

Ansatz zur Ermittlung der Wiedereinsatzbarkeiten von Demontageerzeugnissen im Rahmen reaktiver Demontageplanung

Alexander Huber¹ und Jorge Marx-Gómez¹

1. Einführung

Ziel der *Kreislaufwirtschaft* ist, Stoffe und Produkte so lange es sinnvoll ist, im Wirtschaftskreislauf zu halten. Die *Entsorgung*, als eine zentrale Phase der Kreislaufwirtschaft, enthält das *Recycling* und die *Beseitigung*. Die *Demontage* stellt eine Behandlungsart des *Recycling* dar. Demontage erlaubt im Gegensatz zu anderen Behandlungsarten einen höheren Werterhalt, erfordert aber in der Regel einen höheren Aufwand (Seliger/Kriwet 1993, 529). Die Demontage kann in diesem Zusammenhang Voraussetzungen zum

- sortenreinen Wiedereinsatz von aus Altgeräten (nach einer Aufbereitung) gewonnenen Materialien (*Materialrecycling*) bzw.
- funktionserhaltendem Wiedereinsatz von (nach einer Aufarbeitung) gewonnenen Komponenten oder Produkten schaffen (*Produktrecycling*).

Im Rahmen des vorzustellenden Ansatzes steht die Demontage mit dem Ziel des *Produktrecycling* im Vordergrund. Ziel des *Produktrecycling* ist, die durch den Gebrauch veränderten Produktmerkmale wiederherzustellen, um eine aufgearbeitete Komponente bzw. ein aufgearbeitetes Produkt einer erneuten Verwendung zuführen zu können (Warnecke 1993, 256).

Als *Sekundärprodukte* werden Komponenten und Produkte bezeichnet, die mithilfe von Recyclingprozessen aus Abfällen gewonnen und im Rahmen von Produktions-, Instandhaltungs-, oder Reparaturprozessen wieder eingesetzt werden können. Durch die Bedingung der *Wiedereinsatzfähigkeit* der Recyclingerzeugnisse stellen Sekundärprodukte *Wirtschaftsgüter* dar. Im Folgenden werden durch Demontageprozesse erzeugte Sekundärprodukte als *Demontageerzeugnisse* bezeichnet.

Im Rahmen des *Recycling* von Altgeräten wird der Wiedereinsatz hochwertiger Komponenten zunehmend attraktiver. Die Möglichkeit des wirtschaftlichen Wieder-

¹ Otto-von-Guerike Universität-Magdeburg, Institut für Technische und Betriebliche Informationssysteme, Postfach 4120, D-39016 Magdeburg, eMail: huber | gomez@iti.cs.uni-magdeburg.de

einsatzes von Komponenten (*Wiedereinsetzbarkeit*) stellt sich allerdings erst *nach* Demontage, Reinigung und Prüfung der betreffenden Komponente heraus. Die Demontage von Altgeräten erfolgt auf Grund hoher Komplexität zumeist manuell (Wiendahl/Bürkner 1999, 247) und stellt einen der größten Kostenfaktoren des Recycling dar (Rautenstrauch 1999, 66).

Die Aufgabe der vorzustellenden Methode besteht darin, die Wiedereinsetzbarkeiten von Komponenten *vor* einer potenziellen Demontage des Altgeräts zu *prognostizieren*. Die Wiedereinsetzbarkeit wird mithilfe einfach zu erhebender Einflussfaktoren auf Basis von Expertenwissen bestimmt. Die Ermittlung der Wiedereinsetzbarkeiten ist Teil eines Konzepts zur Demontageplanung und -steuerung (DPS).

Gegenstand der DPS ist die *dispositive* Seite der Demontage (Huber 2000a, 26). Unter einem *DPS-Konzept* wird im Weiteren ein in sich geschlossenes Vorgehensmodell verstanden, das unter Einbezug zugehöriger Daten und Algorithmen die Aufgabe der DPS bewältigen kann. Die *Aufgabe* der DPS besteht darin, auf Grund erwarteter oder vorliegender Kundenaufträge den mengenmäßigen und zeitlichen Demontageablauf unter Beachtung verfügbarer Kapazitäten festzulegen, durchzusetzen, zu überwachen und gegebenenfalls Anpassungsmaßnahmen einzuleiten. Dazu werden die komplexen Probleme der operativen DPS mit ihren sachlich und zeitlich interdependenten Problemen *sukzessive* gelöst. Unter einem *DPS-System* wird ein Werkzeug verstanden, das in der Regel in Form von Software vorliegt und auf einem oder mehreren DPS-Konzepten basiert. Der Funktionsbereich der DPS lässt sich in die beiden Funktionsebenen Demontageplanung und Demontagesteuerung einteilen. Für den nachfolgend vorgestellten Ansatz ist nur die Demontageplanung von Belang, die sich in die Funktionsgruppen Primärbedarfsplanung, Bedarfsplanung sowie Zeit- und Kapazitätsplanung einteilen lässt.

