

Ein Entscheidungsunterstützungssystem für Entsorgungsunternehmen

Karl Kurbel und Bernhard Schoof¹

Abstract

In this paper a prototypical information system for recycling companies is described. The system is under development at Europe University Viadrina Frankfurt (Oder) in Germany. It provides decision support for typical problems small and medium-size recycling companies are facing. Such problems are, for example, the determination of optimal dismantling paths for disassembly of complex technical products and the calculation of disassembly costs. Important features of the information system are tree-like structures representing hierarchies of similar products and dismantling paths. In the latter data structure, properties of recycling bills of materials and disassembly routings are combined. The system uses fuzzy logic to allow for uncertainty in disassembly, and provides features for ex post controlling of stocks and costs. Technical aspects of the underlying implementation are briefly outlined.

1. Problemstellung

Das Recycling technischer Güter (Haushaltgeräte, Computer usw.) wird heute zum großen Teil von speziellen Entsorgungsbetrieben durchgeführt, die unter Wettbewerbsbedingungen innerhalb eines lokalen Einzugsbereichs eine breitere Palette von Altprodukten entgegennehmen und zerlegen. Die Zerlegung beginnt meist mit der manuellen Demontage, als deren Ergebnis Fraktionen entstehen (z.B. Kupferschrott eines bestimmten Reinheitsgrads). Gegebenenfalls werden Gebrauchtteile (z.B. Elektromotoren) wiederaufbereitet und zum Verkauf angeboten.

Neben strategischen Entscheidungen über Investitionen, Personalpolitik oder Kapitalbeschaffung, die ein Entsorger wie jedes andere Unternehmen zu treffen hat, treten auf der operativen Ebene häufig spezifische Planungs- und Entscheidungsprobleme auf, die unter Termindruck schnell gelöst werden müssen. Beispiele hierfür sind:

- die Wahl zwischen unterschiedlichen Demontage-Arbeitsplänen,
- die Bestimmung der optimalen Demontagetiefe,

¹ Europa-Universität Viadrina Frankfurt (Oder), Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik, Postfach 776, D-15207 Frankfurt (Oder); Internet: <http://viadrina.euv-frankfurt-o.de/wi-www>,
E-Mail: wi-sek@euv-frankfurt-o.de.

- die Entscheidung, ob ein Gebrauchtteil aufbereitet oder als Schrott behandelt werden soll,
- die Prognose der aus einer gegebenen Menge von Altprodukten resultierenden Fraktionen,
- die Kalkulation eines Entsorgungsauftrags ohne sichere Kenntnis der verursachten Demontagekosten und Fraktionserlöse.

Zur Unterstützung derartiger Planungs- und Entscheidungsaufgaben wird am Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik der Europa-Universität Viadrina Frankfurt (Oder) im Rahmen eines von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Projekts ein Informationssystem zur Entscheidungsunterstützung für Entsorgungsunternehmen (*efeu*) entwickelt. Der Beitrag beschreibt die Aufgaben, Konzeption und Implementierung dieses Informationssystems.

2. Demontagestruktur

2.1 Integration von Recyclingerzeugnisstruktur und Arbeitsplan

Eine zentrale Stellung in der Systemkonzeption, in der Datenbasis und in der Bedienung nimmt die *Demontagestruktur* ein. Dies ist eine Datenstruktur, welche Merkmale von Recycling-Erzeugnisstrukturen und -Arbeitsplänen in sich vereinigt. Grundlage ist die baumförmige Anordnung der Bestandteile, in die ein Altprodukt zerlegt werden kann (Fraktionen bzw. Gebrauchtteile). Als Fraktionen werden im weiteren alle Zwischen- und Endprodukte der Demontage bezeichnet, die nicht als Gebrauchtteil verkauft werden sollen. Häufig sind alternative Arbeitsgangfolgen mit unterschiedlichen Resultaten möglich.

Mit der Zusammenfassung von Stücklisten- und Arbeitsplaninformationen in einer Datenstruktur wird von der im Produktionsbereich üblichen² und auch für PRPS-Systeme (Produktions- und Recyclingplanungs- und -steuerungssysteme³) vorgeschlagenen Trennung abgewichen. Allerdings gibt es PPS-Systeme, welche Erzeugnisstruktur- und Arbeitsgangdaten ebenfalls zusammen verwalten (z.B. das System VPPS/NT mit dem Konzept der "Ressourcenlisten"⁴).

