gießen“ und q_3 für „Auspacken & Trennen“.

Tabelle 8: Interne Verrechnungskosten - Energie

\vec{q}	Verrechnungssatz
q_1	0,0711 [€/kg]
q_2	0,0735 [€/kg]
q_3	0,0726 [€/kg]

Für den Schrottkreislauf werden Energiekosten in der Höhe von 1.656.216 € (22.808.583 [kg] * 0,0726 [€/kg]) weiterverrechnet (s. Tabelle 13: Input-Output-Bilanz Schmelzerei).

Formenkreislauf

Die angewendete Methodik der Berechnung der internen Leistungsverrechnung für die Formen & Kerne ist analog zum Schrottkreislauf. Die Inputkosten ergeben sich aus der Multiplikation des im ersten Schritt berechneten Materialpreises pro kg und der erbrachten Leistung. Die erbrachte Leistung für „Gießen“ und „Auspacken & Trennen“ umfasst lediglich die Formen & Kerne, weil die Kosten ausschließlich wieder diesen zugerechnet werden (s. Abbildung 28.)

Tabelle 9: Interne Leistungsverrechnung - Material (Formenkreislauf)

Gleichungssystem Material	Inputkosten	Empf. Leistung Gießen	Empf. Leistung Auspckg &Trennen	Empf. Leistung Kerne	Empf. Leistung Formen	Erbrachte Leistung
Gießen	7.507	0	0	0	8.563.006	8.563.006
Auspckg &Trennen	10.949	8.563.006	0	0	0	8.563.006
Kernmacherei		0	2.891.375	0	0	2.936.599
Formanlage		0	5.671.631	2.936.043	0	10.633.196

Die Berechnung ergibt die folgenden, in der Tabelle 10 zusammengefassten, Verrechnungspreise:

Tabelle 10: Interne Verrechnungskosten - Material Formen

\vec{q}	Verrechnungssatz
q_2	0,0098 [€/kg]
q_3	0,0111 [€/kg]
q_4	0,0109 [€/kg]
q_5	0,0089 [€/kg]

Der Vektor \vec{q} beschreibt wieder, wie beim Schrottkreislauf, den Verrechnungssatz der jeweiligen Mengenstelle: q_1 ist der Leistungsverrechnungssatz für die „Schmelzerei“, q_2 für „Gießen“, q_3 für „Auspacken & Trennen“. Hinzukommen noch die Verrechnungssätze q_4 für „Kernmacherei“ und q_5 „Formanlage“. Wenn beispielsweise die Formen & Kerne in Gießen eingehen, werden sie mit dem Verrechnungssatz q_5 aus der Formanlage verrechnet - das ergibt: $8.563.006 \text{ [kg]} * 0,0089 \text{ [€/kg]}^{314} = 76.315 \text{ [€]}$ (der Wert wurde auf der Inputseite der Bilanz für die Formen eingetragen, s. Tabelle 14: Input-Output-Bilanz Gießen).

Zum Abschluss die Energiekosten: Wie aus der Tabelle 11 abgelesen werden kann, wurden hier die gesamten Energiekosten der „Kernmacherei“ und „Formanlage“ als

³¹⁴ Es wurde mit dem ungerundeten Wert gerechnet

Inputkosten eingetragen. Wenn nun, im Gegensatz dazu, die Tabelle 9 betrachtet wird, so wird ersichtlich, dass hier keine Inputkosten für die „Kernmacherei“ und „Formanlage“ eingetragen wurden, weil beim Formenkreislauf keine Rohstoffkosten einbezogen werden.

Tabelle 11: Interne Leistungsverrechnung - Energie (Formenkreislauf)

Gleichungssystem Kreislauf Formen Energie	Input- kosten	Empf. Leistung Gießerei	Empf. Leistung Auspkg &Trennen	Empf. Leistung Kerne	Empf. Leistung Formen	Erbrachte Leistung
Gießerei	17.996	0	0	0	8.563.006	8.563.006
Auspckg&Trennen	18.113	8.563.006	0	0	0	8.563.006
Kernmacherei	107.139	0	2.891.375	0	0	2.936.599
Formanlage	458.072	0	5.671.631	2.936.043	0	10.633.196

Die Lösung des linearen Gleichungssystems ergibt die in der Tabelle 12 eingetragenen Werte.

Tabelle 12: Interne Verrechnungskosten - Energie Formen

\vec{q}	Verrechnungssatz
q_2	0,2925 [€/kg]
q_3	0,2946 [€/kg]
q_4	0,3265 [€/kg]
q_5	0,2904 [€/kg]

Auch hier beschreibt der Vektor \vec{q} den Verrechnungssatz der jeweiligen Mengenstelle: q_2 ist der Verrechnungssatz für „Gießen“, q_3 für „Auspacken & Trennen“, q_4 für „Kernmacherei“ und q_5 „Formanlage“.

In den folgenden Kapiteln wird auf jeden einzelnen Prozessschritt eingegangen. Die dabei angeführten Input-Output-Bilanzen enthalten für die (Zwischen) Produkte bereits die berechneten Materialflusskosten. Die Auswertung der Outputs erfolgt im Detail im Kapitel 5.3.16.

5.3.3 Schmelzerei

Die Inputs im Prozessschritt zeigen, dass mehr als die Hälfte des Rohstoffeinsatzes aus dem wiederverwendeten Kreislaufmaterial besteht. Die eingetragenen Werte wurden einerseits aus der Buchhaltung und, andererseits aus den gewogenen Werten der Waage, die sich vor dem Schmelzofen befindet, ermittelt. Für alle weiteren Schritte wurde das Kilogramm als einheitliche Maßeinheit für die Menge definiert. Somit müssen beispielsweise das verbrauchte Kühlwasser und der eingesetzte Sauerstoff von m^3 in kg umgerechnet werden. Die Verwendung einer einheitlichen Mengeneinheit

wird von der ISO NORM 14051 vorgeschlagen, um die Vergleichbarkeit der Daten untereinander zu erleichtern.³¹⁵ Die Maßeinheit für den Energieeinsatz ist die MWh, da Koks ein Energielieferant ist, mussten die eingesetzten 3.036.172 kg noch umgerechnet werden. Die Druckluft wird von der hausinternen Druckluftstation zugeführt.

Die größten Entsorgungskosten (absolut gesehen) verursacht der Ofenausbruch. Der Ofenausbruch liegt aber auch mengenmäßig an erster Stelle, rund 3 Tonnen Abfall fallen allein für ihn an. Bären (Resteisen) kann verkauft werden und trägt mit rd. € 2.500,00 positiv zum Ergebnis dieses Prozessschrittes bei. Aus der Sicht der Materialflusskostenrechnung ist dieser Prozess besonders interessant, weil die entsorgungspflichtigen Verluste rund 15 % zum Produkt-Output darstellen und die damit verbunden Kosten aus der klassischen Kostenrechnung nicht beziffert werden konnten.

Tabelle 13: Input-Output-Bilanz Schmelzerei

Hauptprozess:		Schmelzerei				Nr.	1		
Input		Menge		Kosten	Output		Menge	Kosten	
Rohstoffe					(Vor-)Produkte				
Materialien Materialien Materialien	Kreislaufmaterial	22.808.583	kg	5.461.997	Vorprodukt - Output	Schmelze	36.015.347	kg	11.429.913
	Schienen - Schrott	12.979.719	kg	4.056.946					
	Kalk	817.299	kg	15.523					
	FeSi	160.273	kg	190.020					
	FeMn	17.444	kg	14.787					
	SiC - Preßlinge	530.545	kg	227.929					
	Wismut/Aluminium	4.288	kg	22.484					
	Summe	37.318.151		9.989.687		Summe	36.015.347	kg	11.429.913
Hilfs- und Betriebsstoffe		Menge		Kosten	externe Entsorgung (Abfall)		Menge	Kosten	
Sonstige Ressourcen	Kühlwasser	272.948.928	kg	9.339	Abfall	Kupolofenschlacke	1.776.640	kg	60.200
	Feuerfestmaterial Schmelzerei	711.530	kg	172.110		Kupolofenstaub	212.960	kg	12.861
	Sauerstoff	268.473	kg	29.399		Ofenausbruch	3.121.120	kg	109.890
						Bären	288.980	kg	-2.452
	Summe	273.928.931		210.848		Summe	5.399.700	kg	180.499
Energie		Menge		Kosten	Verluste		Menge	Kosten	
Energie	Strom	2.694	MWh	225.726	Verluste	Staub	185	kg	29
	Gas	465	MWh	14.786					
	Druckluft	104	MWh	11.091					
	Koks	24.289	MWh	1.035.278					
	Energie Kreislaufmaterial		MWh	1.656.216					
	Summe	27.552		2.943.098		Summe	185	kg	29

³¹⁵ Vgl. ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 11

Die in der Tabelle 13 grau hinterlegten Werte (Kreislaufmaterial, Energie Kreislaufmaterial, Schmelze) wurden bereits mit den Kosten laut Materialflusskostenrechnung verknüpft. An ihnen soll gezeigt werden, wie sich die Materialflusskosten berechnen lassen. Die Materialflusskosten für die Schmelze wurden wie kalkuliert als:

$$\text{Materialverrechnungssatz} = \frac{\sum \text{Materialkosten}}{\sum \text{Outputmenge}} = \frac{10.200.535}{41.415.232} = 0,24629911 = 0,25 \left[\frac{\text{€}}{\text{kg}} \right]$$

$$\begin{aligned} \text{Outputkosten}_{\text{Material}} &= \text{Outputmenge} \times \text{Materialverrechnungssatz} \\ &= 36.015.347 \times 0,25 = 8.870.548 \text{ [€]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Energieverrechnungssatz} &= \frac{\sum \text{Energiekosten}}{\sum \text{Outputmenge}} = \frac{2.943.098}{41.415.232} = 0,07106317791 \\ &= 0,07 \left[\frac{\text{€}}{\text{kg}} \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Outputkosten}_{\text{Energie}} &= \text{Outputmenge} \times \text{Energieverrechnungssatz} \\ &= 36.015.347 \times 0,07^{316} = 2.559.365 \text{ [€]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gesamtkosten}_{\text{Schmelze}} &= \text{Outputkosten}_{\text{Material}} + \text{Outputkosten}_{\text{Energie}} = 8.870.548 + \\ &2.559.365 = 11.429.913 \text{ [€]} \end{aligned}$$

Die 11 Mio. € werden in die nächste Mengenstelle übertragen, jedoch wieder aufgeteilt in den Material- und Energieanteil, um die Transparenz der Kostenart weiterhin zu erhalten.

5.3.4 Gießen

Die in dem vorgelagerten Prozessschritt gewonnene Schmelze wird hier in Formen gegossen, um die Fittings zu erstellen. Input sind, abgesehen von der Schmelze: das Feuerfestmaterial, Formen und Energie (Strom, Gas, Druckluft). Die Menge der hier produzierten Gusstraube ist nicht gemessen, sondern wurde rechnerisch aus dem durchschnittlichen Gusstraubengewicht von 35,6 kg und der produzierten Gusstraubenstückzahl (1.003.898) ermittelt. Entsorgungskosten fallen für den Filterstaub an.

³¹⁶ Es wurde mit dem nicht gerundeten Energieverrechnungssatz weitergerechnet

Tabelle 14: Input-Output-Bilanz Gießen

Hauptprozess:		Gießen				Nr.	2				
Input		Menge		Kosten	Output		Menge	Kosten			
Rohstoffe					(Vor-)Produkte						
Materialeinsatz	Schmelze	36.015.347	kg	8.870.548	Vorprodukt - Output	Gusstraube	35.738.769	kg	11.495.144		
	Formen mit Kernen	8.563.006	kg	76.315		Formen mit Kernen	8.563.006	kg	2.588.329		
	Summe	44.578.353	kg	8.946.863		Summe	44.301.775	kg	14.083.473		
Sonstige Ressourcen	Hilfs- und Betriebsstoffe		Menge	Kosten	Abfall	Entsorgung (Abfall)		Menge	Kosten		
	Feuerfestmaterial Gießen		75.130	kg		38.952	Filterstaub		129.145	kg	10.176
		Summe	75.130	kg	38.952	Summe		129.145	kg	10.176	
Energie	Energie		Menge	Kosten	Emission	Verluste		Menge	Kosten		
	Strom		722	MWh		60.515	Abluft		81	kg	
	Erdgas		357	MWh		11.350	Staub		91	kg	
	Druckluft		201	MWh		21.510					
	Energie Schmelzen			MWh		2.559.365					
	Energie Formen & Kerne			MWh		2.486.512					
		Summe	1.124	MWh	5.139.252	Summe		172	kg		

5.3.5 Auspacken & Trennen

In diesem Prozess wird der Guss von den Formen und Kernen wieder getrennt. Der Ausschuss vom Gussstück wird wieder an den Prozessanfang transportiert. Die hier als Output eingetragenen Formen und Kerne werden aufbereitet und in der „Formanlage“ und „Kernmacherei“ wieder in die gewünschte Gestalt gepresst. Der restliche Verlust muss extern entsorgt werden und verursacht dabei Entsorgungskosten von insgesamt € 791.580.