Unternehmen, die im Bereich der Demontage tätig sind (*Demontagefabriken*), werden wie jede andere Profitorganisation versuchen, Deckungsbeiträge zu maximieren. Es lassen sich zwei Hauptaufgaben der Demontagefabrik unterscheiden:

1. *Servicefunktion*: Lösen von Entsorgungsproblemen.
2. *Produzentenfunktion*: Befriedigen der Nachfrage nach Demontageerzeugnissen.

Die eingesetzten DPS-Systeme müssen dispositive Methoden zur Erfüllung dieser Aufgaben bereitstellen. In diesem Zusammenhang müssen zwei Besonderheiten berücksichtigt werden:

1. *Demontageerzeugnisse* lösen *Altgeräte* als Treiber des Planungsprozesses ab.
2. Altgeräte müssen *zielgerichtet* beschafft werden können.

2. Wiedereinsetzbarkeiten in der Demontageplanung und -steuerung

Grundsätzlich lässt sich der zur Befriedigung nachgefragter Demontageerzeugnisse notwendige Altgerätebedarf durch Division der Menge nachgefragter Demontageerzeugnisse durch die im Altgerät enthaltene Menge des Demontageerzeugnisses ermitteln. Zusätzlich muss allerdings berücksichtigt werden, dass nicht jedes *potenziell* in einem Altgerät enthaltene Demontageerzeugnis auch tatsächlich wiedereinsatzbar ist. Die Wiedereinsatzbarkeit von Demontageerzeugnissen stellt einen der größten Unsicherheitsfaktoren dar, mit denen die Demontagefabrik konfrontiert ist (Guide 1999, 106). Daher besteht die Notwendigkeit, den *Zustand* des Altgeräts bzw. potenzieller Demontageerzeugnisse in die Planung einzubeziehen. Etwa 95% der Demontagefabriken benutzen einfache Durchschnittswerte, um die Wiedereinsatzbarkeit zu bestimmen (Guide 1999, 106).

Hinsichtlich der Integration von Ansätzen zur Ermittlung der Wiedereinsatzbarkeit in DPS-Systemen bzw. -Konzepten müssen zwei Fälle unterschieden werden. *Vor* dem physischen Anfall der Altgeräte in der Demontagefabrik (*langfristige, prädiktive* Demontageplanung) müssen die Wiedereinsatzbarkeiten von Demontageerzeugnissen *pauschal* beurteilt werden. *Nachdem* die Altgeräte angefallen sind (*kurzfristige, reaktive* Demontageplanung), können zusätzliche Informationen berücksichtigt werden, um die *altgerätespezifischen* Wiedereinsatzbarkeiten der Demontageerzeugnisse zu prognostizieren (Huber 2000b, 57f.):

- *Vor dem Altgeräte-Anfall:* In der *prädiktiven* Demontageplanung werden Demontageerzeugnis-Zustände prognostiziert, um die zur Befriedigung eines gegebenen Demontageerzeugnis-Bedarfs notwendige Altgerätemenge zu berechnen. Weiterhin werden auf Basis der Wiedereinsatzbarkeiten Planauftragsnetze generiert, die u.a. im Rahmen der DPS-Funktionsgruppe Zeit- und Kapazitätsplanung zur Terminierung verwendet werden. Zum Zeitpunkt der prädiktiven Demontageplanung sind die Zustände der tatsächlich anfallenden Altgeräte noch nicht bekannt. Die Ermittlung der Wiedereinsatzbarkeit erfolgt somit auf Basis eines einfachen Durchschnittswerts. Da sich ein bestimmtes Demontageerzeugnis (auf Grund von Baugleichheiten) in verschiedenen Altgeräten befinden kann, werden *altgerädetypspezifische* Demontageerzeugnis-*Wiedereinsatzwahrscheinlichkeiten* in den Stücklisten gepflegt.
- *Nach dem Altgeräte-Anfall:* Nach Altgeräteeanlieferung beginnt die *reaktive* Demontageplanung. Ziel der Ermittlung der Wiedereinsatzbarkeit ist die Bestimmung derjenigen Altgeräte (aus den angelieferten Altgeräten), deren Demontage einen gegebenen Demontageerzeugnis-Bedarf optimal befriedigt. Durch die Erhebung altgerätespezifischer Parameter kann eine genauere Ermittlung der Wiedereinsatzbarkeit (als in der prädiktiven Planung) durchgeführt werden. Mithilfe von Fuzzy-Logik lassen sich Expertenregeln modellieren und verarbeiten, die bei der Lösung des Entscheidungs- und Bewertungsproblems Verwendung finden (Kruse et al. 1994, 35), dabei wird für jeden Alt-

