

Forschungsbericht FZKA-BWPLUS

MESA

Entwicklung von Methoden zur Einführung eines betrieblichen Stoffstrommanagements in Automobilzulieferbetrieben

Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement, Universität Stuttgart

TRW Occupant Restraint Systems GmbH & Co. KG

Uwe Rey, Daniel Heubach, Elvira Mauz

Förderkennzeichen: BWA 20011

Die Arbeiten des Programms Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung werden mit Mitteln des
Landes Baden-Württemberg gefördert

Dezember 2003

Inhaltsverzeichnis

1	Motivation	8
2	Aufgabenstellung.....	11
3	Planung und Ablauf des Vorhabens	14
3.1	Ist-Analyse der Betriebsstrukturen und Anforderungen an das Stoffstrommanagement	14
3.2	Konzeption eines Vorgehensmodells zur Einführung des betrieblichen Stoffstrommanagements.....	14
3.3	Auswahl eines Betrieblichen Umweltinformationssystems	15
3.4	Einführung des betrieblichen Stoffstrommanagement bei TRW, Alfdorf.....	15
3.5	Entwicklung eines web-basierten Unterstützungssystems	16
4	State-of-the-art.....	17
5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	19
6	Beitrag der Ergebnisse zu den Zielen des Förderprogramms.....	20
7	Erzielte Ergebnisse.....	21
7.1	Betriebsstrukturen und Anforderungen an das Stoffstrommanagement.....	21
7.2	Vorgehensmodell zur Einführung eines betrieblichen Stoffstrommanagement in einem Automobilzulieferbetrieb	25
7.2.1	Anwendung von Modellierungsmethoden zur regelmäßigen Berechnung von Stoffströmen.....	25
7.2.2	Konzeptentwicklung zur Berechnung von Stoffströmen basierend auf ERP-Daten.....	32
7.2.3	Zusammenfassung und Fazit.....	47
7.3	Entwicklung eines web-basierten Unterstützungssystems	50
7.3.1	Anwendungskonzept und Zielszenario	50
7.3.2	Funktionsweise und Verfügbarkeit	52
7.3.3	Bewertung und Verfügbarkeit des Tools.....	55
8	Voraussichtlicher Nutzen	56

9	Bekannt gewordene Fortschritte anderer Stellen	57
10	Erfolgte und geplante Veröffentlichungen.....	60
	10.1 Fachvorträge und Artikel	60
	10.2 Veranstaltungen und Ergebnistransfer.....	60
	10.3 Veröffentlichung durch andere Stellen	61
11	Anhang.....	62
	11.1 Material- und Kosten-Sankey	62
	11.2 PAS 1025 konformes Schnittstellendokument	63
	11.3 Literatur	66

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Aufgaben des betrieblichen Stoffstrommanagement	8
Abbildung 2	Ausprägung der Software Umberto im morphologischen Kasten für BUIS	28
Abbildung 3	Sankey-Diagramm der Massenstoffströme [kg] der Steckungenfertigung, normiert auf 1.000 Stück, erstellt mit Umberto.....	29
Abbildung 4	Prozessbezogene Stoffstrombilanz für den Prozess Stanzerie mit den Teilprozessen Stanzen, Waschen und Adsorptionsfiltration	29
Abbildung 5	Gegenüberstellung der eingesetzten Materialkosten und deren Verbleib in Produkt und Abfall für 1000 Stk. Steckungen.....	30
Abbildung 6	Erste „grobe“ Stoffstrombilanz für die Profitcenter „Metall“ und „Plastik“ – basierend auf SAP R/3-Daten, Bilanzzeitraum Mai - Dezember 2001	35
Abbildung 7	Notwendige Anpassungen und Erweiterungen des SAP R/3-Systems.....	36
Abbildung 8	Ablauforganisation für die Einführung und Umsetzung der Integration von Abfalldaten in SAP R/3 bei TRW	41
Abbildung 9	Aufbau und Merkmale des TRW-spezifischen Ökoschlüssels	42
Abbildung 10	Verwaltung von Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen sowie dem Produkt und von Abfällen	52
Abbildung 11	Prozess „Drehen“ mit Input- und Outputströmen (Stofftypen farblich hervorgehoben).....	53
Abbildung 12	Grafische und tabellarische Bilanz der Prozesses „Drehen“ (vgl. Abbildung 11)	53
Abbildung 13	Gesamte Benutzungsoberfläche von MAX mit Input/Output-Report markierter Prozesse.....	54
Abbildung 14	Material-Sankey [kg] der Stanzerie für die Materialströme (bezogen auf 1 000 Steckungen normiert).....	62

Abbildung 15	Kosten-Sankey [EUR] der Stanzerei für die Material- und Energieströme (bezogen auf 1 000 Steckzungen normiert).....	63
Abbildung 16	PAS 1025 Schnittstellen-Dokument (Bsp. aus Abbildung 11).....	65

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Morphologie zur Kategorisierung von Unternehmen (modifiziert nach Rey 2002)	22
Tabelle 2	Einführungskriterien für die Stoffstrommodellierung (modifiziert nach Rey 2002)	23
Tabelle 3	Einordnung von TRW in die Einführungskriterien zur Stoffstrommodellierung	26
Tabelle 4	Mit der Buchung von Entsorgerrechnungen zur erfassende Merkmale.....	39
Tabelle 5	Abfallkategorien (TRW-spezifisch, Auswahl)	40
Tabelle 6	Beschreibung der einzelnen Stellen und Merkmale des TRW-spezifischen Ökoschlüssels	42

1 Motivation

Um den Umweltschutz in betriebliche Entscheidungen integrieren zu können, müssen vorhandene Managementprozesse um Geschäftsprozesse erweitert werden, die eine Berücksichtigung von Umweltaspekten in allen Unternehmensebenen ermöglichen. Eine besondere Wichtigkeit kommt dabei solchen Managementprozessen zu, die das Setzen von Zielen, das Entwickeln geeigneter Maßnahmen und die Fortschrittskontrolle bei der kontinuierlichen Verbesserung der betrieblichen Umweltleistung zum Gegenstand haben.

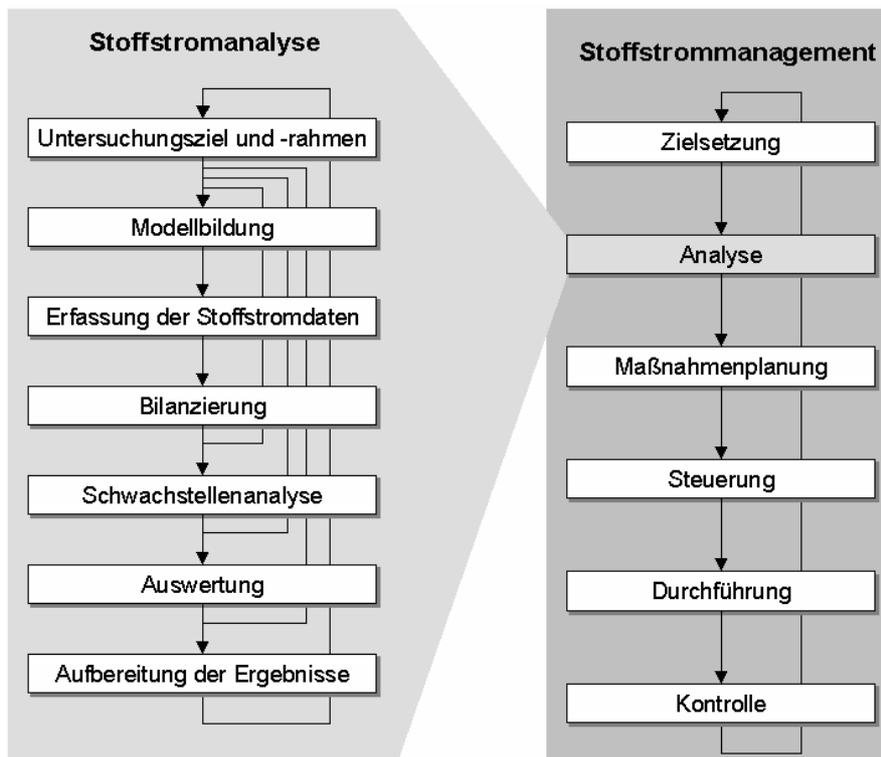


Abbildung 1 Aufgaben des betrieblichen Stoffstrommanagement

Einen wesentlichen Ansatzpunkt bieten die betriebsbezogenen Stoffströme, die mit der unternehmerischen Leistungserbringung zusammenhängen und ein ressourceneffizientes Wirtschaften zum Ziel haben. Entscheidungsprozess werden durch das Stoffstrommanagement unterstützt, dessen Grundlage Informationen sind über eingesetzte Rohstoffe, verbrauchte Energie, erzeugte Produkte, anfallende Reststoffe oder

auch Emissionen sind. Abbildung 1 zeigt die Aufgaben des betrieblichen Stoffstrommanagements.

Im Rahmen eines betrieblichen Stoffstrommanagement werden in Analogie zur Produktionsplanung und Steuerung (PPS) betriebliche Stoffströme¹ erfasst und für Planungsprozesse auf taktischer und strategischer Ebene ausgewertet (vgl. Abbildung 1, Steinaecker et al. 2000b). Die Erfassungstiefe orientiert sich dabei am Ziel, die Gesamtheit der betrieblichen Stoffströme im Zusammenhang zu optimieren. Dabei werden sowohl umwelt- als auch kostenrelevante Eigenschaften der Stoffströme berücksichtigt. In Erweiterung der PPS werden auch Hilfs- und Betriebsstoffe, Nebenprodukte, Energieverbrauch und Abfall in die Betrachtung mit eingeschlossen. Mit dem Aufbau eines systematischen Stoffstrommanagements können sowohl die Umweltauswirkungen der betrieblichen Tätigkeiten reduziert, als auch durch die erhöhte Transparenz bzgl. des betrieblichen Ressourceneinsatzes Kosteneinsparungen erreicht werden.

Insbesondere in der Automobilzulieferindustrie ist die Erweiterung von Umweltmanagementsystemen um Prozesse eines betrieblichen Stoffstrommanagement von großer Bedeutung. Der Hintergrund hierfür ist durch die folgenden Rahmenbedingungen gegeben:

- Aufgrund von Kundenanforderungen und gesellschaftlichen Ansprüchen ist der Handlungsdruck in der Automobilindustrie im Hinblick auf die Verringerung von Umweltauswirkungen an den Produktionsstandorten und bzgl. der hergestellten Produkte sehr hoch.
- Durch Forderungen der Endproduzenten der Automobilindustrie werden Zulieferunternehmen dazu verpflichtet, detaillierte Sachbilanzen zu Ressourcenverbrauch und Emissionen bzgl. der gelieferten Bauteile zu liefern.

Die oben genannten Herausforderungen motivierten das IAT der Universität Stuttgart gemeinsam mit Automobilzulieferer TRW Occupant Restraint Systems GmbH in Alfdorf, ein Stoffstrommanagement methodisch einzuführen. Durch die frühzeitige Einführung eines Umweltmanagementsystems nach ISO 14 001 im Jahr 1996 lagen beim Automobilzulieferer TRW Occupant Restraint Systems GmbH in Alfdorf zum Projektstart bereits umfangreiche Erfahrungen im operativen Umweltmanagement vor. Dennoch ist die betriebliche Praxis des Umweltmana-

¹ Unter Stoffströme werden in diesem Zusammenhang Stoff- und Energieströme verstanden

gement bei TRW durch folgende Probleme gekennzeichnet, die als typisch für Automobilzulieferbetriebe angesehen werden können:

- Die verfügbaren Informationen über betriebliche Stoffströme lassen eine Ableitung umweltbezogener Aussagen nicht zu, da bei der bisherigen Erfassungsmethode im Rahmen des betriebswirtschaftlichen Rechnungswesens umweltrelevante Aspekte weitgehend unberücksichtigt bleiben.
- Das Verhältnis von Aufwand zu Nutzen bei der Datenerhebung ist bisher sehr groß, da viele Daten händisch oder mittels individueller Abschätzungen gewonnen werden müssen.
- Eine systematische Bilanzierung der erfassten Umweltinformationen und die Berechnung von aussagekräftigen Kennzahlen ist mit den derzeit eingesetzten MS-Office Tools aufgrund der Komplexität und des Umfangs der zu verarbeitenden Daten nur bedingt möglich.

Aus diesen Gründen müssen Ansätze und Methoden entwickelt und erprobt werden, die ein Stoffstrommanagement organisatorisch und informationstechnisch einführen.

2

Aufgabenstellung

Ziel des beantragten Projektes war es, in Zusammenarbeit mit dem Unternehmen TRW Occupant Restraint Systems spezifische Methoden für die Einführung eines betrieblichen Stoffstrommanagement in Automobilzulieferbetrieben zu entwickeln und diese exemplarisch zu erproben.

Die Forschungsarbeiten lassen sich in die folgenden Bereiche unterteilen:

- *Entwicklung von Methoden zur Typisierung von Betriebsstrukturen:*
Auf der Grundlage einer Identifikation spezifischer Strukturmerkmale von Automobilzulieferbetrieben (wie z. B. Prozesstypen, Anzahl eingesetzter Stoffe, Anzahl Produktvarianten, Durchlaufzeiten, u. a.) sollen Betriebstypen herausgearbeitet werden, die unterschiedliche Voraussetzungen für die Anwendung von Methoden des betrieblichen Stoffstrommanagement aufweisen.
- *Entwicklung eines adaptiven Vorgehensmodells für die Einführung eines betrieblichen Stoffstrommanagement in Automobilzulieferbetrieben:*
Auf der Grundlage eines allgemeinen Vorgehensmodells für die Einführung eines betrieblichen Stoffstrommanagement sollen typspezifische Vorgehensmodelle erarbeitet werden, die eine effiziente Erschließung von Potenzialen des Stoffstrommanagement in Abhängigkeit von vorhandenen Betriebsstrukturmerkmalen (s. o.) ermöglichen.
- *Entwicklung von typspezifischen Methoden für eine systematische Unterstützung des betrieblichen Stoffstrommanagement durch Betriebliche Umweltinformationssysteme (BUIs):*
Für die anhand von Strukturmerkmalen hergeleiteten Betriebstypen sollen spezifische Methoden im Hinblick auf eine effiziente Modellierung von Produktionsprozessen und die darauf aufbauende Auswertung von Stoffströmen in geeigneten BUIs in Automobilzulieferbetrieben entwickelt werden.

Der letztgenannte Teilbereich charakterisiert den Forschungsansatz, der im Rahmen eines betrieblichen Stoffstrommanagement eine Berech-

nung von Stoffströmen unter Nutzung dafür entwickelter Modellierungs- und Auswertungsfunktionalitäten in spezifischen BUIS vorsah.

Alternative Ansätze wären z. B. die vollständige Integration entsprechender Funktionalitäten in PPS²- und ERP³-Systeme (vgl. Steinaecker et al., 2000a) oder eine Verbindung dieser Systeme über entsprechende Schnittstellen (Bullinger et al. 2002). Vor dem Hintergrund einer Entwicklung von betriebstypspezifischen Methoden zur Anwendung in Automobilzulieferbetrieben wurde zunächst jedoch der erstgenannte Ansatz bevorzugt. Der wesentliche Vorteil dieses Ansatzes besteht darin, dass durch die Modellierungsfunktionalitäten in BUIS die Möglichkeit gegeben wird, auch auf Basis einer unvollständigen Datengrundlage eine Berechnung geeigneter Sachbilanzen und Kennzahlen für eine ökologische und ökonomische Bewertung in einem anwendungsorientierten Detaillierungsgrad durchzuführen.

Voraussetzung hierfür ist allerdings zum einen das Vorhandensein von Prozessspezifikationen, die eine Berechnung prozessbezogener Input- und Outputströme aufgrund weniger Parameter erlauben. Zum anderen muss das Stoffstrommodell so erstellt sein, dass fehlende Materialströme eines Prozesses aufgrund „up-stream“- und „down-stream“-Berechnungsalgorithmen im Modell eindeutig errechnet werden können. Ist dies der Fall, dann können durch den Einsatz von BUIS Informationen für das Umweltmanagement gewonnen werden, die innerhalb der allgemeinen im Einsatz befindlichen Informationssysteme nicht generiert werden können. Jedoch ist zu prüfen, ob die Integration von „Stoffstrom“-Funktionalitäten in ein ERP-System nicht auch den Ansprüchen eines kontinuierlichen Stoffstrommanagements unter Berücksichtigung der Branchenspezifika in der Automobilzulieferindustrie genügt. Ausgehend von dem zu Projektbeginn favorisierten Modellierungsmethoden wurden im Projektverlauf beide Ansätze verfolgt und entsprechend erprobt und bewertet.

Durch die bei TRW vorliegenden Erfahrungen im Umweltmanagement sowie die dort für Automobilzulieferbetriebe typische Kombination aus Merkmalen einer Massenfertigung mit 533 Mitarbeitern in der Produktion in Alfdorf und einer geringer Fertigungstiefe stellte sich das Unternehmen als besonders geeignet dar, die im Projekt entwickelten Methoden exemplarisch zu erproben und dabei zu optimieren. Dazu wird im Rahmen des Projektes bei TRW ein betriebliches Stoffstrommanagement eingeführt. Die Erprobung von Methoden für eine systematische

² PPS-System: Produktions- und Planungssystem

³ ERP-System: Enterprise Resource Planning System

Unterstützung des Stoffstrommanagement bei TRW durch den Einsatz von BUIS zur Stoffstrommodellierung und -auswertung stellte vorab den Umsetzungsschwerpunkt dar. Davon leitete sich das weitere Vorgehen ab.

3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Im Folgenden sind die geplanten Arbeitsschritte des Projektes zusammengestellt, welche ausgehend von ermittelten Betriebsstrukturen über ein Vorgehensmodell bis hin zur Einführung eines betrieblichen Stoffstrommanagements führen sollten.

3.1 Ist-Analyse der Betriebsstrukturen und Anforderungen an das Stoffstrommanagement

Der Aufwand bei der Einführung eines betrieblichen Stoffstrommanagement ist wesentlich von unternehmensspezifischen Betriebsstrukturen abhängig. Vor einer Feinplanung der zu tätigen Arbeitsschritte zur Einführung eines betrieblichen Stoffstrommanagement wurden in Zusammenarbeit mit TRW, die am Standort vorliegenden Betriebsstrukturen analysiert

Zu untersuchende Merkmale betreffen u. a. die gefertigten Produkte, zum Einsatz kommende Prozesse, Betriebsgröße, eingesetzte Stoffe, Betriebsorganisation und die Verfügbarkeit geeigneter Daten unter Berücksichtigung der BUIS.