Tabelle 15: Input-Output-Bilanz Auspacken & Trennen

Hauptprozess:		Auspacken und Trennen				Nr.	3								
Input		Menge		Kosten		Output		Menge		Kosten					
Rohstoffe						(Vor-)Produkte									
Materialeinsatz	Gusstraube	35.738.769	kg	8.869.898	Vorprodukt - Output	Gussstück	13.814.523	kg	4.311.303	Abfall	Entsorgung (Abfall)	Menge		Kosten	
	Formen mit Kernen	8.563.006	kg	83.822		Kreislaufmaterial (Schrottplatz)	22.808.583	kg	7.118.213		Filterstaub	92.984	kg	7.327	
						Formen mit Kernen	8.563.006	kg	2.617.392		Ausschuss hart	522.054	kg	784.253	
	Summe	44.301.775	kg	8.953.720		Summe	45.186.112	kg	14.046.908		Summe	615.038	kg	791.580	
Sonstige Ressourcen	Hilfs- und Betriebsstoffe	Menge		Kosten	Emission	Verluste	Menge		Kosten	Emission	Staub	214	kg		
	Strahlsand grob	69.000	kg	58.563											
		Summe	69.000	kg		58.563		Summe	1.124		MWh	5.226.636		Summe	214
Energie	Energie	Menge		Kosten											
	Strom	1.006	MWh	84.298											
	Druckluft	118	MWh	12.585											
	Energie Gusstraube		MWh	2.625.245											
	Energie Formen & Kerne		MWh	2.504.507											
	Summe	1.124	MWh	5.226.636		Summe	1.124	MWh	5.226.636		Summe	214	kg	0	

5.3.6 Wärmbehandlung

Die Wärmebehandlung ist nach dem Schmelzen jener Prozessschritt der mit 12.700 MWh im Jahr 2014 den zweithöchsten Energiebedarf hat. Es wurden keine Produktionsverluste in diesem Abschnitt verzeichnet und damit werden die gesamten Kosten, Material sowie Energie, auf das Tempergussstück angerechnet.

Tabelle 16: Input-Output-Bilanz Wärmebehandlung

Hauptprozess:		Wärmebehandlung				Nr.	4				
Input		Menge		Kosten		Output		Menge		Kosten	
Materialieinsatz	Rohstoffe					(Vor-)Produkte					
	Gussstück	13.814.523	kg	3.308.180		Tempergussstück	13.400.087	kg	4.740.268		
	Summe	13.814.523	kg	3.308.180		Summe	13.400.087	kg	4.740.268		
Sonstige Ressourcen	Hilfs- und Betriebsstoffe	Menge		Kosten		Entsorgung (Abfall)	Menge		Kosten		
	Summe					Summe					
Energie	Energie	Menge		Kosten		Verluste	Menge		Kosten		
	Strom	501	MWh	41.947							
	Erdgas	12.170	MWh	387.017							
	Energie Gussstück		MWh	1.003.124							
	Summe	12.671	MWh	1.432.088							

5.3.7 Gussfertigstellung

An Inputmaterialien werden hier Strahlsand und Schleifscheiben verbraucht und rd. 800 MWh Energie aufgewendet. Die Gussfertigstellung hat zwei unterschiedliche Produkt-Outputs. 60% des Tempergussstücks werden vor der weiteren Bearbeitung verzinkt, während die restlichen 40% sofort mechanisch bearbeitet werden. Neben dem Produkt-Output fallen noch rd. 108.000 kg Abfall an, der kostenpflichtig entsorgt werden muss (s. Tabelle 17)

Tabelle 17: Input-Output-Bilanz Gussfertigung

Hauptprozess:		Gussfertigung				Nr.	5	
Input		Menge		Kosten	Output	Menge	Kosten	
Rohstoffe					(Vor-)Produkte			
Materialeinsatz	Tempergussstück	13.400.087	kg	3.308.180	Tempergussstück (60% zu Verzinkung)	6.574.999	kg 2.874.197	
					Tempergussstück (40% zu MechBe)	4.383.332	kg 1.916.131	
	Summe	13.400.087	kg	3.308.180	Summe	10.958.331	4.790.328	
Hilfs- und Betriebsstoffe		Menge		Kosten	Entsorgung (Abfall)		Menge	Kosten
Sonstige Ressourcen	Strahlsand fein	18.000	kg	13.442	Filterstaub	24,07	kg 2	
	Schleifscheiben	663	kg	13.440	Ausschuss (zum KO) roh	107.967	kg 65.165	
	Summe	18.663		26.882	Summe	107.991	kg 65.167	
Energie		Menge		Kosten	Verluste		Menge	Kosten
Energie	Strom	470	MWh	39.415	Staub	114	kg	
	Druckluft	290	MWh	31.020				
	Energie Tempergussstück		MWh	1.432.088				
Summe	760	MWh	1.502.523	Summe	114	kg 0		

5.3.8 Verzinkung

Für die Verzinkung sind die Roh- und Betriebsstoffe wie Zink, Wasser, Fluss- und Salzsäure notwendig (s. Tabelle 18). Die als Verlust anfallende Zinkasche kann um rd. 75.000 Euro (0,75€/kg) verkauft werden, Hartzink hat einen Erlös von 1,26 €/kg und kann mit rd. 220.000 € einen noch höheren Beitrag zu einem positiven Ergebnis des Prozesses beitragen. Die restlichen Abfälle wie die Säuregemische müssen entsorgt werden und verursachen dafür Abfallkosten i.H.v. 30.000 €.

Tabelle 18: Input-Output-Bilanz Verzinkung

Hauptprozess:		Verzinkung				Nr.	6		
Input		Menge		Kosten	Output		Menge	Kosten	
Materialeinsatz	Rohstoffe				(Vor-)Produkte				
	Tempergussstück	6.574.999	kg	1.981.489	Vorprodukt - Output	Verzinktes Gussstück	6.979.323	kg	3.745.839
	Zink	540.508	kg	961.540					
	ZnAl-Legierung	12.783	kg	28.158					
Summe	7.128.290	kg	2.971.187	Summe		6.979.323	kg	3.745.839	
Sonstige Ressourcen	Hilfs- und Betriebsstoffe	Menge		Kosten	Abfall	Entsorgung (Abfall)	Menge		Kosten
	Wasser	4.706.016	kg	634		Zinkasche	99.928	kg	-74.886
	Salzsäure	88.380	kg	11.603		zinkhaltige Altbeize	88.900	kg	7.888
	Flusssäure	7.860	kg	13.673		Hartzink	174.562	kg	-220.024
	ZinkAmoniumChlorid	8500	kg	10.673		Säuregemische (Fischer)	132.980	kg	9.621
						Säuregemische (AVR)	166.240	kg	12.088
	Summe	4.810.756	kg	36.583		Summe	662.610		-265.313
Energie	Energie	Menge		Kosten	Emission	Verluste	Menge		Kosten
	Strom	573	MWh	48.025		Staub	112	kg	
	Erdgas	4.677	MWh	148.725					
	Druckluft	40	MWh	4.298					
	Energie Tempergussstück		MWh	892.707					
	Summe	5.290	MWh	1.093.755		Summe	112	kg	

5.3.9 Mechanische Bearbeitung

In der mechanischen Bearbeitung werden die beiden Produktflüsse wieder zusammengefasst. An Hilfs- und Betriebsstoffen fallen Kühlschmierstoffe, Hydrauliköle, Konservierungsmittel, Entfettungsmittel und Wasser an. Der Abfall „Späne“ (2,3 t) generiert einen Verkaufserlöse von 325.000 €. Allerdings muss für den restlich angefallenen Ausschuss Entsorgungskosten von 726.000 € gezahlt werden.

Tabelle 19: Input-Output-Bilanz Mechanische Bearbeitung

Hauptprozess:		Mechanische Bearbeitung				Nr.	7
Input		Menge	Kosten		Output	Menge	Kosten
Rohstoffe					(Vor-)Produkte		
Materialeinsatz	Verzinktes Gussstück (60%)	6.979.323	kg	2.746.935	Verzinktes Produkt	6.648.713	kg 2.737.508
	Tempergussstück (40%)	4.383.332	kg	1.320.993	Unverzinktes Produkt	4.432.475	kg 1.246.801
	Summe	11.362.655	kg	4.067.928	Summe	11.081.188	kg 3.984.309
Sonstige Ressourcen	Hilfs- und Betriebsstoffe	Menge	Kosten		Entsorgung (Abfall)	Menge	Kosten
	Kühlschmierstoffe	23.698	kg	96.791	Ausschuss verzinkt	34.800	kg 352.077
	Hydrauliköle	21.399	kg	6.689	Späne	2.288.344	kg -324.890
	Konserviermittel	9.360	kg	42.653	Emulsionsgemische	729.920	kg 38.686
	Entfettungsmittel	5.726	kg	18.454	Ausschuss bearbeitet (nicht verzinkt)	44.367	kg 335.586
	Wasser	717.107	kg	97			
	Summe	777.291	kg	164.683	Summe	3.097.431	kg 401.459
Energie	Energie	Menge	Kosten		Verluste	Menge	Kosten
	Strom	2.101	MWh	176.002			
	Erdgas	404	MWh	12.842			
	Druckluft	93	MWh	9.967			
	Energie Verzinktes Gussstück		MWh	998.904			
	Energie Tempergussstück		MWh	595.138			
	Summe	2.597	MWh	1.792.853			

Der Prozess hat einen Produkt-Output von 11.081.188 kg, die Aufteilung 40:60 für das unverzinkte bzw. verzinkte Tempergussstück wurde beibehalten. Die Kosten wurden entsprechend aufgeteilt. Hier wird mit der Systematik, dass die gesamten Inputkosten auf den Output je nach Gewicht aufgeteilt werden, gebrochen.

Die Inputkosten können unterteilt werden in:

1. Material- und Energiekosten des verzinktes Gussstücks
2. Material –und Energiekosten des unverzinktes Gussstücks
3. Materialkosten Hilfs-und Betriebsstelle
4. Energiekosten der Mengenstelle

Der Output wird unterteilt in:

1. Produkt:
 - a. Verzinktes Produkt
 - b. Unverzinktes Produkt
2. Verlust
 - a. Verzinkte Verluste
 - b. Unverzinkte Verluste
 - c. Allgemeine Verluste der Mengenstelle

Unter „allgemeine Verluste der Mengenstelle“ werden die Späne und Emulsionsgemische summiert. Folgende Zuordnungsregeln wurden erstellt:

1. Kosten des verzinkten Gussstücks: auf jeden Output, der nicht unverzinkt ist, verteilen (s. Abbildung 30)

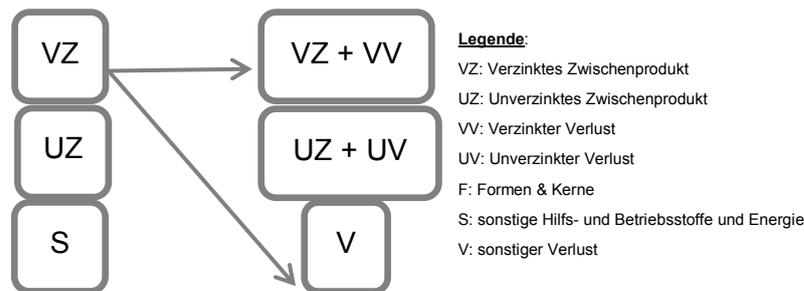


Abbildung 30: Zuordnung Kosten verzinkter Output

2. Kosten des unverzinkten Gussstücks: auf jeden Output, der nicht verzinkt ist, verteilen (s. Abbildung 31)

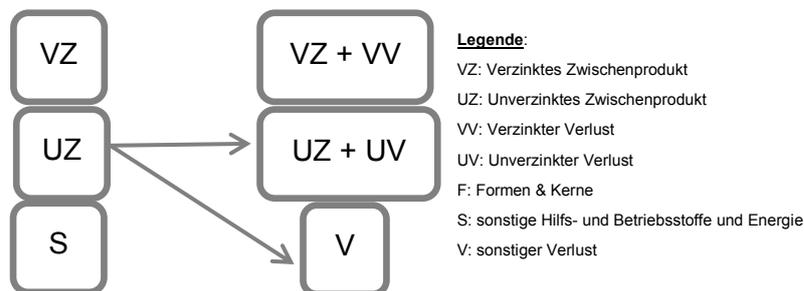


Abbildung 31: Zuordnung Kosten unverzinkter Output

3. Kosten für Hilfs- und Betriebsstoffe und Energie: auf den gesamten Output verteilen (s. Abbildung 32)

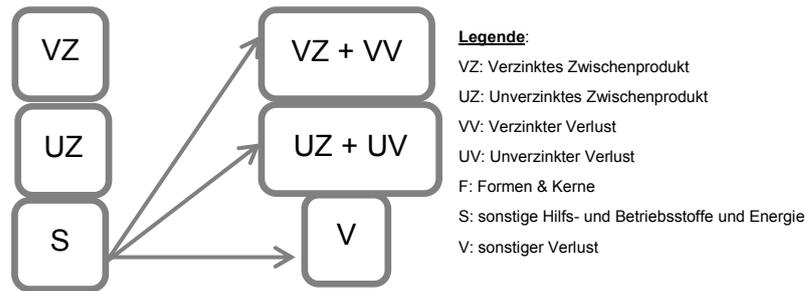


Abbildung 32: Zuordnung sonstiger Kosten

Die Erhöhung der Komplexität der Berechnung der Materialflusskosten wird für die verbesserte Kostentransparenz in Kauf genommen. Für die Kosten die für die Hilfs- und Betriebsstoffe und Energie entstehen ergibt sich keine Änderung, sie werden je nach Gewicht dem gesamten Output zugeteilt. Die Berechnung der Kosten für das verzinkte Produkt wird hier beispielhaft gezeigt. Der gesamte Output beträgt 14.178.619 kg, der Output abzüglich des unverzinkten Teils beträgt 9.701.776 kg. Die Inputkosten werden beim Berechnen des Verrechnungspreises auf die jeweilige Basis bezogen. Die Inputkosten für die Hilfs- und Betriebsstoffe betragen 164.683 €, die Energiekosten der Mengenstelle belaufen sich auf 198.811 € und für das verzinkte Gussstück (Material und Energie) 3.745.839 €.

$$6.648.713 * \left(\frac{164.683 + 198.811}{14.178.619} + \frac{3.745.839}{9.701.776} \right) = 2.737.508 \text{ €}$$

Dieser Wert wurde in der Tabelle 19 unter verzinktes Produkt eingetragen.

5.3.10 Endkontrolle

Die Endkontrolle hat als Inputmaterialien Verpackungsmaterial und PE-Folie im Wert von 270.000 €. Zusätzlich fällt noch Abfall beim Verpacken und nicht verzinkter Ausschuss an.