Im Demontagebereich ist eine analoge Zusammenfassung zweckmäßig, da sie den Verlauf der Demontage mit den jeweils resultierenden Fraktionen bzw. Gebrauchtteilen sichtbar macht und die Tiefe der Strukturen im Vergleich zur Fertigung relativ gering ist. Der überwiegende Anteil der resultierenden Fraktionen wird dem Mate-

² Vgl. z.B. Kurbel (1998), S. 63 ff.

³ Vgl. Rautenstrauch (1997), S. 102 ff.

⁴ Vgl. infor (o.J.), S. 30 f.

rialrecycling zugeführt, und die Demontagearbeitsgänge sind in hohem Maße intuitiv, da Typenvielfalt und Zustand der Altprodukte (Abnutzung, Korrosion) oft situative Entscheidungen bei der Zerlegung erfordern.

Die geringe informationelle Komplexität der Demontagearbeiten läßt daher eine aus Anwendersicht möglichst einfache und kompakte Datenstruktur sinnvoll erscheinen. Die in der Recycling-Literatur gebräuchlichen Datenstrukturen wie Recycling-Graphen⁵, Demontage-Arbeitspläne und Recycling-Erzeugnisstrukturen⁶ sind für den zugrunde liegenden Betriebstyp zu aufwendig.

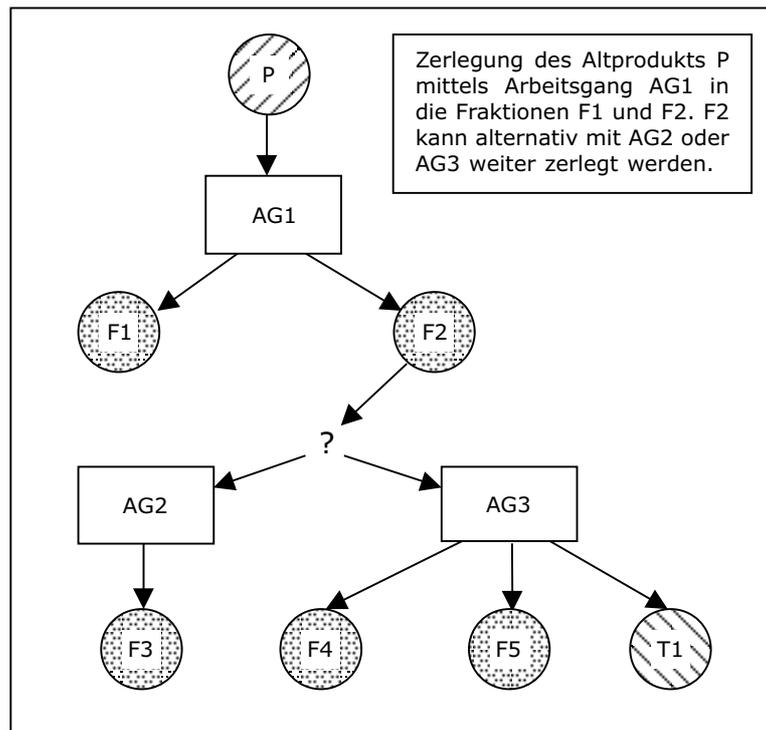


Abbildung 1: Demontagestruktur

Die in Abbildung 1 gezeigte Demontagestruktur enthält Knoten, die für Altprodukte, Fraktionen und Gebrauchteile stehen, und Knoten, die Arbeitsgänge repräsentieren. Genau genommen handelt es sich bei den rechteckigen Knoten um Arbeitspläne (Folgen von Arbeitsgängen). Da diese in der Praxis der Entsorgungsunternehmen aber im allgemeinen nicht weiter differenziert werden, soll im weiteren nur von Arbeitsgängen gesprochen werden. Zu den Informationen, die mit den Kanten und

⁵ Vgl. Kurbel, Schneider (1995), S. 85 ff.

⁶ Vgl. Kurbel, Schneider (1995), S. 83 ff.

Knoten der Demontagestruktur verbunden sind, gehören die Mengenkoeffizienten bzw. die Dauern der Arbeitsgänge und die Betriebsmittelzuordnungen.