3.2 Konzeption eines Vorgehensmodells zur Einführung des betrieblichen Stoffstrommanagements

Auf der Grundlage der Ist-Analyse wurde ein allgemeines Vorgehensmodell für die Einführung des betrieblichen Stoffstrommanagements in Automobilzulieferbetrieben entwickelt. Wesentliche Elemente des Vorgehensmodells wurden hierzu aus bisherigen Umsetzungserfahrungen

des Antragstellers in Betrieben der Metallverarbeitenden Industrie und der Prozessindustrie abgeleitet.

Anschließend wurde aus dem allgemeinen Vorgehensmodell ein auf die spezifischen Betriebsstrukturmerkmale von TRW abgestimmtes Vorgehensmodell entwickelt. Dieses stellt die Grundlage für die spätere Einführung eines betrieblichen Stoffstrommanagement bei TRW dar.

3.3 Auswahl eines Betrieblichen Umweltinformationssystems

Zur Unterstützung des betrieblichen Stoffstrommanagement bei TRW wurde ein geeignetes BUIS ausgewählt. Dafür wurde zunächst ein detaillierter Anforderungskatalog für den Einsatz von BUIS im betrieblichen Stoffstrommanagement entwickelt. Durch eine enge Kooperation des Antragstellers mit dem Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO) konnte anschließend die Infrastruktur des BUISLab[®] – Demonstrationszentrum für Betriebliche Umweltinformationssysteme in Produktion und Logistik – am Fraunhofer IAO dafür genutzt werden, um die am Markt verfügbaren Softwaresysteme im Hinblick auf den entwickelten Anforderungskatalog miteinander zu vergleichen.

3.4 Einführung des betrieblichen Stoffstrommanagement bei TRW, Alfdorf

Auf Grundlage des konzipierten spezifischen Vorgehensmodells wurden die definierten Schritte zur Einführung eines betrieblichen Stoffstrommanagement bei TRW umgesetzt. Schwerpunkt stellte hierbei zunächst die Einführung des ausgewählten BUIS dar. Dabei wurden geeignete Methoden zur Abbildung der Produktionsprozesse bei TRW sowie zur Berechnung von Stoffströmen auf der Grundlage von Produktionsdaten entwickelt und erprobt.

Für die Erprobung erfolgte zunächst die Festlegung von Szenarien, anhand derer die Erfassung, ggf. Modellierung und Auswertung von

Stoffströmen mit Hilfe des eingesetzten BUIS getestet werden konnte. Die Szenarien umfassen alle Arbeitsschritte, die von der Generierung von Produktionsdaten aus dem PPS-System bis zur Erfassung und Auswertung von Stoffströmen für ausgewählte Geschäftsprozesse des Umweltmanagement, wie z. B. die regelmäßige Berechnung von Umweltkennzahlen auf Basis von allgemeinen Produktionsdaten erforderlich sind.

Anhand der definierten Szenarien wurde die Umsetzbarkeit der entwickelten Methoden praktisch erprobt und auf der Grundlage der bei der Erprobung gewonnenen Erfahrungen sollten die entwickelten Methoden erweitert und angepasst werden.

3.5 Entwicklung eines web-basierten Unterstützungssystems

Die erarbeiteten Projektergebnisse und Umsetzungserfahrungen sollten im Hinblick auf die Übertragbarkeit auf andere Unternehmen generalisiert und in ein web-basiertes Unterstützungssystem überführt werden. Die Erarbeitung der Konzeption des Unterstützungssystems sollte parallel zu den laufenden Projektarbeiten durchgeführt werden.

Das web-basierte Unterstützungssystem sollte über die Identifikation von Betriebstypen eine Generierung von typspezifischen Vorgehensmodellen ermöglichen und darauf basierend die Ableitung von Handlungsempfehlungen für ein Vorgehensmodell zur Einführung eines Stoffstrommanagements liefern.

Das entwickelte Unterstützungssystem sollte in das durch den Projektträger BWPLUS geförderte Projekt zum Aufbau des Portals IKARUS – Internet Katalog betrieblicher Umweltinformationssysteme eingebettet werden. Das so entwickelte Modul kann dadurch auch nach Projektabschluss laufend durch aktuelle Erkenntnisse im Bereich des betrieblichen Stoffstrommanagements erweitert werden. Dadurch wird eine kostengünstige und effektive Verbreitung der Projektergebnisse im Raum Baden-Württemberg und darüber hinaus sichergestellt.

Die Notwendigkeit und Praktikabilität von Instrumenten für eine systematische Kontrolle und Steuerung der betrieblichen Umweltleistung ist bereits erfolgreich anhand einiger Forschungsprojekte belegt worden. Ein wichtiger Beitrag ist u. a. in dem durch Mittel des Ministeriums für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg geförderten Forschungsprojekt „Zielorientiertes Umweltmanagement mit Hilfe von Umweltkennzahlen“ geleistet worden. Völlig unzureichend ist jedoch bisher die Untersuchung der Möglichkeit einer systematischen Unterstützung solcher Instrumente anhand Betrieblicher Umweltinformationssysteme (BUIS) (vgl. Loew u. Jürgens 1999). Auch in dem oben genannten Forschungsprojekt werden die Bereiche „Erhebung der Daten, Messung, Berechnung, Auswertung und Interpretation“ als grundlegende Fehlerquellen für den Umgang mit Umweltkennzahlen herausgearbeitet (Kottmann et al. 1999).

Anwendungsbereiche von BUIS im betrieblichen Umweltmanagement wurden bereits an verschiedener Stelle untersucht (vgl. Haasis, H.-D. et al. 1995; Rautenstrauch C. 1999; Scheer, A.-W. et al. 1996). Ein Forschungsdefizit stellt jedoch die Entwicklung anwendungsorientierter Methoden zur Nutzung der Potenziale eines BUIS Einsatzes im betrieblichen Umweltmanagement dar. Das gilt insbesondere für die zielorientierte Unterstützung des betrieblichen Stoffstrommanagement, durch die eine effektive Erschließung von Umwelt- und Kostenpotenzialen erreicht werden kann. Diese These hat sich in der Diskussion mit zahlreichen Wissenschaftlern und Anwendern innerhalb der aktuellen Symposien Prozesskostenoptimierung durch integriertes Ressourcenmanagement (vgl. Hockerts et al. 1999) in St. Gallen und dem in Kooperation mit dem Fraunhofer IAO durchgeführten Management Symposium Betriebliche Umweltinformationssysteme in der Praxis im Juni 1999 in Stuttgart bestätigt (Bullinger et al. 1999).

Durch die Förderung der Landesanstalt für Umweltschutz (LfU) Baden-Württemberg konnte durch Arcadis Trischler & Partner und synergitec in einer Studie Potenziale dieses Anwendungsbereiches von BUIS herausgearbeitet werden (vgl. Mayer 2000). Methodische Werkzeuge für eine anwendungsorientierte Unterstützung von branchenspezifischen Anwendern bei der Einführung eines betrieblichen Stoffstrommanagement sind darin jedoch nicht abgebildet.

Auch im Bereich der ERP-Systeme wurden erste Weiterentwicklungen in Richtung einer ressourceneffizienten Materialwirtschaft unternommen. So war das Ziel des Forschungsprojektes ECO-Integral die Entwicklung und Evaluierung eines implementierungsfähigen und branchenübergreifenden Referenzmodells für ein Standard ERP-System (Krcmar et al. 2000). Innerhalb von ECO-Rapid wurde aufbauend auf ECO-Integral eine Methode entwickelt und beschrieben, mit der Industrieunternehmen mit vorhandener betriebswirtschaftlicher Standardsoftware Instrumente des Umweltmanagements umsetzen können.

In ECO-Integral ist es gelungen eine offene und umfassende IT-Architektur für betriebliche Umweltinformationssysteme zur Verknüpfung von Ökologie und Ökonomie zu entwickeln. Bislang wurde noch keine Software implementiert, welche auf diesem Standard basiert. Auch die Sichtweise in ECO-Rapid blieb im wesentlichen auf die Materialflusskosten beschränkt, eine Ergänzung von Materialströmen wie bspw. Abfall wurde nicht vorgenommen.

5

Zusammenarbeit mit anderen Stellen

In enger Kooperation mit dem Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO) konnten die stoffstromorientierten BUIS des am Fraunhofer IAO bestehenden BUISLab - Demonstrationszentrum für Betriebliche Umweltinformationssysteme in Produktion und Logistik intensiv genutzt und ein effektiver Wissensaustausch betrieben werden.

Durch die Kooperation mit dem Ingenieurbüro synergitec, Freiburg konnten auf den Erfahrungsschatz aus den Projektergebnisse des von der LfU Baden-Württemberg geförderten Projektes „Betriebliche Energie- und Stoffstrommanagementsysteme“ in Bezug auf den Einsatz von BUIS im Stoffstrommanagement zurückgegriffen werden.

Der Informationsaustausch mit green-it sowie dem imu Augsburg, den koordinierenden Projektpartnern der von der DBU geförderten Projekte ECO-Integral und ECO-Rapid, diente vorwiegend der Unterstützung der Konzeptentwicklung im Bereich der Integration von umweltrelevanten Aspekten und Funktionen in ein ERP-System.

6 Beitrag der Ergebnisse zu den Zielen des Förderprogramms

Die erarbeiteten Vorgehensweisen dienen nicht nur der Bereitstellung entscheidungsrelevanter Informationen zur Umweltwirkung des Unternehmensaktivitäten und der notwendigen organisatorischen Einbettung und informationstechnischen Implementierung, sondern insbesondere auch der ökonomisch tragbaren Umsetzung.

Die mit der unternehmerischen Leistungserbringung verbundenen Stoffströme wurden dabei nicht nur mengenmäßig, sondern auch wertmäßig bilanziert – somit wurden ökologische und ökonomische Aspekte integriert dargestellt. Des Weiteren wurden die im Unternehmen eingesetzten Materialien um unterschiedliche Umweltgesichtspunkte wie Recyclingfähigkeit, Anteil von Sekundärrohstoffen, Inhalt von Schwermetallen u. a. ergänzt, um so das Unternehmen in der Ausrichtung hin auf eine ressourceneffiziente, nachhaltige Produktion zu unterstützen. Wesentliche informationstechnische Hemmnisse eines kontinuierlichen betrieblichen Stoffstrommanagements können durch die Erkenntnisse im Forschungsvorhaben und den entwickelten Konzepten abgebaut werden. Die Implementierung eines betrieblichen Stoffstrommanagements erfährt somit eine grundlegende Unterstützung.

Die Herausforderung beim anwendungsorientierten Einsatz der methodischen Ansätze besteht dabei nicht nur im Sinne der Erhaltung einer lebenswerten Umwelt sondern in der Sicherung einer nachhaltigen Entwicklung. Dies ist für Baden-Württemberg von Bedeutung, da hier die Verbreitung von Unternehmen der Automobilzulieferindustrie und der Automobilhersteller im Vergleich zu den anderen Bundesländern am größten ist.

7 Erzielte Ergebnisse

Im Rahmen des Vorhabens wurden zwei grundsätzlich unterschiedliche Methoden zur Herangehensweise und Einführung eines Stoffstrommanagements intensiv beforscht, bewertet und umgesetzt:

- Anwendung von Modellierungsmethoden zur Berechnung von Stoffströmen und
- Auswertung von ERP-Daten zur Berechnung von Stoffströmen.

Die Anwendbarkeit der Methoden hängt von Betriebsstrukturen sowie Anforderungen und verschiedenen Einflussfaktoren im Unternehmen ab, wie sie in Kapitel 7.1 dargestellt werden. In Kapitel 7.2 werden die im Forschungsvorhaben verfolgten Ansätze vorgestellt: Die Anwendung der Modellierungsmethode bei TRW wird in Kapitel 7.2.1 beschrieben und anschließend bewertet. In Kapitel 7.2.2 wird dann die Auswertung von ERP-Daten als Grundlage einer Stoffstrombilanz aufgezeigt und deren Einsatz bewertet.

7.1 Betriebsstrukturen und Anforderungen an das Stoffstrommanagement

Betriebliches Stoffstrommanagement wird als ein funktionales Teilsystem des Managements verstanden, das auf die Modellierung, Analyse, Bewertung und Steuerung von Stoffströmen mit dem Ziel einer Dokumentation und Verbesserung der zugrunde liegenden Produktionsprozesse ausgerichtet ist (vgl. Rautenstrauch 1999). Kernstück des Stoffstrommanagements ist die Stoff- und Energiebilanz in Form von Input- und Outputströmen für ein abgegrenztes System.⁴ Entnommene Ressourcen- und verbrauchte Energieströme sowie abgegebene Produkt- und verbleibende Reststoffströme werden mengenmäßig in einer Sachbilanz gegenübergestellt.

⁴ Im Folgenden wird der Begriff Stoffströme synonym für Material- und Energieströme verwendet

Wie Abbildung 1 anschaulich darstellt, ist die Analyse der Ausgangspunkt für die Bewertung von Stoffströmen und der Entwicklung von Handlungsstrategien. Weiter können aufbauend auf der Analyse umweltbezogene Innovationspotenziale im Unternehmen offen gelegt und Umweltkosten gespart werden. Die konkreten Ziele des betrieblichen Stoffstrommanagements bei TRW sind exemplarisch für die Motivation der Unternehmen im Umweltschutz, Material- und Energieströme zu analysieren und zu steuern. Auf der Grundlage der entwickelten Methoden sollten zukünftig regelmäßig und unter vertretbarem Aufwand Stoffstrombilanzen generiert werden können.

Aus zahlreichen Unternehmensprojekten im Rahmen von Forschungsprojekten hat sich herauskristalliert, dass Einführungskriterien für das Stoffstrommanagement nicht direkt von der Branche abhängig gemacht werden können (vgl. Ergebnisse aus den in Kapitel 9 dargestellten Projekten). Vielmehr spielt die Fertigungsart eine herausragende Rolle (vgl. Tabelle 1). Dies gilt insbesondere für die Stoffstrommodellierung.

Tabelle 1 Morphologie zur Kategorisierung von Unternehmen (modifiziert nach Rey 2002)

Merkmal	Merkmalsausprägungen			
	Einmalfertigung	Einzel- und Kleinserien	Serienfertigung	Massenfertigung
Fertigungsart	Einmalfertigung	Einzel- und Kleinserien	Serienfertigung	Massenfertigung
Fertigungsstruktur	Fertigung mit großer Tiefe	Fertigung mit mittlerer Tiefe	Fertigung mit mittlerer Tiefe	Fertigung mit geringer Tiefe
Erzeugnisstruktur	mehrteilige Erzeugnisse (komplexe Struktur)	mehrteilige Erzeugnisse (einfache Struktur)	mehrteilige Erzeugnisse (einfache Struktur)	geringteilige Erzeugnisse
Werkstattstruktur	Keine alternativen Fertigungsmöglich.	Verschiedene ähnliche Fertigungsmöglich.	Verschiedene ähnliche Fertigungsmöglich.	Mehrere verschiedene Fertigungsmöglich.
Verhältnis Rohstoffkosten/ Produkt	gering	mittel	mittel	hoch
Ressourcenverbrauch	gering	mittel	mittel	hoch

Für eine Einmalfertigung ist die Einführung eines Stoffstrommanagements per se irrelevant. Daneben müsste man davon ausgehen, dass die Relevanz mit zunehmendem Umfang des gefertigten Produkts steigen sollte. Das Gegenteil begründet sich darin, dass in der Regel bei einer

Massenfertigung die Strukturen „festgefahren“ sind und dadurch Planungsunterlagen nur ungenügend gepflegt werden. Es fehlt meist an Informationen im benötigten Detaillierungsgrad für gewünschte Berechnungen und Analysen.

Nimmt im Gegensatz dazu die Fertigungstiefe zu und ist dies kombiniert mit einer hohen Anzahl an verschiedenen Fertigungsmöglichkeiten, so motiviert dieser Fall durch differente Produktionsabläufe den Bedarf an einer Steuerung durch ein etabliertes Stoffstrommanagement.

Zu den eher allgemeinen Motivationsaspekten zählen das Verhältnis der Rohstoffkosten zum Produkt sowie der absolute Ressourcenverbrauch. Beide begründen den Antrieb und erhöhen die Wahrscheinlichkeit einer dem Nutzen/Aufwandsverhältnis gerecht werdenden Einführung.

Die Ausprägung der Fertigungsart ist in den verschiedenen Branchen sehr heterogen. Bei Automobilzulieferern überwiegt jedoch deutlich die auf ein Produkt ausgerichtete Massenfertigung mit eher geringteiliger Erzeugnisstruktur bei niedriger Fertigungstiefe.

Als die für eine Einführung relevanten Kriterien lassen sich die in Tabelle 2 dargestellten Merkmalsausprägungen der Fertigung sowie für Kosten und Ressourcenverbrauch zusammenfassen.

Tabelle 2 Einführungskriterien für die Stoffstrommodellierung (modifiziert nach Rey 2002)

Kriterium	zunehmende Relevanz für Erfolg versprechende Einführung →		
Fertigungsart	Massenfertigung	Serienfertigung	Kleinserien
Fertigungsstruktur	Fertigung mit geringer Tiefe	Fertigung mit mittlerer Tiefe	Fertigung mit großer Tiefe
Erzeugnisstruktur	geringteilige Erzeugnisse	mehrteilige Erzeugnisse (einfache Struktur)	mehrteilige Erzeugnisse (komplexe Struktur)
Werkstattstruktur	Keine alternativen Fertigungsmöglich.	Verschiedene ähnliche Fertigungsmöglich.	Mehrere verschiedene Fertigungsmöglich.
Verhältnis Rohstoffkosten/ Produkt	gering	mittel	hoch
Ressourcenverbrauch	gering	mittel	hoch

Nicht zum gewünschten Ergebnis führten die geplanten Arbeiten (vgl. Kapitel 3.2) zur Verallgemeinerung von Vorgehensmodellen, insbeson-

dere über die Automobilzuliefererindustrie hinaus (vgl. Ergebnisse aus den in Kapitel 9 dargestellten Projekten), zur Einführung des betrieblichen Stoffstrommanagements und zwar aus folgenden Gründen:

- Die Prozesse der betrachteten Unternehmen waren zu unterschiedlich für die Ableitung allgemeingültiger Vorgehensmodelle. Es wäre damit nur möglich gewesen Vorgehensweisen auf einem sehr hohen und unspezifischem Abstraktionsgrad zu erzeugen, die von geringem Wert für die Praxis sind. Dies wurde auch in einem Abgleich mit den Forschungsprojekten INTUS⁵ und CARE⁶ bestätigt.
- Bei den Unternehmen, die durch das IAT der Universität Stuttgart in den unter Kapitel 9 genannten Forschungsprojekten betrachtet wurden, wechselten die Produktionsprozesse, durch neue Produkte oder Prozessmodifikationen, zu rasch um mit vertretbarem Aufwand eine kontinuierliche Anpassung der Vorgehensmodell zu betreiben.
- Der Trend geht in vielen Unternehmen von Serienfertigung zur Auftragsbezogenen Fertigung mit der Losgröße 1. Eine solche Variantenvielfalt kann in einem Strommodelle nicht mit vertretbarem Aufwand sinnvoll abgebildet werden. Leitende Optimierungsgröße ist in diesem Fall für das Unternehmen häufig die Losgröße sowie die Liefertreue und nicht der Stoffstrom.

