

Nachlaufende Stoffstrombilanz – Ein Verfahren zur Fortschreibung der Mengenbeziehungen zwischen Altprodukten und Fraktionen

Karl Kurbel, Stephan Schöne und Daniel Szulim¹

Abstract

Output coefficients, i.e. the quantities of disassemblies and used parts obtained by dismantling of a scrap product, play a crucial role in the planning of dismantling processes and in forecasting future sales. These are important problems for recycling companies who live from selling the disassemblies and perhaps used parts. Accuracy of the output coefficients has to be assured somehow. In this paper, we describe a method to adjust the coefficients based on historical data recorded within a certain period. The method takes into account different product qualities, disassembly routings, and dismantling paths. The implementation of the method within a prototypical decision support system for recycling companies is outlined.

1 Problemstellung

Der Beitrag beschreibt ein Verfahren, mit dem die aus komplexen Altprodukten resultierenden Fraktionsmengen (Outputkoeffizienten) fortgeschrieben bzw. aktualisiert werden können. Diesem Problem sehen sich Entsorgungsunternehmen gegenüber, die technische Güter (z.B. Haushaltsgeräte, Computer, Unterhaltungselektronik) entgegennehmen und demontieren und die im wesentlichen vom Verkauf der entstehenden Fraktionen oder Gebrauchtteile leben.

Die einem gegebenen Aufkommen an Altprodukten entsprechenden Fraktionsmengen lassen sich mit Hilfe der Outputkoeffizienten abschätzen. In der Regel werden die Koeffizienten durch Probezerlegungen gewonnen oder basieren auf Erfahrungswerten. Je exakter die Koeffizienten sind, um so sicherer kann die Wirtschaftlichkeit eines Entsorgungsauftrags beurteilt werden. Für die Kalkulation des Annahmepreises eines Altprodukts ist die Kenntnis der genauen Fraktionsmengen, die zu erwarten sind, von ebenso hoher Bedeutung.

Auch bei operativen Entscheidungsproblemen, die im Tagesbetrieb schnell ge-

¹ Europa-Universität Viadrina Frankfurt (Oder), Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik, Postfach 1786, D-15207 Frankfurt (Oder), email: wi-sek@euv-frankfurt-o.de

löst werden müssen, spielen die Outputkoeffizienten eine wichtige Rolle. Die Entscheidung, ob ein Gebrauchtteil aufbereitet oder als Schrott behandelt werden soll, und damit die Wahl zwischen unterschiedlichen Demontagearbeitsplänen kann beispielsweise davon abhängen, mit welchen Fraktionsmengen zu rechnen ist und welche Preise dafür zu erzielen sind.

Die einmal ermittelten Fraktionsmengen pro Altprodukt werden nicht für alle Zeit unverändert bleiben und für alle Typen des Altprodukts in gleicher Weise gelten. Damit besteht die Gefahr, daß die der Planung und Kalkulation zugrundegelegten Outputkoeffizienten, z.B. aufgrund technischer Änderungen oder Verschiebungen im Typenspektrum, die tatsächlichen Gegebenheiten nicht mehr korrekt widerspiegeln. Wenn etwa der praktisch demontierbare Edelstahlanteil eines Altprodukts sinkt, so wirkt sich das auf die wirtschaftliche Demontagetiefe aus und sollte bei zukünftigen Zerlegungsaufträgen berücksichtigt werden.

2 Stand der Forschung

Im Demontageprozeß liegen den Outputkoeffizienten die Stoffströme zugrunde, die die Entstehung der endgültigen Outputprodukte (Fraktionen und Gebrauchtteile), meist über mehrere Stufen hinweg, definieren. Zur Modellierung komplexer Stoffströme können Demontagegraphen und Stoffstromnetze herangezogen werden. Als Beispiel für ein Stoffstromnetz wurden in Abbildung 1 mögliche Zusammenhänge zwischen unterschiedlichen Zerlegepfaden und resultierenden Stoffströmen bei der Demontage einer Waschmaschine dargestellt. Je nachdem, welche Demontagealternative gewählt wird, entstehen unterschiedliche Fraktionen in unterschiedlichen Mengen im Ausgangslager.

Grundlage für die Modellierung von Stoffstromnetzen ist meist die Theorie der Petri-Netze. Petri-Netze zeichnen sich durch drei Basiselemente aus, Transitionen (aktive Netzkomponenten), Stellen (passive Netzkomponenten) und Kanten (gerichtete Verbindungen zwischen den Netzkomponenten). Die Kanten werden gewichtet und spiegeln die Input- und Outputkoeffizienten eines Prozesses wider.