Bei dem in der Abbildung dargestellten Beispiel wird ein Altprodukt P mittels Arbeitsgang AG1 in die Fraktionen F1 und F2 zerlegt. Während F1 an andere Entsorgungsbetriebe abgegeben wird, soll F2 weiter zerlegt werden. Hier besteht die Alternative, den Arbeitsgang AG2 oder AG3 durchzuführen. Im einen Fall resultieren die Fraktionen F4 und F5 sowie das Gebrauchtteil T1, im anderen Fall die Fraktion F3.

2.2 Realisierung im Informationssystem

Die Baumdarstellung der Demontagestruktur wird im Informationssystem *efeu* mit dem in MS Windows verfügbaren TreeView-Objekt realisiert, das z.B. auch der Windows-Explorer nutzt. Abbildung 2 zeigt ein Beispiel. Der Umgang mit der Datenstruktur ist für einen Windows-Benutzer intuitiv und erfolgt in der gewohnten Weise. Alle zur Bearbeitung der Datenbestände implementierten Dialoge, wie z.B. das Einfügen eines neuen Arbeitsgangs, können über Kontextmenüs (rechte Maustaste) erreicht werden.

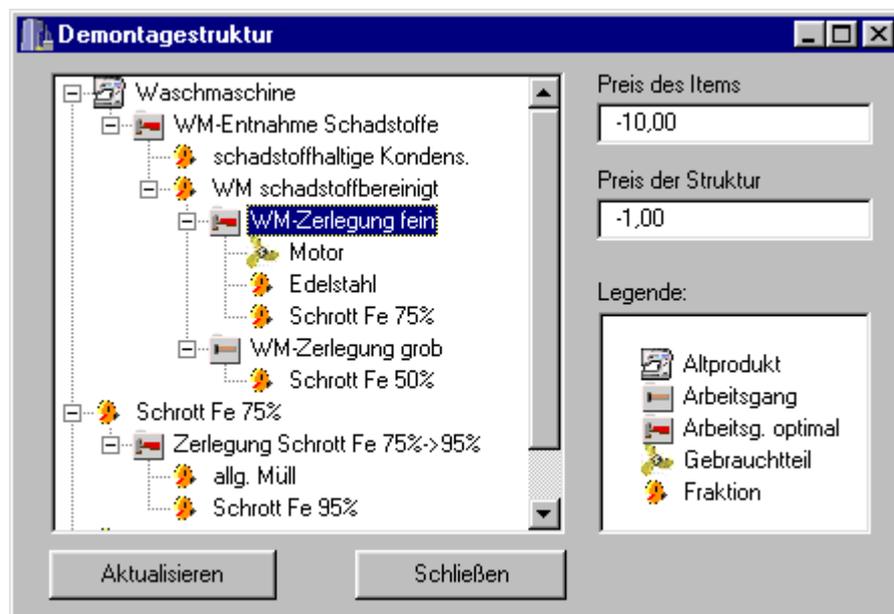


Abbildung 2: Demontagestruktur in *efeu*

Das Beispiel in Abbildung 2 ist analog zu der Demontagestruktur der Abbildung 1 aufgebaut. Es stellt vereinfacht die Zerlegung einer Waschmaschine dar. Die unter-

schiedlichen Icons an den Knoten symbolisieren Arbeitsgänge, Fraktionen bzw. Altprodukte. Beispielsweise handelt es sich bei „WM-Zerlegung fein“, um einen Arbeitsgang (bzw. Teilarbeitsplan), der unter anderem zu der Fraktion „Schrott Fe 75 %“, führt. Da die letztere in vielen Demontagestrukturen auftritt und in Abhängigkeit von Marktpreisen etc. gegebenenfalls weiter bearbeitet wird (Arbeitsgang „Zerlegung Fe-Schrott 75 % → 95 %“), ist für sie eine eigene Demontagestruktur vorgesehen.

Das Altprodukt Waschmaschine wird zunächst von Schadstoffen entfrachtet (Arbeitsgang „WM-Entnahme Schadstoffe“). Als Resultat ergeben sich die Fraktionen „schadstoffhaltige Kondensatoren“, und „WM schadstoffbereinigt“. Während die schadstoffhaltigen Kondensatoren als solche abgegeben werden, soll die entfrachtete Waschmaschine weiter zerlegt werden.