Dies motivierte die weitere Vorgehensweise im Projekt, die Anwendung von Modellierungsmethoden zur regelmäßigen Berechnung von Stoffströmen, einer Berechnung von Stoffströmen basierend auf ERP-Daten gegenüber zu stellen.

Das zu entwickelnde web-basierte Unterstützungssystem ist nun darauf auszurichten, den interessierten Anwender an die Thematik des betrieblichen Stoffstrommanagements heranzuführen. Dazu soll ihm die Möglichkeit gegeben werden, die Produktionsabläufe in seinem Unternehmen grob zu modellieren und dabei vor allem auch auf Abfälle, Ener-

⁵ Das Forschungsprojekt INTUS – Operationalisierung von Instrumenten des Umweltcontrolling mit Hilfe von Betrieblichen Umweltinformationssystemen wurde gemeinsam von dem IAT der Universität Stuttgart, dem Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW), Berlin, und dem Fraunhofer IAO, Stuttgart, gemeinsam mit den beteiligten Unternehmen SCHOTT Glas, Continental TEMIC, Ensinger Mineralheilquellen und Göhring durchgeführt. Gefördert durch das BMBF (Fkz: 01 RU 0009). Download von Projektberichten unter www.bum.iao.fraunhofer.de/downloads

⁶ Das Projekt CARE – Computergestützte Ressourceneffizienz-Rechnung in der mittelständischen Wirtschaft ist ein Verbundprojekt der wissenschaftlichen Partner Wuppertal-Institut Klima, Umwelt, Energie; IAT, Universität Stuttgart sowie synergitec. Es wird gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung. Informationen unter: <http://care.oekoeffizienz.de>

giebedarf, Betrieb- und Hilfsstoffe zu achten bzw. darauf hingewiesen zu werden. Hierfür werden verschiedene Templates in Abhängigkeit von der Fertigungsart, als Ausgangsbasis für eine Modellierung zur Verfügung gestellt.

7.2 Vorgehensmodell zur Einführung eines betrieblichen Stoffstrommanagement in einem Automobilzulieferbetrieb

7.2.1 Anwendung von Modellierungsmethoden zur regelmäßigen Berechnung von Stoffströmen

7.2.1.1 Ausgangssituation im Unternehmen

Eine fragebogengestützte Analyse bei TRW zeigte, dass der Informationsbedarf im Umweltcontrolling in den Bereichen Ressourceneinsatz, Abfallmengen und -kosten, Wasser- und Energieverbrauch sowie Materialverluste in Prozessen besonders hoch ist. Diesem Informationsbedarf stehen fehlende Informationssysteme in dem notwendigen Detaillierungsgrad gegenüber; im Einzelnen sind dies:

- Fehlende Betriebsdatenerfassung,
- Wenige Wasser- und Energiezähler,
- Arbeitspläne für eine Stoffstromauswertung nicht nutzbar und
- Prozesswissen nicht mit Stoffströmen dokumentiert.

Besonders der dritte und vierte Punkt ist von großer Bedeutung, da diese Informationen die Grundlage für eine Prozessparametrisierung bilden würden. Damit wäre es möglich, auf der Grundlage von prozessbezogenen Berechnungsalgorithmen dauerhaft die Input- und Outputströme berechnen zu können, ohne detaillierte Messungen vornehmen zu müssen. Bestehende Allokationsalgorithmen, wie sie es für die Verbrauchs-

zuordnung von Strom und Wasser gibt, sind statisch und nicht parametrisiert, um sie an aktuelle Situationen anpassen zu können.

Um notwendige Informationen zu beschaffen, müssen zudem beispielsweise im Bereich Abfall Originalrechnungsbelege der Entsorgerbetriebe eingesehen werden. Zur Analyse des Wasser- und Energieverbrauchs müssen Zähler manuell abgelesen und Rechnungsbelege ausgewertet werden.

Die Produktion von Gurtsicherungssystemen und Airbag-Systemen bei TRW, Alfdorf, ist gekennzeichnet durch ein geringteiliges Erzeugnis, fehlender Prozessvariation und durchgängiger oder synthetischer Produktion. In Tabelle 3 ist eine eigene Einordnung der fertigungsspezifischer Merkmale von TRW anhand der Einführungskriterien zur Stoffstrommodellierung – wie in Tabelle 2 modifiziert nach Rey (2002) aufgeführt – vorgenommen.

Tabelle 3 Einordnung von TRW in die Einführungskriterien zur Stoffstrommodellierung

Kriterium	zunehmende Relevanz für Erfolg versprechende Einführung →		
Fertigungsart	Massenfertigung	Serienfertigung	Kleinserien
	●		
Fertigungsstruktur	Fertigung mit geringer Tiefe	Fertigung mit mittlerer Tiefe	Fertigung mit großer Tiefe
	●		
Erzeugnisstruktur	geringteilige Erzeugnisse	mehrteilige Erzeugnisse (einfache Struktur)	mehrteilige Erzeugnisse (komplexe Struktur)
	●		
Werkstattstruktur	Keine alternativen Fertigungsmöglich.	Verschiedene ähnliche Fertigungsmöglich.	Mehrere verschiedene Fertigungsmöglich.
		●	
Verhältnis Rohstoffkosten/ Produkt	Gering	mittel	hoch
		●	
Ressourcenverbrauch	Gering	mittel	Hoch
		●	

Die Analyseergebnisse der Ausgangssituation bei TRW können wie in Tabelle 3 dargestellt, in Bezug auf eine Erfolg versprechende Einführung von Modellierungsmethoden zur regelmäßigen Berechnung von Stoffströmen, gewichtet werden. Zusammenfassend deutet alles daraufhin,

dass es schwierig sein wird, gerade in der Automobilzuliefererindustrie und somit auch bei TRW, diesen Ansatz für ein kontinuierliches betriebliches Stoffstrommanagement zu implementieren.

7.2.1.2 Analyse und Konzeptentwicklung

Am Beispiel der Produktion von Steckzungen für Gurtsysteme wurde eine einmalige Stoffstromanalyse mit Hilfe eines Stoffstrommodells konzipiert und durchgeführt. Ziel war die Entwicklung eines generalisierten Fachkonzeptes zur regelmäßigen Stoffstromberechnung auf der Basis eines Stoffstrommodells zur Analyse und Bewertung betrieblicher Stoffströme.

Durch die „quantitative und modellhafte Beschreibung realer Stoffstromsysteme“ (Schmidt 2000) sollten die Stoffströme prozess- oder produktbezogen analysiert und damit in ihren Zusammenhängen veranschaulicht werden können. Unter dem Blickwinkel einer dauerhaften Integration des betrieblichen Stoffstrommanagements bei TRW waren die folgenden Fragestellungen bei der exemplarischen Bilanzierung von besonderem Interesse:

- Die Datenverfügbarkeit und Möglichkeiten zur Erfassung relevanter Prozessdaten, verbunden mit ihrem Detaillierungsgrad, um kontinuierliche Stoffstrombilanzen auf der Basis der Modellierungsmethode erstellen zu können und
- Die Einbettung der Bilanzierung und Analyse im Rahmen des Stoffstrommanagements in die Aufbau- und Ablauforganisation bei TRW.

Die Durchführung der Modellierungsmethoden zur Berechnung und Analyse der Stoffströme bestand aus den Schritten Datenerhebung, Stoffstrommodellierung sowie Auswertung.

Datenerhebung für die Modellerstellung

Mit Hilfe von Datenerhebungsbogen und Einzelnacherhebung wurden die relevanten Input- und Outputströme der ausgewählten Prozesse erfasst. Erschwert wurde die Datenerfassung durch eine weitestgehend fehlende Haltung von Prozessdaten in Informationssystemen wie der BDE, in Arbeitsplänen, sowie durch fehlende detaillierte Daten und Prozesswissen auf Ebene der einzelnen Teilprozesses.

Auswahl BUIS und Stoffstrommodellierung

Für die Modellierung der Steckzungenproduktion wurde das betriebliche Umweltinformationssystem (BUIS) Umberto ausgewählt. Es bietet mit der Modellierung des Stoffstromnetzes als Petri-Netz die notwendigen methodischen Grundlagen, um zustandsbezogene Größen mit Periodenbezogenen zu kombinieren (Jürgens et al. 2002). Die Version 4.0 stellte den damals aktuellen Entwicklungsstand der Software dar und zeichnete sich durch einen angemessenen Funktionsumfang aus. Das BUIS Umberto ist ein marktgängiges Produkt und wird im Bereich der IT-Unterstützung des Stoffstrommanagements häufig eingesetzt. Gerade im Hinblick auf die Kostenrechnung bot es zum Anwendungszeitpunkt die größten Funktionalitäten aller auf dem Markt befindlichen BUIS. Die Abbildung 2 ist eine mögliche Einteilung des BUIS Umberto in dem morphologischen Kasten nach Rey und Schnapperelle (1999) grau hinterlegt.

Merkmalskategorie	Ausprägung							
Unternehmensziel	EMAS/ISO-Zertifizierung		Umweltoptimierung/Ökoeffizienz		Erfüllung gesetzlicher Auflagen		Darstellung der Umweltleistung	
Einsatzbereich	Abfallwirtschaft	Gewässerschutz	Emissionsschutz	Energiemanagement	Gefahrstoffmanagement	Stoffdatenverwaltung	Anlagenverwaltung	Stoffstrommanagement
Aufgaben	Berichterstattung (intern/extern)	Unterstützung von Prozessplanung	Unterstützung von Prozesssteuerung	Unterstützung von Prozessüberwachung	Vorgehensunterstützung Leitfaden	Informationsschnittstelle (intern/extern)	Organisationsunterstützung	Umweltbilanzierung
Funktionalität	Analyse	Modellierung	Simulation	Monitoring zeitnah	Dokumentmanagement	Reportgenerator	Workflow-Komponenten	
Systemgrenze	Bereich/ Unternehmen			Prozess		Produkt/ LCA		

Abbildung 2 Ausprägung der Software Umberto im morphologischen Kasten für BUIS

Das Stoffstrommodell bildete die wesentlichen Produktionsprozesse der Steckzungenfertigung wie Stanzerei, Härterei, Galvanik und Spritzguss Kunststoff in Teilmodellen ab (siehe Abbildung 3). Weitere Abbildung befinden sich im Anhang 11.1.

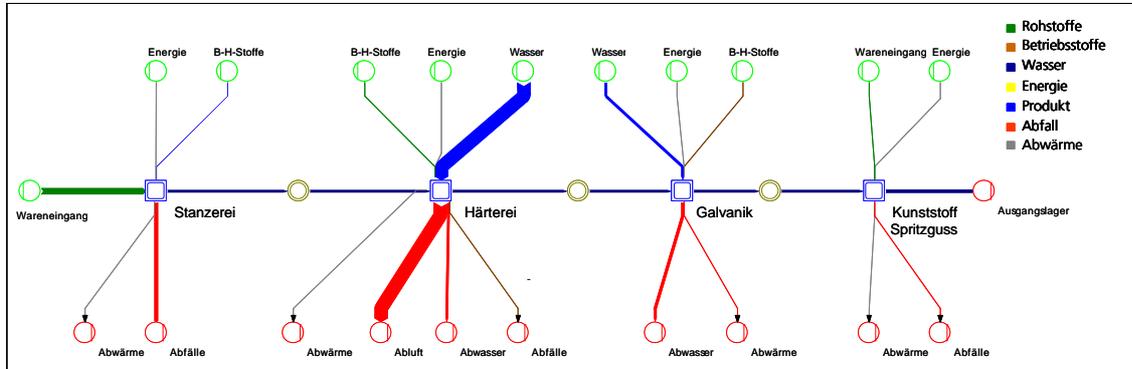


Abbildung 3 Sankey-Diagramm der Massenstoffströme [kg] der Steckungenfertigung, normiert auf 1.000 Stück, erstellt mit Umberto

Auswertung des Stoffstrommodells

Abbildung 4 zeigt eine die prozessbezogene Mengenbilanz für Masse (kg) und Energie (kWh).

Input:		Output:	
	Menge Einheit		Menge Einheit
Stanzerei: Stanzen			
3 Güter		3 Güter	
3.1 Rohstoffe		3.3 Betriebsstoffe	
3.1.1 Eisenmetalle		3.3.1 Schmiermittel, Öle, Fette	
Bandstahl	(G) 99,59 kg	Hydrauliköl	(N) 0,00 kg
3.3 Betriebsstoffe		Stanzöl	(G) 1,13 kg
3.3.1 Schmiermittel, Öle, Fette		3.8 Zwischenprodukte	
Hydrauliköl	(N) 0,02 kg	Steckzunge gestanzt (ölig)	(G) 71,95 kg
Stanzöl	(G) 1,13 kg	8 Abfälle	
6 Energie		8.3 Abfälle zur Verwertung	
Strom	0,01 kWh	Stanzabfälle	(B) 57,09 kg
		Stanzreststreifen und Stanzgitter	0,01 kg
		9 Emissionen	
		Abwärme	(B) 0,01 kWh
Stanzerei: Waschen			
3 Güter		3 Güter	
3.8 Zwischenprodukte		3.3 Betriebsstoffe	
Steckzunge gestanzt (ölig)	(G) 41,95 kg	3.3.1 Schmiermittel, Öle, Fette	
4 Wasser		Stanzöl	(G) 0,70 kg
Prozesswasser Stanzerei	(G) 100,60 kg	3.8 Zwischenprodukte	
Wasser (Entionisiert)	(N) 15,09 kg	Steckzunge gestanzt	(G) 41,25 kg
6 Energie		4 Wasser	
Strom	(G) 0,01 kWh	Prozesswasser Stanzerei	(G) 100,60 kg
		8 Abfälle	
		8.3 Abfälle zur Verwertung	
		Öl-Wassergemisch	(N) 1,11 kg
		9 Emissionen	
		Abwärme	(B) 0,01 kWh
Stanzerei: Adsorptionsfiltration			
3 Güter		3 Güter	
3.3 Betriebsstoffe		3.3 Betriebsstoffe	
3.3.1 Schmiermittel, Öle, Fette		3.3.2 Reinigungsmittel	
Stanzöl	(G) 0,70 kg	Filter Adsorptionsfiltration Stanzerei	(G) 0,71 kg
3.3.2 Reinigungsmittel		4 Wasser	
Filter Adsorptionsfiltration Stanzerei	(G) 0,01 kg	Prozesswasser Stanzerei	(G) 100,60 kg
4 Wasser			
Prozesswasser Stanzerei	(G) 100,60 kg		

Abbildung 4 Prozessbezogene Stoffstrombilanz für den Prozess Stanzerei mit den Teilprozessen Stanzen, Waschen und Adsorptionsfiltration

Auf der Basis des Stoffstrommodells in dem BUIS Umberto wurden verschiedene Auswertungen vorgenommen. Neben einer mengenmäßigen Auswertung der Stoffströme anhand der Massen (kg) sowie der Energie (kWh) wurde auch eine Kostenanalyse der Stoffströme durchgeführt. Hierzu wurden die Materialkosten in das Modell integriert, um somit den Materialwert der Abfallströme mit anzeigen zu können (Abbildung 5).

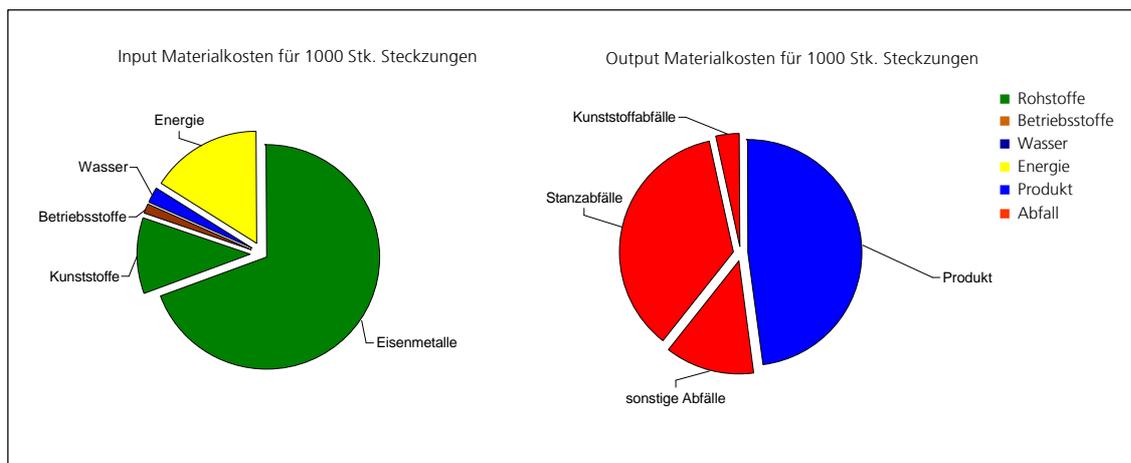


Abbildung 5 Gegenüberstellung der eingesetzten Materialkosten und deren Verbleib in Produkt und Abfall für 1000 Stk. Steckungen

7.2.1.3 Bewertung des Ansatzes

Mit Hilfe des Stoffstrommodells konnten, entsprechend des Detaillierungsgrades der Datengrundlage, sowohl prozess- wie auch produktbezogene Bilanzen erstellt werden (siehe Abbildung 4). Weiter bot die Kategorisierung der einzelnen Materialien in dem Materialbaum in Umberto die Möglichkeit, die bilanzierten Mengen innerhalb eines Ökokontenrahmens nach Stahl, Kunststoff, Energie, Wasser, Hilfs- und Betriebsstoffe etc. bilanzieren zu können. Jedoch muss zu der einmaligen Stoffstromanalyse unter dem Blickwinkel einer dauerhaften Integration zusammengefasst werden, dass

- die Datenbeschaffung sehr aufwändig, personalintensiv und fehlerbehaftet war – und zwar sowohl hinsichtlich der generellen Verfügbarkeit von Daten über Input- und Outputströme, als auch hinsichtlich der Übertragung der Daten in ein geeignetes Format, um sie einfach und schnell in das Stoffstrommodell einbinden zu können. Somit waren Daten für eine systematische Erfassung nicht ausreichend verfügbar.

