

Primärbedarfsplanung im Rahmen *on-demand* orientierter Demontageplanung

Alexander Huber¹

1. Einführung

Durch ständig wachsende Mengen technisch komplexer Altprodukte nehmen entsprechende Entsorgungsprobleme ebenfalls zu. *Altprodukte* resultieren aus Konsumtionsprozessen. Sie können oder sollen nicht mehr in ihrer ursprünglichen Verwendung genutzt werden und besitzen zum Zeitpunkt ihres Anfalls einen Wert, der unter den Transaktionskosten liegt, die ein potenzieller Nachnutzer zum Erwerb aufbringen müsste. Als *Altgeräte* werden technisch komplexe Altprodukte bezeichnet, die durch das Vorliegen einer Vielzahl von *Verbindungen* und *Materialien* sowie einer vielschichtigen und verflochtene *Baustruktur* gekennzeichnet sind.

Dem *Recycling* kommt als Alternative zur *Beseitigung* eine wachsende Bedeutung zu. Als Einflussfaktoren können u.a. gesellschaftlicher Wertewandel (z.B. verändertes Käuferverhalten), sinkender Deponieraum bzw. steigende Gebühren und verschärfter politischer und gesetzlicher Druck (z.B. Selbstverpflichtungen, Altautoverordnung) identifiziert werden. Im Rahmen des Recycling von Altgeräten spielt die *Demontage* eine wichtige Rolle. Das grundsätzliche Aufgabenspektrum der Demontage reicht von Schadstoffentfrachtung bis zur zerstörungsfreien Vereinzelung hochwertiger Bauteile bzw. -gruppen zur Wiederverwendung. Als wissenschaftliches Untersuchungsgebiet kann die Demontage hinsichtlich *technischer* (z.B. demontagegerechte Konstruktion) und *organisatorisch/dispositiver* (z.B. Demontage-tiefenbestimmung) Aspekte unterschieden werden. Im Rahmen dieses Ansatzes liegt der Schwerpunkt auf der organisatorisch/dispositiven Betrachtungsweise.

Zunächst werden Grundlagen und Begriffe der Kreislaufwirtschaft, des Recycling und der Demontage dargestellt. Im Anschluss wird der Demontagefabrik-Betriebstyp vorgestellt. Auf Basis von Aspekten der Kreislaufwirtschaft und der Demontagefabrik-Betriebstypologie können Ziele eines Demontageplanungs- und -steuerungskonzepts (DPS-Konzepts) abgeleitet werden. Im Weiteren wird die erste Stufe eines sukzessiven DPS-Konzepts vorgestellt; dieses ist hinsichtlich Termino-

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

logie und Funktionen an konventionelle Produktionsplanungs- und -steuerungskonzepte (PPS-Konzepte) angelehnt.

Die im Sprachgebrauch übliche Verwendung des Begriffs Kreislaufwirtschaft resultiert aus zwei verschiedenen Betrachtungsweisen: Die Kreislaufwirtschaft an sich ist *wirtschaftlich* motiviert, wo hingegen das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz² (kurz: KrW-/AbfG) den *Umweltschutz* als Ziel hat.

Die *Entsorgung*, als eine zentrale Phase der Kreislaufwirtschaft, enthält das *Recycling*. Der Recyclinggedanke hat durch die Knappheit natürlicher Ressourcen, zunehmende Umweltverschmutzung und die Erkenntnis, dass wirtschaftlich nutzbare Potenziale *vernichtet* werden, stark an Bedeutung zugenommen. Recycling stellt (neben Beseitigung) eine Möglichkeit der Produktentsorgung dar. Neben Überlegungen hinsichtlich *technischer* Machbarkeit des Recycling tritt ein *wirtschaftliches* Entscheidungsproblem, in das Kosten und Erlöse aufgenommen werden müssen, um im Einzelfall zu einer Entscheidung *für* oder *gegen* Recycling zu gelangen. Inwieweit sich Recycling für das einzelne Unternehmen lohnt, hängt nicht zuletzt vom Ausmaß der Internalisierung externer Kosten des Umweltschutzes ab. Wiedereinsatzfähige Erzeugnisse, die in einem Recyclingprozess gewonnen werden, können in *Sekundärrohstoffe* und *Sekundärprodukte* unterschieden werden. *Sekundärrohstoffe* sind Stoffe, die aus Abfällen gewonnen werden und den Einsatz anderer Rohstoffe (sog. Primärrohstoffe) in Produktionsverfahren substituieren können. *Als Sekundärprodukte* werden Bauteile und -gruppen bezeichnet, die aus Abfällen gewonnen werden und im Rahmen von Produktions-, Instandhaltungs-, oder Reparaturprozessen wieder eingesetzt werden können. Durch die Bedingung der *Wiedereinsatzfähigkeit* der Recyclingerzeugnisse stellen Sekundärrohstoffe und -produkte *Wirtschaftsgüter* dar. Im Folgenden werden durch Demontageprozesse erzeugte Sekundärprodukte als *Demontageerzeugnisse* bzw. *Demontageprodukte* bezeichnet.