2.3 Optimaler Demontagepfad und Demontagetiefe

Ein wesentliches Leistungsmerkmal des Entscheidungsunterstützungssystems ist die Ermittlung des günstigsten Pfads durch alternative Zweige der Demontagestruktur. Dabei können unterschiedliche Szenarien simuliert werden. Beispielsweise lassen sich alternative Fraktionserlöse, Deponiegebühren, Betriebsmittelkapazitäten, Demontagekosten bzw. -dauern etc. berücksichtigen. Der jeweils optimale Demontagepfad wird in Abhängigkeit dieser Faktoren berechnet und visualisiert.

Das Beispiel in Abbildung 2 zeigt, stark vereinfacht, mögliche und empfohlene Arbeitsschritte beim Zerlegen der Waschmaschine sowie die resultierenden Fraktionen. Gebühren und Kosten aus Sicht des Entsorgungsunternehmens werden als negative Preise behandelt. Alternativen sind hier grobe und feine Zerlegung. Für die Feinzerlegung wird aufgrund der Arbeitsgangdaten ein Preis von -10,00 DM/Stück ermittelt. Sie führt also zu relativ hohen Demontagekosten. Jedoch resultieren in dem Beispiel Fraktionen im Wert von 9,00 DM; dies wird anhand der in der Datenbasis gespeicherten Marktpreise errechnet. Die durch den Arbeitsgang zusätzlich verursachten Netto-Kosten belaufen sich somit nur auf 1 DM („Preis der Struktur -1,00“).

Wenn sich demgegenüber bei einer Grobzerlegung ein niedrigerer Preis (z.B. -5) ergäbe, wäre die höhere Demontagetiefe die vorzuziehende Alternative. In der Demontagestruktur wird die günstigste Alternative farblich und durch besondere Icons auf dem optimalen Demontagepfad visualisiert.

Die Demontagestruktur ist die grundlegende Datenstruktur, auf deren Basis wichtige Entscheidungen vorbereitet und getroffen werden können. Insbesondere gestattet es die verwendete Konzeption, Simulationen für unterschiedliche Zerlegekosten und Fraktionspreise durchzuführen. Bei der Berechnung des optimalen Zerlegepfads werden betriebliche Restriktionen (z.B. beschränkte Betriebsmittelkapazitäten) berücksichtigt.

3. Produkt-Hierarchie

3.1 Ähnlichkeitsbeziehungen

Die Produkt-Hierarchie ordnet Altprodukte nach dem Kriterium Ähnlichkeit in einer baumförmigen Struktur an. Die Nachfolger eines Knotens (im Bild in Richtung rechts unten verzweigend) stellen Verfeinerungen einer allgemeineren Produktkategorie dar. In Abbildung 3 werden etwa Waschmaschinen in Seitenlader, Toplader und Kompaktgeräte differenziert, weil Demontage und Ergebnisse jeweils unterschiedlich sind.

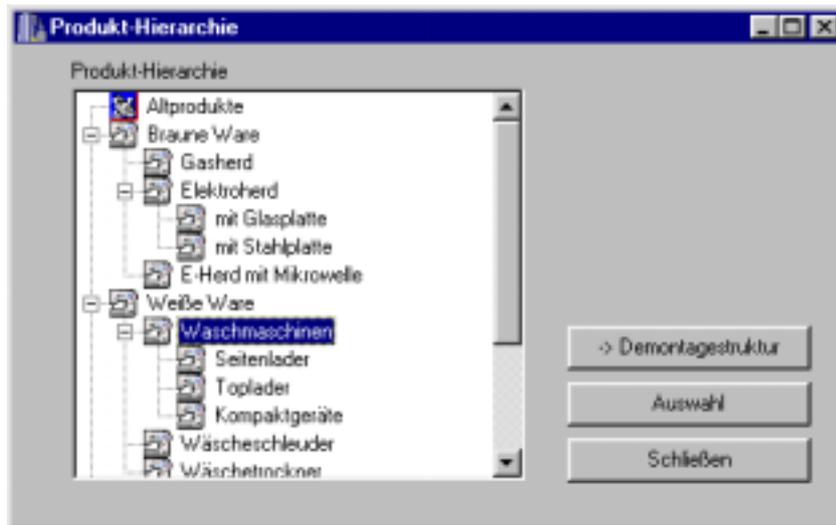


Abbildung 3: Produkt-Hierarchie

Die Berücksichtigung gröberer und feinerer Kategorien ist erforderlich, weil der Kenntnisstand über die Altprodukte schwankt und manchmal zeitpunktabhängig ist. Beispielsweise wird in langfristigen Verträgen häufig die Abnahme einer bestimmten Menge „brauner,“ oder „weißer,“ Ware allgemein vereinbart, ohne daß zu diesem Zeitpunkt die Typen der Geräte auch nur grob bekannt sind. Entsprechend groß ist die Unsicherheit über die Demontageprozesse.