- das Modell aufgrund fehlender Daten stark vereinfacht werden musste, um auswertbare Resultate zu erzielen. Damit konnte aber die erhoffte detaillierte Darstellung der Stoffströme, die ja wesentlich von der Struktur und Feinheit des Modells abhängt, nicht erzielt werden.
- mit den oben genannten Einschränkungen die Nutzbarkeit für ein integriertes Stoffstrommanagement eingeschränkt ist. Dies umfasste in diesem Praxisbeispiel sowohl die Frage der Datenverfügbarkeit, als auch der notwendigen organisatorischen Prozesse, um Daten in ein Stoffstrommodell dauerhaft und aktuell einbinden zu können.

Die Produktion bei TRW ist gekennzeichnet durch ein geringteiliges Erzeugnis, fehlender Prozessvariation und durchgängiger oder synthetischer Produktion (siehe Kapitel 7.1, sowie Einteilung bei Dyckhoff 2000) Die Produktion der Steckzunge besteht aus vier Arbeitsschritten (vgl. Abbildung 3) Stanzen, Härten, Vergüten und Spritzgießen, die in ihrem Ablauf nicht frei kombinierbar sind, sondern vielmehr in einer festen Reihenfolge ablaufen. Weiter ist davon auszugehen, dass, da es sich um eine Massenproduktion handelt, die Prozesse weitgehend „eingespielt“ sind und insgesamt die Bereitschaft, einen Prozess zu ändern, eher als gering einzustufen ist. Dies vor dem Hintergrund, dass es sich bei den produzierten Gütern – Airbags und Sicherheitsgurtsysteme – um Produkte mit allerhöchsten Qualitätsstandards handelt. Das heißt, die einzelnen Prozessschritte erreichen in ihrem gegenwärtigen Stand hohe Qualitätsanforderungen, ein Änderung in den Prozessen muss die gleichen Anforderungen und Qualitätstest erfüllen. Diese Produktionsstruktur – ein geringteiliges Erzeugnis, fehlender Prozessvariation und durchgängiger oder synthetischer Produktion – ist in der Automobilzulieferindustrie häufig anzutreffen, sodass die Erfahrungen bei der Anwendung von Modellierungsmethoden zur regelmäßigen Berechnung von Stoffströmen generalisiert werden können.

Die exemplarische Anwendung von Modellierungsmethoden zur Berechnung der betrieblichen Material- und Energieströme bei TRW zeigt, dass der Aufwand für die Erfassung prozessbezogener Daten in der Automobilzulieferindustrie mit einem sehr hohen und letztendlich nicht vertretbaren Aufwand verbunden ist. Die Gründe hierfür liegen sowohl im Bereich der Informationssysteme als auch im organisatorischen Bereich:

- Es fehlt die Bereitstellung prozessrelevanter Daten in IT-Systemen (z. B. eine BDE) und durch Messapparaturen wie Was-

ser- und Energiezähler, die als Datengrundlage systematisch und dauerhaft für die Berechnung der Stoffströme genutzt werden können, um im Sinne der Bilanzierung der geforderten Vollständigkeit, Stabilität im Zeitablauf und Transparenz zu genügen (Adam 2001).

- Das Prozesswissen ist nicht detailliert mit Stoffströmen auf Einzelprozessebene vorhanden, als dass mit wenigen Annahmen und unter zur Hilfenahme von Prozessspezifikationen, bspw. Verbrauch an Hilfs- und Betriebsstoffen, das Stoffstrommodell berechnet werden kann. Die Arbeitspläne enthalten nicht die notwendigen Informationen, um die Input- und Output-Bilanz des Stoffstrommodells auf Ebene des Einzelprozesses hinreichend genau aufstellen zu können und sind damit für eine Stoffstromauswertung nicht nutzbar.

Die exemplarischen Anwendung der Stoffstrommodellierung bestätigte, dass das Vorgehen der Stoffstrommodellierung einer besonderen Steuerung und Betreuung auf organisatorischer Ebene durch so genannte Promotoren bedarf, um zielgerichtet die Methode der Stoffstromanalyse in das Unternehmen zu integrieren (vgl. Promotorenmodell von Hauschildt 1997). Die Methode der Stoffstrommodellierung erfordert eine hohe Methodenkenntnis und fachliches Wissen, um die Relevanz und Signifikanz betrieblicher Stoffströme bewerten zu können. Der ganzheitliche und integrative Aspekt der Stoffstrommodellierung erfordert die Fachkunde, um den Prozess der Datenerfassung aktiv und intensiv zu fördern. Aus diesem Grund ist für eine dauerhafte Integration des Stoffstrommanagement eine händische Datenerfassung zu vermeiden, um Fehler zu vermeiden, und um einen sicheren Geschäftsprozess zu gewährleisten.

7.2.2 Konzeptentwicklung zur Berechnung von Stoffströmen basierend auf ERP-Daten

7.2.2.1 Ausgangssituation im Unternehmen

Parallel zu der Anwendung der Modellierungsmethode zur Berechnung von Stoffströmen wurde bei TRW ebenfalls untersucht, in wie weit Daten aus dem ERP-System SAP R/3 für die Stoffstrombilanzierung ausgewertet werden können.

Bei TRW wurde eine gute Ausgangssituation für die Nutzung von SAP-Daten gefunden. So existiert eine sehr detaillierte Kostenstellenstruktur, die teilweise bis auf Maschinenebene reicht. Damit sind beschaffte Teile der Kostenstelle und Produktion zuordenbar. Weiter werden die folgende Aspekte aus Sicht einer verursachergerechten, zeitbezogenen Verbrauchsmengenberechnung für Materialien über Beschaffungsmengen als hilfreich angesehen:

- die Lagerhaltung bei TRW ist sehr gering, sodass allein die Materialeingangsbuchungen in das Lager in sehr guter Näherung und zeitnah – unter Berücksichtigung der Buchungsart – den Verbrauch repräsentieren.
- die Materialverluste sind prognostizierbar – im wesentlichen sind dies Stanz- und Kunststoffabfälle (siehe Abbildung 5) – sowie auf wenige Abfallarten beschränkt, deren Herkunft leicht einem Prozess (Stanzen, Härten, Galvanik, Spritzgießen) zugeordnet werden kann.
- die sehr hohe Stückzahl der gefertigten Produkte führt dazu, dass geringe Einzelabweichungen für die Gesamtbetrachtung nicht mehr relevant sind.
- Direktmaterialien (Serienmaterial, Hauptrohstoffe) und Indirektmaterialien (Hilfs- und Betriebsstoffe) werden in den Materialstammdaten mit direktem Bezug zu einem Profit Center/ Produkt geführt, sodass eine Zuordnung der Verbrauchsmenge zu einer Verursacherstelle möglich ist.

Die Berechnung von Verbrauchsmengen wie Wasser und Energie ist über einen Verteilungsschlüssel prinzipiell möglich, der für die Allokation der Material- und internen Leistungskosten verwendet wird. Dieser Schlüssel ist statisch und basiert auf Energieverbrauchsanalysen und Berechnungen über den theoretischen Leistungsbedarf und -aufnahme einzelner Maschinen. Mit Hilfe dieses Schlüssels werden ebenfalls Kosten für „Recycling, Environment, Health & Safety, Plant Maintenance“, Entsorgungskosten, Reststoff Erlöse sowie Kosten für die Nacharbeit den entsprechenden Kostenstellen in der Kostenstellenrechnung zugewiesen.

Für das Lager wird in einem Bestandskonto der Wareneingang gebucht. Aus dem Bestandskonto wird über den Arbeitsplan, der Stückliste und den Fertigungsauftrag bei Materialentnahme das entnommene Material auf das Profitcenter gebucht (retrograde Buchung, siehe Wöhe 2002).

Informationen über Materialverwendung enthalten die folgenden Listen und Dokumente:

- Die Strukturstückliste (für den Bereich der Fertigung) enthält alle Komponenten mit Mengen, die in das Produkt einfließen,
- Die Baukastenstückliste (für den Bereich der Montage) beinhaltet die Zuordnung der Bauteile zum Produkt, Teile können zugekaufte (Kaufteil) oder selbst produzierte Teile sein.
- Die Arbeitspläne zeigen jeweils den Bedarf an Materialien auf und ermöglichen eine ökonomische Bewertung des Zwischenprodukts.
- Der Materialstamm enthält Informationen über sämtliche Materialien, die durch das Unternehmen beschafft, gefertigt, gelagert und verkauft werden.

Die Hilfs- und Betriebsstoffe sind in dem Materialstamm nicht enthalten, alle Indirektmaterialien werden über eine Bestellanforderung (BANF) getätigt. Die BANF wird in der Finanzbuchhaltung den Kostenarten zugeordnet. Die nicht zuordenbaren Kosten z. B. für Öl, Strom, Wasser gehen auf die Meister-Kostenstelle, alle zuordenbaren Hilfs- und Betriebsstoffe und bspw. Reparaturen gehen direkt auf die Maschinenkostenstelle. Darüber hinaus gibt es bei TRW einen Warengruppenschlüssel für jedes Material im Materialstamm, der zwar geführt, aber unzureichend gepflegt wird.

7.2.2.2 Exemplarische Bereitstellung von SAP R/3-Daten

In einem ersten Schritt wurden SAP R/3-Daten exemplarisch in Excel-Tabellen bereitgestellt und als Grundlage für die weitere Konzeptentwicklung verwendet. Es handelte sich hierbei um den Teileumschlag, gekaufte Teile, produzierte Mengen der ZSB-Produkte (Fertigteile für Zusammenbau) und produzierten Teile pro Profitcenter, Strukturstücklisten am Beispiel von zwei Standardprodukten sowie den Kostenartenschlüssel. Abbildung 6 zeigt eine erste „grobe“ Bilanz der Input- und Outputströme für zwei Profitcenter.

Input		Output	
3. Güter		3.5 Verpackungen	
3.1 Rohstoffe		3.5.2 Verpackungen der Outputs	1.580,40 kg
3.1.1 Eisenmetalle		3.9 Produkte	3.997.854,93 kg
	Stahl 6.995.648,00 kg	8. Abfälle	
3.1.3 Kunststoff	1.535.772,13 kg	8.2 Abfälle zur Beseitigung	
3.1.4 Farben	1.104,00 kg		
3.5 Verpackungen		8.3 Abfälle zur Verwertung	
3.5.2 Verpackungen der Outputs	1.663,58 kg		Schleifschlamm 174.891,20 kg
			Stahl 4.057.475,84 kg
			Kunststoff 476.089,36 kg
gesamt	8.534.187,71 kg	gesamt	8.707.891,73 kg

Abbildung 6 Erste „grobe“ Stoffstrombilanz für die Profitcenter „Metall“ und „Plastik“ – basierend auf SAP R/3-Daten, Bilanzzeitraum Mai - Dezember 2001

Weiter wurde der existierende Warengruppenschlüssel dahingehend untersucht, ob eine Kategorisierung und Bilanzierung innerhalb eines Ökokontenrahmen möglich ist. Zwar wird der Warengruppenschlüssel für jedes Material im Materialstamm geführt, aber unzureichend gepflegt.

Eine Analyse der Abfalldaten ergab, dass Informationen zu Mengen und Kosten bzw. Reststofflösen weder in der notwendigen Detaillierung, noch in elektronischer Form vorlagen, sondern vielmehr Abfallrechnung bisher händisch ausgewertet werden mussten.

7.2.2.3

Entwicklung von Stoffstrom-Auswertungsfunktionen in SAP R/3

Auf der Grundlage der bereitgestellten Informationen aus dem SAP R/3-System wurde ein Konzept entwickelt, welches die Bilanzierung von Input- und Outputströmen auf der Basis von SAP R/3-Daten und eine regelmäßige Generierung der Basisdaten über einen automatischen Report in SAP R/3 vorsieht. Hierzu wurden die folgenden zwei Umsetzungsaspekte für notwendig erachtet (Abbildung 7):

- Erweiterung bzw. Anpassung der Datenbasis im SAP R/3-System, um zukünftig stoffstromrelevante Informationen ERP-integriert mit auswerten zu können.
- Anpassung der Funktionalitäten im SAP R/3-System, um zukünftig stoffstromrelevante Daten auslesen zu können.

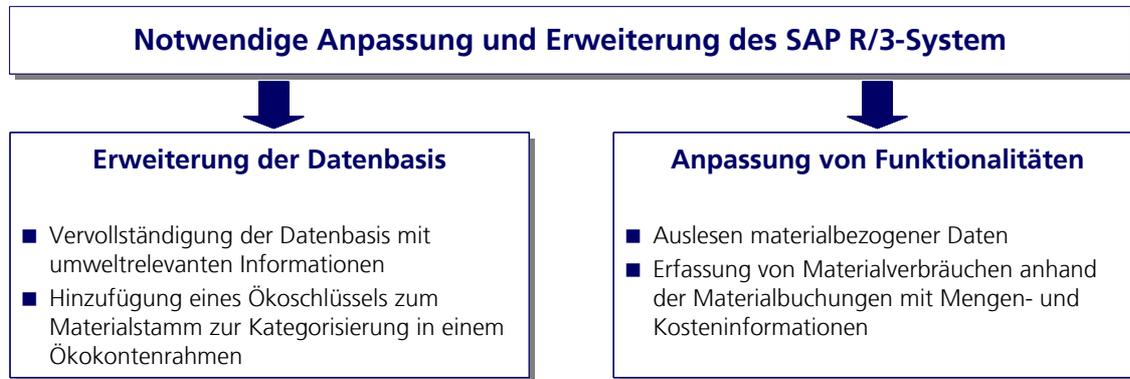


Abbildung 7 Notwendige Anpassungen und Erweiterungen des SAP R/3-Systems

Auf der Grundlage der bereitgestellten SAP R/3-Daten wurden Auswertungsfunktionen entwickelt, die eine Berechnung von Stoffstrombilanzen ermöglichen sollen. Durch deren Anwendung auf zur Verfügung gestellten Daten aus dem Jahr 2001 wurde die Umsetzbarkeit evaluiert. Die Evaluierung umfasste die folgenden drei Schritte:

Analyse der Daten zur Berechnung einer Input-Output Bilanz

Es wurde der Warengruppenschlüssel daraufhin geprüft, ob er für eine Gruppierung nach Konten in einer Input-Output-Bilanz nutzbar ist oder nicht. Ziel ist es, anhand der gesamten Beschaffungsmengen von Direkt- und Indirektmaterial nach Warengruppen eine Gesamtbilanz aufzustellen. Anhand dieser Bilanz könnten umweltbezogene Kennzahlen und eine vereinfachte Input-Output-Analyse erstellt werden.

Innerhalb TRW Alfdorf wird der Warengruppenschlüssel nicht verwendet. Dies ist ein Grund, warum der Warengruppenschlüssel für eine Verwendung als Ökokontenrahmen ungeeignet ist. Weiter ist die Einteilung an manchen Stellen zu unspezifisch, um eine saubere Trennung und eindeutige Identifizierung zu ermöglichen.

Analyse der Daten zur Berechnung von prozessbezogenen Stoffströmen

Es wurden die Informationen im Materialstamm und die Materialbuchungen im ERP-System dahingehend geprüft, ob eine Zuordnung von verbrauchten Materialien zu den Profit Center eindeutig möglich ist. Eine Zuordnung von Direktmaterialumschlag zu Profitcenter ist aufgrund der 1:1-Beziehung im Materialstamm und im Inventarverzeichnis mög-

lich. Eine Zuordnung der Indirektmaterialien auf die Profitcenter kann über die BANF (Bedarfsanforderung) realisiert werden.

Die mengen- und wertmäßige Zuordnung des Wasser- und Energieverbrauchs kann mit Hilfe eines bereits bestehenden Allokationsschlüssel geschehen, allerdings ist dieser Schlüssel statisch und berücksichtigt nicht etwaige Ausfälle oder Änderungen in der Produktion. Dieser Schlüssel wird nicht im ERP-System geführt, sondern basiert vielmehr auf einmaligen Auswertungen und Messungen sowie Berechnungen zur Leistungsaufnahme von Maschinen.

Analyse der Daten zur Berechnung von produktbezogenen Stoffströmen

Zur Allokation von Stoffströmen auf das Produkt wurde untersucht, in wie weit Stücklisten als Grundlage für die Zuordnung herangezogen werden können. Über die Kenntnis der in einem Profitcenter verbrauchten Materialien kann ebenfalls eine Zuordnung zu einem Produkt hergestellt werden. Allerdings ist diese Art der Zuordnung wesentlich von der Güte der Stückliste und deren Vollständigkeit abhängig. Zusätzlich müssen die jeweiligen Stücklisten der einzelnen Produkte den selben Detaillierungsstand und Struktur haben, um untereinander vergleichbar zu sein. Damit ist es fraglich, ob über eine Auswertung der Stücklisten eine aussagekräftige produktbezogene Materialbilanz erstellt werden kann, zumal wichtige Hilfs- und Betriebsstoffe wie Wasser und Energie, aber auch Abfall in der Stückliste nicht geführt werden.

Allerdings handelt es sich bei dem betrachteten Produkt um ein Erzeugnis einer Massenproduktion mit wenigen Prozessschritten und Rohmaterialien. Dies führt zu einem Größeneffekt, d. h. kleine Schwankungen wie beispielsweise das Einspannen des Bandstahls in der Stanze, wodurch bestimmt wird, wie groß der nicht verwendete Anfang des Stahlbandes ist, werden im Prozess kaum erfasst bzw. wirken sich nur unmerklich auf die Gesamtbilanz aus. Jedoch werden Fehler im Prozess, die zu einem uneffizienten Energie- und Wasserverbrauch führen, erkannt und in der Bilanz ausgewiesen.

Um Stücklisten prinzipiell – unabhängig ihres Detaillierungsgrades und Aussagekraft – auswerten zu können, müssen folgende Punkte erfüllt sein:

- Die tatsächlichen Produktionsmengen pro Bauteil in den Profitcentern werden benötigt, um anhand der Stücklisten den Gesamtverbrauch hochrechnen zu können.

- Die Strukturstücklisten der Produkte müssen die Bauteile als „Knoten“ beinhalten, um auch die Bauteile nach Einzelkomponenten aufsplitten zu können.

Über die Strukturstückliste und die Produktionsmenge kann dann der theoretische Bedarf an Beschaffungsteilen bestimmen (Soll) werden. Gleichzeitig liegt der Ist-Stand der beschafften Teilen vor und kann umgekehrt über die Strukturstückliste den Produkten zuordnet werden. Mit der Information über die tatsächlichen Produktionsmengen kann eine Aussage darüber gemacht werden, wie viele Teile pro Produkt „verbraucht“ (=beschafft) worden sind und eine Abweichung zwischen Soll und Ist pro Profitcenter kann errechnet werden.