2. Demontage

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). Mögliche Vorteile der Demontage im Gegensatz zu alternativen Behandlungsarten (z.B. Shreddern) sind die Rückgewinnung funktionsfähiger Bauteile und Baugruppen zum erneuten Einsatz (Produktrecycling) und die Möglichkeit zur Rückgewinnung sortenreiner Materialien (Materialrecycling) (Seliger/Kriwet 1993, 529). Die Demontage unterliegt im Prinzip den gleichen Zielsetzungen wie die Produktion, daher wird in diesem Zusammenhang auch von *Remanufacturing* gesprochen (Rautenstrauch 1999,

² Vollständig: *Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen*

70). Produktrecycling bezeichnet die Rückführung von gebrauchten Produkten, Baugruppen oder Bauteilen in ein neues Gebrauchsstadium unter Nutzung der vorhandenen Gestalt (VDI 1993, 5). Produktrecycling stellt insofern die höchste Form des Recycling dar, als dass die erneute *Verwendung* der Produkte angestrebt wird. Die Grundidee des Produktrecycling ist, dass einige Bauteile oder -gruppen eine *höhere* Lebenserwartung haben, als das Produkt selbst (Kurbel/Rautenstrauch 1997, 301).

Auf Basis nachgefragter Demontageerzeugnisse werden Altgeräte mit dem Ziel demontiert, zerstörungsfrei Bauteile bzw. -gruppen zu vereinzeln (Produktrecycling) und zu veräußern. Produktrecycling kommt für Konsumgüter ebenso wie für Investitionsgüter in Betracht. Obwohl das Materialrecycling die heute gängige Recycling-Kreislaufart darstellt (u.a. Rautenstrauch 1999, 65f.), gibt es eine Vielzahl von Beispielen für die erfolgreiche Durchführung von Produktrecycling (Steinhilper/Hudelmaier 1993, 20; Perlewitz 2000):

- Kraftfahrzeug-Motoren, -Getriebe, -Lichtmaschinen
- Elektrowerkzeuge, Werkzeugmaschinen
- Büromaschinen
- Industrieroboter

Die hohe Variantenvielfalt der Altgeräte bei gleichzeitig geringen Stückzahlen pro Variante stellt eines der Hauptprobleme der Demontageplanung bzw. -durchführung dar (Wiendahl/Bürkner 1999, 249; Hesselbach/Westernhagen 1999, 151). Weiterhin sind die anfallende Altgeräte in der Regel nicht demontagegerecht konstruiert und weisen unterschiedliche Altgerätezustände auf (Bönker u.a. 1998, 274). Der Altgerätezustand lässt sich durch die Merkmale *Modifikation* (z.B. zusätzliche, fehlende oder unzugängliche Komponenten), *Beanspruchung* (z.B. Verschleiß, Korrosion) und *Funktion* (z.B. Funktionsfähigkeit einer Baugruppe) bestimmen. Bedingt durch die unbekanntenen Altgerätezustände wird oft erst *während* der Demontage ersichtlich, welche Operationen durchzuführen sind. Dadurch lassen sich Durchlaufzeiten, Liefertermine, Kapazitätsbedarf, Art und Reihenfolge der Arbeitsgänge, auftretende Schadstoffe und Prozesskräfte und damit auch Demontageskosten bzw. -erlöse a priori nur auf Basis von Erwartungswerten bestimmen.