Wenn später ein konkreter Entsorgungsauftrag über Altprodukte eines bestimmten Typs vorliegt, verringert sich die Unsicherheit dagegen erheblich. Je genauer die Altprodukte bekannt sind, desto exakter lassen sich die Demontagekosten und die Fraktionserlöse planen und kalkulieren.

Mit der Produkt-Hierarchie kann der jeweilige Grad an Unsicherheit berücksichtigt und die schrittweise Verfeinerung des Wissens über die Altprodukte abgebildet werden. Auf der obersten Ebene werden die grob unterschiedenen Klassen der Alt-

produkte gespeichert. In den weiteren Ebenen werden die Typen schrittweise detailliert. Die Einträge auf den tieferen Ebenen erben grundsätzlich die Merkmale der übergeordneten Knoten; der Anwender kann sie aber mit den typspezifischen Werten überschreiben. Die Exaktheit der für Planungs- und Kalkulationszwecke benötigten Werte nimmt somit auf jeder Ebene zu.

3.2 Verbindung zur Demontagestruktur

Zwischen den beiden Datenstrukturen Produkt-Hierarchie und Demontagestruktur bestehen inhaltliche Beziehungen. Die Zweige der Demontagestruktur sind mit Unsicherheit behaftet, wenn der genaue Produkttyp nicht im Detail bekannt ist. Die Unsicherheit ist um so größer, je allgemeiner der Typ des Altprodukts beschrieben wurde. Zum Beispiel ist eine Demontagestruktur für „Waschmaschine,“ ungenauer als eine Demontagestruktur für „Waschmaschine Toplader,“

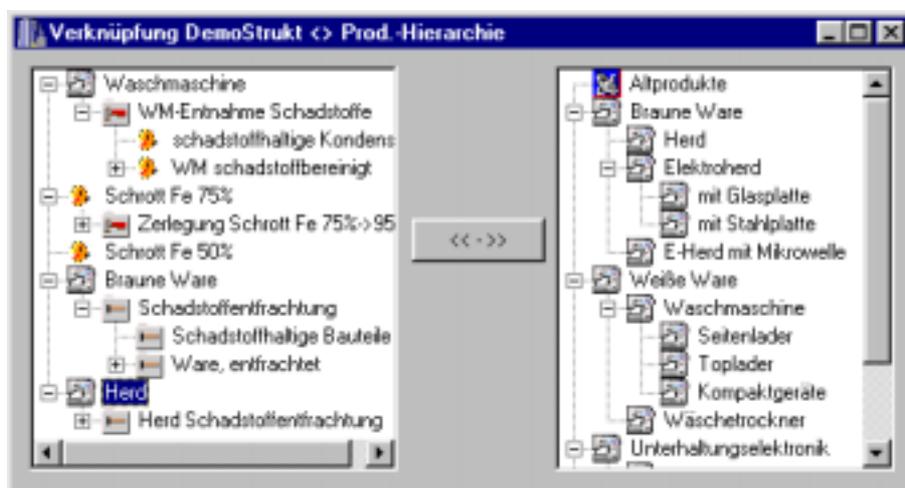


Abbildung 4: Verknüpfung von Demontagestruktur und Produkt-Hierarchie

In der Produkt-Hierarchie geht man von dem allgemeinen Typ (mit entsprechend großen Unsicherheiten) schrittweise zum spezielleren Altprodukt über, wenn sich der Kenntnisstand verbessert. Damit wird eine andere, genauere Demontagestruktur relevant, auf deren Grundlage nun exakter geplant oder kalkuliert werden kann (z.B. hinsichtlich der zu erwartenden Mengen an Schadstoffen oder Gebrauchtteilen). Wie Abbildung 4 andeutet, gibt es grundsätzlich für alle Knoten der Produkt-Hierarchie eine Demontagestruktur.