7.2.2.4

Konzeptentwicklung und Umsetzung im SAP R/3-System

Aufbauend auf der Analyse der Datengrundlagen im SAP R/3-System bei TRW und deren Verwendung für eine kontinuierliche Stoffstrombilanzierung wurde für TRW Alfdorf ein Konzept entwickelt, welches:

- eine Transparenz der Materialflüsse und -kosten erlaubt,
- die Umweltrelevanz von Materialien berücksichtigt und eine Einordnung in einen Bilanzierungskontenrahmen ermöglicht,
- Umweltaspekten in Entscheidungsprozesse integriert, d. h. die Bilanzierung muss entsprechende Fragestellungen berücksichtigen und
- eine weitgehend automatisierte, einfache und systematische Datenerfassung erlaubt.

Hierzu musste insbesondere die Eingabe bisher informationstechnisch nicht weiter erfasster Abfall-Daten in SAP R/3 ermöglicht werden und die Datenbasis in SAP R/3 ergänzt werden, um die bewegten und gebuchten Materialien in einen Ökokontenrahmen einordnen zu können. Weiter soll zu einem späteren Zeitpunkt der Verteilungsschlüssel für den Bezug elektrischer Energie dynamisiert werden, um den Stromverbrauch verursachungsgerecht den einzelnen Bereichen zuordnen zu können.

Das Konzept umfasst Anpassungen und Änderung hinsichtlich der Abfalldaten, der Abfragefunktionalitäten im SAP R/3-System, sowie der Materialstammdaten. Dies wird im Folgenden detailliert vorgestellt:

Integration von Abfalldaten in das SAP R/3-System

Durch die Zuordnung einer Abfallkategorie zu den einzelnen Positionen der Entsorgerrechnungen bei der Erfassung in der Finanzbuchhaltung wurde die Grundlage für eine automatisierte Erstellung einer Abfallbilanz geschaffen.

Zukünftig werden die Entsorgerrechnung dahingehend detailliert, dass die Abfallarten (Stanzabfälle, Gewerbeähnlicher Hausmüll, etc.) mit einer Abfallkategorie eindeutig gekennzeichnet sind. Diese Abfallkategorie wird bei der Rechnungseingabe für jede Position in einem neuen Feld im SAP R/3-System eingegeben, zusätzlich werden für jede Abfallkategorie die Entsorgungskosten nach „Entsorgung“, „Transport“ und „Miete“ bzw. die entsprechende Gutschrift aufgeschlüsselt. Tabelle 4 zeigt die Merkmale, die zukünftig bei Rechnungseingabe in zum Teil neuen Eingabefeldern erfasst werden. Diese Daten stehen dann für eine Abfallauswertung und -bilanzierung zur Verfügung.⁷

Tabelle 4 Mit der Buchung von Entsorgerrechnungen zur erfassende Merkmale

Merkmale	Beschreibung	Muss- bzw. Kann-Feld	
Kosten	Für die Entsorgung anfallende Kosten/ Gutschrift mit den Kostenarten „Entsorgung“, „Transport“ und „Miete“.	●	
Buchungsdatum	Datum der Verbuchung der Rechnung	●	
Menge	Umfang des abgeholt Abfalls	●	
Mengeneinheit	Einheit zur Mengenangabe (kg)	●	
Abfallkategorie	Hierarchische Zuordnung anfallender Abfälle zu Haupt- und Unterkategorien	●	
Zeitpunkt der Abholung	Zeitpunkt der Abholung ist bei der zeitlichen Abgrenzung der Bilanz notwendig	●	
Bezug zu Profit Center	Bezüge zu Organisationseinheiten lassen eine verursachergerechte Zuordnung der Abfälle zu und ermöglichen eine entsprechende Transparenz		●
Bezug zu Kostenstelle			●

⁷ Eine Integration der Abfalldaten in das SAP R/3 EH&S „Environmental, Health and Safety“ wurde in diesem Projekt nicht weiter verfolgt, da das Waste-Modul im EH&S bei TRW nicht angepasst ist und der Aufwand für eine Anpassung den Nutzen bei weitem überstiegen hätte.

Zu diesem Zweck wurden TRW-spezifische Abfallkategorien definiert. Diese Kategorien wurden im SAP R/3-System einer EAK-Nummer⁸ und einem Beseitigungs- und Verwertungsverfahren⁹ zugeordnet. Gleichzeitig können eine Vielzahl von Abfallkategorien direkt einem Produktionsprozess zugeordnet werden (Stanzabfälle der Stanzerei, Galvanikschlämme aus der Galvanik etc.).

Tabelle 5 Abfallkategorien (TRW-spezifisch, Auswahl)

Kategorie			Beschreibung
1	0	0	Eisenhaltige Abfälle
1	1	0	Stahl
1	1	0	Stahl-Schrott Versuch
1	1	1	Stanzabfälle
1	1	2	Stanzabfälle gem.
2	0	0	Galvanik
2	1	0	Schlamm
2	1	1	Zink Galvanikschlamm
4	0	0	Papier
4	1	0	Altpapier
5	0	0	Kunststoffe
5	1	0	Folie
5	2	0	Kunststoffe gemischt
6	0	0	Holz
			...

Auf Basis der in das SAP R/3-System integrierten Abfalldaten ist eine quartalsweise Auswertung der über die Entsorgerrechnungen erfassten Daten sowie die Erstellung der Abfallbilanz möglich. Teilweise können die Abfälle direkt dem verursachenden Prozess zugewiesen werden. Eine Kostenaufschlüsselung zeigt die Kosten für die Entsorgung sowie Transport und Miete.

Für die Implementierung der Abfalldatenpflege und deren Integration in das SAP R/3-System wurde ein TRW-spezifisches Ablaufdiagramm entwickelt, welches die einmaligen und kontinuierlichen Tätigkeiten und Aufgaben der unterschiedlich Beteiligten beschreibt und eine organisatorische Verankerung gewährleistet (Abbildung 8).

⁸ Europäischer Abfallkatalog

⁹ Nach Anhang II A und II B des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) in der Fassung vom 27.10.1994

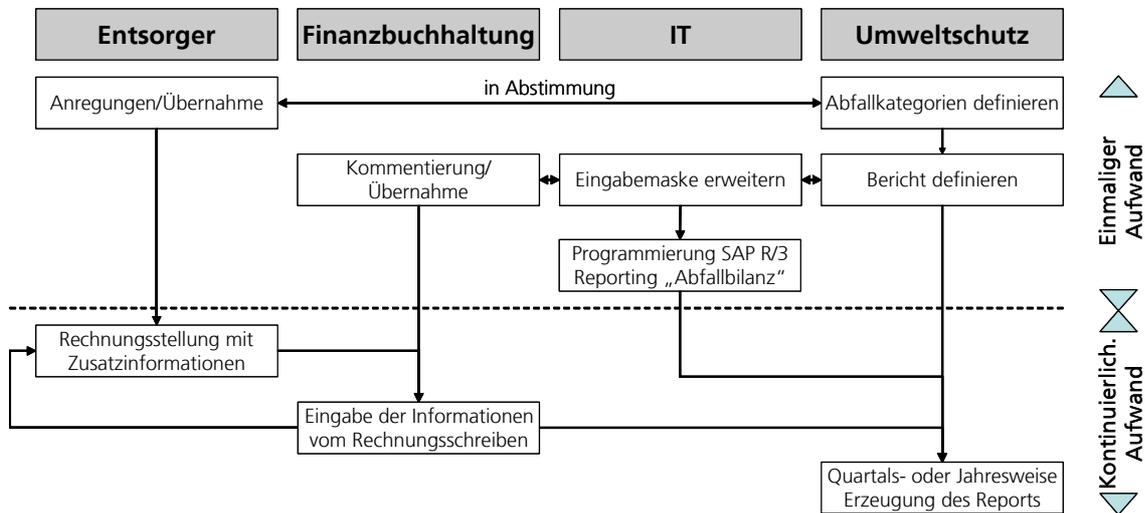


Abbildung 8 Ablauforganisation für die Einführung und Umsetzung der Integration von Abfalldaten in SAP R/3 bei TRW

Implementierung eines Ökoschlüssels im Materialstamm des SAP R/3-Systems

Mit Hilfe des spezifisch für TRW Alfdorf entwickelten Ökoschlüssels können die bilanzierten Stoffströme nach unterschiedlichen Kriterien in der Sachbilanz¹⁰ in einem so genannten Ökokontenrahmen kategorisiert und ausgewertet werden. Zusätzlich werden die Direktmaterialien um umweltrelevante Aspekte, die für eine Steuerung der Unternehmung nach ökoeffizienten Kriterien notwendig sind, ergänzt. Hierfür wurde zusammen mit TRW ein Ökoschlüssel entwickelt und definiert, der diesen Anforderungen genügt. Abbildung 9 zeigt den Aufbau und die Merkmale des TRW-spezifischen Ökoschlüssels. Diese Felder (die Stellen A1 bis A7) werden an jedes Material im Materialstamm angehängt und somit jedem Material bspw. eine Recyclingfähigkeit, oder eine Einteilung in eine Gefahrstoffklasse zugewiesen wird.

¹⁰ Quantifizierte relevante Input- und Outputflüsse eines Produktsystems (nach DIN 14040ff.)

	Material			Recycling		„Umwelteigenschaft“				
Stelle	A1	A2		A5	A6	A3	A4	A7	A8	
Quelle	TRW _{alt}	VDA		Recycl.- Anteil	Recycl.- fähigk.	Gefahrst.	VOC	beschränk. Substanz	weitere	
Auspräg.	vierstellig.	B1	B2	B3	0 - 9	0 - 6	ja/nein	ja/nein	Cr3 bis PVC	...

Abbildung 9 Aufbau und Merkmale des TRW-spezifischen Ökoschlüssels

Mit Hilfe des Ökoschlüssels können die Materialbuchung (Lagereingang) im SAP R/3-System nach den einzelnen Merkmal ausgewertet werden. Neben einer Einordnung in einen Kontenrahmen (Stelle A2) kann beispielsweise der Anteil an eingesetztem Sekundärrohstoffe (Recyclatanteil, Stelle A5) der Gesamtmenge an verbrauchtem Rohmaterial gegenübergestellt werden. Tabelle 6 beschreibt die einzelnen Stellen und Merkmale des TRW-spezifischen Ökoschlüssels.

Tabelle 6 Beschreibung der einzelnen Stellen und Merkmale des TRW-spezifischen Ökoschlüssels

Stelle	Name	Beschreibung
A1	TRW _{alt} / WGS	Der Warengruppenschlüssel (WGS) von TRW wird weiter geführt.
A2	VDA 231-106	Die Stelle A2 dient der eindeutigen Kategorisierung der Rohstoffe (Direktmaterialien und Indirektmaterialien), Zukaufteile, Zwischenprodukte und Produkte in einem Ökokontenrahmen
A3	Recyclatanteil	Die Stelle A3 beschreibt den Anteil an Sekundärrohstoffen im eingekauften Rohstoff. (0 = 0%, ... 9 = 90-100%)
A4	Recyclingfähigkeit	Die Stelle A4 beschreibt die Recyclingfähigkeit der eingesetzten Materialien und basiert auf der TRW Alfdorf-spezifischen Klassifizierung in der Liste Recyclingfähigkeit (0 = „Material kann nicht recycled werden“, 1 = „Material kann direkt recycled werden als Rohstoff/ Rohmaterial für ein Produkt und es existiert ein Markt“ ...)
A5	Gefahrstoffe	Die Stelle A5 klassifiziert das Rohmaterial nach den Kriterien der Gefahrstoffverordnung (§4).
A6	VOC	Die Stelle A6 beschreibt den VOC-Gehalt im Rohmaterial. Das Merkmal hat entweder die Ausprägung „ja“ oder „nein“.
A7	Beschränkte Substanzen	Die Stelle A7 beschreibt den Inhalt von Substanzen im Rohmaterial, deren Einsatz beschränkt ist – hauptsächlich Schwermetalle und Polyvinylchlorid.

Die Stelle A2 dient der eindeutigen Kategorisierung der Rohstoffe (Direktmaterialien und Indirektmaterialien), Zukaufteile, Zwischenprodukte und Produkte in einem Ökokontenrahmen nach dem Materialinhalt (bei

Rohstoffen) oder Funktionalität (Zukaufteile, Zwischenprodukte und Produkte). Als Kontenrahmen wurde die Klassifizierung nach der VDA-Empfehlung 231-106 ausgewählt.¹¹ Die VDA-Klassifizierung ist Grundlage der IMDS-Benennung¹² in der Automobilindustrie und dient der eindeutigen Zuordnung der Werkstoffe und Werkstoffverbundteile in eine überschaubare Struktur und folgenden Zwecken:

- die Vergleichbarkeit unterschiedlicher Fahrzeuge in Hinblick auf die verwendeten Werkstoffe,
- die Ermittlung von Werkstoffanteilen im Hinblick auf die gesetzlich vorgeschriebenen Quoten für die Kraftfahrzeugverwertung und
- die Einstufung der Werkstoffangaben aus dem „Materialdatenblatt“ für Bauteile durch die Lieferanten.

Abfragefunktionalitäten im SAP R/3-System

Für die Standortbezogene Bilanzierung werden Materialbuchungen im SAP R/3-System zwischen Lager und den einzelnen Profit Center und Kostenstellen ausgelesen und zusammengestellt. Damit werden verschiedenen Methoden der Buchungen integriert: die Skontrationsmethode und die Inventurmethode (Wöhe 2002). Mit den Abfragen sollen zukünftig bei TRW im einzelnen die folgenden Stoffströme erfasst werden:

- Rohstoffe (Direktmaterial),
- Hilfs- und Betriebsstoffe (Indirektmaterial ohne Energie),
- Energie/ Strom (Indirektmaterial),
- Verbrauchsmedien Heizöl, Wasser (Indirektmaterial),
- Abfall,
- Zukaufteile,
- Zusammenbauteile und

¹¹ VDA-Empfehlung 231-106: Werkstoffklassifizierung im Kraftfahrzeugbau – Aufbau und Nomenklatur, Januar 1997

¹² IMDS ist das Materialdatensystem der Automobilindustrie in dem alle im Fahrzeugbau verwendeten Werkstoffe archiviert und verwaltet werden (vgl. http://www.mdsystem.de/html/de/home_de.htm)

- Produkte.

Die Stoffströme werden jeweils mit Bezug zu einem Zeitpunkt/ Zeitraum, einem Verursacher (Profit Center, Kostenstellen – Bezug zu der Unternehmensstruktur), mit Mengen und Kosten ausgelesen. Weiter dienen die Bewegungsarten bei TRW dazu, die Buchungen nach

- Zugang,
- Verbrauch,
- Abgang und
- Inventurdifferenz

einzuteilen, um die Input- und Outputbilanz für den Standort aufstellen zu können. Die gebuchten Materialbewegungen werden anhand der Bewegungsarten im SAP R/3-System bei TRW Alfdorf zusammengestellt. Ziel ist die Auflistung aller Materialbewegungen nach Input- und Outputströmen sowie die Inventurdifferenz, um eine vollständige Bilanz zu erhalten. Hierzu wurden die Bewegungsarten gruppiert und dem Input bzw. Output der Bilanz zugeordnet.

Für die Bilanzierung wurden zunächst drei Abfragen definiert, die das Umweltmanagement aktiv bei deren Aufgaben unterstützen sollen:

- *Sachbilanz*
Die Standardabfrage „Sachbilanz“ erstellt für einen gewählten Unternehmensteil eine Sachbilanz mit Input- und Outputströmen aller im gewählten Zeitraum gebuchten Materialien. Angezeigt werden die Ströme kategorisiert nach Bewegungsart und Ökokontenrahmen mit Mengen und Kosten. Zur Auswahl steht der Zeitbezug (Monat – Quartal – Jahr), der Unternehmensbezug (Profitcenter oder Produktbereich). Anhand der Materialklassifizierung (Stelle A2, Abbildung 9) wird dann die Bilanz erstellt.
- *Überwachung Umweltrelevanz*
Die Standardabfrage „Umweltrelevanz“ zeigt – ebenfalls für einen gewählten Zeitraum – ausgehend von einem ausgewählten Merkmal des Ökoschlüssels (bspw. VOC-Gehalt, Schwermetallanteil, etc.) alle Materialien gruppiert nach diesem Merkmal und mit dem Buchungsort (ProfitCenter), den Mengen und den Kosten an. Damit können bestimmte Materialien besonders über-

wacht werden, sowie auf der Basis eines Problembewusstseins neue Umweltziele aufgestellt werden.

- *Abfallbilanz*
Die Abfallbilanz stellt die Abfallarten nach dem Europäischen Abfallkatalog mit den zugehörigen Mengen und verschiedenen Kosten sowie dem Beseitigungs- oder Verwertungsverfahren¹³ in einer Übersicht zusammen. Dieser Bericht soll quartalsweise für die Umweltschutzabteilung erstellt werden.

7.2.2.5 Bewertung des Ansatzes

Die Aussagekraft einer Stoffstrombilanzierung auf der Grundlage von Materialbuchungen im ERP-System hängt wesentlich von der Qualität und der Vollständigkeit der im ERP-System gepflegten Material- und Buchungsdaten ab. Es ist im Einzelfall zu analysieren, nach welchem Schema und mit welchem Detaillierungsgrad die Materialbuchungen im System vorgenommen werden und ob damit den spezifischen Anforderungen des betrieblichen Stoffstrommanagement genügt werden kann. Die Fertigungsstruktur bei TRW bot eine recht gute Ausgangssituation:

- die Lagerhaltung bei TRW ist sehr gering, sodass allein die Materialeingangsbuchungen in das Lager in sehr guter Näherung und zeitnah den Verbrauch repräsentieren,
- die Materialverluste sind prognostizierbar – im wesentlichen sind dies Stanz- und Kunststoffabfälle (siehe Abbildung 5) – sowie auf wenige Abfallarten beschränkt, deren Herkunft leicht einem Prozess (Stanzen, Härten, Galvanik, Spritzgießen) zugeordnet werden kann und
- Hauptrohstoffe und Hilfs- und Betriebsstoffe werden in den Materialstammdaten mit direktem Bezug zu einem Profit Center/ Produkt geführt, sodass eine Zuordnung der Verbrauchsmenge zu einer Verursacherstelle möglich ist.