Petri-Netze erlauben vor allem die periodenbezogene und quantitative Modellierung komplexer Stoffströme. Im Rahmen der Demontageplanung können so die Stoff- und Energieströme und die Lager- und Demontagekapazitäten modelliert und graphisch visualisiert werden.²

Stoffstromnetze bilden die Grundlage für Stoffstrommanagementsysteme, aber auch für die Systeme zur Unterstützung der Demontageplanung und -steuerung. Zussman et al. entwickelten ein Demontageplanungssystem auf der Basis spezieller

² Spengler 1998, 208 ff.

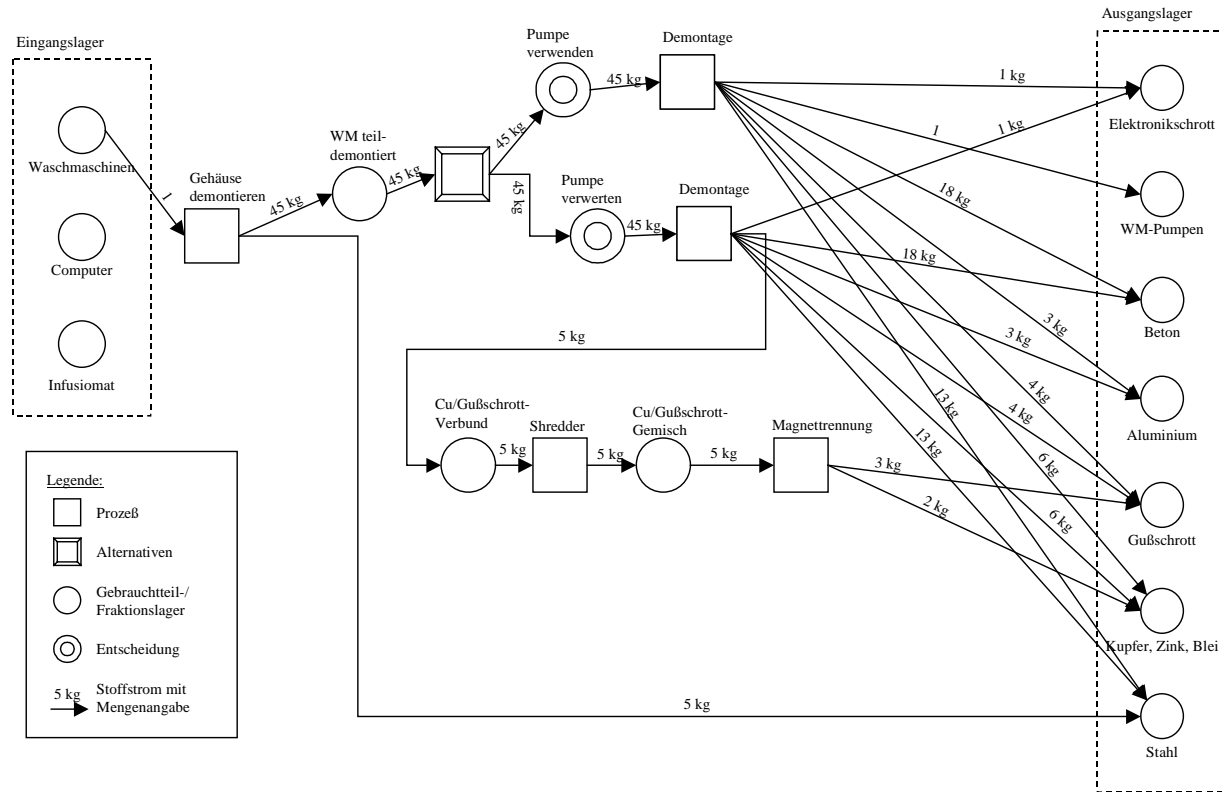


Abbildung 1
Ausschnitt aus dem Stoffstromnetz eines Demontageunternehmens

Petri-Netze (sog. Demontage-Petri-Netze), das flexibel auf unbekannte Zustände während der Demontage reagiert.³ An der Universität Erlangen-Nürnberg entstand ein System, das mit Hilfe von Produktdaten und dem Modell eines Recyclingunternehmens optimale Demontagetiefen ermittelt, Demontage- und Verwertungskosten berechnet sowie Arbeitspläne und Steuerungsabläufe für manuelle und (teil-)automatisierte Demontagen erstellt.⁴

Einen ähnlichen Ansatz verfolgt das System DEMROP, das an der TH Darmstadt entwickelt wurde und jetzt als Werkzeug zur recyclinggerechten Produktgestaltung und Demontageplanung von Siemens Business Service vermarktet wird.⁵ An der Universität Karlsruhe entstand ein Ansatz zur Planung der teilautomatisierten Demontage technischer Gebrauchsgüter, dem ein auf empirischen Daten beruhendes Informationsmodell zugrundeliegt.⁶

Die skizzierten Konzepte gehen in der Regel davon aus, daß die Mengenkoeffizienten an den Kanten eines Stoffstromnetzes bekannt und korrekt sind. Diese Voraussetzung ist aber aus den oben genannten Gründen nicht unbedingt erfüllt. Deshalb erscheint es erforderlich, periodische Überprüfungen und Anpassungen vorzunehmen. Ein geeignetes Verfahren wird unten beschrieben.