Aufgrund der engen Beziehungen zwischen Produkt-Hierarchie und Demontagestruktur muß es möglich sein, von der einen in die andere Datenstruktur zu ge-

langen und umgekehrt. Im Informationssystem *efeu* werden die Verbindungen automatisch hergestellt, so daß der Benutzer am Bildschirm auf einfache Weise hin- und herwechseln kann.

4. Behandlung der Unsicherheit

4.1 Fuzzy-Zahlen

Bei der Demontage von Altprodukten spielen Unsicherheiten eine wesentlich größere Rolle als etwa in Fertigungsprozessen. Beispielsweise ist nicht nur das künftige Aufkommen an Altprodukten unsicher, sondern auch die Beschaffenheit derselben.

Zur Berücksichtigung der Unsicherheit werden die relevanten Parameter mit Hilfe der Fuzzy-Logik behandelt. Aus Gründen der Einfachheit werden unscharfe Werte als dreiecksförmige Fuzzy-Zahlen⁷ dargestellt. Damit genügen zur internen Repräsentation zwei Gleitkomma-Werte, nämlich der vermutete oder statistisch ermittelte Mittelwert und die Einflußbreite. Je ungenauer die verfügbaren Informationen sind, desto größer wird die Einflußbreite um den Mittelwert herum. Bei exakt bekannten Werten kann von vornherein mit Singletons (Einflußbreite = 0) gearbeitet werden.

In der Produkt-Hierarchie wird die Unsicherheit über den Zustand eines Altgeräts nicht direkt berücksichtigt. Je detaillierter ein Altprodukt in der Produkthierarchie erfaßt wird, desto exakter ist jedoch die zugehörige Demontagestruktur und desto enger werden die Intervalle zur Erfassung der Unschärfe.

4.2 Visualisierung der Fuzzy-Zahlen

Die Nutzung der Fuzzy-Zahlen im Informationssystem *efeu* wird an einem einfachen Beispiel, der Prognose der aus einem Demontageprozeß resultierenden Fraktionsmengen, gezeigt. Entsorgungsunternehmen können mitunter bei der Abgabe von Fraktionen bessere Konditionen erzielen, wenn zu einem bestimmten Zeitpunkt vorgegebene Mindestliefermengen erreicht werden. Daraus ergibt sich die Fragestellung, wieviele Altprodukte zum Erreichen einer Mindestmenge (noch) zerlegt werden müssen. Die Antwort auf diese Frage ist z.B. für die Annahme bzw. Akquisition zusätzlicher Entsorgungsaufträge und für die Kapazitätsdisposition von Bedeutung.

Die notwendigen Informationen werden in *efeu* grafisch visualisiert. Im Beispiel der (nicht maßstabsgetreuen) Abbildung 5 ist angedeutet, daß bei Zerlegung der Altproduktmenge in der linken Säule die jeweiligen Mengen an Fraktionen F1 bis F4 und Gebrauchtteilen T1 gewonnen werden.

⁷ Vgl. Kahlert, Frank (1993), S. 14 ff.

In den abgeschrägten Enden kommt die in den Fuzzy-Zahlen berücksichtigte Unsicherheit zum Ausdruck. Die gewünschte Mindestmenge X_{\min} der Fraktion F3 wird bei der unterstellten Altproduktmenge wahrscheinlich erreicht, ist aber unsicher. Die mögliche Schwankungsbreite wird durch die Differenz zwischen der linken und rechten Seite der Säule repräsentiert. Die Dreiecke auf dem „gewöhnlichen„ Balkendiagramm stellen die Unsicherheit, insbesondere bezüglich des Erreichens einer bestimmten Zielgröße, anschaulich dar.