Tabelle 20: Input-Output-Bilanz Endkontrolle

Hauptprozess:		Endkontrolle						Nr.	5
Input		Menge		Kosten	Output		Menge	Kosten	
Rohstoffe					(Vor-)Produkte				
Materialeinsatz	Verzinktes Produkt	6.648.713	kg	1.959.723	Vorprodukt - Output	Verzinktes Produkt	6.392.624	kg	2.832.219
	Unverzinktes Produkt	4.432.475	kg	832.695		Unverzinktes Produkt	4.261.750	kg	1.295.847
						Verpackung	249.218	kg	177.864
						PE-Folie	33.004	kg	23.555
	Summe	11.081.188	kg	2.792.418		Summe	10.936.596	kg	4.329.485
Sonstige Ressourcen	Hilfs- und Betriebsstoffe		Menge	Kosten	Entsorgung (Abfall)		Menge	Kosten	
	K-Wasser	7.081.434	kg	242	Abfall	Ausschuss (verzinkt)	0	kg	
	Kartons	256.849	kg	212.118		Kartons	7.631	kg	
	PE-Folie	33.514	kg	55.220		PE-Folie	510	kg	
						Ausschuss(nicht verzinkt)	54.693	kg	
Summe	7.371.797	kg	267.581	Summe		62.834	kg	0	
Energie	Energie		Menge	Kosten	Verluste		Menge	Kosten	
	Strom	747	MWh	62.560	Emission	Kühlwasser	0	kg	
	Druckluft	58	MWh	6.255					
	Erdgas	982	MWh	31.221					
	Energie Verzinktes Produkt		MWh	777.785					
	Energie Unverzinktes Produkt		MWh	414.106					
Summe	1.787	MWh	1.291.927						

5.3.11 Kernmacherei

Aus den Inputmaterialien wie verschiedene Sande, Wasserglas und Harz werden die Kerne erstellt. Der dabei anfallende Kernbruch (1,54%) wird rechnerisch ermittelt. Wie in Tabelle 21 zu sehen ist, werden die Kosten für die Inputmaterialien wieder

abgezogen (vgl. Abschnitt 5.3.2. „Behandlung interner Kreisläufe“) Durch die interne Leistungsverrechnung entstehen aber ca. doppelt so hohe Kosten, als die ursprünglichen Rohstoffkosten betragen.

Tabelle 21: Input-Output-Bilanz Kernmacherei

Nebenprozess:		Kernmacherei				Nr.	3					
Input		Menge		Kosten		Output		Menge		Kosten		
Rohstoffe						(Vor-)Produkte						
Materialeinsatz	Kernsand	2.225.120	kg	161.246	Vorprodukt - Output	Kern	2.891.375	kg	975.664			
	Resitalsand	630.487	kg	163.812		Kernbruch 1.54%	44.667	kg	15.073			
	Härter	7.494	kg	18.582								
	Harz	11.960	kg	23.645								
	Wasserglas	29.047	kg	26.946								
	CO2	32.491	kg	7.954								
	Kerne Kreislaufmaterial	2.891.375	kg	32.000								
	Abzüglich Materialeinsatz			-403.920								
	Summe	2.936.599	kg			Summe	2.936.043	kg	990.737			
Sonstige Ressourcen	Hilfs- und Betriebsstoffe	Menge		Kosten	Abfall	Entsorgung (Abfall)	Menge		Kosten			
	K-Wasser	50.690.515	kg	1.734								
	Summe	50.690.515	kg			Summe						
Energie	Energie	Menge		Kosten	Emission	Emissionen	Menge		Kosten			
	Strom	471	MWh	39.426		Staub	556	kg	188			
	Erdgas	441	MWh	14.039			0	kg				
	Druckluft	502	MWh	53.674								
	Energie Kerne Kreislaufmaterial		MWh	851.785								
	Summe	1.414	MWh	958.924		Summe	556	kg	188			

Die Berechnung der Materialflusskosten ergeben 975.664€ für die Kerne. Im nächsten Schritt werden die Kerne in der Formmacherei weiterbehandelt.

5.3.12 Formanlage

In der Tabelle 22 ist ersichtlich, dass als Inputmaterial der Kern und der Kernbruch aus der vorgelagerten Mengenstelle eingehen. Als neue Inputmaterialien kommen Betonit und Wasser hinzu, an Hilfs- und Betriebsstoffen werden Hydrauliköl und Kühlwasser benötigt.

Tabelle 22: Input-Output-Bilanz Formanlage

Nebenprozess:		Formanlage (Pressen)				Nr.	4	
Input		Menge		Kosten	Output	Menge	Kosten	
Rohstoffe					(Vor-)Produkte			
Materialeinsatz	Kern	2.891.375	kg	31.507	Vorprodukt - Output			
	Kernbruch	44.667	kg	487		Formen mit Kerne	8.563.006	kg 2.562.826
	Bentonit&Steinkohlemehl	1.456.320	kg	287.478				
	Wasser	6.228.000	kg	839				
	Formen Kreislaufmaterial	5.671.631	kg	62.771				
	Abzüglich Materialeinsatz			-295.334				
	Summe		kg			Summe	8.563.006	kg 2.562.826
Sonstige Ressourcen	Hilfs- und Betriebsstoffe	Menge		Kosten	Abfall	Entsorgung (Abfall)	Menge	Kosten
	Hydrauliköl	12.833	kg	4.011		Altsand (stichfest)	1.599.780	kg 56.246
	Kühlwasser	87.847.916	kg	3.006		Altsand (blasfähig)	465.439	kg 12.520
	Summe	87.860.750	kg	7.017		Summe	2.065.219	kg 68.766
Energie	Energie	Menge		Kosten	Emission	Verluste	Menge	Kosten
	Strom	4.755	MWh	398.422		Staub	4.971	kg
	Druckluft	455	MWh	48.709				
	Erdgas	344	MWh	10.940				
	Energie Kern		MWh	944.157				
	Energie Kernbruch		MWh	14.586				
	Energie Formen Kreislaufmaterial		MWh	1.670.835				
	Summe	5.554	MWh	3.087.650		Summe	4.971	kg 0

Wie auch in der Kernmacherei werden auch hier die Rohstoffkosten für die Formen wieder abgezogen(s. dazu Abschnitt 5.3.2. „Behandlung interner Kreisläufe“). Durch die interne Leistungsverrechnung übersteigen aber auch hier die ermittelten Gesamtkosten die ursprünglichen Einstandspreise. Aus den Formen und Kernen

werden die Ober-und Unterkästen produziert, sie sind also miteinander verbunden und werden dementsprechend als ein Output angeführt. Die Summe der Kosten wird wieder auf den gesamten Output (je nach Gewicht) verrechnet.

5.3.13 Druckluftstation

Mithilfe von Strom wird Druckluft erzeugt. Diese wird, wie in Tabelle 23 eingetragen, an die jeweiligen Stellen geliefert. Die gesamten entstandenen Kosten werden dementsprechend weiterverrechnet.

Tabelle 23: Input-Output-Bilanz Druckluftstation

Nebenprozess:		Druckluftstation				Nr.	2		
Input		Menge	Kosten		Output		Menge	Kosten	
Rohstoffe					(Vor-)Produkte				
Materialeinsatz					Vorprodukt - Output	Druckluft Schmelzerei	104	MWh	11.091
						Druckluft Gießen	201	MWh	21.510
						Druckluft Auspacken & Trennen	118	MWh	12.585
						Gussfertistellung	290	MWh	31.020
						Druckluft Verzinkung	40	MWh	4.298
						Druckluft Mech. Bearb.	93	MWh	9.967
						Druckluft Endkontrolle	58	MWh	6.255
						Druckluft Nebenprozesse	957	MWh	102.383
						Summe	1.861	MWh	199.110
	Sonstige Ressourcen	Hilfs- und Betriebsstoffe	Menge	Einheit		Kosten	Abfall	Entsorgung (Abfall)	Menge
Summe					Summe				
Energie	Energie	Menge		Kosten	Emission	Verluste	Menge	Kosten	
	Strom	2.376	MWh	199.110		Abwärme			
	Summe			199.110					

5.3.14 Gebäude und Sonstiges

Für „Gebäude und Sonstiges“ wurden nur die eingesetzten Energiemengen ermittelt. Diese Kosten fallen in keiner Mengenstelle der Produktion an. Aus diesem Grund wurden die in der Tabelle 24 berechneten Kosten in Summe den Produkten zugerechnet.

Tabelle 24: Input-Output-Bilanz Gebäude und Sonstiges

Nebenprozess:		Gebäude und Sonstiges				Nr.	4
	Input	Menge	Kosten	Output	Menge	Kosten	
	Rohstoffe			(Vor-)Produkte			
Materialeinsatz				Strom	2.358	MWh	197.608
				Erdgas	4.851	MWh	154.248
		Summe			Summe	7.209	MWh
Sonstige Ressourcen	Hilfs- und Betriebsstoffe	Menge	Kosten	Entsorgung (Abfall)	Menge	Kosten	
		Summe			Summe		
Energie	Energie	Menge	Kosten	Verluste	Menge	Kosten	
	Strom	2.358	MWh	197.608			
	Erdgas	4.851	MWh	154.248			
		Summe	7.209	MWh	351.856		

5.3.15 Warenausgang

Prozesstechnisch gibt es hier keine Änderung. Die Stelle „Warenausgang“ wurde künstlich erschaffen, um die Energiekosten für „Gebäude und Sonstiges“ weiter zu verrechnen.

Tabelle 25: Input-Output-Bilanz Warenausgang

Hauptprozess:		Warenausgang						Nr.	5
	Input	Menge		Kosten		Output	Menge	Kosten	
	Rohstoffe					(Vor-)Produkte			
Materialeinsatz	Verzinktes Produkt	6.392.624	kg	2.030.088	Vorprodukt - Output	Verzinktes Produkt	6.392.624	kg	3.037.884
	Unverzinktes Produkt	4.261.750	kg	873.999		Unverzinktes Produkt	4.261.750	kg	1.432.958
	Verpackung	249.218	kg	124.191		Verpackung	249.218	kg	185.882
	PE-Folie	33.004	kg	16.447		PE-Folie	33.004	kg	24.617
	Summe	10.936.596	kg	3.044.725		Summe	10.936.596	kg	4.681.340
Sonstige Ressourcen	Hilfs- und Betriebsstoffe	Menge		Kosten	Abfall	Entsorgung (Abfall)	Menge		Kosten
		Summe						0	
Energie	Energie	Menge	Einheit	Kosten	Emission	Verluste	Menge	Einheit	Kosten
	Energie Gebäude&Sonstige s	7.209	MWh	351.856					
	Energie Verzinktes Produkt		MWh	802.130					
	Energie Produkt		MWh	421.848					
	Energie Verpackung		MWh	53.673					
	Energie PE-Folie		MWh	7.108					
	Summe	7.209	MWh	1.636.615					

5.3.16 Produktspezifische Bilanzierung der Material und Energieflüsse

Die Auswertung der Materialflusskostenrechnung wird mithilfe der Materialflusskostenmatrix (s. Tabelle 26) vorgenommen. Die Kosten können nach zwei Gesichtspunkten unterteilt werden, nach:

- dem Input
- dem Output

Die Betrachtung der Inputseite bringt Aufschluss darüber, welche Kosten neu in der Mengenstelle entstehen (z.B.: durch den Einkauf von Rohstoffen, oder diverser Energie) und welche Kosten aus der vorgelagerten Mengenstelle entstehen (z.B. Kosten für das Kreislaufmaterial, Kosten für die Gusstraube etc.). Die Betrachtung der Outputseite zeigt, ob die Kosten für die Erstellung eines Produkts verwendet wurden, oder in die „Produktion“ von Verlusten/Abfall. Die Summe aus den Verlusten aller Mengenstellen und den Produktkosten der Mengenstelle „Warenausgang“ ergeben die Gesamtkosten.

Tabelle 26: Materialflusskostenmatrix Gesamt

2014	Übertrag Kosten	Neue Kosten	Summe Kosten MS	Produkt	Verlust
Schmelzerei	7.129.305	6.194.827	13.324.132	11.429.913	1.894.219
Gießen	14.014.249	120.994	14.135.243	14.083.473	51.770
Auspacken & Trennen	14.096.058	934.441	15.030.499	4.311.303	10.719.196
Wärmebehandlung	4.311.303	428.965	4.740.268	4.740.268	0
Gussfertigstellung	4.771.288	131.464	4.902.752	4.790.328	112.424
Verzinkung	2.878.495	957.718	3.836.213	3.745.839	90.374
Mech. Bearbeitung	5.671.938	754.985	6.426.923	3.984.309	2.442.614
Endkontrolle	3.990.564	361.362	4.351.925	4.329.485	22.440
Warenausgang	4.681.340	0	4.681.340	4.681.340	0
Kerne	937.460	53.465	990.925	990.737	188
Formen	2.773.052	478.128	3.251.181	2.562.826	688.354
Druckluftstation	0	199.110	199.110	199.110	0
Gebäude&Sonstiges	0	351.856	351.856	351.856	0

Die detaillierte Auswertung, für jede Mengenstelle ist in der Tabelle 27 - Tabelle 39 zu sehen. Zusätzlich zu den bereits abgebildeten Ergebnissen kommt es hier zu einer

Unterscheidung der Kosten in Energie und Material. Weiterhin bleibt die Aufspaltung in übertragene/neue Kosten und Produkt/Verlust aufrecht.