3 Demontagestruktur

An der Europa-Universität Viadrina Frankfurt (Oder) wird die Problematik der Aktualisierung der Outputkoeffizienten im Rahmen eines Entscheidungsunterstützungssystems für Entsorgungsunternehmen (*efeu*) behandelt, das an anderer Stelle bereits beschrieben wurde⁷.

Die grundlegende Datenstruktur, in der die Mengenverhältnisse zwischen Altprodukten, Fraktionen und Gebrauchtteilen sowie die Arbeitsgänge und Zerlegekosten geführt werden, ist die Demontagestruktur. Diese weist gegenüber anderen Recycling-Datenstrukturen wie z.B. Recyclinggraphen⁸ den Vorteil auf, daß sie einfacher ist und alle für die Zielgruppe wesentlichen Informationen in einer Datenstruktur miteinander vereinigt. Abbildung 2 zeigt in einem Beispiel eine Demontagestruktur. Die Zahlen an den Kanten stellen die Outputkoeffizienten dar.

³ Zussman et al. 1996

⁴ Feldmann/Meedt 1996

⁵ Baier/Kaase 1999

⁶ Tritsch 1999

⁷ Kurbel/Schoof 1998

⁸ Kurbel/Schneider 1995, Kurbel et al. 1995

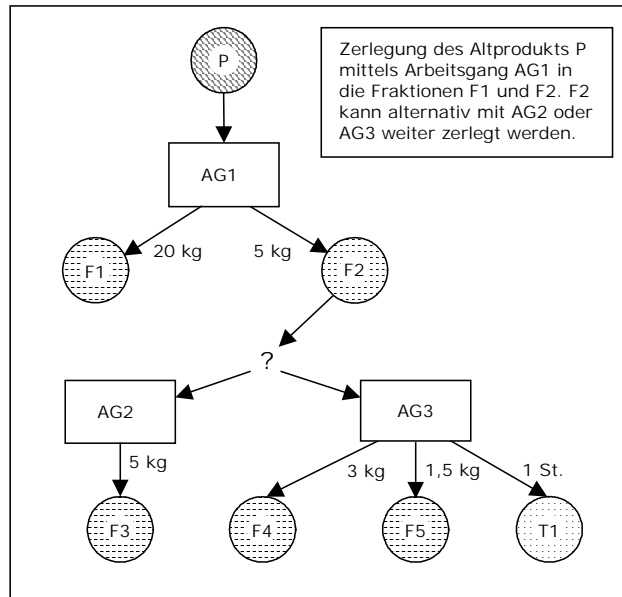


Abbildung 2
Demontagestruktur

4 Erfassung von Zerlegevorgängen

Die täglichen Zerlegevorgänge sowie die tatsächlichen Demontagepfade werden in der *efeu*-Datenbank fortlaufend dokumentiert. Dies ermöglicht es unter anderem, den Zeitbezug bei den Input-Output-Beziehungen festzuhalten.

Abbildung 3 zeigt einen Ausschnitt des Datenmodells (Entity-Relationship-Modell) mit denjenigen Entity- und Beziehungstypen, die während der Zerlege- und Inventurprozesse angesprochen werden.

Im Mittelpunkt des Datenmodells steht der Entitytyp *Recycling-Produkt*. Er umfaßt alle Ausprägungen von End-, Zwischen- und Vorprodukten, d.h. Altprodukte, Fraktionen und Gebrauchteile. Diese werden anhand des Attributs *Typ* unterschieden.