Unvollständige bzw. unsichere Daten führen zu einer Planung auf Basis von Durchschnittswerten, Prognosen und Schätzungen. Abhängig von der Ungenauigkeit der Planungsgrößen, kommt es im Verlauf des Planungsprozesses zu Abweichungen der Ist- von Sollwerten: Störungen entstehen. Entsprechend der aufgetretenen Störungsart bzw. des Störungsumfangs müssen *reaktive* Maßnahmen zur *Störungsbe-wältigung* eingeleitet werden (u.a. Wildemann 1995, 41ff.).

Die Komplexität der Demontageplanung wird u.a. über die (relevante) Komponentenanzahl der Altgeräte determiniert (Gupta/Veerakamolmal 1999, 141), die Anzahl möglicher Demontagereihenfolgen je Altgerät ist im Extremfall exponentiell zur Anzahl der zu demontierenden Teile. Weiterhin wird die Komplexität der De-

montageplanung von *Altgerätezustand* und *Demontageerzeugnis-Nachfragesituation* sowie durch vorhandene *Baugleichheiten* erhöht: Abhängig von zu erzeugenden (*nachgefragten*) Demontageprodukten und spezifischen Altgerätezuständen, ergeben sich unterschiedliche Demontagetiefen und -prozesse für *typgleiche* Altgeräte. Der planerische Umgang mit *Baugleichheiten* stellt eines der Hauptprobleme der Demontageplanung dar.

Zusammenfassend können folgende Komplexität und Unsicherheit verursachende Hauptprobleme der Demontageplanung identifiziert werden. Sie beziehen sich auf den Input (Altgeräte), den Durchsatz (Demontageprozess) und den Output (Demontageerzeugnisse):

- *Materialeinsatz- und Materialmengenflexibilität*: Ein definierter Primärbedarf (Art und Menge von Demontageerzeugnissen) kann mit unterschiedlichen *Altgerätezusammensetzungen* und *-mengen* befriedigt werden.
- *Prozessflexibilität*: Die notwendigen Arbeitsgänge, um einen definierten Primärbedarf zu befriedigen, können im Vorhinein nicht exakt determiniert werden.
- *Enderzeugnisflexibilität*: Aus einem Altgerät kann eine Vielzahl unterschiedlicher Demontageprodukte erzeugt werden. Art und Menge der Demontageerzeugnisse können im Vorhinein nicht exakt determiniert werden.

3. Demontagefabrik-Betriebstyp

Unternehmen, die im Bereich der Demontage tätig sind, werden wie jede andere Profitorganisation versuchen, Deckungsbeiträge zu maximieren (Huber 2000, 24). In diesem Zusammenhang nimmt die Demontagefabrik neben einer *Service-* auch eine *Produzentenfunktion* ein. Einerseits löst die Demontagefabrik Entsorgungsaufgaben ihrer Kunden (Servicefunktion), andererseits befriedigt sie die Nachfrage nach Demontageerzeugnissen (Produzentenfunktion). Durch die Orientierung der Demontagefabrik auf Produktrecycling und die Befriedigung kundenspezifischer Bedarfe ändert sich die Organisation von der konventionellen Fließdemontage in Richtung einer *on-demand* orientierte Demontage. In diesem Zusammenhang kann die Demontagefabrik neben Erlösen durch Veräußerung der Demontageerzeugnisse auch Erlöse durch Annahme von Altgeräten erzielen (*duale Erlössituation*) (Huber 2000, 24).

Analog zu konventionellen Produktionsbetrieben wird im Rahmen der Erfüllung dieser beiden Funktionen besonderer Wert auf Kundenorientierung und Gewinnmaximierung gelegt. Demontageerzeugnisse werden in diesem Zusammenhang als nachgefragte Produktionsleistungen betrachtet, die Altgerätedemontage mit dem Ziel der Reduktion von Beseitigungskosten als nachgefragte Serviceleistung. Im Weiteren wird davon ausgegangen, dass Altgerätequellen (z.B. Unternehmensnetzwerke, einzelne Hersteller) zu denen vertragliche Bindungen bestehen, einen fixen Anteil an Entsorgungsgütern liefern (s. Abbildung 1). Erst nachdem bekannt ist,