Tabelle 27: Materialflusskostenmatrix Schmelzerei

Schmelzerei				
	Material	Energie	Abfall	Gesamt
Übertrag Kosten vorherige MS	5.461.997	1.667.307		7.129.305
Neue Kosten	4.738.538	1.275.790	180.499	6.194.827
Summe Kosten MS	10.200.535	2.943.098	180.499	13.324.132
Produkt	8.870.548	2.559.365		11.429.913
Verlust	1.329.987	383.733	180.499	1.894.219

Tabelle 28: Materialflusskostenmatrix Gießen

Gießen				
	Material	Energie	Abfall	Gesamt
Übertrag Kosten vorherige MS	8.946.863	5.067.387		14.014.249
Neue Kosten	38.952	71.866	10.176	120.994
Summe Kosten MS	8.985.815	5.139.252	10.176	14.135.243
Produkt	8.953.720	5.129.753		14.083.473
Verlust	32.095	9.499	10.176	51.770

Tabelle 29: Materialflusskostenmatrix Auspacken & Trennen

Auspacken & Trennen				
	Material	Energie	Abfall	Gesamt
Übertrag Kosten vorherige MS	8.953.720	5.142.338		14.096.058
Neue Kosten	58.563	84.298	791.580	934.441
Summe Kosten MS	9.012.283	5.226.636	791.580	15.030.499
Produkt	3.308.180	1.003.124		4.311.303
Verlust	5.704.103	4.223.512	791.580	10.719.196

Tabelle 30: Materialflusskostenmatrix Wärmebehandlung

Wärmebehandlung				
	Material	Energie	Abfall	Gesamt
Übertrag Kosten vorherige MS	3.308.180	1.003.124		4.311.303
Neue Kosten	0	428.965		428.965
Summe Kosten MS	3.308.180	1.432.088	0	4.740.268
Produkt	3.308.180	1.432.088		4.740.268
Verlust	0	0	0	0

Tabelle 31: Materialflusskostenmatrix Gussfertigung

Gussfertigung				
	Material	Energie	Abfall	Gesamt
Übertrag Kosten vorherige MS	3.308.180	1.463.108		4.771.288
Neue Kosten	26.882	39.415	65.167	131.464
Summe Kosten MS	3.335.062	1.502.523	65.167	4.902.752
Produkt	3.302.482	1.487.846		4.790.328
Verlust	32.579	14.678	65.167	112.424

Tabelle 32: Materialflusskostenmatrix Verzinkung

Verzinkung				
	Material	Energie	Abfall	Gesamt
Übertrag Kosten vorherige MS	1.981.489	897.006		2.878.495
Neue Kosten	1.026.281	196.750	-265.313	957.718
Summe Kosten MS	3.007.771	1.093.755	-265.313	3.836.213
Produkt	2.746.935	998.904		3.745.839
Verlust	260.835	94.851	-265.313	90.374

Tabelle 33: Materialflusskostenmatrix Mechanische Bearbeitung

Mechanische Bearbeitung				
	Material	Energie	Abfall	Gesamt
Übertrag Kosten vorherige MS	4.067.928	1.604.010		5.671.938
Neue Kosten	164.683	188.844	401.459	754.985
Summe Kosten MS	4.232.611	1.792.853	401.459	6.426.923
Produkt	2.792.418	1.191.891		3.984.309
Verlust	1.440.193	600.962	401.459	2.442.614

Tabelle 34: Materialflusskostenmatrix Endkontrolle

Endkontrolle				
	Material	Energie	Abfall	Gesamt
Übertrag Kosten vorherige MS	2.792.418	1.198.146		3.990.564
Neue Kosten	267.581	93.781	0	361.362
Summe Kosten MS	3.059.998	1.291.927	0	4.351.925
Produkt	3.044.725	1.284.760		4.329.485
Verlust	15.273	7.167	0	22.440

Tabelle 35: Materialflusskostenrechnung Warenausgang

Warenausgang				
	Material	Energie	Abfall	Gesamt
Übertrag Kosten vorherige MS	3.044.725	1.636.615		4.681.340
Neue Kosten	0	0	0	0
Summe Kosten MS	3.044.725	1.636.615	0	4.681.340
Produkt	3.044.725	1.636.615	0	4.681.340
Verlust	0	0	0	0

Tabelle 36: Materialflusskostenmatrix Kerne

Kerne				
	Material	Energie	Abfall	Gesamt
Übertrag Kosten vorherige MS	32.000	905.459		937.460
Neue Kosten	0	53.465		53.465
Summe Kosten MS	32.000	958.924	0	990.925
Produkt	31.994	958.743		990.737
Verlust	6	182		188

Tabelle 37: Materialflusskostenrechnung Formen

Formen				
	Material	Energie	Abfall	Gesamt
Übertrag Kosten vorherige MS	94.765	2.678.287	0	2.773.052
Neue Kosten	0	409.362	68.766	478.128
Summe Kosten MS	94.765	3.087.650	68.766	3.251.181
Produkt	76.315	2.486.512		2.562.826
Verlust	18.450	601.138	68.766	688.354

Tabelle 38: Materialflusskostenrechnung Druckluft

Druckluftstation				
	Material	Energie	Abfall	Gesamt
Übertrag Kosten vorherige MS	0	0	0	0
Neue Kosten	0	199.110	0	199.110
Summe Kosten MS	0	199.110	0	199.110
Produkt	0	199.110	0	199.110
Verlust	0	0	0	0

Tabelle 39: Materialflusskostenmatrix Gebäude & Sonstiges

Gebäude & Sonstiges				
	Material	Energie	Abfall	Gesamt
Übertrag Kosten vorherige MS	0	0	0	0
Neue Kosten	0	351.856	0	351.856
Summe Kosten MS	0	351.856	0	351.856
Produkt	0	351.856		351.856
Verlust	0	0	0	0

Die Abbildung 33 visualisiert die Kostenflüsse als Sankey-Diagramm. Die Kosten für die (Zwischen)Produkte wurden eingetragen. Die Farbgebung entspricht der aus der Abbildung 24. Der Produkt-Output beträgt 4.681.340 EUR. Demgegenüber stehen die Verlustkosten von 16.021.578 EUR, in denen die Kosten für die beiden internen Recyclingkreisläufe enthalten sind. Die Kosten für das Kreislaufmaterial stellen bereits 34% der Gesamtkosten dar. Die Produkt- und Verlustkosten werden im folgenden Teil näher erläutert und analysiert.

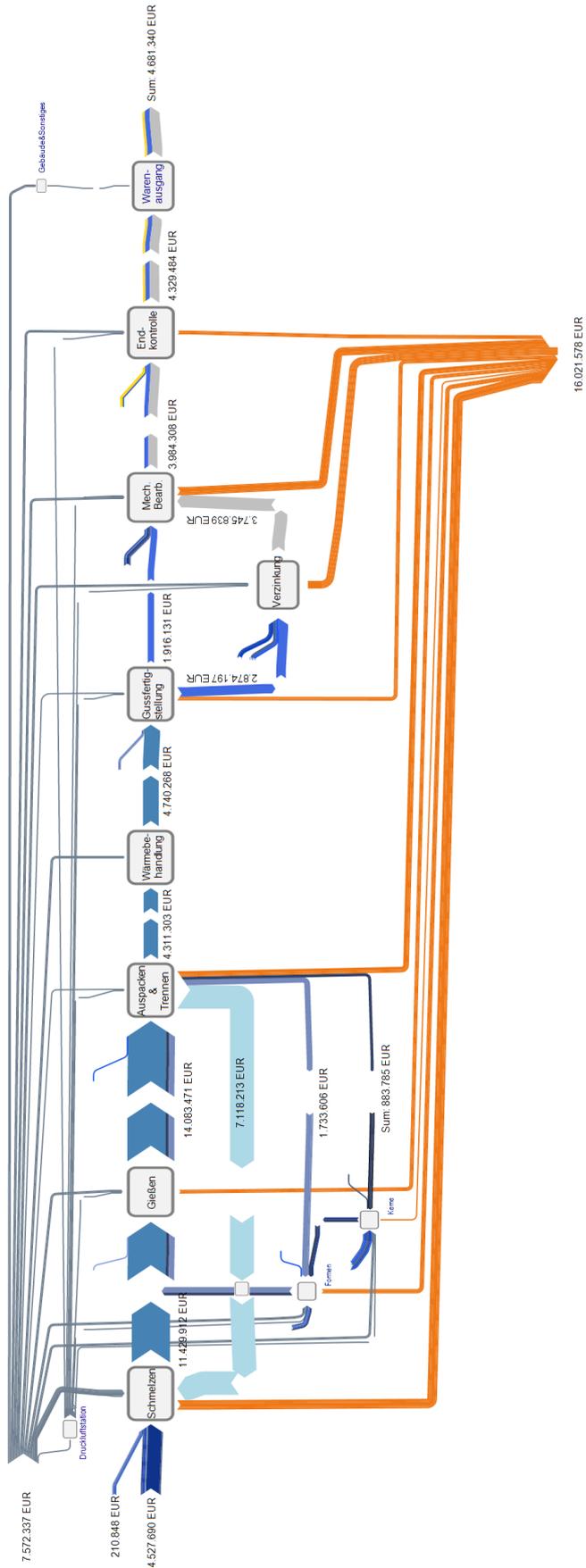


Abbildung 33: Kostenflüsse

Nachdem alle Kosten der Mengenstellen bestimmt wurden, wurden im nächsten Schritt die Kosten der Outputs ermittelt. Die Produktkosten setzen sich, wie in Tabelle 40 gezeigt, zusammen. Die Gesamtsumme von 4.681.340 € teilt sich auf Kosten für das verzinkte bzw. das unverzinkte Produkt, wobei der Großteil der Produkt-Kosten auf das verzinkte Produkt zugerechnet wurde. Da nach der „Gussfertigstellung“ 60% des Outputs verzinkt werden, war es zu erwarten, dass sich dieser mengenmäßige Unterschied auch in den Kosten abbildet.

Tabelle 40: Kosten Produkt

Produkt	Material	Energie	Summe
PE-Folie	16.447	8.170	24.617
Verpackung	124.191	61.691	185.882
Verzinktes Produkt	2.030.088	1.007.796	3.037.884
Unverzinktes Produkt	873.999	558.958	1.432.957
Summe			4.681.340

Die zugerechneten Kosten von rd. 3 Mio € übersteigen die 60% der Gesamtkosten, weil in dem verzinkten Produkt noch zusätzlich die Kosten für die Verzinkung enthalten sind. Nach der Verzinkung liegen die Inputkosten in der mechanischen Bearbeitung für die Tempergussstücke für den verzinkten Guss bereits über 60% der gesamten Kosten für die Zwischenprodukte. Die Verpackung und die Folierung verursachen rd. 211.000 € Kosten. Die Rohstoffkosten betragen 267.000 €, das paradox anmutende Ergebnis ist dem Umstand zuzurechnen, dass die Verpackungsmaterialien nicht getrennt weiterverrechnet wurden. Das bedeutet, dass die Rohstoffkosten für den Karton und die Folie auf den gesamten Output verteilt wurden.

Die detailliert aufgelisteten Verluste zeigen, dass die rund 16 Mio. € Verlust-Gesamtkosten zu beinahe 50% für das „Kreislaufmaterial (Schrottplatz)“ anfallen. Die Kosten für „Formen & Kerne“ betragen 2.600.000 € und sind damit fast doppelt so hoch wie die Kosten für „Späne“. Die Späne benötigen eine genauere Betrachtung: sie verursachen 1.077.809 € Materialkosten und 449.400 € Energiekosten. Der Verkaufserlös von 324.890 € trägt also nicht die entstandenen Material- und Energiekosten. Die endgültigen Kosten ergeben sich aus den Material- und der Energiekosten abzüglich des Verkaufserlöses und beträgt, lt. Tabelle 41, 1.202.319 €. Der „Ofenausbruch“ fällt bereits im ersten Prozessschritt an und verursacht mit seinen 3.121.120 kg Material- und Energiekosten in der Höhe von 990.526 €, hinzu kommen noch die Kosten für die Entsorgung (109.890 €).

Tabelle 41: Kosten Verlust

Verlust	Kosten	Verlust	Kosten
Kreislaufmaterial (Schrottplatz)	7.118.213	Säuregemische (AVR)	101.310
Formen & Kerne	2.617.392	Bären	89.260
Späne	1.202.319	Filterstaub	88.074
Ofenausbruch	1.100.416	Säuregemische (Fischer)	80.992
Ausschuss hart	947.178	Kupolofenstaub	80.446
Kupolofenschlacke	624.039	zinkhaltige Altbeize	55.601
Altsand (stichfest)	535.045	Kartons	5.446
Emulsionsgemische	525.824	Staub	1.940
Ausschuss verzinkt	366.405	PE-Folie	364
Ausschuss bearbeitet (nicht verzinkt)	364.696	Abluft	26
Altsand (blasfähig)	151.822	Zinkasche	-21.254
Ausschuss (zum KO) roh	112.362	Hartzink	-126.336
		Summe	16.021.579

Die für den „Ausschuss hart“ kalkulierten Kosten betragen 947.178 € und werden größtenteils durch die sehr hohen Entsorgungskosten von 784.253€ verursacht. Die „Kupolofenschlacke“ aus der „Schmelzerei“ verursacht ebenfalls hohe Entsorgungskosten, durch das verhältnismäßig geringe Gewicht von rd. 1.800 t bekommt sie aber weniger Materialflusskosten zugerechnet als beispielsweise der „Ofenausbruch“. Die Entsorgungskosten des verzinkten bzw. unverzinkten Ausschusses sind beinahe gleich hoch. Wie in der Tabelle 41 ersichtlich ist, sind auch die Materialflusskosten in etwa gleich hoch, obwohl der verzinkte Ausschuss in geringerem Maß anfällt. Der Grund dafür liegt wieder in der Zurechnung der Materialflusskosten. Nachdem das Verzinken des Gusses zusätzliche Kosten verursacht, sind die Kosten für den Ausschuss dementsprechend höher. „Zinkasche“ und „Hartzink“ können mit rd. 300.000 € Verkaufserlösen positiv zum Ergebnis beitragen, jedoch fallen für die „Zinkasche“ Materialflusskosten i.H.v. 147.320 € an.