gerätetyp ein Fuzzy-System entwickelt. Die Ergebnisse dieser qualitativen Zustandsbestimmung für Demontageerzeugnisse fließen in die Auftragsstücklisten ein und ermöglichen die Generierung von Demontageauftragsnetzen, die bisher verwendete Planauftragsnetze ersetzen.

Ziel der Verwendung von Wiedereinsetzbarkeiten ist die Bestimmung des kostenminimalen Altgeräte-Demontageprogramms. Die Forderung nach minimalen Kosten wird substituiert durch die Forderung nach Auswahl der Altgeräte mit dem besten Zustand. Die Zustände von Altgeräten bzw. Demontageerzeugnissen unterliegen sehr hohen Schwankungen und können nur unter Unsicherheit prognostiziert werden (Huber/Marx-Gómez 2000, 1182). Generell lässt sich der Altgerätezustand durch die Merkmale *Modifikation* (z.B. zusätzliche, fehlende oder unzugängliche Komponenten), *Beanspruchung* (z.B. Verschleiß, Korrosion) und *Funktion* (z.B. Funktionsfähigkeit einer Komponente) bestimmen.

Ein Ansatz zur Lösung dieser Problematik und Bestimmung der Wiedereinsetzbarkeiten von Demontageerzeugnissen besteht darin, von spezifischen Altgerätemerkmalen auf entsprechende Demontageerzeugnis-Zustände zu schließen. Altgerätespezifische Merkmale lassen sich beim Altgeräteeinfall (z.B. Wareneingang) erheben; mithilfe einer Regelbasis wird anschließend (anhand der Altgerätemerkmale) vom Altgerätezustand auf den Demontageerzeugnis-Zustand geschlossen.

Die beim Anfall zu erhebenden altgerätespezifischen Merkmale müssen weitestgehend durch *gegenseitige* Unabhängigkeit und Unabhängigkeit hinsichtlich des *Altgerätetyps* gekennzeichnet sein. In Tabelle 1 ist für eine Waschmaschine des Typs *xy* eine beispielhafte Auswahl an Merkmalen mit möglichen Merkmalwerten zusammengestellt:

<i>Merkmal</i>	<i>Merkmalwertebereich</i>
Baujahr	[1985, ..., 1991]
Nutzungsintensität	[0, ...,10]
Funktionstest	[0, ...,10]
Ausfallursache	[keine, Wasserschaden, Heizungsschaden, ..., unbekannt]
Abweichung vom Originalgewicht	[keine, >5%, ..., >50%]
Optischer Eindruck	[0, ...,10]

Tabelle 1
Beispiel-Merkmale und -Merkmalwertebereiche für ein Altgerät

Der Zustand eines Altgeräts wird durch die Merkmalwerte, die in einem Zustandsschlüssel zusammengefasst werden, operationalisiert. Die Attribute eines Altgeräts könnten nach erfolgter Bewertung z.B. die folgenden Ausprägungen besitzen:

```
Altgerät      [
                Art:                Waschmaschine
                Typ:                xy
                Wareneingangs-Nr.:  123456
                Zustandsschlüssel: 1987.3.7.keine.>5%.6
            ]
```

Im Rahmen dieses Ansatzes wird angenommen, dass

- sich Altgeräte mit besserem Zustand *einfacher* demontieren lassen (z.B. geringere Anzahl korrodierter Verbindungen),
- die Demontageerzeugnisse in Altgeräten mit besserem Zustand *ebenfalls* in besserem Zustand sind und
- ein besserer *Zustandsschlüssel* tatsächlich auf ein besseres *Altgerät* schließen lässt.