Bei dem ERP-integrierten Ansatz konnten bei TRW die Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe relativ einfach für Stoffstromauswertungen herangezogen werden. Wasser- und Energieverbrauch sowie Abfall waren hingegen nicht in dem notwendigen Detaillierungsgrad im System geführt. Deshalb müssten Anpassungen für den Bereich Abfall vorgenommen werden, für den Bereich Wasser und Energie ist die Definition von Allo-

¹³ Nach Anhang II A und II B des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) in der Fassung vom 27.10.1994

kationsalgorithmen geplant – das Problem der Datenverfügbarkeit in diesem Bereich tritt aber auch zutage, wenn mit Hilfe eines Stoffstrommodells die Bilanz erstellt werden soll. Die bei dem Umsetzungspartner TRW im SAP R/3-System notwendigen spezifischen Anpassungen können mit vertretbarem einmaligem Aufwand getätigt werden und erleichtern deutlich das Management bei der kontinuierlichen, aufwandsarme Erfassung und Bilanzierung der betrieblichen Stoffströme.

Der Ansatz, Stücklisten für eine produktbezogene Stoffstromanalyse zu verwenden, ist hingegen kritisch zu bewerten. Stücklisten sind in der Praxis oft sehr fehlerbehaftet oder es fehlen aus Sicht des Stoffstrommanagements wichtige Ströme. Ein durchgängiger Algorithmus zu Stücklistenauflösung über alle Fertigungs- und Dispositionsstufen hinweg ist sehr komplex und bedarf der genauen Auswertung. Häufig wird in der Fertigung von der Stückliste abgewichen, was die Auswertung erschwert. Trotzdem bietet dieser Ansatz einen ersten Schritt, sich im Unternehmen mit den produktbezogenen Stoffverbrauch und Abfällen und der Qualität von Stücklisten auseinander zu setzen. Daraus folgend kann als Teil eines Stoffstrommanagements auch die Materialbuchungen harmonisiert oder die Stücklisten erweitert werden.

Mit dem vorgestellten ERP-integrierten Ansatz sind einige wesentliche organisatorische Nutzeneffekte verbunden:

- Stoffstromauswertungen stehen bei Bedarf unterschiedlichsten Geschäftsprozessen und Unternehmensbereiche in einem System zur Verfügung. Damit wird der direkte Informationszugang wesentlich erleichtert. Die Client-Server-Architektur des ERP-Systems erlaubt die zentrale Datenverwaltung und Eingabe (bspw. Abfalldaten) und eine dezentrale, anwenderspezifische Sicht auf die Informationen. Damit können Stoffstromauswertungen unterschiedlichen Akteuren im Unternehmen bereitgestellt werden. Rollenkonzepte unterstützen dabei die nutzerspezifische Bereitstellung und fördern die Integration umweltrelevanter Fragestellungen in die betrieblichen Abläufe.
- Mit der ERP-integrierten Anwendung kann eine redundante Datenhaltung, bspw. für die Kostenstellenstruktur oder die Materialbuchungen, vermieden werden. Von Vorteil ist in diesem Zusammenhang, falls das ERP-System im Unternehmen bereits für Teilaufgaben des operativen Umweltmanagement, Gefahrstoff- oder Abfallmanagement eingesetzt wird. Damit können bereits

Umweltinformationen über Abfälle oder Gefahrstoffe im System gepflegt sein und ebenfalls Verwendung finden.

- Die gewonnene Vertrautheit im Umgang und der Anwendung mit dem ERP-System kann zu einer größeren Akzeptanz und Nutzbarkeit der Stoffstrom-Funktionalitäten durch die Mitarbeiter im Unternehmen führen. Allerdings ist bisher der Einsatz von ERP-Systemen im Umweltmanagement in der Praxis auf wenige Fragestellungen, bspw. Gefahrstoff- und Abfallmanagement oder Arbeitssicherheit beschränkt.

7.2.3 Zusammenfassung und Fazit

Im Rahmen des Vorhabens wurden zwei grundsätzlich unterschiedliche Methoden zur Herangehensweise und Einführung eines Stoffstrommanagements intensiv beforscht und umgesetzt:

- Anwendung von Modellierungsmethoden zur Berechnung von Stoffströmen und
- Auswertung von ERP-Daten zur Berechnung von Stoffströmen.

Mit Hilfe der Modellierungsmethoden konnte für TRW auf der Grundlage eines in einem BUIS erstellten Stoffstrommodell sowohl prozess- wie auch produktbezogene Bilanzen erstellt werden (siehe Abbildung 4). Jedoch zeigt die exemplarische Modellierung eines Beispielprodukts, dass die Datenbeschaffung sehr aufwändig, personalintensiv und fehlerbehaftet war. Dies betraf sowohl die generelle Verfügbarkeit von Daten über Input- und Outputströme, als auch die Übertragung der Daten in ein geeignetes Format, um sie einfach und dauerhaft in das Stoffstrommodell einbinden zu können. Das Modell musste aufgrund fehlender Daten stark vereinfacht werden, um auswertbare Resultate zu erzielen. Damit konnte aber die erhoffte detaillierte Darstellung der Stoffströme, die ja wesentlich von der Struktur und Feinheit des Modells abhängt, nicht erzielt werden.

Somit musste abschließend erkannt werden, dass mit den oben genannten Einschränkungen hinsichtlich Datenverfügbarkeit und Integration in das Stoffstrommodell die Anwendbarkeit für ein integriertes Stoffstrommanagement bei TRW eingeschränkt war. Dies umfasste in diesem Praxisbeispiel sowohl die Frage der Datenverfügbarkeit, als auch der notwendigen organisatorischen Prozesse, um Daten in ein Stoff-

strommodell dauerhaft und aktuell einbinden zu können. Der Aufwand für die Erfassung prozessbezogener Daten war mit einem sehr hohen und letztendlich nicht vertretbaren Aufwand verbunden. Die Gründe hierfür liegen sowohl im Bereich der Informationssysteme als auch im organisatorischen Bereich: Zum einen fehlt die Bereitstellung prozessrelevanter Daten in IT-Systemen (z. B. eine BDE) und durch Messapparaturen wie Wasser- und Energiezähler, die als Datengrundlage systematisch und dauerhaft für die Berechnung der Stoffströme genutzt werden könnten. Zum anderen war das Prozesswissen nicht detailliert mit Stoffströmen auf Einzelprozessebene vorhanden, als dass mit wenigen Annahmen und unter zur Hilfenahme von Prozessspezifikationen, bspw. Verbrauch an Hilfs- und Betriebsstoffen, das Stoffstrommodell hätte berechnet werden können.

Allerdings unterstützte das gezeichnete Stoffstromnetz das Verständnis über die Produktionsstruktur und die Prozessabläufe. Mit Hilfe des Modells konnte eine gemeinsame Sprache und ganzheitliche Sicht auf die betrieblichen Stoffströme gewonnen werden. Zudem hob das Modell die zu erfassenden relevanten Stoffströme hervor. Das berechnete Stoffstrommodell bestätigte dann auch die These, dass Materialverluste prognostizierbar sind. Somit diente es der Sensibilisierung und Verdeutlichung der Beteiligten für die Anforderungen und Herangehensweisen eines betrieblichen Stoffstrommanagement. Diese Erfahrung stützt die angepasste Zielformulierung für die Entwicklung des web-basierten Unterstützungssystems MAX (Kapitel 7.3): Demnach soll der interessierte Anwender an die Thematik des betrieblichen Stoffstrommanagements herangeführt werden, indem ihm die Möglichkeit gegeben wird, die Produktionsabläufe seines Unternehmens grob zu modellieren und dabei vor allem auch Abfälle, Energiebedarfe, Betrieb- und Hilfsstoffe mit aufzunehmen.

Die Produktion bei TRW ist gekennzeichnet durch ein geringteiliges Erzeugnis, fehlender Prozessvariation und durchgängiger oder synthetischer Produktion. Die Produktion der Steckzunge besteht aus vier Arbeitsschritten „Stanzen“, „Härten“, „Vergüten“ und „Spritzgießen“, die in ihrem Ablauf nicht frei kombinierbar sind, sondern vielmehr in einer festen Reihenfolge ablaufen. Weiter ist die Lagerhaltungsdauer bei TRW, auch aufgrund der Massenproduktion, sehr gering. Materialeingangsbuchungen in das Lager repräsentieren damit in sehr guter Näherung und zeitnah den Verbrauch. Materialverluste sind relativ gering und prognostizierbar und beschränken auf wenige Abfallarten, deren Herkunft leicht einem Prozess zugeordnet werden kann. Zudem werden im SAP R/3-System bei TRW die Rohstoffe direkt einem Produkt und

Profit Center zugeordnet, sodass damit eine direkt Verbrauchszuordnung möglich ist.

Aus diesen Gründen und den oben genannten Schwierigkeiten bei der Anwendung der Modellierungsmethode wurde analysiert, in wie weit eine ERP-integrierte Stoffstrombilanzierung möglich ist. Das ERP-System unterstützt dabei das Stoffstrommanagement als Lieferant stoffstrom- und umweltrelevanter Daten. Ferner kann das bestehende ERP-System um weitere, an den Anforderungen des Stoffstrommanagement orientierten BUIS-Funktionalitäten erweitert sowie um zusätzliche Daten ergänzt werden. In diesem Umsetzungsprojekt bei TRW wurden Informationen zu Abfallmengen und Kosten spezifisch anhand der Bedürfnisse von TRW strukturiert und in das SAP R/3-System integriert. Die Materialstammdaten im SAP R/3-System wurden um einen so genannten „Ökoschlüssel“ erweitert, um die im ERP-System erfassten Materialbewegungen auch nach Umweltgesichtspunkten in einem Ökokontenrahmen auszuwerten und in einer betrieblichen Input- und Outputbilanz entsprechend darstellen zu können.

Die ERP-Integration der Stoffstrombilanzierung ist dabei in besonderem Maße von der Datenqualität und dem Umfang der Stoffstromdaten abhängig, wie sie im ERP-System gepflegt werden. Doch kann eine detaillierte Analyse der Abbildung von Materialbewegungen im ERP-System zu einer Anpassung und genaueren Strukturierung eben dieser Vorgänge führen. Die Konzepterstellung für TRW basiert allein auf Funktionalitäten, die das SAP R/3-System bereithält. Diese mussten nur an die spezifischen Bedürfnisse angepasst werden – der Aufwand hierfür ist vertretbar und einmalig – und unterstützen zukünftig eine kontinuierliche, aufwandsarme Erfassung und Bilanzierung der betrieblichen Stoffströme.

Mit dem vorgestellten Konzept einer ERP-integrierten Stoffstrombilanzierung – welches spezifisch für TRW im SAP R/3-System erstellt wurde – konnte im Forschungsprojekt MESA die Eignung von ERP-Systemen als Datenlieferant und zur Bilanzierung von prozessbezogenen Stoffströmen – unter Berücksichtigung bestimmter Randbedingungen – gezeigt werden. Die für die Bilanzierung notwendige Strukturierung relevanter Daten im ERP-System (vgl. Abfalldaten bei TRW) führte dazu, dass Geschäftsprozesse zukünftig besser und effizienter gestaltet sind und Informationen schneller und einfacher zugänglich sind. Damit wird auch ein wesentliches Hemmnis eines dauerhaft verankerten Stoffstrommanagement, die aufwandsarme und anwenderspezifische Bereitstellung von Stoffstromauswertungen für unterschiedliche Akteure im Unternehmen, gelöst.

7.3 Entwicklung eines web-basierten Unterstützungssystems

Da die durchgeführten Arbeiten zur Verallgemeinerung von Vorgehensmodellen nicht zum gewünschten Ergebnis führten (vgl. Kapitel 3.1), wurde entgegen der Planung, welche die Überführung der erarbeiteten und generalisierten Projektergebnisse und Umsetzungserfahrungen aus dem genannten Bereich in ein web-basiertes Unterstützungssystem vorsah, ein Tool konzipiert und implementiert, welches interessierte Anwender an die Thematik des betrieblichen Stoffstrommanagements heranführt.

Dazu soll dem Anwender die Möglichkeit gegeben werden, die Produktionsabläufe seines Unternehmens grob zu modellieren und dabei vor allem auch Abfälle, Energiebedarfe, Betrieb- und Hilfsstoffe mit aufzunehmen. Hierfür werden verschiedene Templates in Abhängigkeit der Fertigungsart in der vorliegenden Produktion, als Ausgangsbasis für eine Modellierung zur Verfügung gestellt. Umgesetzt ist das Tool namens MAX – **M**aterialflow **A**nalysis **eX**perience in Java und wird über das Internet (siehe Kapitel 7.3.3) zur Verfügung gestellt.

7.3.1 Anwendungskonzept und Zielszenario

Mit dem Tool werden neben dem Hauptziel, Interesse für die Thematik des Stoffstrommanagement zu wecken, zwei Intentionen verfolgt, die sich an die im Rahmen des Vorhabens untersuchten Methoden zur Herangehensweise und Einführung eines betrieblichen Stoffstrommanagements anlehnen.

Das Tool soll die Bedeutung der Betriebsstruktur aufgreifen, indem für verschiedene Fertigungs- und Erzeugnisstrukturen Templates für Stoffstrommodelle zur Verfügung gestellt werden. Zur Unterstützung bei der Bestimmung der zutreffenden Kategorie wird eine Checkliste angeboten. Dadurch wird die Erstellung eines eigenen Modells deutlich beschleunigt.

Daraus lassen sich grundlegende Anforderungen an das Tool ableiten:

- Die Prozesse und Stoffe im Fertigungsablauf müssen einfach zu beschreiben und zu visualisieren. In einer Abbildung sind diese Bestandteile mit Stoffströmen zu verbinden.
- Die modellierten Stoffe sind deutlich in „Gut“ und „Übel“ zu unterscheiden (Dykhoff 2000). Rohmaterial, Zwischenprodukte und das Endprodukt sind eindeutig von Abfällen zu unterscheiden.
- Um Gesamtzusammenhänge besser erkennen zu können, sind einfache Auswertefunktionen zu realisieren. Dazu gehören die Darstellung von Abhängigkeiten, z. B. in Bezug auf die Abfallentstehung, bei der Produktion eines Zwischen- oder des Endproduktes.

Der zweite Punkt ist die Auswertung von ERP-Daten zur Berechnung von Stoffströmen. Das Tool MAX stellt dazu eine normierte Schnittstelle nach PAS 1025 bereit. Die PAS 1025 wurde in enger Zusammenarbeit der beiden miteinander kooperierenden Institute, das Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT) der Universität Stuttgart und das Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO, zusammen mit der infor business solutions AG, welche ein System für das Enterprise Resource Planning anbietet und die TechniData AG als Entwicklungspartner der SAP AG sowie das ifu - Institut für Umweltinformatik Hamburg GmbH als Entwickler eines Betrieblichen Umweltinformationssystems (BUIS) entwickelt. Ziel war die Veröffentlichung einer Publicly Available Specification (PAS), welche eine Schnittstelle für den Datenaustausch zwischen BUIS und ERP-Systemen definiert.

Die infor business solutions AG, die TechniData AG sowie das ifu - Institut für Umweltinformatik Hamburg GmbH verfolgen damit das Ziel, durch die Bereitstellung von »ökonomischen« Daten aus dem ERP-System die notwendige Datengrundlage für die Unterstützung von Funktionen des Umweltcontrollings, welche durch das BUIS umgesetzt werden, zu legen. Die Systeme sollen sich der Art ergänzen, dass eine Integration des Umweltcontrollings als Querschnittsaufgabe in alle Geschäftsprozesse ermöglicht, zumindest aber angestrebt, werden kann.

Die PAS 1025 „Austausch umweltrelevanter Daten zwischen ERP-Systemen und betrieblichen Umweltinformationssystemen“, deren Veröffentlichung durch das Referat Entwicklungsbegleitende Normung im DIN Deutsches Institut für Normung e. V. betreut wurde, ist bereits in den ersten Anwendungen umgesetzt. Das ERP-System infor:com der in-

for business solutions AG und das BUIS Umberto vom ifu Hamburg können über eine Schnittstelle gemäß PAS 1025 Daten austauschen und erleichtern damit die Stoffstrommodellierung in Umberto.

MAX kann ein solches vom ERP-System erzeugtes XML-basierendes Schnittstellendokument ebenfalls einlesen und als Grundlage für die Modellerstellung nutzen. Ein von MAX erzeugtes Dokument kann aber auch in das BUIS Umberto importiert werden, um dort das umfangreichere Funktionsangebot für Berechnungen und Analysen nutzen zu können.

7.3.2 Funktionsweise und Verfügbarkeit

Die Benutzungsoberfläche setzt sich aus der Menüleiste am oberen Bildschirmrand und dem geteilten Arbeitsbereich darunter zusammen (Abbildung 13). Der Arbeitsbereich zeigt rechts das interaktiv bearbeitbare Stoffstrommodell und auf der linken Seite eine Auflistung der geladenen Stoff- und Prozessdatenbank. Über Drag-and-Drop lassen sich Stoffe oder Prozesse aus dem rechten Bereich übertragen und mit entsprechenden Strömen in das Modell einbetten.

Zunächst werden die Stoffe angelegt und in der dazugehörigen Datenbank verwaltet (vgl. Abbildung 10). Die verschiedenen Typen werden farblich unterschieden und entsprechend auf der Modellierungsoberfläche dargestellt.

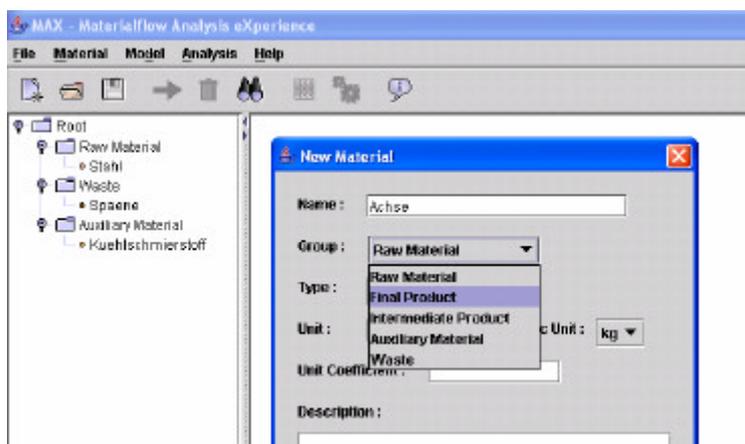


Abbildung 10 Verwaltung von Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen sowie dem Produkt und von Abfällen

Dort werden dann die Stoffe mit den Prozessen mittels der Definition von Stoffströmen (als Pfeile dargestellt) in eine gerichtete Verbindung gebracht (siehe Abbildung 11).