5.4 Analyse & Zwischenfazit

Den Anfang der Analyse stellt die Auswertung der Kostenentwicklung entlang der Prozesse dar. Dafür wurden alle neuen Inputkosten je Mengenstelle laut der

Materialflusskostenrechnung aus der Tabelle 26 addiert. Es fällt auf, dass die berechnete Summe aber nur 10.967.314 € ergibt, die Gesamtkosten betragen aber 20.702.919 €. Der Unterschied entsteht durch die zwei Materialkreisläufe (Schrott und Formen & Kerne). Die Kosten aus der internen Verrechnung sind in keiner Mengenstelle „neue“ Kosten. Der Schrottkreislauf beispielsweise: er wird als Input in der „Schmelzerei“ geführt, wurde aber von „Auspacken & Trennen“ weiterverrechnet – daher sind die Kosten nicht als neue Kosten zu definieren. Das Kreislaufmaterial geht in der „Schmelzerei“ in die Schmelze ein und wird mitsamt seinen Kosten an „Gießen“ weiterverrechnet – auch hier scheinen die Kosten nicht als neue Kosten, sondern als weiterverrechnete, auf. Gelöst wurde die Problematik dadurch, dass die Kosten die für die Kreisläufe in „Auspacken & Trennen“ anfallen, zu den Mengenstellen „Schmelzerei“ (für den Schrottkreislauf) und „Gießen“ (für den Formen-Kreislauf) zugerechnet wurden. Die Analyse der Inputkosten zeigt, dass bereits im ersten Prozessschritt die höchsten Kosten entstehen. Im Laufe der folgenden Bearbeitung steigt die Kostenkurve weniger stark. Die Inputkosten der „Schmelzerei“ betragen über 13 Mio. €, darin enthalten sind nicht nur die Kosten für Rohstoffe, sondern - wie bereits erwähnt - auch die Kosten für das Kreislaufmaterial. In „Gießen“ kommt es zu einem starken Anstieg der Energiekosten aufgrund der Verrechnung der Formen & Kerne. In der Verzinkung kommt es dann nochmal zu einem Anstieg der Materialkosten, vor allem durch die hohen Rohstoffkosten für das Zink. Bei den Nebenprozessen steigt die Energiekosten-Kurve nochmal stark an. Die Nebenstellen „Druckluftstation“ und „Gebäude & Sonstiges“ verursachen einen Energiekostenanfall von rd. 550.000 €.

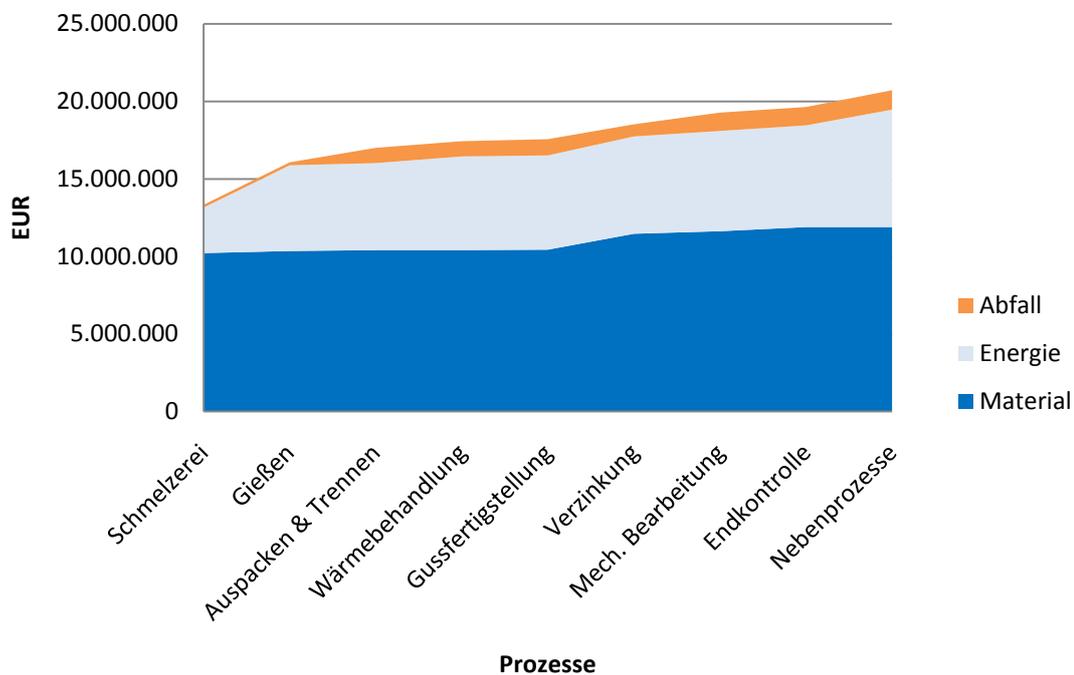


Abbildung 34: Kostentwicklung Prozesse

Die outputseitige Betrachtung gibt Aufschluss darüber, wofür die Kosten angefallen sind. Hier fallen drei Mengenstellen besonders auf (s. Abbildung 35): „Auspacken & Trennen“, „Wärmebehandlung“ und „Mechanische Bearbeitung“. In Auspacken & Trennen fallen zwei Outputs an (Schrott und Formen & Kerne) die nach einer internen

Aufbereitung wieder den jeweiligen Prozessen zugeführt werden. Gemäß der ISO NORM 14051 müssen diese Outputs aber als Verluste klassifiziert werden³¹⁷ und lassen hier den Verlustanteil auf ca. 70% steigen.

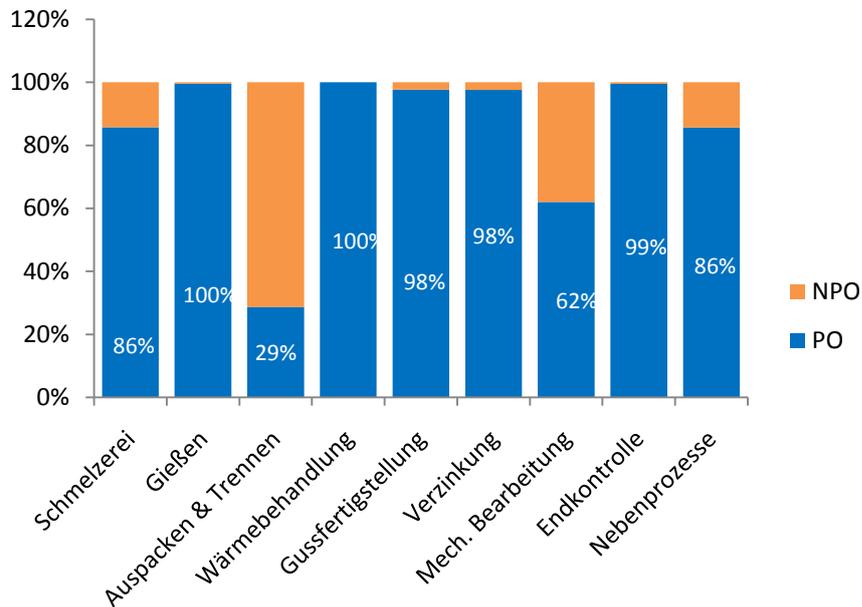


Abbildung 35: Verhältnis Produkt : Verlust

In der Wärmebehandlung kommt es zu keinen Materialverlusten und in der Folge auch zu keinen Energieverlusten. In der mechanischen Bearbeitung fallen durch das Einschneiden der Gewinde u.ä., hohe Verluste an. Rd. 22% des gesamten Outputs verlässt als Verlust das Unternehmen. Monetär quantifiziert: In Summe betragen die Kosten 2.442.614 €, wobei sich die Kosten aufsplitten in: 1.440.193 € Material, 600.962 € Energie, 401.459 € für die Entsorgung. Wird der Verlust der mechanischen Bearbeitung, wie im nächsten Schritt gezeigt, auf die Produktebene herunter gebrochen, so zeigt sich, dass er vor allem durch die Späne verursacht wird (s. Abbildung 36).

Im nächsten Schritt wurden die angefallenen Verluste einer ABC-Analyse unterzogen. Die ABC-Analyse dient der Klassifizierung von Objekten in A-, B- und C-Objekte. Die Analyse verknüpft die Mengenanteile der Objekte mit den Wertanteilen. In der Praxis hat sich dabei gezeigt, dass ein mengenmäßig kleiner Anteil der Objekte einen hohen Wertanteil hat, diese Objekte werden in Folge als A-Objekte klassifiziert.³¹⁸ Die ABC-Analyse kann auch zur ad-hoc Beurteilung der Kosten verwendet werden, indem sie zeigt welche Kostenart der größte Treiber innerhalb der Kostenstruktur ist.³¹⁹ Die Schritte zur Berechnung sind:

1. Verlustkosten je Output absteigend sortieren

³¹⁷ Vgl. ÖNORM EN ISO 14051:2011-11, S. 13

³¹⁸ Vgl. Zsifkovits (2013), S. 186

³¹⁹ Vgl. Heiß (2004), S. 32

2. Anteil der Verlustkosten am Gesamtverlust berechnen
3. berechneten Anteil kumulieren
4. Grenzen für die Klassifizierung festlegen

Die ABC-Analyse für +GF+ bestätigt auch hier die Erwartung, dass nur eine kleine Anzahl der Verluste die wertmäßig größten Verluste verursacht. Die Wertgrenze für die A-Klassifizierung wurde mit 80% angelegt, die B-Klassifizierung mit 95% der Verluste, der Rest wird als C-Verlust geführt.

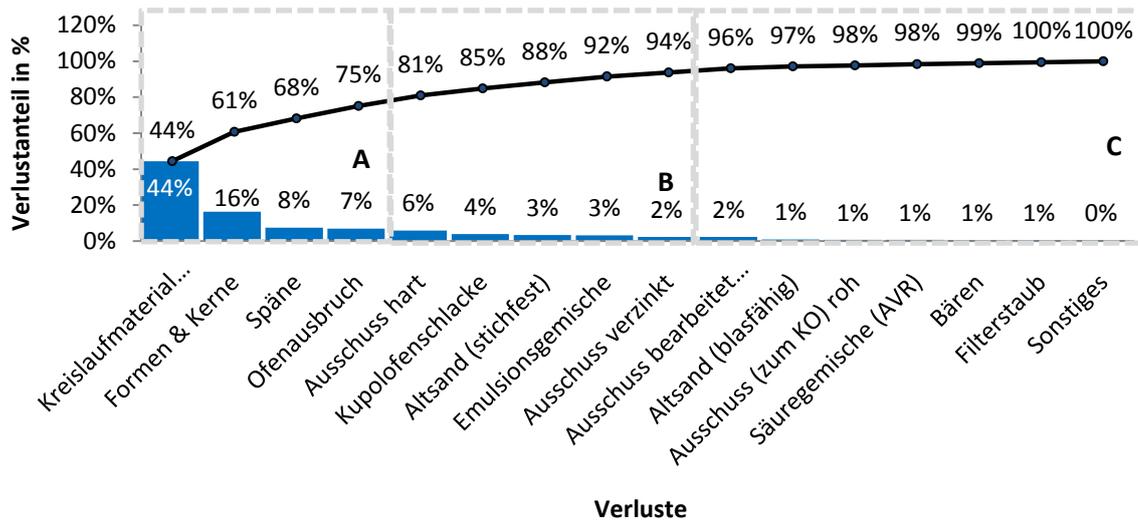


Abbildung 36: ABC-Analyse der Verluste

Wie aus der Abbildung 36 abgelesen werden kann, verursachen die ersten vier Verlustarten bis (inklusive) Ofenausbruch bereits 75% der gesamten Verlustkosten. Anders gesagt: 17% der Verluste verursachen 75% der Verlustkosten. Die Analyse dient als Grundlage für weitere Effizienzmaßnahmen.

Zusammengefasst kann festgestellt werden, dass es zwei große Verlustarten gibt, nämlich das „Kreislaufmaterial“ und die „Formen & Kerne“. Dabei muss betont werden, dass die „Formen & Kerne“ zwar als Verlust klassifiziert werden müssen, weil sie nicht an den Kunden verkauft werden können, sie aber prozessbedingt notwendig sind und daher in den Effizienzsteigerungsmaßnahmen immer gesondert betrachtet werden müssen. Des Weiteren fällt auf, dass die Kosten bereits in den ersten beiden Prozessschritten größtenteils festgelegt wurden und hier das Potenzial zur Kostensenkung vorhanden ist. In dem folgenden Abschnitt werden basierend auf diesen Ergebnissen, Einsparpotenziale definiert und ökonomisch bewertet.

5.5 Bestimmung abfallspezifischer Einsparpotenziale und Kosten

Anhand der Ist-Analyse können Szenarien entwickelt werden die es ermöglichen, abzuschätzen wie sich eine Reduktion der Verluste auf die Kostenstruktur auswirkt. Die

Berechnung der Kostensenkung zeigt die spezifischen Einsparpotenziale und unterstützt die Entscheidungsfindung. Die Materialflusskostenrechnung geht von einem linearen Verhältnis zwischen Input und Output aus. Jedoch hat nicht jede Reduktion des Outputs dieselben Auswirkungen auf die Inputkosten. Viere et al. heben dabei hervor, dass „ Abfallströme, die aus Materialien entstehen, die Bestandteil des Produktes werden sollten, von Abfallströmen, die nicht als physischer Produktbestandteil vorgesehen waren, zu unterscheiden.“³²⁰ Als Beispiel für die Verluste der zweiten Kategorie, also jene Verluste, die nicht Produkt hätten werden sollen, nennen sie das Abwasser, das für die Reinigung benötigt wird - dessen Reduktion hat keinen Einfluss auf den produktbezogenen Materialinput.³²¹

Zwei der vier im Abschnitt 5.4 als A-Verluste klassifizierten Verlustarten (das „Kreislaufmaterial“ und der „Ofenausbruch“) wurden für potenzielle Effizienzmaßnahmen ausgewählt. Des Weiteren könnten Maßnahmen zur Reduktion der „Emulsionsgemische“, welche in der „Mechanischen Bearbeitung“, und „Altsand stichfest“, der in der „Formanlage“ anfallen, ergriffen werden. Im Detail ist geplant, das:

1. Kreislaufmaterial um 5%
2. Ofenausbruch um 1/3
3. Emulsionsgemische um 10%
4. Altsand (stichfest) um 20%

zu reduzieren. In dem folgenden Abschnitt wird gezeigt, wie die Szenarien gerechnet werden und zu welchen Gesamtkosteneinsparungen sie führen.