Wird die Richtigkeit dieser Annahmen unterstellt,

- lassen sich die Demontageerzeugnisse *schneller* vereinzeln,
- müssen *weniger* Altgeräte demontiert werden um eine bestimmte Menge an Demontageerzeugnissen zu erzielen und
- kann eine bessere *Qualität* der Demontageerzeugnisse erreicht werden, was insgesamt zu geringeren Kosten bzw. höheren Erlösen gegenüber Altgeräten mit schlechterem Zustand führt.

Die ermittelten Wiedereinsetzbarkeiten für Demontageerzeugnisse werden in der reaktiven Zeit- und Kapazitätsplanung zur Aufstellung der Demontageauftragsnetze verwendet.

Im Rahmen der Variantenkonfiguration werden aus Maximalstücklisten, die sämtliche möglichen Demontageerzeugnisse eines Altgeräts enthalten, diejenigen Komponenten selektiert, für die ein Bedarf besteht. Die selektierten Komponenten werden in eine temporäre *Auftragsstückliste* übernommen. Auf Basis der Wiedereinsetzbarkeiten kann kalkuliert werden, wie viele Demontageerzeugnisse *tatsächlich* durch die Demontage eines bestimmten Altgeräts befriedigt werden. Sukzessive werden (entsprechend ihres Zustandsschlüssels) weitere Altgeräte zur Demontage eingeplant, bis alle Demontageerzeugnis-Bedarfe befriedigt sind.

3. Fuzzy-Ansatz zur Ermittlung der Wiedereinsetzbarkeiten

Die Bestimmung der Wiedereinsetzbarkeiten für Demontageerzeugnisse erfolgt in diesem Ansatz unter Zuhilfenahme eines wissensbasierten Fuzzy-Systems (Fuzzy-

Reasoning). In einer Fuzzy-Regelbasis wird das Wissen erfahrener Demontagefabrik-Mitarbeiter bezüglich der Zustände von Altgeräten bzw. Demontageerzeugnissen in Form von sprachlich formulierten Zusammenhängen bzw. Regeln beschrieben. In einem sich anschließenden Inferenz- und Defuzzifizierungsprozess werden aus Fakten (gerätespezifischen Daten) und Expertenwissen Schlussfolgerungen bezüglich der Wiedereinsetzbarkeit bestimmter Demontageerzeugnisse eines Altgeräts gezogen. Das eingesetzte regelbasierte Fuzzy-System zeichnet sich durch Transparenz der Entscheidungsprozesse aus (Nauck 1997, 103). Mit der Regelbasis und den linguistischen Bewertungen liegen sowohl Bewertungs- als auch Entscheidungsgrundlagen offen, wodurch das Fuzzy-System interpretierbar bleibt.

Wissensbasierte Fuzzy-Systeme können zum Einsatz kommen, wenn kein befriedigendes mathematisches Modell erstellt werden kann (Kruse 1994, 67), wie im vorliegenden Fall der Demontagefabrik, in der viele Unsicherheitsfaktoren eine Rolle spielen. Zur Lösung der Problemstellung, der Ermittlung der Wiedereinsetzbarkeit von Demontageerzeugnissen, ist es notwendig, die o.g. Geräteinformationen (gerätespezifische Einflussfaktoren) unscharf zu beschreiben, abzubilden, zu verarbeiten und das Ergebnis des Verarbeitungsprozesses in nutzbarer Form dem DPS-System zur Verfügung zu stellen. Aus diesen Anforderungen ergeben sich die *Basis-komponenten* eines wissensbasierten Fuzzy-Systems zur Ermittlung der Wiedereinsetzbarkeiten der Demontageerzeugnisse:

- Festlegung der Eingangs- und Ausgangsvariablen (Fuzzifizierung)
- Erstellung einer Regelbasis
- Festlegung der Inferenzstrategie (Auswertung)
- Berechnung der scharfen Ausgangsgrößen (Defuzzifizierung)