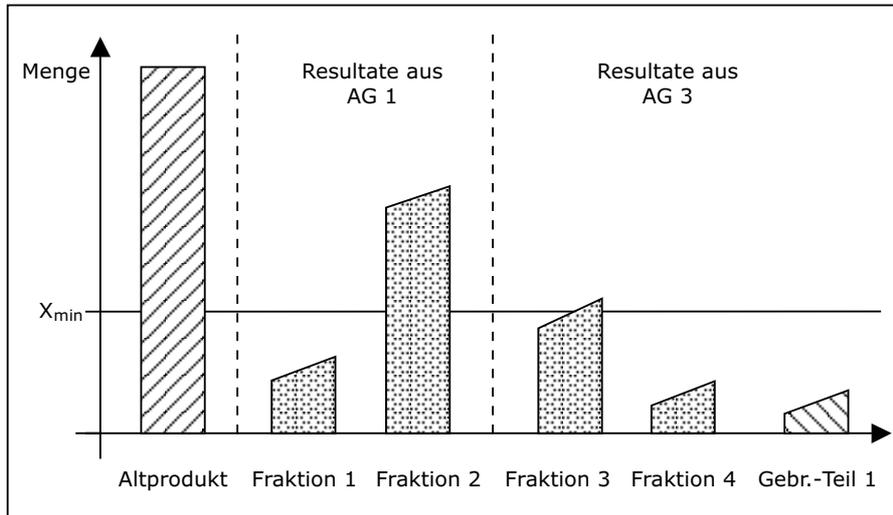


Abbildung 5: Darstellung von Fuzzy-Zahlen in Bestandsverläufen

Für Dispositionsentscheidungen und Simulationen werden interaktive Steuerelemente bereitgestellt. Dies bedeutet, daß Manipulationen, die der Planer durch "Drag and drop" in der Grafik vornimmt, auch im zugrunde liegenden Datenbestand berücksichtigt und auf Konsistenz geprüft werden. Beispielsweise werden bei Verringerung eines Balkens in der Altprodukt-Säule (Rückmeldung eines Zerlegeauftrags) automatisch die Balken der zugehörigen Fraktionen erhöht und in der Datenbank die entsprechenden Mengen verändert. Die Simulationsfähigkeit („was wäre wenn,“) wird z.B. benötigt, um diejenigen Mengen verschiedener Altprodukte zu bestimmen, die erforderlich wären, um eine bestimmte Menge einer interessierenden Fraktion zu erhalten.

5. Stoffstrombilanz

Ein wesentliches Problem der Entsorgungsunternehmen ist die Ermittlung der *Demontagekosten*. Dies gilt einerseits für die Kalkulation künftiger Aufträge, da Unsi-

cherheit über die technische Beschaffenheit der Entsorgungsgüter besteht, andererseits aber auch für die nachträgliche Ermittlung der tatsächlich entstandenen Kosten, zumindest bei stark heterogenen Entsorgungsgütern. Dies liegt teilweise daran, daß die Demontagezeiten und -resultate nicht mitlaufend oder regelmäßig erfaßt werden. Der Aufwand hierfür wird, gemessen an der Wertschöpfung, als unverhältnismäßig hoch angesehen.

Um so wichtiger ist es, daß die aus den zerlegten Altprodukten resultierenden Fraktionen nachträglich ermittelt und beurteilt und die Knoten- und Kanteninformationen der Demontagestrukturen entsprechend aktualisiert werden. In dem Informationssystem wird deshalb eine *nachlaufende Stoffstrombilanz* geführt, aus der ex post Durchschnittswerte zu Demontagekosten und Fraktionserlösen gewonnen werden können. Auf diesen Werten kann wiederum die Kalkulation künftiger Aufträge aufbauen. Außerdem bilden sie die Grundlage für strategische Entscheidungen des Managements. Zur rechtzeitigen Erkennung von Trends sind beispielsweise Darstellungen von Zeitreihen selektierter Merkmale vorgesehen. Die Informationen aus der nachlaufenden Stoffstrombilanz werden in MS Excel mit statistischen Methoden (z.B. exponentielle Glättung) aufbereitet und visualisiert.

Die Erfassung der Ist-Daten kann in jedem Unternehmen unterschiedlich geregelt sein. In jedem Fall sollte die Tageserzeleistung der Mitarbeiter ermittelt und gespeichert werden. Dies kann z.B. am Abend jedes Tages exakt oder am Ende einer Woche mittels eines Durchschnittswerts geschehen. Einige Daten, wie die Eingänge von Altprodukten und die Ausgänge von Gebrauchtteilen und Fraktionen, müssen allerdings möglichst zeitnah erfaßt werden.

Anhand dieser und weiterer Daten, ggf. aus anderen Informationssystemen (z.B. Inventurdaten, Lohnkosten, Gemeinkostenanteile), lassen sich die Kosten der Zerlegung eines Altprodukts für zurückliegende Perioden ermitteln.