Szenario 1: 5% weniger Kreislaufmaterial

Im ersten Szenario wird untersucht, wie sich eine Senkung des Kreislaufmaterials zugunsten des Produkt-Outputs auswirkt. Konkret soll eine fünfprozentige Senkung des Kreislaufmaterials durch Effizienzmaßnahmen erreicht werden. Derzeit fallen in „Auspacken & Trennen“ 22.808.583 kg Material für den Schrottkreislauf an. Das Kreislaufmaterial, ist jene Art von Verlust, die eigentlich Produkt hätte werden sollen. Daher wird die Verlusteinsparung von 1.140.420 kg dem Produkt zugerechnet. Die Summe des Outputs in „Auspacken & Trennen“ bleibt erhalten, lediglich das Verhältnis zwischen Produkt und Verlust verändert sich. Das bedeutet, dass mit demselben Input zusätzlich zu der bisher produzierten Produktmenge von 13.814.523 kg noch weitere 1.140.420 kg Produkt-Output möglich sind. Dies entspricht einer Steigerung von rd. 8 % des Produkt-Outputs. Nachdem dieses Szenario mit dem Ist-Zustand vergleichbar sein soll, muss wieder auf die ursprüngliche Produkt-Outputmenge zurückgerechnet werden. Um das Verhältnis zwischen Produkt und Verlust aufrecht zu erhalten, muss der gesamte Output um 8% gekürzt werden (s. dazu Tabelle 42).

³²⁰ Viere et al. (2009), S. 49

³²¹ Vgl. Viere et al. (2009), S. 49

Tabelle 42: Szenario 1 - Neue Outputmenge

Outputart	Ist-Zustand		Kreislaufmaterial 5% Reduktion		Skaliert auf Ist-Menge	
	Output [kg]	Verhältnis	Output [kg]	Verhältnis	Output [kg]	Verhältnis
Gussstück	13.814.523	0,3016	14.954.952	0,3265	13.814.523	0,3265
Kreislaufmaterial (Schrottplatz)	22.808.583	0,4980	21.668.154	0,4731	20.015.792	0,4731
Formen mit Kernen	8.563.006	0,1870	8.563.006	0,1870	7.910.012	0,1870
Filterstaub	92.984	0,0020	92.984	0,0020	85.894	0,0020
Ausschuss hart	522.054	0,0114	522.054	0,0114	482.243	0,0114
Staub	214	0,0000	214	0,0000	197	0,0000
Summe	45.801.364		45.801.364		42.308.661	

Da in der Materialflusskostenrechnung, die Annahme herrscht, dass zwischen dem Input und dem Output ein lineares Verhältnis herrscht, hat die Kürzung des Gesamtoutputs um 8 % in „Auspacken & Trennen“ zur Folge, dass der gesamte Input und Output der vorgelagerten Stellen (bis auf die „Kernmacherei“) um 8 % vermindert wird.

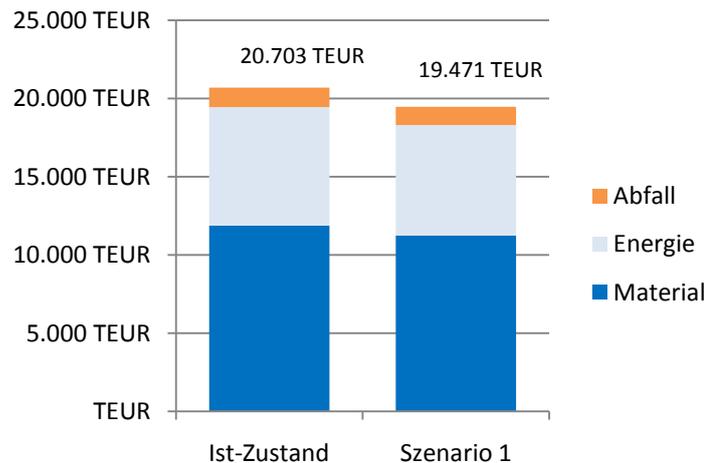


Abbildung 37: MFKR - Gesamtkosten Szenario 1

Durch die Verminderung des „Kreislaufmaterials“ ist es möglich, die Kosten auf rd. 19.471.000 € zu senken, was einem Kostensenkungspotenzial von rd. 1.232.000 € entspricht (s. Abbildung 37). Das „Kreislaufmaterial“ selbst kostet in diesem Szenario rd. 6.246.000 € (als Vergleich: derzeit verursacht das „Kreislaufmaterial“ noch rd. 7.118.000 € an Energie- und Materialkosten). Eine Anmerkung: Die Menge des „Kreislaufmaterials“ wurde in „Auspacken und Trennen“ zuerst um die 5% vermindert, und anschließend noch um 8%. Andererseits erhält die „Schmelzerei“ zweierlei Schrott-Arten als Input: zugekauften Schienen-Schrott (12.979.719 kg) und Kreislaufmaterial aus der eigenen Produktion (22.808.583 kg). Der gesamte Schrottbedarf, die Summe aus den beiden Inputmaterialien, vermindert sich um 8%. Die über die 8% hinausreichende Kürzung des „Kreislaufmaterials“ muss über den

zugekauften Schrott ausgeglichen werden, damit in Summe der Schrotinput nur um die 8 % verringert wird.

Szenario 2: 1/3 weniger Ofenausbruch

Das zweite Szenario beschäftigt sich mit der Änderung der Materialflusskostenrechnung bei einer Verminderung des „Ofenausbruchs“. Der derzeitige „Ofenausbruch“ beträgt 3.121.120 kg, eine Senkung um 1/3 soll durch entsprechende Effizienzmaßnahmen zu erreichen sein. Durch die Senkung des Verlusts vermindert sich der gesamte Output der „Schmelzerei“ um 2,51%. Das bedeutet, dass die Inputmenge (Material und Energie) dementsprechend gekürzt werden muss.

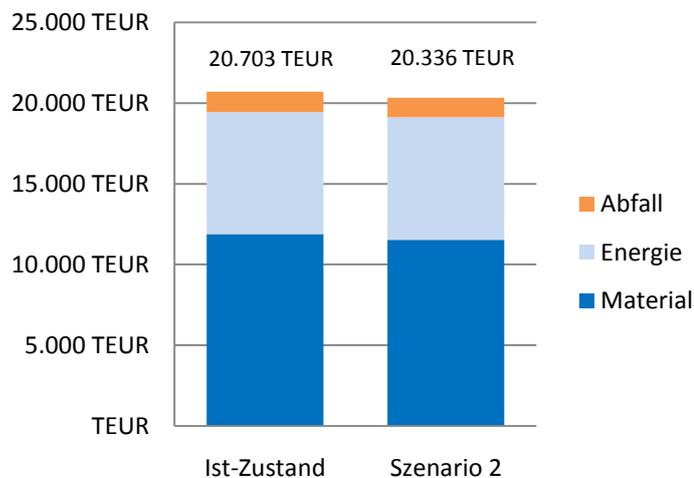


Abbildung 38: MFKR - Gesamtkosten Szenario 2

Auch hier benötigt das Inputmaterial „Schrott“ eine genauere Betrachtung. Der gesamte Schrottbedarf, muss um die 2,51% gekürzt werden. Die Verringerung wird ausschließlich bei dem zugekauften „Schienen-Schrott“ berücksichtigt (die neue Schienen-Schrottmenge beträgt 12.080.697 kg), nicht beim „Kreislaufmaterial“. Denn die Kreislaufmaterialmenge wird festgelegt durch die Effizienz von „Auspacken & Trennen“ und darf in diesem Szenario nicht verändert werden.

Durch die Senkung des Verlusts können die Entsorgungskosten des „Ofenausbruchs“ um 36.630 € gesenkt werden. Die Gesamtkosten können um rd. 367.000 € auf rd. 20.336.000 € gesenkt werden (s. Abbildung 38). Der Ofenausbruch verursacht derzeit rd. 1.100.000 € - nach der Reduktion belaufen sich die Kosten auf rd. 734.000 € - dies entspricht 2/3 der bisherigen Kosten. Das Ergebnis bestätigt damit die Erwartung. Die neuen Energiekosten würden von 1.275.790 € auf 1.243.742 € reduziert. Durch die interne Leistungsverrechnung über das „Kreislaufmaterial“ steigen die weiterverrechneten Energiekosten jedoch leicht an. Der Produkt-Output bekommt in diesem Szenario verhältnismäßig mehr Kosten zugerechnet, über die Kreislaufführung werden diese dann wieder der „Schmelzerei“ weiterverrechnet und führen damit zum Ansteigen der gesamten Energiekosten.

Szenario 3: 10% weniger Emulsionsgemische

In der „mechanischen Bearbeitung“ ist es möglich, den Abfall „Emulsionsgemisch“ um 10% zu reduzieren. Von der Reduktion der Emulsionsgemische bleibt die Inputmenge unbeeinflusst. Das Einsparpotenzial ergibt sich aus der Reduktion der Entsorgungskosten i.H.v. 3.869 €.

Szenario 4: 20% weniger Altsand (stichfest)

Durch die Umstellung von Nass- auf Trockenentstaubung kann der „Altsand (stichfest)“ um 20% reduziert werden. Der „Altsand (stichfest)“ ist als jene Art des Verlusts zu klassifizieren, der nicht vorgesehen war, ein Produkt zu werden. Die Reduktion des Verlusts hat daher auch keinen Einfluss auf die Inputmenge - diese bleibt in gleicher Höhe bestehen. Betrifft die Veränderung keinen Input, der in einem Kreislauf geführt wird, dann entspricht die Kostenersparnis jenem Betrag, der durch die Verminderung der Entsorgungsgebühren generiert werden kann. Generell hat die alleinige Verminderung der Outputmenge zur Folge, dass dieselben Inputkosten nun auf weniger Outputmenge verteilt werden. Jeder Output wird damit teurer. Da das Material für die Formen und Kerne aber im Kreis geführt werden, müssen die „Kernmacherei“ und „Formanlage“ nun die Formen zu einem höheren Preis von „Auspacken & Trennen“ wieder zurückkaufen. Die Inputkosten in „Kernmacherei“ und „Formanlage“ werden damit erhöht – und damit die gesamten Kosten des Systems. In diesem Fall liefert die Materialflusskostenrechnung kein sinnvolles Ergebnis. Die Erhöhung der Gesamtkosten durch die Verminderung von Abfall zeigt, dass die Logik der Materialflusskostenrechnung in Bezug auf eine Kreislaufführung noch nicht ausgereift ist. Das Einsparpotenzial liegt also, wie im Szenario 3 beschrieben, lediglich in einer Reduktion der externen Entsorgungskosten von 56.246 € auf 44.996 €, d.h. 11.250 €.

5.6 Ökonomische Maßnahmenbewertung

In der Abbildung 39 sind die Gesamtkosten für jedes Szenario dargestellt. Wie zu erwarten war, hängt das größte Einsparpotenzial mit der Verminderung des „Kreislaufmaterials“ zusammen. Die Reduktion des Abfalls zugunsten des Produkts macht eine Reduktion der Materialkosten um rd. 634.000 € und der Energiekosten um rd. 518.000 € möglich (s. Abbildung 40). Die Kürzung des Inputs und Outputs der „Auspacken & Trennen“ vorgelagerten Stellen hat zur Folge, dass sich auch die abfallinduzierten Kosten gesenkt werden können. Das Verhältnis zwischen Produkt- und Verlustkosten in „Auspacken und Trennen“ kann von ehemals 29:71 auf 31:69 verbessert werden. Das zweite Szenario (Verminderung des „Ofenausbruchs“) zeigt, dass die Gesamtkosten auf rd. 20.336.000 € sinken. Die Kostenersparnis, in Abbildung 40 gezeigt, ist die zweithöchste aller betrachteten Szenarienrechnungen. Das Produkt/Verlustkosten-Verhältnis kann von derzeit 86:14 auf 88:12 verbessert werden.

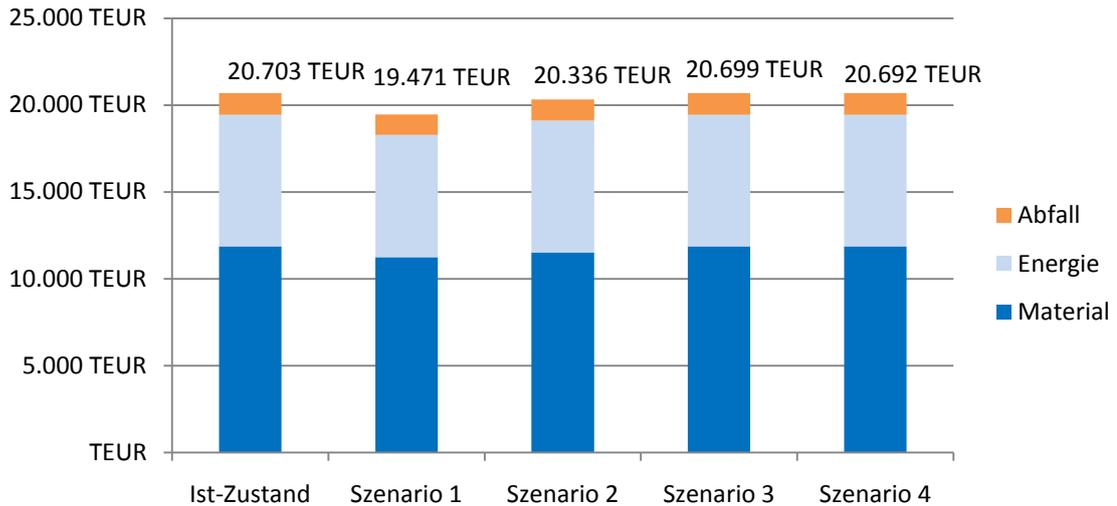


Abbildung 39: Gesamtkosten je Szenario

Die Maßnahmen die im dritten und vierten Szenario modelliert wurden, haben keine Auswirkung auf den Input der Prozesse. Diese Verluste sollten nie ein materieller Produkt-Bestandteil werden, ihre Reduktion hat nur die Senkung der abfallinduzierten Kosten zur Folge.