Abbildung 1 veranschaulicht die allgemeine Struktur des wissensbasierten Fuzzy-Systems. Das Fuzzy-System verfügt über n Eingänge, deren aktuelle Werte die Zustände der m Ausgänge bestimmen sollen. Die erste Stufe des Fuzzy-Systems besteht aus den Eingangsvariablen. Diese bilden die eingangsseitige Schnittstelle zur Außenwelt und sorgen für die Fuzzifizierung der Eingangsdaten. Damit werden alle Eingangsdaten auf einen Fuzzy-Wert abgebildet, der im Intervall $[0, 1]$ liegt. Diese Fuzzy-Werte bilden die Eingangsgrößen für die eigentliche Fuzzy-Inferenz, bei der eine Auswertung der Regeln erfolgt und Fuzzy-Ausgangsdaten entstehen. Alle Regeln werden in Regelmengen zusammengefasst, wobei die Zusammenfassung und Aufteilung nach beliebigen Kriterien erfolgen kann. Die Zahl der Regelmengen und die Anzahl der Regeln je Regelmenge ist nicht begrenzt, sodass theoretisch alle Regeln innerhalb einer einzigen Regelmenge formuliert werden könnten. Im vorliegenden Anwendungsfall empfiehlt sich eine Zusammenfassung nach *inhaltlichen* Gesichtspunkten. Hierdurch erfolgt einerseits eine Trennung der Regeln, die keine gemeinsamen Eingangs- bzw. Ausgangsvariablen haben und andererseits wird die Übersichtlichkeit der Regeldarstellungen begünstigt.

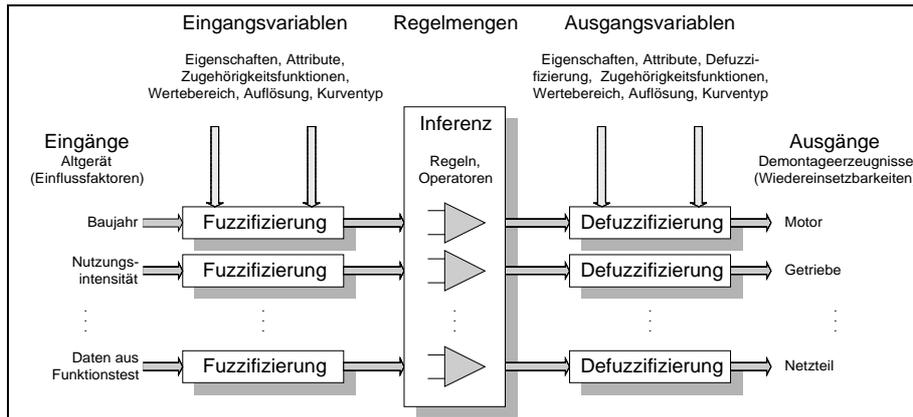


Abbildung 1
Allgemeine Struktur des Fuzzy-Systems

Die Fuzzifizierung der Eingangsdaten, d.h. der in den Zustandsschlüsseln hinterlegten gerätespezifischen Einflussfaktoren, erfolgt über die Eingangsvariablen des Fuzzy-Systems, wobei in der Entwurfsphase des Fuzzy-Systems folgende Angaben spezifiziert werden müssen:

- Variableneigenschaften (Wertebereich, Auflösung, Kurvenform)
- Attribute (z.B. „gering“, „mittel“ mit ihren jeweiligen Zugehörigkeitsfunktionen)

Diese Angaben bestimmen, in welcher Weise die Eingangsdaten fuzzifiziert, also in einen Wahrheitswert umgewandelt werden. Abbildung 2 zeigt beispielhaft die Fuzzifizierungskurven für die Variable *Nutzungsintensität*, bei der fünf Attribute („sehr gering“, „gering“, „mittel“, „hoch“, „sehr hoch“) und deren z.B. dreieckförmige Zugehörigkeitsfunktionen definiert wurden. Je nach aktuellem Eingabewert für die Variable ergibt sich für jedes Attribut ein Fuzzy-Wert zwischen 0 und 1. In gleicher Weise erfolgt die Fuzzifizierung der übrigen Einflussfaktoren.

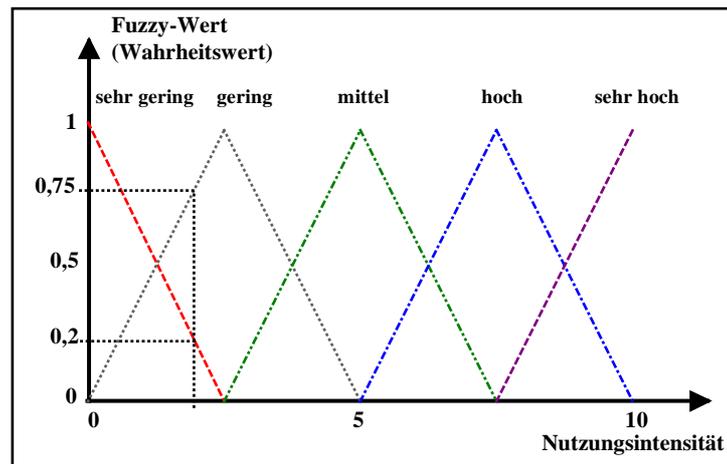


Abbildung 2
Fuzzifizierung der Eingangsvariablen *Nutzungsintensität*

Das Expertenwissen über den zu modellierenden Prozess der Wiedereinsatzbarkeit von Demontageerzeugnissen wird in Regelform dargestellt. Wenn-dann-Regeln weisen gegenüber anderen Repräsentationsformen (z.B. semantischen Netzen oder Logik) folgende Vorteile auf (Mayer 1993, 73):