| Merkmal | Merkmalsausprägungen | | | |
|------------------------------|--|---|--|------------------------------------|
| | Altprodukte nach Kundenspezifikation | Typisierte Altprodukte mit kundenspezifischen Varianten | Standardaltprodukte mit Varianten | Standardaltprodukte ohne Varianten |
| Altproduktspektrum | | | | |
| Altproduktstruktur | Einteilige Altprodukte | Mehrteilige Altprodukte mit einfacher Struktur | Mehrteilige Altprodukte mit komplexer Struktur | |
| Auftragsauslösungsart | Demontage auf Bestellung mit Einzelaufträgen | Demontage auf Bestellung mit Rahmenaufträgen | Demontage auf Lager | |
| Dispositionsart | Disposition kundenauftragsorientiert | Disposition überwiegend kundenauftragsorientiert | Disposition überwiegend programmorientiert | Disposition programmorientiert |
| Beschaffungsart | Fremdbezug unbedeutend | Fremdbezug in größerem Umfang | Weitestgehender Fremdbezug | |
| Demontageart | Einmaldemontage | Einzel- und Kleinserien-demontage | Seriendemontage | Massendemontage |
| Organisationsform | Werkbankdemontage | Werkstattdemontage | Gruppen-/Liniendemontage | Fließdemontage |
| Demontagestruktur | Demontage mit einer Stufe | Demontage mit mittlerer Anzahl Stufen | Demontage mit großer Anzahl Stufen | |
| Produktions-Integrationsform | keine Integration | Addition | Kombination | Vollständige Integration |

Abbildung 2
Demontagefabrik-Betriebstypologie

4. Demontageplanung und -steuerung

Generell kann unterschieden werden, ob es sich um *additives* oder *produktionsintegriertes* Recycling handelt (Rautenstrauch 1999, 65ff.). Bei produktionsintegriertem Recycling steht der unmittelbare Wiedereinsatz von Produkten bzw. Materialien im Vordergrund. Systeme zur Planung und Steuerung des produktionsintegrierten Recycling werden als Produktions- und Recyclingplanungs- und -steuerungssysteme (PRPS-Systeme) bezeichnet (Rautenstrauch 1997). Additive Demontage zielt auf den mittelbaren Material- bzw. Produktwiedereinsatz. Softwaresysteme zur operativen Planung und Steuerung mittelbarer Demontage werden als Demontageplanungs- und -steuerungssysteme (DPS-Systeme) bezeichnet (Huber 2000, 24ff.). Insbesondere steht bei Systemen bzw. Konzepten der DPS das *Produktrecycling* im Vordergrund.

Durch den Einfluss der Kreislaufwirtschaft auf Unternehmensorganisationen, werden neue technische und organisatorische Strukturen erforderlich, die auch Produktionsplanung und -steuerung einbeziehen (Schotten/Pillep 1999, 757). Jedoch lässt die Konzeption von PPS-Systemen Aspekte des Recycling in der Regel außer Betracht (Corsten/Reiss 1991, 621), obwohl die Demontageplanung der Produktionsplanung z.T. explizit zugerechnet wird (Adam 1998, 111). Prozesse des Produktrecycling und der Produktion beruhen auf gleichen wirtschaftlichen Grundlagen und

Triebkräften (Warnecke/Sigl 1994, 18). Es bietet sich daher an, vorhandene, konventionelle PPS-Konzepte auf Einsatzmöglichkeiten im Bereich des Recycling zu untersuchen (Corsten/Reiss 1991, 626; Rautenstrauch 1997, 1).

Bislang setzen ca. 75 % der Unternehmen, die im Bereich Remanufacturing tätig sind eine (in der Regel angepasste) Form des MRP (Material Requirements Planning) ein (Guide 1999, 107). Der Vorteil eines Einsatzes von auf dem MRP II- (Manufacturing Resource Planning-) Konzept basierenden PPS-Systemen im Bereich der Demontage besteht u.a. darin, Erfahrungen zu nutzen, die bislang mit konventionellen PPS-Systemen gemacht wurden. Bestehende Funktionen konventioneller PPS-Systeme können in gewissem Umfang wieder- bzw. weiterverwendet werden (Kaiser 1999, 618). Die Entwicklung von Konzepten für DPS-Systeme wird durch Prozessähnlichkeiten von Produktion und Demontage und die sich dadurch eröffnende Möglichkeit, *vorhandene* Systeme bzw. Konzepte anzupassen, erheblich erleichtert. Insbesondere Grunddaten und Planungsalgorithmen weisen sowohl strukturelle als auch inhaltliche Ähnlichkeiten und Gemeinsamkeiten auf (Rautenstrauch 1997, 56)⁵.