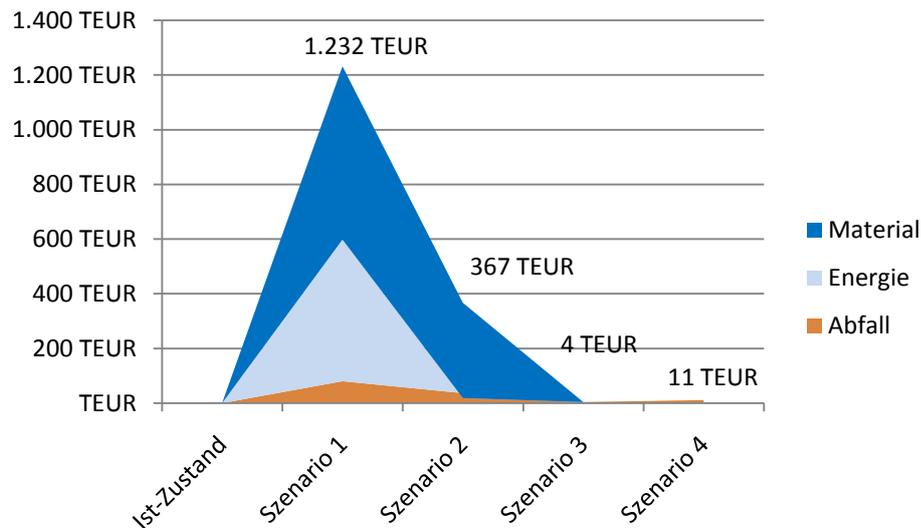


Abbildung 40: Kostenersparnis je Szenario

In der Abbildung 41 sind die möglichen Kostenersparnisse durch die Reduktion des entsorgungspflichtigen Abfalls im Detail veranschaulicht. Von der Reduktion des „Kreislaufmaterials“ sind die ersten drei Prozessschritte und die „Formanlage“ betroffen und können ihre Inputs bzw. Outputs linear kürzen. Dieses Szenario hat damit das größtmögliche Abfallkostensenkungspotenzial. Die Verringerung des „Ofenausbruchs“ lässt die externen Entsorgungskosten um rd. 37.000 € sinken und hat die zweithöchste (mögliche) Abfallkostensenkung.

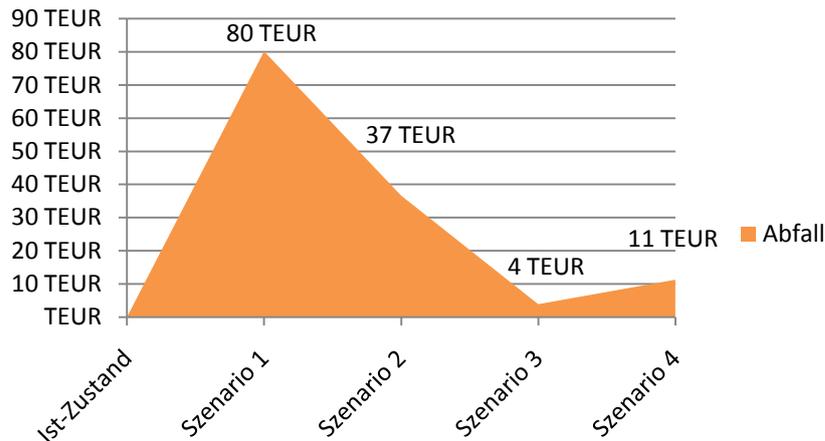


Abbildung 41: Reduktion abfallinduzierter Kosten je Szenario

Eine Reduktion des „Altsand (stichfest)“ um die geplanten 20% würde in einer Senkung der Entsorgungskosten um rd. 11.000 € resultieren. Das kleinste Einsparpotenzial hat die Verringerung der „Emulsionsgemische“ zur Folge: lediglich 4.000 € können hier gespart werden.

Zusammengefasst kann festgestellt werden, dass ein Einsparpotenzial in Summe von rd. 1.600.000 EUR gefunden werden konnte. Bei dem ersten Szenario muss einschränkend auf die Methodik der Materialflusskostenrechnung eingegangen werden. Wie im Kapitel 4.5 angemerkt, vereinfacht die Annahme, dass der Input und der Output in einem linearen Verhältnis zueinander stehen, die Realität sehr stark.³²² Das Ergebnis der Einsparung für das erste Szenario ist daher als Näherung zu betrachten und nicht als exaktes Ergebnis.³²³ Dasselbe gilt für das zweite Szenario, allerdings ist hier nur der erste Prozess von der linearen Kürzung betroffen und das Ergebnis kann aus diesem Grund mit größerer Sicherheit akzeptiert werden. Bei dem dritten und vierten Szenario hat die Verminderung des Verlusts keine Auswirkung auf den Input, es erfolgte eine Einsparung der externen Entsorgungskosten.

³²² Vgl. Viere et al. (2009), S. 49

³²³ Vgl. Viere et al. (2009), S. 49

6 Zusammenfassung und Ausblick

Ziel dieser Arbeit ist es, durch die Auseinandersetzung mit der Energie- und Materialflusskostenrechnung, die Ressourceneffizienz in der Gießereiindustrie zu steigern. Die Herausforderung dabei ist es, Ineffizienzen im Produktionssystem zu finden. Die Methodik der Materialflusskostenrechnung, die mit der ISO NORM 14051 zum Standard wurde, basiert auf der Analyse der Stoffströme und kann zu den prozessorientierten Umweltkostenrechnungssystem gezählt werden. Anstatt das Unternehmen als Black-Box zu betrachten, wird davon ausgegangen, dass zum Beherrschen der Stoffströme eine exakte Kenntnis über diese erlangt werden muss. Das Ziel der Materialflusskostenrechnung ist die Senkung des Energie- und Materialeinsatzes. Während in der klassischen Kostenrechnung sämtliche Kosten dem Produkt zugeordnet werden, werden in der Materialflusskostenrechnung auch die Nicht-Produkte als Kostenträger behandelt.

Die bei Georg Fischer Fittings GmbH identifizierten Stoffströme werden in eine Input-Output-Bilanz eingetragen. Auf Basis der geschaffenen Daten wird mithilfe der Umweltmanagement-Software Umberto[®] ein Modell der Energie- und Stoffflüsse, die für den Produktionsprozess notwendig sind, gebildet. Visualisiert wird das Netzwerk als Sankey-Diagramm, dessen Charakteristikum die Proportionalität der Flussmenge zur Breite des Pfeils ist. Der Methodik der Materialflusskostenrechnung folgend, werden die physikalischen Daten mit Kosteninformationen hinterlegt. Die berücksichtigten Kosten umfassen die Energie- und Materialkosten. Die Allokation der Energiekosten erfolgt, mangels alternativer Kriterien, massebasiert. Im Produktionsprozess sind zwei interne Recycling-Kreisläufe enthalten. Für dieses wiederaufbereitete Material bestehen Interdependenzen zwischen den beteiligten Mengenstellen, die die Berechnung des internen Verrechnungspreises erschweren. Zur Lösung dieser Problematik werden lineare Gleichungssysteme aufgestellt, die simultan gelöst werden. Die Auswertung der Daten erfolgt in einer Materialflusskostenmatrix, die für jede Mengenstelle erstellt wird. Sie zeigt die neu angefallenen, sowie die weiterverrechneten Energie- und Materialflusskosten. Auf dieser Kalkulation der Materialflusskosten auf Prozessebene basierend, werden die Kosten je Output berechnet. Die Durchführung einer ABC-Analyse der Verluste, soll Schwerpunkte für Effizienzmaßnahmen identifizieren. Ausgehend vom Ist-Zustand des Unternehmens, wird mittels einer Szenarienrechnung untersucht, wie die Reduktion spezifischer Verlustströme in einen Kostenvorteil resultieren könnte. Für die Rechnung werden vier Verlustarten ausgewählt.

Das Ergebnis der Modellierung ist eine transparente Darstellung der Produkt- und Verlustströme, in der ersichtlich wird, dass die größten Bewegungen zwischen „Schmelzen“ und „Auspacken & Trennen“ stattfinden. Die Analyse der Gesamtkosten ergibt, dass der Großteil der Kosten bereits in den ersten Prozessschritten festgelegt

ist. Damit bestätigt sie die Erwartung, die aus der der Modellierung der Stoffströme geschlossen wurden. Innerhalb der gebildeten Klasse der A-Verluste trägt das „Kreislaufmaterial“ einen Anteil von 48% an den gesamten Verlustkosten. Für den Verlust „Späne“ können zwar Verkaufserlöse erzielt werden, dieser ist aber nicht kostendeckend. Der Prozess „Auspacken & Trennen“ weist ein Verhältnis zwischen Produkt und Verlust von 3:7 auf und zeigt die Notwendigkeit für die Effizienzsteigerungsmaßnahmen. Für die Szenarienrechnung werden zwei der vier als A-Verluste klassifizierten Verlustarten ausgewählt. Von der Reduktion dieser zwei Verluste wird erwartet, dass sie zu einer proportionalen Verringerung des Inputs führen. Sie haben damit die höchsten Einsparpotenziale. Von der Verringerung des Verluststroms der beiden anderen Abfälle wird keine aliquote Verringerung des Inputs erwartet. Ihr Kostensenkungspotenzial setzt sich aus der Reduktion der abfallinduzierten Kosten zusammen.

Die Methodik der Materialflusskostenrechnung erweist sich als geeignetes Mittel um den Ist-Zustand des Unternehmens darzustellen. Die durchgängige Betrachtung der Flüsse und Modellierung als Sankey-Diagramm fördert die Transparenz. Der Ausweis der Kosten für die Verlustströme schließt eine Lücke, die die klassische Kostenrechnung hinterlässt und liefert entscheidungsrelevante Informationen für das Management zur Umsetzung von Effizienzmaßnahmen. Die Verwendung der Materialflusskostenrechnung zur Berechnung von Einsparpotenzialen muss aber eingeschränkt werden. Durch die Annahme eines linearen Zusammenhangs zwischen dem Input und dem Output wird die Realität stark vereinfacht. Gerade in der Gießereiindustrie mit den hochkomplexen Prozessen kann dies problematisch sein. Werden die Ergebnisse als Näherung, und nicht als exaktes Ergebnis verstanden, ist diese Vereinfachung gerechtfertigt. Betrifft die Maßnahme zur Steigerung der Effizienz nicht nur den organisatorischen Ablauf, sondern bedarf sie einer Investition, müsste für die Berechnung der Kostenersparnis im Anschluss an die Materialflusskostenrechnung noch eine Investitionsrechnung durchgeführt werden. Bezüglich der zukünftigen Entwicklung wird von einer weiteren Verbreitung der Materialflusskostenrechnung in der Praxis ausgegangen. Einerseits wird bereits an der ISO NORM 14052, deren Ziel es ist die Materialflusskostenrechnung entlang der Supply-Chain zu implementieren, gearbeitet. Andererseits wird die 2015 lancierte, auf die Berechnung der Materialflusskosten gemäß ISO NORM 14051 spezialisierte Umberto® Software, zu einer weiteren Bekanntmachung in der Praxis führen.