Altprodukte sind Elemente, die auf der obersten Zerlegestufe stehen. Sie werden in Arbeitsgängen auf einem bestimmten Demontagepfad zerlegt. Man kann mehrere Demontagepfade pro Altprodukt und somit eine Demontagehierarchie definieren. Jedem Demontagepfad können ein oder mehrere Arbeitsgänge zugeordnet werden. Die Arbeitsgänge stehen in (2,*)-Beziehung mit Recycling-Produkten, weil am Zerlegeprozeß wenigstens zwei Produkte teilnehmen (Input → Output: Waschmaschine

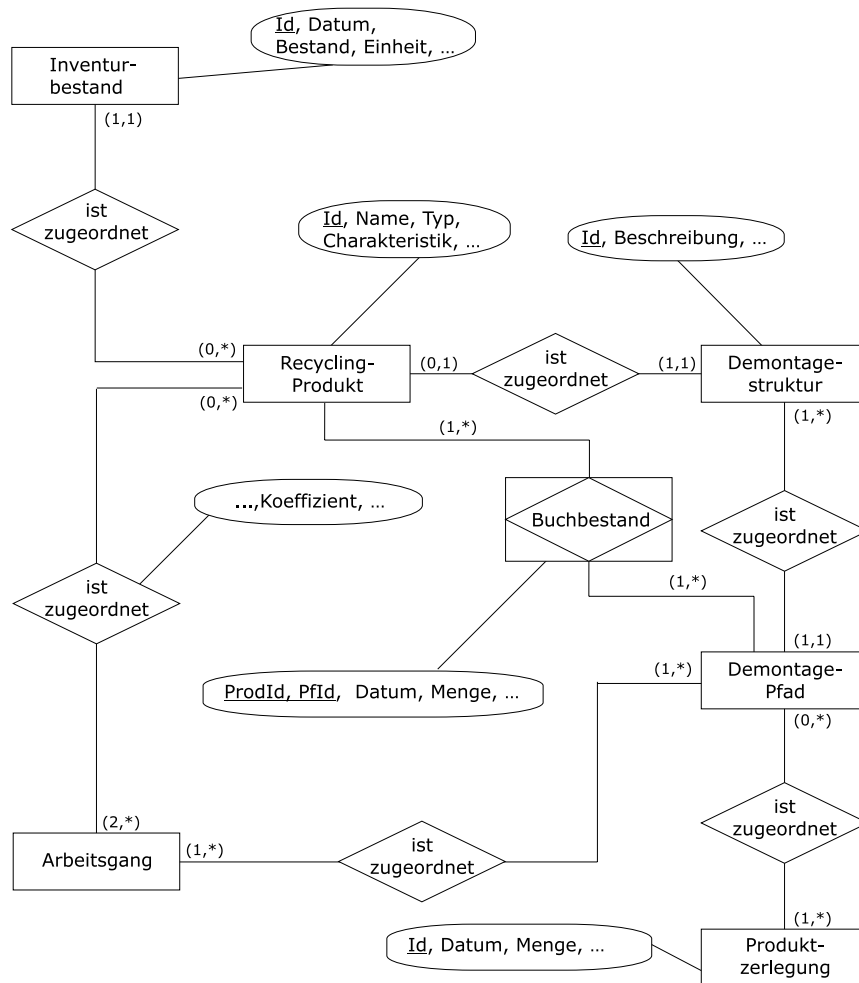


Abbildung 3
Ausschnitt des ER-Modells

→ Stahl). Der Koeffizient besagt, wieviel Einheiten des zweiten Produkts bei der Zerlegung des ersten Produkts entstehen.

Der Entitytyp *Produktzerlegung* enthält die täglich zerlegten Altproduktmengen. Diese sind zusätzlich durch den Demontangepfad gekennzeichnet, der wiederum auf die Informationen über Arbeitsgänge und auf die bei der Zerlegung entstandenen Produkte (Fraktionen und Brauchteile) hinweist.

Bearbeitet ein Recyclingunternehmen in einem Zeitraum einen Auftrag mit alten Waschmaschinen, aus denen nur die Fraktion Stahl gewonnen werden soll, und ei-

nem anderen Auftrag, bei dem aus Waschmaschinen zunächst nur Gebrauchtteile (z.B. Motoren) entnommen werden sollen, so ergeben sich zwei unterschiedliche Demontagepfade bezüglich des gleichen Produkts. Die Aufzeichnung dieser Demontagepfade muß separat erfolgen, weil sich die Outputmengen und -arten (z.B. Stahl vs. Motoren) unterscheiden. Eine Vermischung ist nicht angeraten, da sich sonst bei einer Rückrechnung ungenaue oder falsche Mengenverhältnisse ergeben.

Verschiedene Demontagepfade hinsichtlich eines Altprodukts werden in einer Demontagestruktur gruppiert, die wiederum genau einem Altprodukt zugeordnet wird. Durch diese Beziehung ist bei einem Demontagepfad leicht festzustellen, welches Produkt in der Hierarchie als erstes zerlegt wird.

Laut ER-Modell kann es in der Datenbank auch Recycling-Produkte geben, die keiner Demontagestruktur zugeordnet sind. Es handelt sich in diesem Fall um Gebrauchtteile, Fraktionen und andere Recycling-Produkte, deren Verwendung noch nicht bekannt ist.