5. Primärbedarfsplanung

Im Rahmen der *on-demand* orientierten Demontage müssen, im Gegensatz zur konventionellen, anfallorientierten Fließdemontage, zwei Besonderheiten beachtet werden:

- *Demontageerzeugnisse* lösen *Altgeräte* als Treiber des Planungsprozesses ab. Die *pull*-Sichtweise bedingt die Planungsdurchführung auf Basis nachgefragter Erzeugnisse.
- *Altgeräte* müssen *zielgerichtet beschafft* werden können. Dazu müssen neben organisatorischen auch planungsseitige Voraussetzungen geschaffen werden.

Bedingt durch die duale Leistungssituation der Demontage können *Altgeräte* nicht *ausschließlich* beschafft werden; ein nicht unbedeutender Teil wird nach wie vor *unbeeinflussbar* anfallen. Im Rahmen des DPS-Konzepts müssen allerdings die Möglichkeiten zur *zielgerichteten* Beschaffung bereit gestellt werden. Das auf dem DPS-Konzept aufbauende System muss sowohl die Organisationsform der konventionellen Fließdemontage, der *on-demand* orientierten Demontage sowie von Mischformen abbilden können. In diesem Zusammenhang muss die operative Demontageplanung Algorithmen und Datenstrukturen zur Verfügung stellen, um die Planung auf Basis der Demontageerzeugnisse zu ermöglichen und die *Altgerätebeschaffung* zu disponieren.

⁵ In der angegebenen Literaturquelle bezieht sich diese Aussage auf die *Recyclingplanung* und *-steuerung*.

Ein Ziel des DPS-Konzepts besteht somit darin, die Voraussetzungen zu schaffen, dass von

- einem z.T. *beeinflussbaren* Altgeräteanfall und
- einer *dynamischen* Absatzsituation ausgegangen werden kann.

Die konventionelle Primärbedarfsplanung ist nicht in der Lage, eine Leistungsbestimmung für den Bereich der Demontage durchzuführen. Auf Grund des dualen Leistungsspektrums der Demontagefabrik sind allein durch Prognose der Demontageerzeugnisbedarfe weder Aussagen hinsichtlich *Betriebsauslastung* noch hinsichtlich zu beschaffender *Sekundärbedarfe* (Altgeräte) ableitbar. Zusätzlich müssen deshalb die Altgerätemengen auf Grund bestehender Entsorgungsverpflichtungen berücksichtigt werden.

Die Aufgaben der Demontage-Primärbedarfsplanung können folgendermaßen zusammengefasst werden:

- *Leistungsbestimmung* der Demontagefabrik (*Produzentenleistung* aus Absatzprognosen bzw. Aufträgen, *Serviceleistung* aus Annahmeprognozen der Entsorgungsverpflichtung).
- Absicherung der *Durchführbarkeit* geplanter Leistungen durch Kapazitätsgrobplanung.
- Schaffung der Voraussetzungen zur Ableitung *zusätzlich* zu beschaffender *Sekundärbedarfe*.

Anhand der Aufgaben kann das Prozessobjektmodell der Primärbedarfsplanung entwickelt werden (s. Abbildung 3). Auf Basis der Altgeräteentsorgungsaufträge und der Aufträge zur Erzeugung von Demontageprodukten kann nach Losgrößenplanung, Vorlaufverschiebung und evtl. mehrmaligem Durchlaufen der Kapazitätsgrobplanung ein kapazitiv und terminlich validierter Periodenplan festgelegt werden.