- *Erweiterbarkeit*: Neue Regeln lassen sich relativ unabhängig von anderen Regeln zur Wissensbasis hinzufügen.
- *Modularität*: Jede Regel definiert ein kleines, relativ unabhängiges Stück Information.
- *Modifizierbarkeit*: Alte Regeln lassen sich relativ unabhängig von anderen Regeln ändern.
- *Verständlichkeit*: Nicht nur Experten, sondern auch Nichtfachleute können die Wirkungsweise des Fuzzy-Systems nachvollziehen.
- *Transparenz*: Ein regelbasiertes System kann unter bestimmten Voraussetzungen seine Entscheidungen und Lösungen erklären.

Die Regelbasis enthält in den Prämissen und Konklusionen alle Wenn-dann-Regeln mit ihren Klauseln und logischen Konnektoren. Unter Verwendung linguistischer Variablen könnten die Regeln z.B. folgendes Aussehen haben:

*WENN (Nutzungsintensität sehr gering) UND (Funktionstest gut bestanden)
DANN (WE-Motor sehr hoch) MIT (Sicherheitsgrad)*
*WENN (Nutzungsintensität sehr hoch) UND (Funktionstest schlecht bestanden)
DANN (WE-Motor sehr niedrig) MIT (Sicherheitsgrad)*

Zur Berücksichtigung evtl. Unsicherheiten hinsichtlich der aufgestellten Regeln, kann die Konklusion mit einem *Sicherheitsgrad* $[0, 1]$ verknüpft werden, der den maximalen Erfülltheitsgrad darstellt.

Für jedes Demontageergebnis eines Altgerätetyps wird in Absprache mit den Experten ein solches Regelwerk aufgestellt.

Innerhalb eines wissensbasierten Fuzzy-Systems hat das Inferenz-Modul die Aufgabe, aus Regeln und Fakten Schlüsse zu ziehen (Zimmermann 1987, 91). Im Wesentlichen wird dabei festgelegt, wie und in welcher Reihenfolge die Regeln der Wissensbasis untersucht werden.

Bei der Inferenz des hier beschriebenen wissensbasierten Fuzzy-Systems handelt es sich um eine vorwärtsgerichtete Inferenz. Zu den gegebenen Fakten (Zugehörigkeitswerte der Eingangsvariablen-Terme) werden passende Regeln gesucht und durch deren Anwendung neue Fakten hergeleitet (die Terme in den Konklusionen der Regeln). Ein Inferenzschritt (Auswertung einer Regel) besteht aus drei Schritten:

1. *Aggregation*: Zusammenfassen der Erfülltheitsgrade der Prämissenausdrücke einer Regel zu einem Erfülltheitsgrad der Gesamtprämisse.
2. *Implikation*: Auf Basis des ermittelten Erfülltheitsgrads der Gesamtprämisse wird der Erfülltheitsgrad der Konklusion ermittelt.
3. *Akkumulation*: Zusammenfassen verschiedener Erfülltheitsgrade der Konklusion zu einem Erfülltheitsgrad.

Bei der Defuzzifizierung liefert die Regelauswertung für jedes vorhandene Ausgangsattribut einen Fuzzy-Wert, woraus nun ein einzelnes Ausgangssignal gewonnen wird. Ähnlich wie bei den Eingangsvariablen werden auch für jede Ausgangsvariable beim Entwurf verschiedene Angaben spezifiziert:

- Variableneigenschaften (Wertebereich, Auflösung, Defuzzifizierungsmethode, Kurvenform).
- Attribute (z.B. „viel“, „sehr viel“), mit ihren jeweiligen Zugehörigkeitsfunktionen.

Zur Bildung der Zugehörigkeitsfunktion der unscharfen Ausgangsmenge sind folgende Schritte nötig:

1. *Implikation* von den Zugehörigkeitsfunktionen aller Terme mit ihrem aktuellen Zugehörigkeitswert.
2. *Akkumulation* der so modifizierten Zugehörigkeitsfunktionen zu einer Gesamtzugehörigkeitsfunktion.