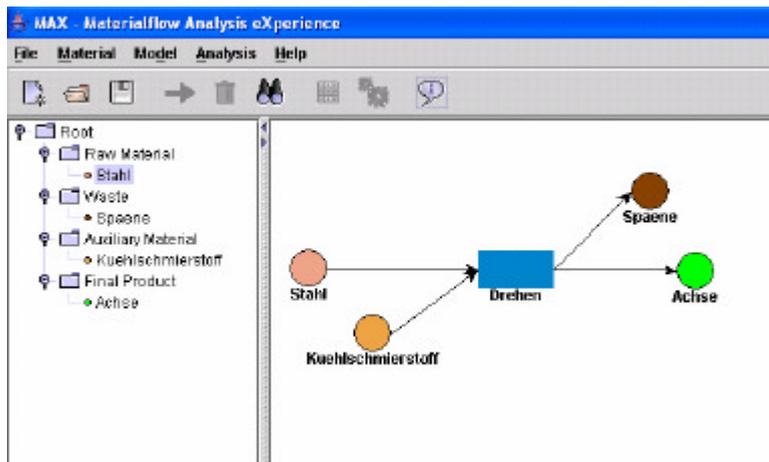


Abbildung 11 Prozess „Drehen“ mit Input- und Outputströmen (Stofftypen farblich hervorgehoben)

Die eingegebenen Stoffströme können dann, je nachdem, welche Prozesse bzw. Produkte ausgewählt werden, über verschiedene Bilanzgrenzen zusammengefasst und tabellarisch bzw. grafisch dargestellt werden (vgl. Abbildung 12).

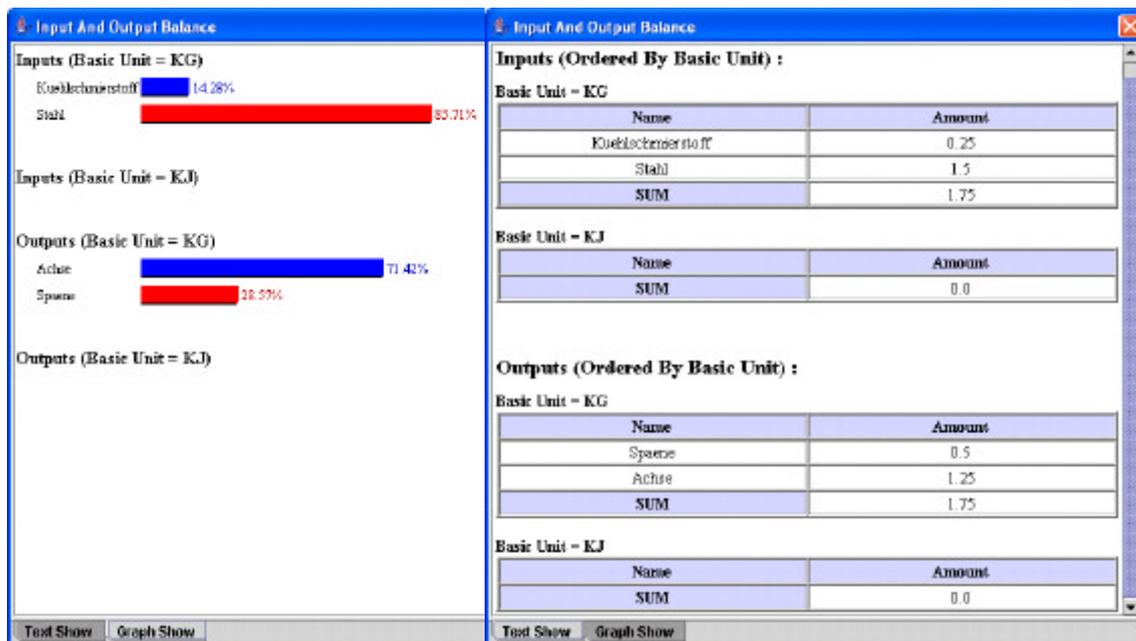


Abbildung 12 Grafische und tabellarische Bilanz der Prozesses „Drehen“ (vgl. Abbildung 11)

Die gesamte Benutzungsoberfläche des Tools wird in der Abbildung 13 dargestellt. Es handelt sich bei dem modellierten Beispiel um die Fertigung einer Bohrmaschine in Serienproduktion bei einem mittleren Unternehmen mit mittlerer Fertigungstiefe bei mehrteiligem Erzeugnis mit einfacher Struktur.

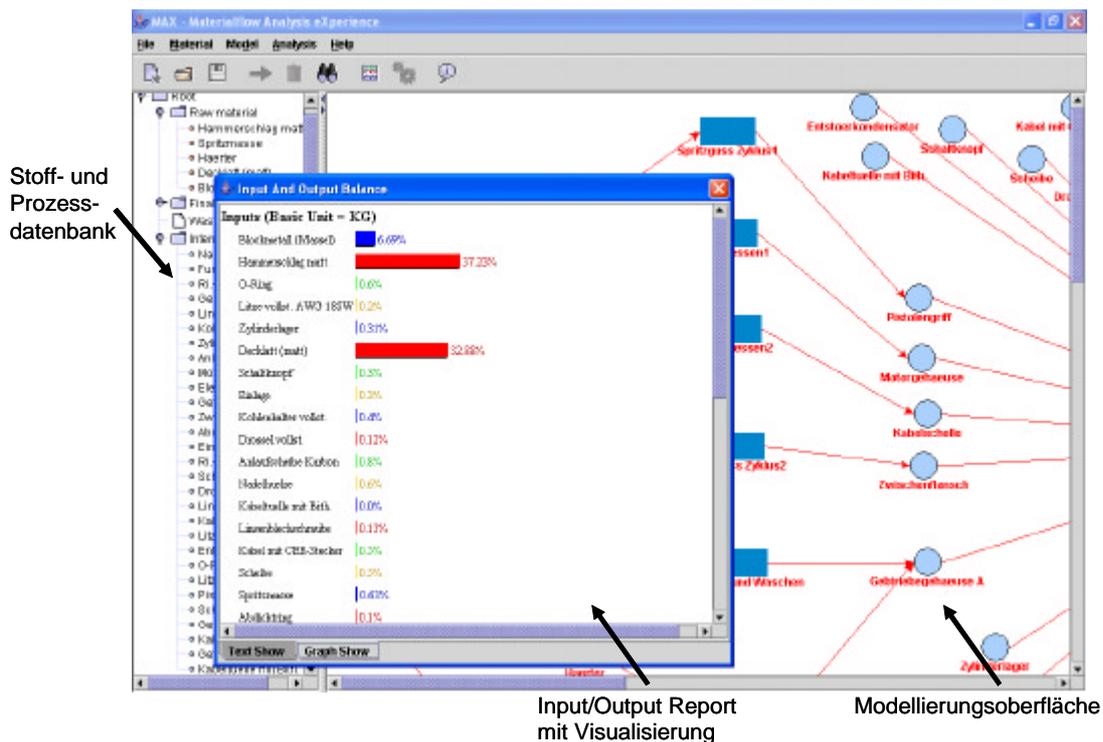


Abbildung 13 Gesamte Benutzungsoberfläche von MAX mit Input/Output-Report markierter Prozesse

Die Eingabe des Modells war ähnlich aufwändig wie die Modellierung in Umberto. Eine deutliche Vereinfachung wäre gewesen, wenn die Stammdaten zu den Stoffen und Prozessen über eine PAS 1025 konforme Schnittstelle importiert hätten werden können.

Der Aufbau einer PAS 1025 konformen Datei kann der Abbildung 16 in Anhang 11.2 entnommen werden. Das Dokument stellt das kleine Modell mit dem Prozess „Drehen“ aus Abbildung 11 dar.

7.3.3 Bewertung und Verfügbarkeit des Tools

Mit MAX wurde ein einfaches Tool geschaffen, welches aufgrund der Umsetzung in Java auf den meisten Betriebssystemplattformen lauffähig ist.

Die übersichtliche Gestaltung der Benutzungsoberfläche und die unkomplizierte Benutzerführung mit einem nicht zu umfangreichen Funktionsumfang, legt Wert auf eine einfache Erfassung der zu modellierenden Stoffe und Prozesse sowie die Stoffströme als das verbindende Glied. Abläufe bestimmen die Vorgehensweise der Modellierung und Stoffe, die ansonsten nicht im Hauptaugenmerk der Betrachtungen liegen, rücken in den Vordergrund.

Der wichtigste Aspekt ist der, die üblicherweise eingeschränkte Aufmerksamkeit auf das Endprodukt für den Ressourcenverbrauch und die anfallenden Abfälle zu öffnen. Allein die Überlegungen und Durchführung der Modellierung sowie eine evtl. erste Datenaufnahme wird einen Erkenntnisgewinn anstoßen, der zu Verbesserungspotenzialen führen kann, zumindest aber zu einem Transparenzgewinn im Unternehmen führt.

Die geplante Einbindung in das durch den Projektträger BWPLUS geförderte Projekt zum Aufbau des Portals IKARUS – Internet Katalog betrieblicher Umweltinformationssysteme ist noch nicht vollzogen, da sich der Server (<http://www.ikarus.iao.fhg.de>) in einer Überarbeitungsphase befindet. Es muss vorübergehend auf die Adresse <http://www.bum.iao.fhg.de/max/max.html> ausgewichen werden. Dort befinden sich aktuell Optionen für den Start des Tools und den Download von Beispielmodellen. Über <http://www.bum.iao.fhg.de/max/download.html> kann das Tool direkt gestartet werden. Beide setzen voraus, dass die aktuelle freizugängliche Java Version (JDK) von <http://www.java.com/> auf dem eigenen Computer installiert ist und das Tool dann über die Webstart Option gestartet werden kann. Das bedeutet, dass der Programmcode beim Start auf den Rechner geladen wird und daher deutlich schneller ausgeführt wird, als z. B. ein Applet direkt im Browser.

8 Voraussichtlicher Nutzen

Gerade die Automobilzulieferindustrie ist gezwungen Lebenszyklusdaten zu ihren Produkten vorzuhalten. Zum einen ist aufgrund von Kundenanforderungen und gesellschaftlichen Ansprüchen der Handlungsdruck in der Automobilindustrie im Hinblick auf die Verringerung von Umweltauswirkungen an den Produktionsstandorten und bzgl. der hergestellten Produkte sehr hoch und zum anderen verpflichten die Endproduzenten der Automobilindustrie ihre Zulieferunternehmen dazu, detaillierte Sachbilanzen zu Ressourcenverbrauch und Emissionen bzgl. der gelieferten Bauteile zu liefern.

MESA bietet für interessierte Unternehmen den Zugang zu aktuellen Methoden und Vorgehensweisen des betrieblichen Stoffstrommanagement. Es werden Vor- und Nachteile zweier Ansätze der informationstechnischen Unterstützung bzw. dauerhaften Umsetzung aufgezeigt.

Diese Ansätze sind, die

- Anwendung von Modellierungsmethoden zur Berechnung von Stoffströmen und
- Auswertung von ERP-Daten zur Berechnung von Stoffströmen.

Die Anwendbarkeit der Methoden hängt von Betriebsstrukturen sowie Anforderungen und verschiedenen Einflussfaktoren im Unternehmen ab. Es hat sich gezeigt, dass ein direkter Branchenbezug nicht gegeben ist. Die Fertigungsart stellt jedoch eine wichtige Determinante dar und die Automobilzuliefererindustrie ist gekennzeichnet durch eine auf ein Produkt ausgerichtete Massenfertigung mit eher geringteiler Erzeugnisstruktur bei niedriger Fertigungstiefe.

Bei ähnlichen Voraussetzungen wie bei TRW lässt dies die Schlussfolgerung zu, dass dann von der Anwendung von Modellierungsmethoden abzuraten ist und auf eine Funktionsintegration in das vorhandene ERP-System zu drängen ist.

9 Bekannt gewordene Fortschritte anderer Stellen

Die Anwendungs- und Unterstützungsmöglichkeiten von ERP-Systemen im betrieblichen Umweltschutz wurden in den letzten Jahren – neben den Umsetzungserfahrungen im Projekt MESA – in verschiedenen Forschungsvorhaben aufgezeigt und bewertet (siehe hierzu Rey et al. 2002, Heubach et al. 2003).

Einsatz von ERP-Systemen im Umweltcontrolling

Das Forschungsprojekt INTUS¹⁴ greift die fehlende integrierte Sicht auf umweltrelevante Informationen, die eines der Hemmnisse bei Anwendung stoffstromorientierter Instrumente darstellt, auf. Das Forschungsprojekt hatte zum Ziel, ausgewählte Instrumente des betrieblichen Umweltcontrolling weiterzuentwickeln und ihre Anwendbarkeit in der Praxis deutlich zu erhöhen. Im Mittelpunkt standen dabei die Instrumente Betriebliche Umweltbilanzen, Umweltkennzahlen und die Flusskostenrechnung und deren Unterstützung in der Anwendung durch Informationssysteme. In allen vier Umsetzungsvorhaben wurden ein Umweltkennzahlensystem oder eine betriebliche Umweltbilanz implementiert und in das ERP-System der beteiligten Umsetzungspartner integriert. In dem Forschungsprojekt INTUS wird auch auf die Einsatzmöglichkeiten von stoffstromorientierten BUIS eingegangen. Demnach wurden in allen Anwendungspartner im Forschungsprojekt solche BUIS für eine einmalige Analyse angewandt.

Kopplung von ERP-Systemen mit stoffstromorientierten BUIS

Es gibt einige Ansätze, nach denen stoffstromorientierte BUIS in Unternehmen fest mit dem bestehenden ERP System verknüpft wurden. Ziel ist die kontinuierliche Informationsbereitstellung und der Einsatz der Bilanzierungsfunktionalitäten des BUIS. Bekannt sind folgende Anwendungsfälle (nach Heubach et al. 2003):

- Bei der Brauerei Hasserröder wurde unter Verwendung des BUIS Umberto ein System entwickelt, um automatisiert Informationen

¹⁴ Das Projekt vom IAT der Universität Stuttgart, dem Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW), Berlin, und dem Fraunhofer IAO, Stuttgart gemeinsam mit den beteiligten Unternehmen SCHOTT Glas, Continental TEMIC, Ensinger Mineralheilquellen und Göhring durchgeführt. Gefördert durch das BMBF (Fkz: 01 RU 0009).

für die Umweltberichterstattung bereit zu stellen. Der Prototyp wurde von der Universität Magdeburg entwickelt (Marx Gómez et al. 2003).

- Die Großdruckerei Mohnmedia setzt das BUIS Umberto ein und liefert damit kontinuierlich Informationen für das Umweltmanagement (Skrzypek u. Wohlgemuth 2000).
- Der Fotopapierhersteller Felix Schoeller hat das BUIS Audit mit den BDE seiner Produktionsanlagen verknüpft und nutzt die Software als PPS und als Datenbasis für Analysen (Lied 1999).
- Für das Chemieunternehmen Alcan wurde eine Schnittstelle zwischen der Ökobilanzierungssoftware Gabi4 und dem SAP Business Warehouse erstellt, um laufend umweltrelevante Daten aus SAP in Gabi4 importieren zu können (Gabriel u. Jenka 2003).

Die Anwendungsfälle zeigen auch, dass eine kontinuierliche Bereitstellung aktueller Informationen über die Entwicklung der Einsatzmengen, Verbräuche, Materialverluste etc. mit Hilfe der stoffstromorientierten BUIS erfordert, dass Daten aus anderen betrieblichen Informationssystemen in das BUIS eingelesen werden (vgl. auch Schmidt 2000). Enterprise Resource Planning Systeme (ERP-Systeme) haben hier eine wichtige Rolle, da sie sowohl Bewegungsdaten, bspw. über Mengenverbrauch, und Kosteninformationen, wie auch Strukturdaten wie die Kostenstellenstruktur im Unternehmen beinhalten.

Zum gegenwärtigen Entwicklungsstand bestehen folgende Möglichkeiten, BUIS und ERP-Systeme miteinander zu verbinden:

- die Nutzung vorhandener Schnittstellenfunktionalitäten,
- die Implementierung spezifischer Schnittstellen,
- der Einsatz von standardisierten BUIS-ERP-Schnittstellen oder
- der Datenaustausch mit Hilfe von Web Services.

Ein Integrationsansatz für die BUIS in die betriebliche IT-Landschaft besteht darin, relevante Daten aus ERP-Systemen in einem spezifischen, standardisierten Datenformat zu exportieren, um dann von einem stoffstromorientierten BUIS direkt eingelesen und weiterverwendet zu werden.

Im Rahmen des Forschungsprojekts CARE¹⁵ wurde durch das IAT, Universität Stuttgart, Fraunhofer IAO, Institut für Umweltinformatik (ifu) Hamburg GmbH, infor business solutions AG, sowie TechniData AG eine Schnittstellenspezifikation für den Transfer von Stoffstromdaten erarbeitet: Die in ERP-Systemen vorhandenen Daten aus der Produktionsplanung und -steuerung (z. B. Stücklisten, Arbeitspläne und Fertigungsaufträge) können über eine XML-Schnittstelle¹⁶ einem BUIS in einheitlicher Form zur Verfügung gestellt werden.

Diese so genannte PASSUS-Schnittstelle wird in einer Publicly Available Specification (PAS), der PAS 1025 „Austausch umweltrelevanter Daten zwischen ERP-Systemen und betrieblichen Umweltinformationssystemen“, durch das Deutschen Institut für Normung e.V. (DIN) veröffentlicht. Das ifu hat die Schnittstelle bereits in Umberto umgesetzt und auch die infor business solutions AG bietet im neuen Release 6.3 von infor.com eine PAS 1025 konforme Schnittstelle an.

ERP-integrierte Flusskostenrechnung

Das imu Augsburg hat durch seine wissenschaftlichen Arbeiten zur Integration der Flusskostenrechnung in ERP-Systeme einen wesentlichen Beitrag geleistet (siehe dazu z. B. Strobel 2003 und die Website des Projekts eco-effizienz unter www.eco-effizienz.de). Die ERP-basierte Flusskostenrechnung basiert auf der Verbesserung der Datengrundlage im ERP-System sowie ihrer Analyse im Rahmen einer Flusskostenrechnung. Für einfachere Problemstellung kann diese im ERP-System, bei komplexeren Sachverhalten extern in einer gesonderten Datenbank durchgeführt werden. Daraus ergeben sich oft Optimierungspotenziale durch die Verbesserung der Stammdaten- und Bewegungsdatenqualität. Es werden dadurch Buchungsfehler ermittelt und ein Materialflussmodell erzeugt, dass der Buchungsstruktur zugeordnet werden kann. So werden Verlustpositionen identifiziert, aus denen schließlich Handlungsschwerpunkte für Optimierungsmaßnahmen abgeleitet werden können.

¹⁵ Nähere Informationen dazu gibt es im Internet unter <http://care.oekoeffizienz.de>.

¹⁶ XML – eXtended Mark-up Language (Auszeichnungssprache)

10 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen

10.1 Fachvorträge und Artikel

Heubach, D., Rey, U.