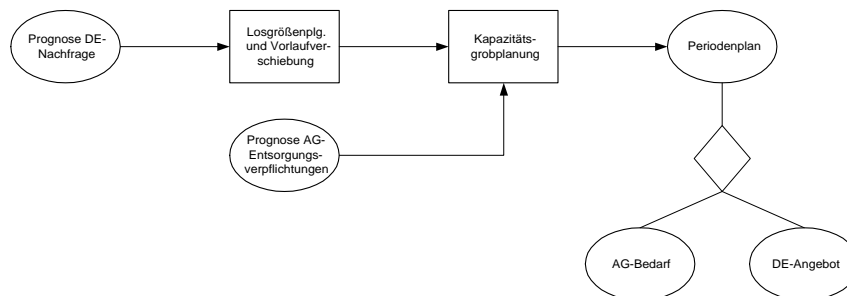


Abbildung 3
Primärbedarfsplanung - Prozeßobjektmodell

Ein Ziel der Planungsaktivitäten besteht darin, den Altgerätebedarf so zu determinieren, dass eine *optimale* Altgerätemenge beschafft wird. Als optimal wird diejenige Altgerätemenge bezeichnet, durch die Zielvorgaben aus Absatzprognose, Kundenaufträgen und Entsorgungsverpflichtungen genau erfüllt werden können.

Würde eine konventionelle Primärbedarfsplanung stattfinden, wären weder Service- noch Produzentenleistung planbar. Die Erzeugung von Demontageprodukten wäre unsicher, da nicht bekannt ist, welche Altgerätemengen aus Entsorgungsverpflichtungen resultieren und ob ausreichend Kapazitäten zur Erzeugung der Demontageprodukte zur Verfügung stehen. Erst durch *gemeinsame* Planung von Art und Menge der Altgeräte (abgeleitet aus Entsorgungsverpflichtungen) und Demontageerzeugnissen, kann die Primärbedarfsplanung sinnvoll durchgeführt werden.

Zusätzlich zu den in PPS-Systemen vorhandenen, sind demontage- bzw. entsorgungsrelevante Materialstammattribute aufzunehmen. Insbesondere ist dabei an Attribute zu denken, die Aufschluss über Lagerfähigkeit, Demontierbarkeit, Aufarbeitbarkeit, Werkstoffverträglichkeit und Wiedereinsetzbarkeit geben (Corsten 1996, 478; Rautenstrauch 1997, 101f.). Generell ist zu beachten, dass evtl. Materialstämme für *Nicht-Standardteile* (z.B. ein in der Gebrauchsphase hinzugefügtes Teil) ergänzt werden müssen. Grundsätzliche Unterschiede zwischen Produktions- und Demontagestücklisten betreffen zum einen die geringere Stücklistentiefe (entspricht der Knotenanzahl einer Erzeugnisstruktur) und zum anderen die Stücklistenstruktur (Rautenstrauch 1997, 99ff.). Unterschiedliche Stücklistentiefen treten z.B. auf, wenn eine Baugruppe als Ganzes wiedereinsetzbar ist oder bestimmte Baugruppen grundsätzlich nicht demontiert werden. Verschiedene Stücklistenstrukturen können entstehen, wenn Bauteile, die eine *Montagebaugruppe* bilden (entsprechen besonders starker Fügeverbindungen) zu strukturell anderen *Demontagebaugruppen* migrieren (s. Abbildung 4).