Durch Verwendung des Minimums als Implikationsoperator, werden die ursprünglichen Zugehörigkeitsfunktionen der Terme auf der Höhe des Zugehörigkeitswertes des Terms abgeschnitten.

Durch Verwendung des Maximums als Akkumulationsoperator, erhält man als Gesamtzugehörigkeitsfunktion den Kantenzug aus den jeweils höchsten modifizierten Zugehörigkeitsfunktionen.

Die Aufgabe der Defuzzifizierungsmethode besteht darin, die inhaltliche Aussage der Zugehörigkeitsfunktion der unscharfen Ausgangsmenge in einen scharfen Ergebniswert zu transformieren, was dem Grad der Wiedereinsetzbarkeit des untersuchten Demontageerzeugnisses entspricht. Die Defuzzifizierungsmethode ist eine Funktion auf der Menge der möglichen Zugehörigkeitsfunktionen der unscharfen Ausgangsmenge. Die Formel zur Berechnung des scharfen Ausgangswertes mittels der hier gewählten Flächenschwerpunktmethode (Center of Area) lautet:

$$y = \left(\sum_{j=1}^n h_j * y_j / \sum_{j=1}^n h_j \right)$$

Hierbei ist h_j der Wert der Zugehörigkeitsfunktion am Ausgang durch Regel j , y_j der Flächenschwerpunkt der entsprechenden Zugehörigkeitsfunktion am Ausgang und n die Anzahl der aktiven Regeln. Abbildung 3 zeigt den Vorgang der Defuzzifizierung am Beispiel der Ausgangsvariablen „Wiedereinsetzbarkeit Motor“. Als Ergebnis erhält man ein Bestimmtheitsmaß für den Grad der Wiedereinsetzbarkeit des Demontageerzeugnisses *Motor*. Für die verbleibenden Demontageerzeugnisse wird analog verfahren.

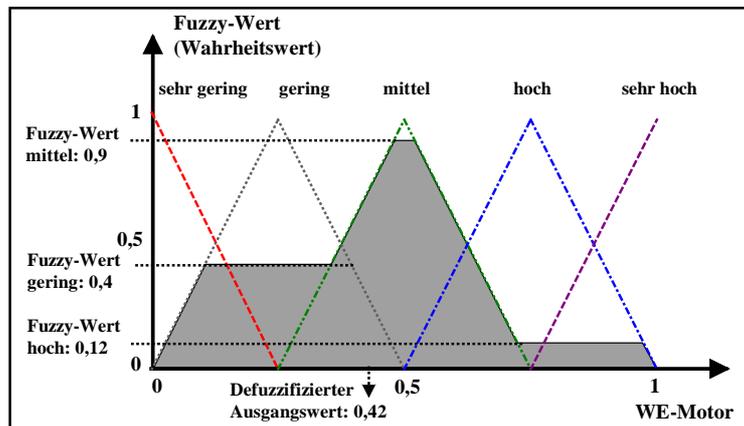


Abbildung 3
Defuzzifizierung mit der Schwerpunktmethodemethode

Im dargestellten Beispiel (Abbildung 3) beträgt der *scharfe* Ausgangswert „0,42“, was bedeutet, dass dem Demontageerzeugnis *Motor* eine Wiedereinsetzbarkeit von „0,42“ zugeordnet ist.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Der Entsorgungsphase komplexer Altgeräte kommt neben entsprechenden Aktivitäten hinsichtlich umweltgerechter Produktion eine stets wachsende Bedeutung zu. Diese Bedeutung basiert nicht mehr allein auf traditionellen Umweltaspekten, sondern zunehmend auch auf wirtschaftlichem Interesse. Die Demontage nimmt im Rahmen der Entsorgungsphase eine wichtige Rolle ein.

Der vorgestellte Ansatz zur Ermittlung der Wiedereinsatzbarkeiten ist Bestandteil eines Konzepts zur Demontageplanung und -steuerung. DPS-Systeme haben die Aufgabe den mengenmäßigen und zeitlichen Demontageablauf unter Beachtung verfügbarer Kapazitäten festzulegen und durchzusetzen; dabei müssen betriebliche Zeit-, Kosten- und Qualitätsziele beachtet werden.