Implementation of Corporate Material Flow Management in Automotive Suppliers - Development of Methods;
in: Gnauck, A., Heinrich, R. (Hrsg.): The Information Society and Enlargement of the European Union. Proceedings of 17th International Conference Informatics for Environmental Protection, Cottbus 2003, Metropolis Verlag, Marburg 2003

Heubach, D.

Material Flow Analysis: Material Flow Modelling or Extracting ERP-data;
Vortrag auf der Konferenz "Quo vadis MFA?" des Wuppertal Instituts und ConAccount, 08.-10.10.03, Wuppertal

10.2 Veranstaltungen und Ergebnistransfer

Transfer der Projektergebnisse in die mittelständische Wirtschaft u. a. durch einen Workshop beim Automobilzulieferer Profilverbindungstechnik, Friedrichsdorf am 03. Dezember 2003

Anwenderberatung und exemplarische Demonstration von am Markt erhältlichen Betrieblichen Umweltinformationssystemen im Rahmen des BUISLab® - Demonstrationszentrum für Betriebliche Umweltinformationssysteme in Produktion und Logistik (<http://www.buislab.iao.fhg.de>) in Stuttgart am Fraunhofer IAO u. a. mit dem MIGROS-Genossenschaftsbund, Zürich am 16. Juli 2003.

Posterpräsentation im Rahmen des 5. Management-Symposiums Produktion und Umwelt „Stoffstrommanagement - Entscheidungs-

unterstützung durch Umweltinformationen in der betrieblichen IT“ am 02. April 2003 im Fraunhofer Institutszentrum, Stuttgart.

Einbettung des entwickelten web-basierten Software-Tools **M**aterial-flow **A**nalysis **eX**perience - MAX in den Internet Katalog für Betriebliche Umweltinformationssysteme (IKARUS) des Fraunhofer IAO unter dem URL <http://www.ikarus.iao.fhg.de>. Da sich der Server in einer Überarbeitungsphase befindet, muss jedoch vorübergehend über die Adresse <http://www.bum.iao.fhg.de/max/max.html> auf das Tool zugegriffen werden.

10.3 **Veröffentlichung durch andere Stellen**

Dem Konsortium sind keine Veröffentlichungen durch andere Stellen bekannt.

11.1 Material- und Kosten-Sankey

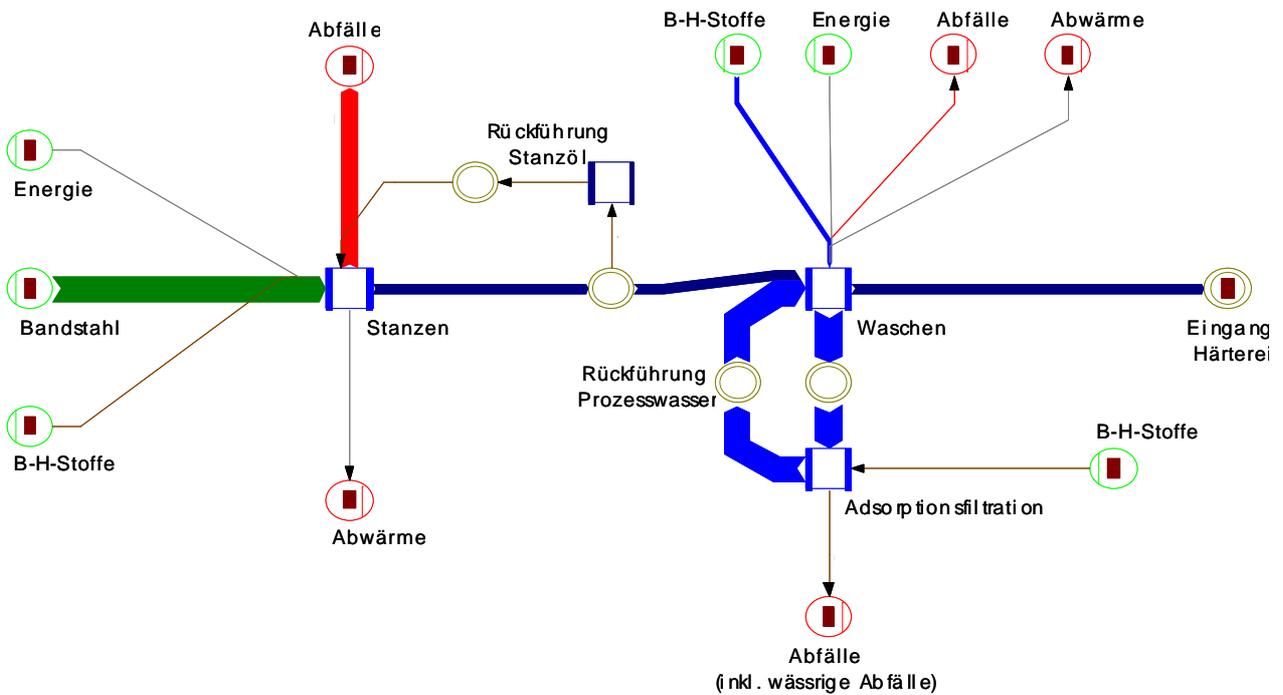


Abbildung 14 Material-Sankey [kg] der Stanzerie für die Materialströme (bezogen auf 1 000 Steckzungen normiert)

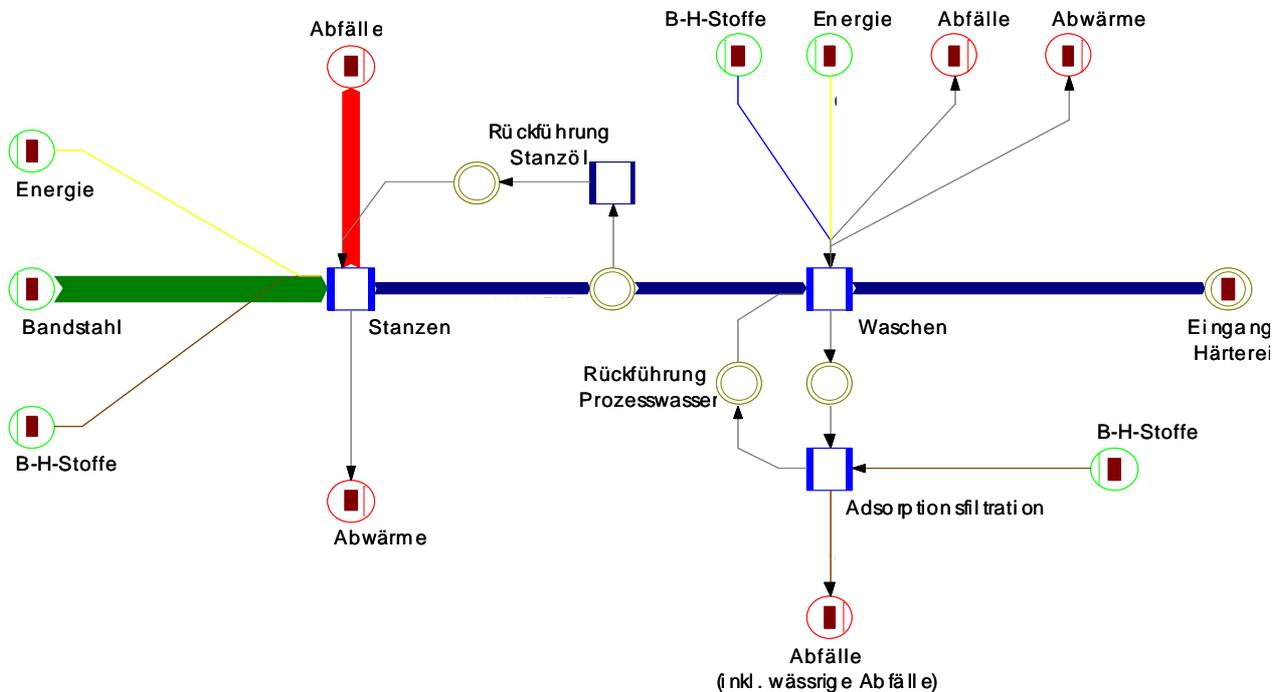


Abbildung 15 Kosten-Sankey [EUR] der Stanzerei für die Material- und Energieströme (bezogen auf 1 000 Steckzungen normiert)

11.2 PAS 1025 konformes Schnittstellendokument

Das Dokument in Abbildung 16 repräsentiert das kleine Modell aus Abbildung 11 und kann in diesem PAS 1025 konformen Aufbau in Anwendungen mit der selben Schnittstellendefinition eingelesen werden.

```
<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
<PASSUS xmlns="http://www.ifu.com/2003/passus"
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xsi:schemaLocation="http://www.ifu.com/2003/passus/passus.xsd"
mainLanguage="en"> <project ID="1">

<!-- Materialgruppen, die den Kategorien der Datenbank entsprechen -->
<materialGroups>
  <materialGroup ID="0" name="Root"/>
  <materialGroup ID="1" parentID="0" name="Raw Material"/>
  <materialGroup ID="2" parentID="0" name="Waste"/>
  <materialGroup ID="3" parentID="0" name="Auxiliary Material"/>
  <materialGroup ID="4" parentID="0" name="Final Product"/>
</materialGroups>
```

```

<costTypeGroups>
</costTypeGroups>
<currencyUnits>
</currencyUnits>
<stocks>
</stocks>

<!-- die verwalteten Materialien -->
<materials>
  <material ID="3" materialGroupID="4" name="Achse" description=""
    basicUnit="kg" type="good">
    <units>
    </units>
  </material>
  <material ID="2" materialGroupID="3" name="Kuehlschmierstoff"
    description="" basicUnit="kg" type="neutral">
    <units>
    </units>
  </material>
  <material ID="0" materialGroupID="1" name="Stahl" description=""
    basicUnit="kg" type="good">
    <units>
    </units>
  </material>
  <material ID="1" materialGroupID="2" name="Spaene"
    description="" basicUnit="kg" type="bad">
    <units>
    </units>
  </material>
</materials>

<!-- die Prozesse samt den Stoffströmen -->
<resourceLists>
  <resourceList ID="1" name="1" materialID="3">
    <resource ID="1" name="1">
      <flowMaterials>
        <flowMaterial quantity="1.5" flowType="input">
          <materialID>0</materialID>
        </flowMaterial>
        <flowMaterial quantity="0.25" flowType="input">
          <materialID>2</materialID>
        </flowMaterial>
        <flowMaterial quantity="0.5" flowType="output">
          <materialID>1</materialID>
        </flowMaterial>
        <flowMaterial quantity="1.25" flowType="output">
          <materialID>3</materialID>
        </flowMaterial>
      </flowMaterials>
      <workingProcess name="Drehen" description="" />
    </resource>
  </resourceList>
</resourceLists>

```

```

<!-- Positionen der Elemente auf dem Bildschirm (GUI für Graphical
      User Interface, nicht Bestandteil der PAS 1025) -->
<gui>
  <flowMaterials>
    <flowMaterial ID="1" x="252" y="37" width="43" height="43" />
    <flowMaterial ID="3" x="283" y="100" width="36" height="43" />
    <flowMaterial ID="2" x="39" y="151" width="105" height="43" />
    <flowMaterial ID="0" x="32" y="100" width="30" height="43" />
  </flowMaterials>
  <flowProcesses>
    <flowProcess name="Drehen" x="147" y="99" width="60"
      height="43" />
  </flowProcesses>
</gui>
</project>
</PASSUS>

```

Abbildung 16 PAS 1025 Schnittstellen-Dokument (Bsp. aus Abbildung 11)

11.3 Literatur

- Adam, D. (2001):
Input-Output-Bilanzen; in: Schulz, W., et al., (Hrsg.): Lexikon Nachhaltiges Wirtschaften, München, Wien
- Bullinger, H.-J., Jürgens, G., Rey, U. (Hrsg.) (2002):
Effizient produzieren nach Umwelt- und Kostenzielen; Stuttgart
- Bullinger, H.-J., Jürgens, G., Rey, U. (Hrsg.) (1999):
Betriebliche Umweltinformationssysteme in der Praxis; Stuttgart
- Dyckhoff, H. (2000):
Grundzüge der Produktionswirtschaft, Berlin et al.
- Gabriel, R., Jenka, B. (2003):
Messung der Umweltleistung – Integration von GaBi4 in das Umweltdatenbanksystem der Alcan, in: Spath, D., Lang, C. (Hrsg.): Stoffstrommanagement – Entscheidungsunterstützung durch Umweltinformationen in der betrieblichen IT, Tagungsband zum 5. Management-Symposium „Produktion und Umwelt“ am 2 April 2003, Stuttgart
- Haasis, H.-D., Hilty, L.M., Hunscheid, J., Kürzl, H., Rautenstrauch, C. (Hrsg.) (1995):
Umweltinformationssysteme in der Produktion - Fachgespräch des Arbeitskreises Betriebliche Umweltinformationssysteme, Berlin; Marburg
- Hauschildt, J. (1997):
Innovationsmanagement, München
- Heubach, D., Lang, C., Loew, T. (2003):
Anwendung von betrieblichen Informationssystemen im Umweltcontrolling - Potenziale und Praxisbeispiele, Ergebnisbericht aus dem Forschungsprojekt INTUS, Stuttgart, Berlin 2003
Download siehe www.bum.iao.fraunhofer.de/downloads/
- Heubach, D., Rey, U. (2003):
Implementation of Corporate Material Flow Management in Automotive Suppliers – Development of Methods. in: Gnauck, A., Heinrich, R. (Hrsg.): The Information Society and Enlargement of the European Union. Proceedings of 17th International Conference Informatics for Environmental Protection, Cottbus 2003, Marburg
- Hockerts, K., Hamschmidt, J., Dyllick, Thomas (1999):
IWÖ-Diskussionsbeitrag Nr. 74, St. Gallen

- Jürgens, G., Lang, C., Beucker, S., Loew, T. (2002):
Anforderungen an Betriebliche Umweltinformationssysteme (BUIS) zur Unterstützung von Instrumenten des Umweltcontrollings – Zwischenbericht aus dem BMBF Forschungsprojekt INTUS
- Kottmann, H., Loew, T., Clausen, J. (1999):
Umweltmanagement mit Kennzahlen, München
- Krcmar, H. (Hrsg.) (2000): Informationssysteme für das Umweltmanagement : das Referenzmodell {ECO-Integral}; München
- Lied, W. (1999):
Umweltcontrolling mit AUDIT und SAP R/3 am Beispiel Felix Schoeller Osnabrück, Workshop auf dem St. Galler Umweltmanagement Forum 1999, St. Gallen, siehe im Internet URL
[www.iwoe.unisg.ch/org/iwo/web.nsf/66431a87ff21c36ac12569f50045e850/c795d55c1ae05c8ec1256a1c0047d9cf/\\$FILE/11lied.pdf](http://www.iwoe.unisg.ch/org/iwo/web.nsf/66431a87ff21c36ac12569f50045e850/c795d55c1ae05c8ec1256a1c0047d9cf/$FILE/11lied.pdf)
(Stand 15.11.2003)
- Loew, T., Jürgens, G. (1999):
Flusskostenrechnung versus Umweltkennzahlen – Was ist das richtige Instrument für das betriebliche Umweltmanagement?; in: Ökologisches Wirtschaften, Ausgabe 05-06/1999, München
- Marx Gómez, J., Amelung, M., Rautenstrauch, C. (2003):
Ansatz zur Automatisierten Generierung von Umweltberichten – eine Fallstudie, Tagungsband der 6. Internationalen Tagung für Wirtschaftsinformatik 2003 (WI'2003), Dresden
- Mayer, T. (2000):
Betriebliche Energie- und Stoffstrommanagementsysteme; Studie der LfU Baden-Württemberg, Karlsruhe
- Rautenstrauch C. (1999):
Betriebliche Umweltinformationssysteme, Berlin u. a.
- Rey, U. (2002):
Stoffstromorientierte Gestaltung und informationstechnische Unterstützung der Arbeitsplanung mit dem Ziel einer ökoeffizienten Fertigung; Diss., Univ. Stuttgart, Heimsheim

- Rey, U., Lang, C., Beucker, S. (2002):
ERP-Systeme und ihr Datenangebot für die Ressourceneffizienz-Rechnung, Ergebnis-Bericht 2.2 des BMBF Forschungsprojekts CARE (Fkz: 01 RU 0017),
Download unter <http://care.oekoeffizienz.de/>
- Rey, U., Schnapperelle, D., (1999):
Transferplattform zur Darstellung IT-gestützter Werkzeuge im betrieblichen Umweltschutz. In: Dade, C., Schulz, B. (Hrsg.): Management von Umwelteinformationen in vernetzten Umgebungen, Marburg
- Scheer, A.-W., Haasis, H.-D., Heimig, I., Hilty, L.M., Kraus, M., Rautenstrauch, C. (1996):
Computergestützte Stoffstrommanagement-Systeme; Fachgespräch des Arbeitskreises Betriebliche Umwelteinformationssysteme, Marburg
- Schmidt, M. (2000):
Betriebliches Stoffstrommanagement, in: Dyckhoff, H. (Hrsg.): Umweltmanagement: zehn Lektionen in umweltorientierter Unternehmensführung, Berlin u. a.
- Skrzypek, V., Wohlgemuth, V. (2000):
Anwendung und Integration von Umberto in die betriebliche IT-Struktur am Beispiel der Bertelsmann Großdruckerei MOHN Media Mohndruck GmbH, in: Bullinger, H.-J., Beucker, S. (Hrsg.): Stoffstrommanagement – Erfolgsfaktor für den betrieblichen Umweltschutz, Tagungsband zum 3. Management-Symposium „Produktion und Umwelt“, Stuttgart
- Steinaecker, J. v., Aghte, I., Pillep, R., Schieferdecker, R. (2000a):
Umweltorientierte Produktionsplanung und -steuerung; in: Bullinger, H.-J., Eversheim, W., Haasis, H.-D., Klocke, F. (Hrsg.): Auftragsabwicklung optimieren nach Umwelt- und Kostenzielen, Berlin u. a.
- Steinaecker, J. v., Jürgens, G., Knupfer, T. (2000b):
Einführung eines betrieblichen Stoffstrommanagement, in: Bullinger, H.-J., Eversheim, W., Haasis, H.-D., Klocke, F. (Hrsg.): Auftragsabwicklung optimieren nach Umwelt- und Kostenzielen. Berlin u. a.
- Strobel, M. (2003):
Flusskostenrechnung: Kostensenkung und Umweltentlastung durch eine ERP-basierte Methode, in: Spath, D., Lang, C. (Hrsg.): Stoffstrommanagement - Entscheidungsunterstützung durch Umwelteinformationen in der betrieblichen IT, Tagungsband zum 5. Management-Symposium „Produktion und Umwelt“ am 2. April 2003, Stuttgart

Wöhe, G. (2002):
Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, München