Die fortlaufende Aufzeichnung von Zerlegevorgängen in dem Entitytyp *Produktzerlegung* erlaubt es, die Buchbestände der Recycling-Produkte zu ermitteln. Die Buchwerte werden während der Eingabe der Zerlegeleistungen automatisch und kontinuierlich fortgeschrieben. Der Entitytyp *Buchbestand* enthält also stets die Informationen über die aktuellen Bestände aller Recycling-Produkte. Er wird bei der Inventur am Stichtag zum Vergleich mit den tatsächlichen Beständen herangezogen.

Die in regelmäßigen Zeitabständen durchgeführten Bestandsaufnahmen werden durch den Entitytyp *Inventurdaten* repräsentiert. Anhand des mitgespeicherten Datums können die Inventuren unterschieden werden.

5 Aktualisierung der Outputkoeffizienten

In dem Entscheidungsunterstützungssystem *efeu* werden die auf der Inputseite des Recyclingprozesses auftretenden Güter (Altprodukte) bei Anlieferung erfaßt. Für die Outputseite (Fraktionen und Gebrauchtteile) bestehen unterschiedliche Möglichkeiten.

Der exakteste Weg zur Aktualisierung der Outputkoeffizienten besteht zweifellos darin, bei jedem Zerlegeauftrag die gewonnenen Fraktionsmengen detailliert festzuhalten. Allerdings ist dieser Weg sehr aufwendig und im Tagesgeschäft eines Demontageunternehmens selten realisierbar. Eher erfaßt man die pro Tag zerlegten Geräte (Zerlegeleistung) sowie den Fraktionsverkauf und führt in unregelmäßigen Abständen eine Lagerinventur durch. Die entsprechenden Informationen können in der Datenbank von *efeu* abgelegt werden.

Abweichungen zwischen den Inventurwerten und den Buchwerten in der Datenbank lassen auf inkorrekte Outputkoeffizienten schließen. Da die gleichen Fraktionsarten aus unterschiedlichen Altprodukten resultieren können, ist es allerdings im

nachhinein nicht mehr möglich, zu ermitteln, welche Teile der Abweichungen auf welche Altprodukte bzw. Demontageaufträge zurückzuführen sind.

Geht man davon aus, daß die Wahrscheinlichkeit für fehlerhafte Outputkoeffizienten bei allen Altprodukten gleich ist, dann besteht das Problem darin, die Mengenabweichungen zwischen den Buchwerten und den Inventurwerten der Fraktionen proportional auf die Altprodukte zu verteilen. Das heißt, die Outputkoeffizienten sind in der Weise neu zu berechnen, daß sich rechnerisch die gleichen Buchwerte wie die Inventurwerte ergeben:

$$|IW_j - BW_j| \rightarrow 0 \quad \forall j \in \{1, \dots, n\}$$

mit j = Fraktionsart
 n = Anzahl der Fraktionen
 BW_j = Buchwert der Fraktion j
 IW_j = Inventurwert der Fraktion j

Der Buchwert einer Fraktion j ergibt sich aus der Summe der Fraktionsmengen, die bei der Zerlegung der verschiedenen Altprodukte in einer Periode entstanden sind (jeweils Altproduktmenge mal Outputkoeffizient). Die Outputkoeffizienten haben die Werte, die sie einmal durch Probezerlegungen oder durch Anpassungen in der Vorperiode erhielten. Sie werden im weiteren als $K_{i,j}^{alt}$ bezeichnet. Die Buchwerte ergeben sich dann als:

$$BW_j = \sum_{i=1}^m (K_{i,j}^{alt} * MP_i) \quad \forall j \in \{1, \dots, n\}$$

mit i = Altproduktart
 m = Anzahl der Altproduktarten
 MP_i = Menge der Altproduktart i
 $K_{i,j}^{alt}$ = alter Outputkoeffizient (Fraktionsmenge j pro Altprodukt i)

Zur Neuberechnung der Outputkoeffizienten $K_{i,j}^{neu}$ für eine bestimmte Fraktion j muß die Gleichung

$$IW_j = \sum_{i=1}^m (K_{i,j}^{neu} * MP_i)$$

gelöst werden. Damit sich die Abweichungen sinnvoll auf die Altprodukte verteilen, werden die Proportionalitätsbedingungen

$$\frac{K_{i,j}^{neu} * MP_i}{\sum_{i=1}^m (K_{i,j}^{neu} * MP_i)} = \frac{K_{i,j}^{alt} * MP_i}{\sum_{i=1}^m (K_{i,j}^{alt} * MP_i)} \quad \forall i \in \{1, \dots, m\}$$

formuliert. Diese besagen, daß die Outputkoeffizienten in dem Verhältnis zueinander stehen sollen, wie die Altprodukte in der Vergangenheit jeweils zur Gesamtmenge einer Fraktion beitragen.