7 Literaturverzeichnis

- Bierer, A.; Götze, U.; Meynerts, L.; Sygulla, R. (2014): Integrating life cycle costing and life cycle assesment using extended material flow cost accounting. In: Journal of Cleaner Production, in press, S. 1-13.
- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft Umwelt und Wasserwirtschaft (2012): Ressourceneffizienz Aktionsplan (REAP). URL: https://www.bmlfuw.gv.at/dms/lmat/umwelt/nachhaltigkeit/ressourceneffizienz/aktionsplan_ressourceneffizienz/aktionsplan/REAP-final-23-1-212/REAP%20final%2023.1.211.pdf (Zugriff: 25.11.2015).
- Bundesumweltministerium und Umweltbundesamt (1995): Handbuch Umweltcontrolling. München: Franz Vahlen GmbH. ISBN 3-8006-1929-6.
- Bundesumweltministerium und Umweltbundesamt (2001): Handbuch Umweltcontrolling. 2. Auflage. München: Verlag Franz Vahlen GmbH. ISBN 38-006-2536-9.
- Burschel, C.; Losen, D.; Wiendl, A. (2004): Betriebswirtschaftslehre der Nachhaltigen Unternehmung. Oldenburg: Wirtschaftsverlag GmbH. ISBN 3-486-20033-X.
- Busse v. Colb, W.; G., L. (1977): Betriebswirtschaftstheorie: Absatz- und Investitionstheorie. Band 2. Berlin Heidelberg: Springer Verlag. ISBN 978-3-540-08085-5.
- Coenenberg, A.; Fischer, T.; Günther, T. (2012): Kostenrechnung und Analyse. 8. Auflage, Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag. ISBN 978-3-7910-3188-0.
- Crönertz, O. (2011): Stoffstromorientiertes Kostenmanagement. Evaluierung, Erprobung und Weiterentwicklung der material- und energieflussorientierten Kostenrechnung. Hamburg: Verlag Dr. Kovac.
- Deutsche Materialeffizienzagentur (2012): Faktenblatt zur Rohstoff- und Materialeffizienz. URL: www.innovation-beratung-foerderung.de/INNO/Redaktion/DE/Downloads/Unterlagen_go-inno/go-effizient_faktenblatt_rohstoff_materialeffizienz.pdf?__blob=publicationFile&v=101 (Zugriff: 30.03.2015).
- Deutschland, S. B. (2001-2010): Laufende Aufwendungen für den Umweltschutz im Produzierenden Gewerbe. URL: https://www.destatis.de/GPStatistik/receive/DESerie_serie_00000207 (Zugriff: 12.03.2015).
- Fachverband der Gießereiindustrie (2014): Jahresbericht. URL: <https://www.wko.at/Content.Node/branchen/oe/Maschinen-Metallwaren->

- Giessereiindustrie-Fachverband/Giessereiindustrie/Jahresberichte/Jahresbericht-2014.pdf (Zugriff: 22.11.2015).
- Fichter, K.; Loew, T.; Seidel, E. (1997): Betriebliche Umweltkostenrechnung. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. ISBN 3-540-62597-6.
- Fischer, H.; Wucherer, C.; Wagner, B.; Burschel, C. (1997): Umweltkostenmanagement. Kosten senken durch praxiserprobtes Umweltcontrolling. München Wien: Carl Hanser Verlag. ISBN 3-446-18608-5.
- Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO (2010): Relevanz der Ressourceneffizienz für Unternehmen des produzierenden Gewerbes. Ergebnisse der Datenerhebung über die Relevanz des Themas Ressourceneffizienz im produzierenden Gewerbe Deutschlands. URL: wiki.iao.fraunhofer.de/images/studien/studie-relevanz-der-ressourceneffizienz.pdf (Zugriff 25.11.2015).
- Gallup Organization (2011): Attitudes of European entrepreneurs toward eco-innovation. URL: ec.europa.eu/public_opinion/flash/fl_315_sum_en.pdf (Zugriff 25.11.2015).
- Georg Fischer AG (2014): Annual Report 2014. URL: <http://www.georgfischer.com/content/gfar/2014/de/business-report/all-about-gf.html> (Zugriff: 28.12.2015).
- GF Fittings GmbH (2015): Georg Fischer Fitting GmbH im Profil. URL: <http://www.gfps.com/traisen/de/about-GF-Fittings.html> (Zugriff: 28.12.2015).
- GF Fittings GmbH (2015): Produkte. URL: http://www.gfps.com/traisen/de/products_and_solutions/products_traisen.html (Zugriff: 28.12.2015).
- Götze, U. (2008): Investitionsrechnung. Modelle und Analysen zur Beurteilung von Investitionsvorhaben. 6. Auflage, Berlin Heidelberg: Springer Verlag. ISBN 978-3-540-78873-7.
- Götze, U. (2004): Kostenrechnung und Kostenmanagement. Berlin Heidelberg New York: Springer Verlag. ISBN 3-540-00584-6.
- Götze, U.; Sygulla, R. (2014): Material flow cost accounting - methodology, use cases, and perspectives. Vortrag CEBSS at the University Babes-Bolya. URL: https://www.tu-chemnitz.de/wirtschaft/bwl3/DownloadAllgemeinOffen/Publikationen/Cluj_Material%20flow%20cost%20accounting.pdf (Zugriff: 23.04.2015).
- Haasis, H.-D. (1992): Umweltschutzkosten in der betrieblichen Vollkostenrechnung. WiST Heft, No. 3, S. 118-122.
- Heiß, M. (2004): Strategisches Kostenmanagement in der Praxis. Instrumente - Maßnahmen - Umsetzung. Wiesbaden: Gabler Verlag. ISBN 3-409-12631-7.

- Herrmann, C. (2010): Ganzheitliches Life Cycle Management. Nachhaltigkeit und Lebenszyklusorientierung in Unternehmen. Berlin Heidelberg: Springer Verlag. ISBN 978-3-642-01420-8.
- Horvath, P. (1998): Controlling. 7. Auflage. München: Verlag Franz Vahlen GmbH. ISBN 3-8006-2336-6.
- Hummel, S.; Männel, W. (1986): Kostenrechnung 1. Grundlagen, Aufbau und Anwendung. 4. Auflage. Wiesbaden: Gabler GmbH. ISBN: 978-3-409-21134-5.
- IFAC (2005): Environmental Management Accounting. URL: www.ioew.at/ioew/download/IFAC_Guidance_Env_Man_Acc_0508.pdf (Zugriff: 25.11.2015).
- imu augsburg GmbH & Co KG (2003): Methodik der Materialflussrechnung. URL: reffim.umwelttechnikportal.de/files/imu_d_methodik_materialflussrechnung.pdf (Zugriff: 14.04.2015).
- Industriellen Vereinigung (2012): Rohstoffsicherheit 2020+. Rohstoffe für eine ressourceneffiziente Industrie. URL: www.iv-net.at/iv-all/publikationen/file_577.pdf (Zugriff: 25.11.2015).
- Jung, H. (2007): Controlling. 2 Auflage, Oldenburg: Wissenschaftsverlag GmbH. ISBN 978-3-486-58500-1.
- Krausemann, F.; Gingrich, S.; Eisenmenger, N.; Erb, K.; Haberl, H. F.-K. (2009): Growth in global material use, GDP and population during the 20th century. In: Ecological Economics 68(10), p. 2696-2705.
- Kunsleben, A.; Tschesche, J. (2010): Ressource Cost Accounting (RCR) - A Synthesis of Business Management and Technology. In: Chemical Engineering Technology, 2010, 33, No. 4, p. 589-592.
- Loew, T.; Fichter, K.; Müller, U.; Schulz, W.; Strobel, M. (2003): Ansätze der Umweltkostenrechnung im Vergleich. URL: <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/2428.pdf> Zugriff (05.03.2015)
- Müller, R. (2008): Finanzcontrolling. Eine verhaltensorientierte Analyse der Rationalitätsdefizite und Rationalitätssicherung im Finanzmanagement. In: Weber J. (Hrsg.): Schriften des Centers für Controlling & Management. Band 31, Wiesbaden: GWV Facherverlag GmbH. ISBN 978-3-8349-1146-9.
- Nakajima, M. (2011): Environmental Management Accounting for Cleaner Production: Systematization of Material Flow Cost Accounting (MFCA) into Corporate Management System. In: Kansai University Review of Business and Commerce, No. 13, S. 17-39.
- Nakajima, M.; Schmidt, M.; Wagner, B.; Pflittner, R. (2013): Wo verschwenden wir Wertschöpfung? Materialflusskostenanalyse in der Praxis. URL:

- www.convent2.de/convent/ressourcen/pdf/Tagungsunterlagen/TU_Ressourcen/gesamt_f2.pdf (Zugriff: 27.04.2014).
- ÖNORM EN ISO 14040:2009-11: Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen. (EN ISO 14040:2006-07).
- ÖNORM EN ISO 14051:2011-11: Umweltmanagement - Materialflusskostenrechnung - Allgemeine Rahmenbedingungen. (EN ISO 14051:2011-09).
- Österreichische Energieagentur (2014): Energiepreise für private Haushalte. URL: www.energyagency.at/fileadmin/dam/pdf/energie_in_zahlen/jahresberichte_epi/epi-2014.pdf (Zugriff: 22.11.2015).
- Pape, U. (2011): Grundlagen der Finanzierung und Investition. Mit Fallbeispielen und Übungen. 2. Auflage, München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH. ISBN 978-3-486-59842-1.
- Plinke, W.; Reese, M. (2006): Industrielle Kostenrechnung. 7. Auflage, Berlin Heidelberg: Springer. ISBN 3-540-23705-4.
- Prox, M. (2014): Hilfestellung für betriebliche Ressourceneffizienz aus der internationalen Welt der Standards – Normen zu Materialflusskostenrechnung und Ökoeffizienzbewertung. In: *uwf*, Vol. 22, S. 177-179.
- Rentz, O. (1979): *Techno-Ökonomie betrieblicher Emissionsminderungsmaßnahmen*. Berlin: Erich Schmidt Verlag.
- Rieckhof, R. (2014): Interrelating material flow cost accounting with management control systems to introduce resource efficiency into strategy. In: *Journal of Cleaner Production*, in press, S. 1-17.
- Roth, U. (1992): *Umweltkostenrechnung: Grundlagen und Konzeption aus betriebswirtschaftlicher Sicht*. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag GmbH. ISBN 3-8244-0094-4.
- Schmalenbach, E. (1963): *Kostenrechnung und Preispolitik*. 8. Auflage, Köln und Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Schmidt, A.; Götze, U.; Sygulla, R. (2014): Extending the scope of Material Flow Cost Accounting - methodological refinement and use case. In: *Journal of Cleaner Production*, in press, S. 1-13.
- Schmidt, J. (2015): *Basiswissen Mathematik. Der smarte Einstieg in die Mathematikausbildung an Hochschulen*. 2. Auflage, Berlin Heidelberg: Springer Verlag. ISBN 978-3-662-43546-5.
- Schmidt, M. (2012): *Material Flow Accounting in der produzierenden Industrie*. In v. Hauff, M., Isenman, R., Müller-Christ, G. (Hrsg.): *Industrial Ecology Management. Nachhaltige Entwicklung durch Unternehmensverbände*. Wiesbaden: Springer Gabler Verlag. ISBN 978-8349-6638-4.

- Schmidt, M. (2011): Materialflusskostenrechnung: Effizient mit Ressourcen umgehen.
URL: http://umwelt.hs-pforzheim.de/fileadmin/dokumente/2011/RKW_FB_Materialflusskosten.pdf
(Zugriff: 20.02.2015).
- Schmidt, M. (2012): Visualisierung von Energie- und Stoffströmen. In: Hauff, M., Isenman, R., Müller-Christ, G. (Hrsg.): Industrial Ecology Management. Nachhaltige Entwicklung durch Unternehmensverbände. Wiesbaden: Springer Gabler Verlag. ISBN 978-8349-6638-4.
- Schrack, D. (2014): Die Materialflusskostenrechnung in der Lieferkette: Mengen- und Kostenwirkungen auf vor- und nachgelagerte Stufen und Entwicklung eines lebenswegbezogenen Kennzahlensystems. In: Prammer, H.-K.(Hrsg.): Ressourceneffizientes Wirtschaften: Management der Materialflüsse als Herausforderung für Politik und Unternehmen. Wiesbaden: Springer Gabler Verlag. ISBN 978-3-658-04608-8.
- Schreiner, M. (1996): Umweltmanagement in 22 Lektionen. Ein ökonomischer Weg in eine ökologische Wirtschaft. 4. Auflage, Wiesbaden: Gabler Verlag. ISBN 3-409-433346-5.
- Stahl, H. (2006): Schnelleinstieg Kostenrechnung. München: Rudolf Haufe Verlag GmbH & Co KG. ISBN 3-448-07188-9.
- Statistisches Bundesamt Deutschland. (2015): Preise. Daten zur Energiepreisentwicklung.
URL:https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Preise/Energiepreise/EnergiepreisentwicklungPDF_5619001.pdf?__blob=publicationFile (Zugriff: 22.11.2015).
- Strobel, M.; Müller, U. (2012): Flusskostenrechnung. Ein ERP-basiertes Instrument zur systematischen Reduzierung des Materialeinsatzes. In: Tschandl M., Posch A. (Hrsg.): Integriertes Umweltcontrolling. Von der Stoffstromanalyse zum Bewertungs- und Informationssystem. Wiesbaden: Gabler Verlag. ISBN 978-3-8349-3031-6.
- Sygulla, R.; Bierer, A.; Götze, U. (2011): Material Flow Cost Accounting - Proposal for Improving the Evaluation of Monetary Effects of Resource Saving Process Designs.
URL: https://www.tu-chemnitz.de/wirtschaft/bwl3/DownloadAllgemeinOffen/Publikationen/44thCIRP_MFCA.pdf (Zugriff: 13.04.2015).
- Syska, A. (2006): Produktionsmanagement. Das A - Z wichtiger Methoden und Konzepte für die Produktion von heute. Wiesbaden: Gabler Verlag. ISBN 3-8349-0235-7.
- Tschandl, M.; Posch, A. (2003): Integriertes Umweltcontrolling. Wiesbaden: Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Gabler. ISBN 3-409-12297-4.

- Umweltbundesamt (2003): Leitfaden Betriebliches Umweltkostenmanagement. URL: <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/2292.pdf> (Zugriff: 03.06.2015).
- Umweltbundesamt (2012): Stand der Technik der österreichischen Gießereien. URL: www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0389.pdf (Zugriff: 02.10.2015).
- Viere, T.; Möller, A.; Prox, M. (2009): Materialflusskostenrechnung - ein Ansatz für die Identifizierung und Bewertung von Verbesserungen in der Ökobilanzierung. In: Feifel, S.; Walk, W.; Wursthorn, S.; Schebek, L. (Hrsg.): Ökobilanzierung 2009 - Weiterentwicklung zur Operationalisierung von Nachhaltigkeit. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing. ISBN 978-3-86644-421-8.
- Viere, T.; Möller, A.; Schmidt, A. (2010): Methodische Behandlung interner Materialkreisläufe in der Materialflusskostenrechnung. In: *uwf*, Vol. 18, S. 203-208.
- Wagner, B.; Nakajima, M.; Prox, M. (2010): Materialflusskostenrechnung - die internationale Karriere einer Methode zur Identifikation von Ineffizienzen in Produktionssystemen. In: *uwf*, Vol. 18, S. 197-202.
- Weber, J.; Schäffer, U. (2000): *Balanced Scorecard & Controlling. Implementierung - Nutzen für Manager und Controller - Erfahrungen in deutschen Unternehmen*. 3. Auflage, Wiesbaden: Dr. Th. Gabler GmbH. ISBN 3-409-31518-7.
- Zsifkovits, H. (2013): *Logistik*. Konstanz und München: UVK Verlagsgesellschaft mbH. ISBN 978-3-8252-3673-1.