Zustandsbeurteilungen von Altgeräten und Wiedereinsatzbarkeitsermittlungen für Demontageerzeugnisse nehmen im Rahmen der Demontageplanung eine Schlüsselstellung ein. Die Grundproblematik besteht in der Überführung unscharfer in deterministische (scharfe) Daten.

Der vorgestellte Beitrag beschäftigt sich mit der Wiedereinsatzbarkeitsermittlung von Demontageerzeugnissen im Rahmen reaktiver Demontageplanung. Zur Lösung der Aufgabenstellung wurde ein wissensbasierter Fuzzy-Ansatz vorgeschlagen, der Expertenwissen erfahrener Demontage- und Recyclingfabrikmitarbeiter bezüglich der Zustände von Altgeräten und deren Demontageerzeugnissen berücksichtigt. Skalare Eingangsgrößen zur Abbildung des Expertenwissens werden durch Fuzzifizierung in Zugehörigkeiten zu unscharfen Mengen transformiert. Diese Informationen werden zusammen mit den definierten Regeln der Experten in der Inferenzmaschine verarbeitet. Das Ergebnis ist wiederum eine Menge von Zugehörigkeiten zu unscharfen Mengen. Im letzten Schritt werden diese Zugehörigkeiten durch die Defuzzifizierung wieder in skalare Ausgangsgrößen transformiert. Für jedes potenzielle Demontageerzeugnis wird hierbei als Ausgangsgröße ein Wert zwischen $[0, 1]$ generiert, der den Wiedereinsatzbarkeitsgrad charakterisiert.

Im Rahmen eines Forschungsprojekts zur Demontageplanung und -steuerung soll das hier vorgestellte wissensbasierte Fuzzy-System in Zusammenarbeit zwischen der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg (AG Wirtschaftsinformatik) und einer Demontagefabrik entwickelt und implementiert werden. In diesem Zusammenhang können theoretisch auch andere Ansätze, wie z.B. Bayes'sche Belief Netze zum Einsatz kommen. Die jeweils erzielten Ergebnisse sollen daher hinsichtlich ihrer Güte in einer Vergleichsstudie gegenübergestellt werden.

Literaturverzeichnis

- Guide, J. (1999): Remanufacturing Production Planning and Control: U.S. Industry Practice and Research Issues. In: Proceedings of Second International Working Seminar on Re-Use. March, 1st – 3rd 1999, Eindhoven, The Netherlands. S. 101-114.
- Huber, A. (2000a): On-demand orientierte Demontageplanung auf Basis konventioneller PPS-Systeme: In: PPS-Management, 5 Jg., Heft 2, S. 24-28.
- Huber, A. (2000b): Demontage-Primärbedarfsplanung. In: Umwelt, 30 Jg., Heft 6, S. 56-59.
- Huber, A., Marx-Gómez, J. (2000): Disassembly Planning in Conventional PPC-Systems: Problems and Suggestions. In: Proceedings of 2000 Information Resources Management Association - Challenges of Information Technology Management in the 21st Century. May, 21st – 24th 2000, Anchorage, Alaska, USA. S. 1181-1184.
- Kruse, R., Gebhardt, J., Klawonn, F. (1994): Fuzzy Systems in Computer Science. Braunschweig.
- Mayer, A., Mechler, B. (1993): Fuzzy Logik: Einführung und Leitfaden zur praktischen Anwendung. Bonn u.a.
- Nauck, D., Klawonn, F., Kruse, R. (1997): Foundations of Neuro-Fuzzy Systems. Wiley, Chichester, New York.
- Rautenstrauch, C. (1997): Fachkonzept für ein integriertes Produktions-, Recyclingplanungs- und Steuerungssystem (PRPS-System). Berlin, New York.
- Rautenstrauch, C. (1999): Betriebliche Umweltinformationssysteme. Berlin u.a.
- Seliger, G., Kriwet, A. (1993): Demontage im Rahmen des Recycling. In: Zwf, 88 Jg., Heft 11, S. 529-532.
- Warnecke, H.-J. (1993): Der Produktionsbetrieb 3: Betriebswirtschaft, Vertrieb, Recycling. 2. Aufl., Berlin u. a.
- Wiendahl, H.-P., Bürkner, S. (1999): Planning and Control in Disassembly. In: Proceedings of Second International Working Seminar on Re-Use. March, 1st – 3rd 1999, Eindhoven, The Netherlands. S. 217-226.
- Zimmermann, H.-J. (1991): Fuzzy set theory - and its applications. Boston.