Würden die Altprodukte nach verschiedenen Demontagepfaden zerlegt, so ergibt sich eine zusätzliche Dimension pro Altprodukt. Zur Vereinfachung können jedoch diese Altprodukte als unterschiedliche Produkte betrachtet werden, so daß die aufgeführten Formeln weiterhin gelten. In diesem Fall kann das nach der Demontagestruktur 1 zerlegte Produkt $P_{1,1}$ als P_1 und das gleiche Produkt $P_{1,2}$, nach einer zweiten Demontagestruktur zerlegt, als P_2 bezeichnet werden. Für die Outputkoeffizienten gilt dann eine analoge Interpretation.

6 Implementierung der Ex-Post-Analyse

Zur Lösung des Gleichungssystems muß ein Algorithmus verwendet werden, der die Werte der Outputkoeffizienten so verändert, daß die angestrebten Buchwerte der jeweiligen Fraktionen erreicht werden. Als Nebenbedingung müssen die neu ermittelten Verhältnisse der Outputmengen den alten Mengenverhältnissen entsprechen.

Die Entwicklung eines eigenen Algorithmus für diesen Zweck ist heutzutage nicht mehr erforderlich, weil Standardsoftware und frei verfügbare Softwarekomponenten geeignete Funktionen anbieten. Im Software-Paket MS Office97 befindet sich z.B. ein Plug-in für Excel, das zur Lösung von nichtlinearen, linearen sowie ganzzahligen Problemen verwendet werden kann (Solver).

Um den Solver von Excel in eigene Applikation einzubinden, muß ein Windows-Kommunikationsmechanismus (z.B. DDE, OLE) herangezogen werden. Dies setzt eine Programmierspezifikation voraus, die einen Zugriff auf ActiveX-Komponenten ermöglicht. Der Hersteller des Excel-Solver (Frontline Systems, Inc.) bietet auf seinen WWW-Seiten eine DLL-Bibliothek an (vgl. <http://www.frontsys.com/dllv3news.htm>), welche die Funktionalität des Solver enthält. Insbesondere bei Lösungen größerer nichtlinearer Probleme ist wegen des Performancevorteils die DLL-Alternative zu empfehlen.

Für die prototypische Umsetzung der Ex-Post-Analyse in *efeu* wurden MS Excel und VBA (Visual Basic for Applications) herangezogen. Zunächst werden die Daten aus der *efeu*-Datenbank ausgelesen und aufbereitet. Danach wird über die Windows-OLE-Schnittstelle MS Excel aufgerufen. Um die Steuerung von Excel zu vereinfachen, wurde eine Typenbibliothek importiert (Microsoft Excel 8.0 Object Library), die im Office-Verzeichnis als Datei "Excel8.olb" gefunden werden kann. Die Excel-Applikation wird zusammen mit einem leeren Dokument im Hintergrund geöffnet. Dieses Dokument enthält Visual-Basic-Macros, die den Excel-Solver aufrufen.

In das geöffnete Arbeitsblatt werden die Inventur- und Buchwertdaten wie in Abbildung 4 eingelesen. Die dargestellten Werte beziehen sich auf die Formeln aus Kapitel 5. In dem Beispiel wurden die neuen Koeffizienten für die angegebenen

Altprodukte, aus denen die Fraktion *Schrott Fe 50 %* im Zerlegeprozeß entstand, berechnet. Die alten Mengen und die alten Koeffizienten der jeweiligen Altprodukte lassen sich aus der Tabelle *Buchbestand* auslesen, indem die dem jeweiligen Demontagepfad zugeordneten Arbeitsgänge untersucht werden. Durch die Multiplikation der Mengen und der Koeffizienten ergibt sich jeweils die gesamte hypothetische Fraktionsmenge pro Produktart. Die erste Zeile besagt z.B., daß aus 5 Herden nach den alten Koeffizienten 201 Einheiten hätten entstehen sollen. Nach der Summe aller Fraktionsmengen ergibt sich eine hypothetische Menge der Fraktion *Schrott Fe 50 %*⁹, die der tatsächlichen Inventurmenge (in der Abbildung: $Sum(MP\ neu)$) gegenübergestellt wird.

In der Spalte *Verhältnis* werden jeweils für die alten und neuen Mengen Proportionen der Fraktionsmengen berechnet. Das Verhältnis für die Herde wird z.B. ermittelt, indem die Fraktionsmenge für Herde durch die Gesamtmenge der Fraktion *Schrott Fe 50 %* dividiert wird ($201/3342,10 \approx 0,06$). Die Berechnung der sonstigen Werte erfolgt analog.