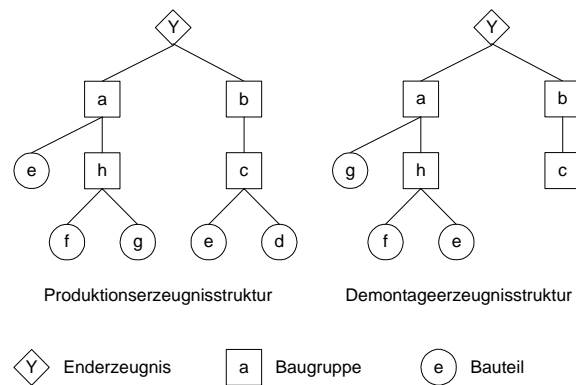


Abbildung 4

Produktions- und Demontageerzeugnisstrukturen. Quelle: Kurbel 1999, 369

Als Instrument deterministischer Genauplanung kann die konventionelle Stückliste möglicherweise auftretende Unsicherheiten nicht abbilden. Insbesondere besteht die Notwendigkeit, Produkteigenschaften und Wiedereinsetzbarkeit der Demontageerzeugnisse in die Planung einzubeziehen. Die Wiedereinsetzbarkeit von Demontageerzeugnissen stellt einen der größten Unsicherheitsfaktoren dar, mit denen sich die Demontagefabrik konfrontiert sieht. Etwa 95% der Demontagefabriken benutzen einfache *Durchschnittswerte*, um die Wiedereinsetzbarkeit zu bestimmen (Guide 1999, 106). Neben der Nutzungsdauer bietet es sich an, weitere Parameter des Lebenszyklus eines Altgeräts (z.B. Hersteller, Typ, optischer Eindruck, Ergebnis eines Funktionstests, Nutzungsintensität) zu berücksichtigen. Zum Zeitpunkt der *Demontageplanung* (vor Altgeräteanfall) liegen allerdings noch keine Kenntnisse über die genannten spezifischen Altgeräteparameter vor. Die Parameter werden erst beim physischen Anfall der Altgeräte zu erheben sein. Im Rahmen der Primärbedarfsplanung wird daher die *Wiedereinsatzwahrscheinlichkeit* verwendet. Die Wiedereinsatzwahrscheinlichkeit ist eine *Durchschnittsgröße* für die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Demontageerzeugnis aus seinem bzw. seinen direkten Vorgänger(n) (Baugruppe oder Altgerät) *wirtschaftlich* demontiert und aufgearbeitet werden kann.

Auf Basis vorliegender Kunden- und Lageraufträge wird die Absatzprognose für Demontageerzeugnisse erstellt (s. Abbildung 5). Nachdem vorhandene Lagerbestände und evtl. Zusatzbedarfe im Rahmen einer Brutto-/ Nettorechnung berücksichtigt wurden, kann eine Losbildung der Demontageerzeugnisbedarfe vorgenommen werden. Im Anschluss an die Vorlaufverschiebung können mit Hilfe von Wiedereinsatzwahrscheinlichkeiten und Produktionskoeffizienten Altgerätebedarfe ermittelt werden. Auf Grund von evtl. Baugleichheiten können die Altgeräte nicht unabhängig voneinander betrachtet werden; ein bestimmtes Demontageerzeugnis kann in verschiedenen Altgeräten enthalten sein. Grundsätzlich lässt sich der zur Befriedigung nachgefragter Demontageerzeugnisse notwendige *alternative* 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. Der Altgerätebedarf lässt sich somit nur unter Berücksichtigung der Wiedereinsatzwahrscheinlichkeit berechnen.

Eine Möglichkeit, diejenige Altgerätemenge zu bestimmen, auf deren Basis *alle* Demontageerzeugnisbedarfe erfüllt und minimale Demontagekosten erzielt werden können, ist die Einführung der Zielfunktion: *Minimierung des Altgerätebedarfs*. Wenn angenommen wird, dass auf Grund von Kuppelproduktionseffekten im Durchschnitt ein höherer Aufwand nötig ist, um *mehrere* Demontageprodukte aus *mehreren* Altgeräten zu erzeugen als aus *einem*, dann repräsentiert die minimale Altgerätemenge genau die Menge, von der anzunehmen ist, dass entsprechenden Aufträge mit dem geringsten Aufwand erfüllt werden können.