6. Implementierung und Systemarchitektur

Der Prototyp des Informationssystems *efeu* läuft unter MS Windows auf PCs. Er wurde in C++ mit Hilfe der CBuilder-Klassenbibliothek VCL (Virtual Component Library) von Borland⁸ implementiert. Die interaktiven Grafikelemente (vgl. Abbildung 5) mit Bezug zu den Fuzzy-Mengen werden der VCL hinzugefügt und können als eigenständige Komponenten weiterverwendet werden.

Zur Datenbasis hin wird auf der ODBC-Schnittstelle aufgesetzt. Gegenwärtig liegt darunter eine Paradox-Datenbank, aber andere ODBC-fähige Datenbanksysteme können ebenso verwendet werden. Damit ist Skalierbarkeit der Konfiguration je nach Unternehmenstyp und -größe gegeben. Zur Durchführung allgemeiner Aufgaben (z.B. statistische Berechnungen, Abfragen, Reports) werden OLE-Verknüpfungen zu Standardsoftware (MS Excel, MS Query etc.) genutzt.

⁸ Neuerdings „INPRISE Corporation,,

7. Ausblick

Die Konzeption des Entscheidungsunterstützungssystems wird vor allem in drei Richtungen weiterentwickelt. Erstens soll der Verkauf von Gebrauchtteilen unterstützt werden. Da sich die Verkaufsvorgänge meist auf sehr geringe Stückzahlen oder Unikate beziehen, erscheint automatisierte Hilfestellung beim Zusammenführen von Angebot und Nachfrage zweckmäßig. Hierzu soll das World Wide Web genutzt werden. Die Informationen über aufbereitete Gebrauchtteile werden an eine WWW-Serverdatenbank übergeben und somit interessierten Nachfragern für Recherchen zugänglich gemacht. Durch Hyperlinks von und zu etablierten Gebrauchtteilbörsen könnte der Nutzen des Systems erhöht werden.

Zweitens soll Unterstützung für strategische Entscheidungen mittel- und langfristigen Charakters geboten werden. Dazu werden die Simulationsmöglichkeiten weiterentwickelt. Verschiedene Szenarien hinsichtlich des Aufkommens an Entsorgungsgütern, der Beschaffenheit der Entsorgungsgüter (z.B. Recyclingfähigkeit) sowie der Preise auf der Annahme- und der Abgabeseite können dann beispielsweise für Investitionsentscheidungen herangezogen werden.

Drittens ist vorgesehen, die den Demontearbeiten immanente Unsicherheit explizit mit Hilfe der Fuzzy-Logik zu behandeln. In Erweiterung der Darstellung unsicherer Werte mit Fuzzy-Zahlen sollen linguistische Variable und Operationen auf Fuzzy-Mengen implementiert werden. So spielt etwa bei der Wahl des optimalen Demontepfads die Beschaffenheit der Entsorgungsgüter eine wesentliche Rolle. Diese kann mit Hilfe von linguistischen Variablen (z.B. „Korrosionsgrad,“) und Termen (z.B. „stark verrostet,“) beschrieben werden. Eine Regelbasis ermöglicht dann die Zuordnung zu vorgegebenen Teileklassen, die wiederum mit Demontagestrukturen für die Zerlegung verknüpft sind.

Literaturverzeichnis

- Haasis, H.-D., Hilty, L. M., Kürzl, H., Rautenstrauch, C. (Hrsg.) (1995): Betriebliche Umweltinformationssysteme (BUIS) – Projekte und Perspektiven; Marburg.
- INFOoJ infor GmbH: VPPS/NT – Die ganzheitliche Lösung für die mittelständische Industrie. infor GmbH, Hauerstraße 12, D-66299 Friedrichsthal, o.J.
- Kahlert, J., Frank, H. (1993): Fuzzy-Logik und Fuzzy-Control; Braunschweig.
- Kurbel, K. (1998): Produktionsplanung und –steuerung, 3. Auflage; München, Wien.
- Kurbel, K., Schneider, B.: Konzeption eines betrieblichen Recyclinginformationssystems auf Basis von Produktionsdaten; in: Haasis u.a. (1995), 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.
- Rautenstrauch, C. (1997): Fachkonzept für ein integriertes Produktions-, Recyclingplanungs- und Steuerungssystem (PRPS-System); Berlin, NewYork.