Altprodukt	alte Menge	alter Koeff	MP alt	Sum(MP alt)	Verhältnis	neue Menge	neuer Koeff	MP neu	Sum(MP neu)	Verhältnis
Herde	5,00	40,78	201,89	3342,10	0,06	6,00	19,14	109,86	1810,00	0,06
Orfen	13,00	10,10	131,30	3342,10	0,04	12,00	5,90	71,11	1810,00	0,04
Weichschwanz	19,00	30,89	462,00	3342,10	0,14	17,00	14,72	250,21	1810,00	0,14
Gesäßerspäher	32,00	25,48	812,88	3342,10	0,24	32,00	23,78	440,18	1810,00	0,24
Aufcader	28,00	34,89	980,00	3342,10	0,29	22,00	18,74	369,27	1810,00	0,20
Frontader	32,00	12,00	384,00	3342,10	0,11	31,00	6,71	207,87	1810,00	0,11
Herde	23,00	11,89	255,00	3342,10	0,08	18,00	7,21	137,00	1810,00	0,08
Computer	11,00	58,89	418,89	3342,10	0,13	8,00	29,30	226,38	1810,00	0,13

Mathematical formulas overlaid on the spreadsheet:

- MP_i (old)
- $K_{i,j}^{alt}$ (old)
- $K_{i,j}^{alt} * MP_i$ (old)
- $\sum_{i=1}^m (K_{i,j}^{alt} * MP_i)$ (old)
- $K_{i,j}^{neu}$ (new)
- $K_{i,j}^{neu} * MP_i$ (new)
- $\sum_{i=1}^m (K_{i,j}^{neu} * MP_i)$ (new)
- $\frac{K_{i,j}^{neu} * MP_i}{\sum_{i=1}^m (K_{i,j}^{neu} * MP_i)}$ (new ratio)

Abbildung 4

Excel-Spreadsheet mit den berechneten Koeffizienten

In die Spalte *neue Menge* werden die aktuellen Mengen der Altprodukte eingetragen, die in der Tabelle *Buchbestand* zu finden sind. Als $Sum(MP\ neu)$ wird jeweils der gleiche Wert, d.h. der Inventurwert der Fraktion, eingetragen (hier 1810). Die Felder in den Spalten *neuer Koeff*, *MP neu* und *Verhältnis* (letzte Spalte) müssen

⁹ Die Gesamtmenge der jeweiligen Fraktionen wird eigentlich in der Tabelle *Buchwerte* gespeichert (vgl. Kapitel 4) und könnte direkt für die Ermittlung der neuen Koeffizienten verwendet werden. Diese Berechnung erfolgt trotzdem in Excel-Zellen und wird intern mit den Werten aus der Datenbank verglichen, um eventuelle Inkonsistenzen zu entdecken.

dann entsprechend angepaßt werden, so daß die Werte in den beiden Spalten *Verhältnis* gleich sind. Hierfür wurde ein Makro geschrieben, der die Funktionalität des Excel-Solver verwendet und die Unbekannten ermittelt. Der Aufruf von Excel-Makros erfolgt ebenfalls über die OLE-Schnittstelle (OLE-Automation).

Im letzten Schritt liest das *efeu*-Programm die berechneten Outputkoeffizienten in ein eigenes Bildschirmfenster ein. Abbildung 5 zeigt als Beispiel ein Formular mit den Buchwerten für die Fraktion Eisenschrott ("Schrott Fe 50 %") aus den Altprodukten (Herd, Ofen, Waschmaschine, Geschirrspüler, Autoradio, Frontlader, Computer), die auch in dem Excel-Arbeitsblatt des letzten Beispiels zu sehen waren. In der ersten Zeile werden die Fraktionen zur Auswahl gegeben, für welche die Koeffizienten angepaßt werden, weiterhin der Buchbestand und der Inventurbestand. Das Feld "Buchbestand" zeigt die Gesamtmenge der Fraktion, die sich rechnerisch aus den Datenbankeinträgen ergibt, während in das Feld "Inventurbestand" die Summe der tatsächlich erreichten Fraktionsmengen aus dem Excel-Arbeitsblatt übertragen wurde. In der Haupttabelle sind die Altprodukte sowie die alten und die neu berechneten Outputkoeffizienten aufgelistet. Die zweite Spalte enthält die Information über den Zerlegepfad (Demontagenummer). Mit ihrer Hilfe können Produkte gleicher Art, die aber unterschiedlich zerlegt wurden, gekennzeichnet werden.

Die neu berechneten Outputkoeffizienten kann der Benutzer nun übernehmen, verändern oder auch verwerfen. Die neuen Werte werden als Outputkoeffizienten in die Demontagestrukturen der *efeu*-Datenbank eingetragen und von nun an benutzt.

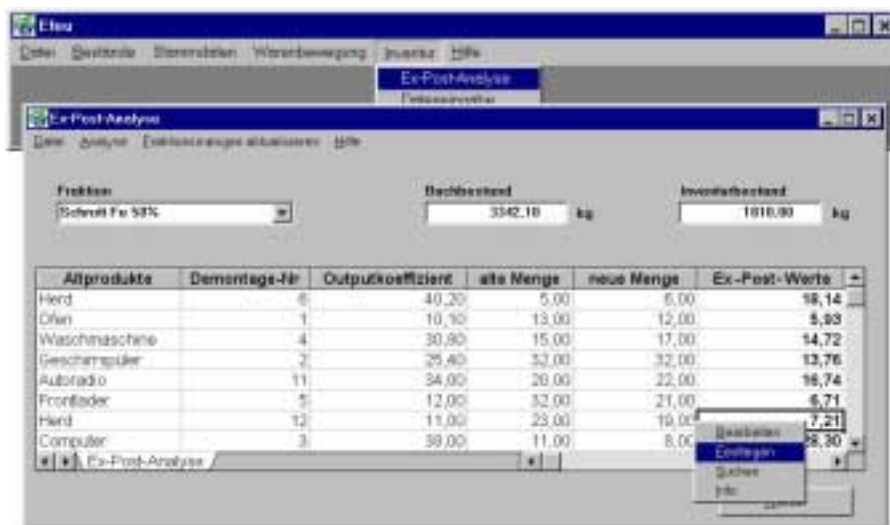


Abbildung 5
Implementierung der Ex-Post-Analyse in *efeu*

7 Ausblick

Durch periodische Ex-Post-Analysen werden die Outputkoeffizienten den Schwankungen der Zerlegeergebnisse regelmäßig angepaßt und somit tendenziell immer genauer. Wenn das Entsorgungsunternehmen nicht alle Ausschläge unmittelbar nachvollziehen will, empfiehlt sich allerdings die Anwendung eines Glättungsverfahrens (z.B. exponentielle Glättung).

Literatur

- Baier, C., Kasse, W. (1999): DEMROP – Homepage, WWW: <http://thor.emk.e-technik.th-darmstadt.de/demrop>, 21.04.1999
- Feldmann, K., Meedt, O. (1996): Demontage elektronischer Geräte unter Nutzung effizienter Werkzeuge und lebenszyklusübergreifender Produktdaten, in: *Industrie Management*, 12, Heft 2, S. 30-34
- Hilty, L. M., Rautenstrauch, C. (1997): Konzepte Betrieblicher Umweltinformationssysteme für Produktion und Recycling, in: *Wirtschaftsinformatik*, 39, Heft 4, S. 385-393
- Kurbel, K., Schneider, B. (1995): Konzeption eines betrieblichen Recycling-Informationssystems auf der Basis von Produktionsdaten, in: Haasis, H.-D. u.a. (Hrsg.): *Betriebliche Umweltinformationssysteme (BUIS)*, Marburg, S. 79-91
- Kurbel, K., Schneider, B., Etzrodt, A. (1995): Von Produktionsdaten zu Recyclinginformationen, in: Haasis, H.-D. u.a. (Hrsg.): *Umweltinformationssysteme in der Produktion*, Marburg, S. 165-170
- Kurbel, K., Schoof, B. (1998): Ein Entscheidungsunterstützungssystem für Entsorgungsunternehmen, in: Haasis, H.-D., Ranze, K.C. (Hrsg.): *Vernetzte Strukturen in Informatik, Umwelt und Wirtschaft, Proceedings des 12. Internationalen Symposiums 'Informatik im Umweltschutz' 1998*, Marburg, S. 215-225
- Spengler, T. (1998): *Industrielles Stoffstrommanagement*, Berlin
- Tritsch, C. (1999): *Flexible Demontage technischer Gebrauchsgüter, Ansatz zur Planung und (teil-)automatisierten Durchführung industrieller Demontageprozesse (Dissertation)*, Zusammenfassung, WWW: http://www-wbk.mach.uni-karlsruhe.de/Forschung/Dissertationen/1996_c_tritsch_de.html, 30.04.1999
- Zussman, E., Scholz-Reiter, B., Scharke, H. (1996): Planung in reaktiven Demontageprozessen, in: *Industrie Management*, 12, Heft 2, S. 35-41