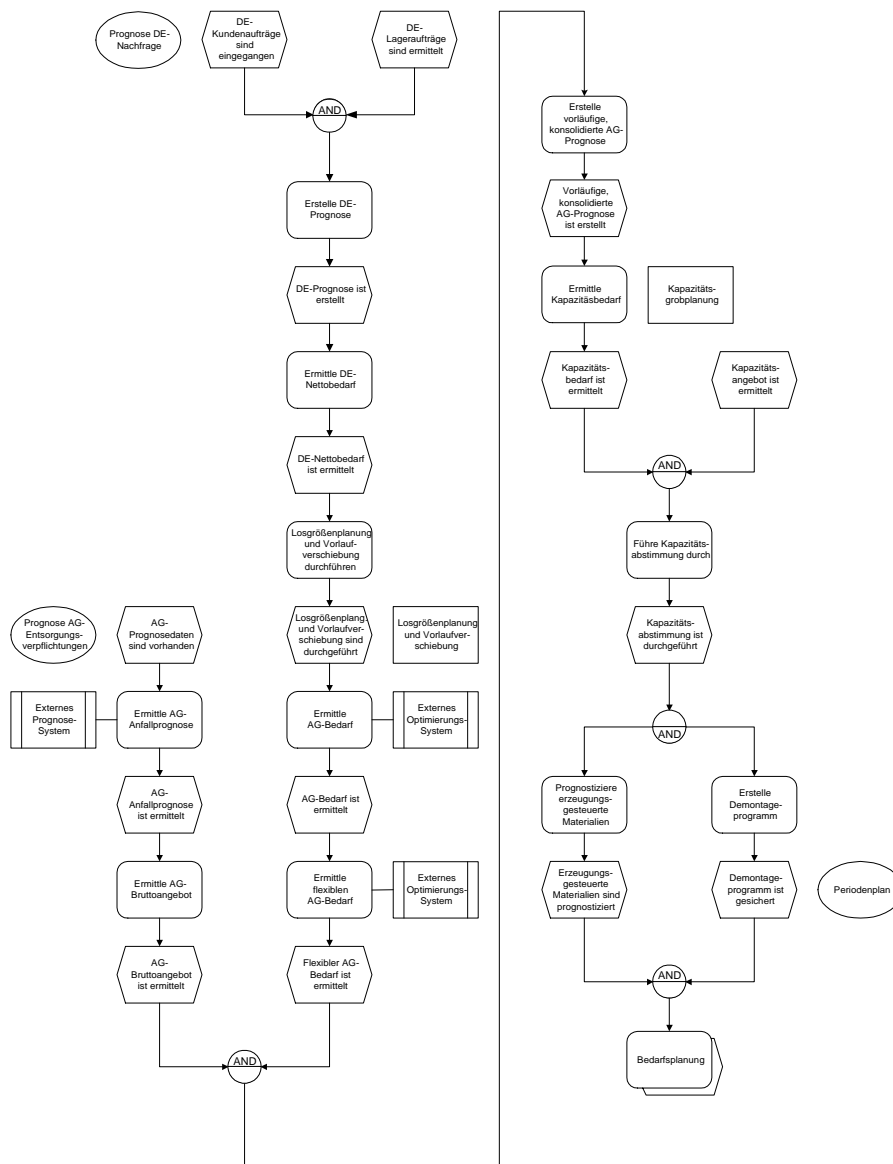


Abbildung 5
Primärbedarfsplanung

Die Kosten, umgelegt auf ein Demontageergebnis sinken, wenn die Anzahl der aus diesem Altgerät erzeugten Demontageergebnisse steigt. Der Grund hierfür ist in

Bestell-, Lager-, Transport-, Rüst- und Schadstoffentfrachtungskosten sowie in den genannten Kuppelproduktionseffekten zu suchen. Die demontageerzeugnis-spezifischen Altgerätemengenalternativen werden einem externen Optimierungssystem übergeben. Die Ergebnisse werden nach der Optimierung an das DPS-System übertragen.

Der Altgerätebedarf kann durch Altgeräteangebote im Rahmen der Entsorgungsverpflichtung und/oder zusätzliche Beschaffung befriedigt werden. Unter Zugrundelegung der Entsorgungsverpflichtungs-Prognosedaten wird die Altgeräteangebotsprognose erstellt. Dabei spielt die durchzuführende Rückflussprognose eine tragende Rolle. In diesem Zusammenhang werden Ansätze diskutiert, den Altgeräterückfluss mithilfe von Fuzzy-Logik zu prognostizieren (Marx-Gómez/Rautenstrauch 1999, 71ff.). Als Eingangsvariablen werden Geräteverkaufsdaten, Verkaufszeitpunkte, Nutzungsintensitäten, Lebensdauern, Ausfallarten und Anreizsysteme zur Altgeräterückgabe gewählt. Die prognostizierte Altgeräterückflussmenge stellt die Ausgangsvariable dar. Die Einflussfaktoren und die prognostizierte Altgeräterückflussmenge werden im Modell durch Fuzzy-Variablen repräsentiert. Das Wissen ausgewählter Personengruppen (z.B. Recyclingexperten, Entwicklungsingenieure) hinsichtlich Einflussfaktoren und deren Auswirkungen wird mit entsprechenden Zugehörigkeitsfunktionen und linguistischen Variablen modelliert. Durch Verknüpfung der Fuzzy-Variablen in einer Regelbasis und durch Defuzzifizierung der Ausgangsvariablen erhält man als Ausgangswert die prognostizierte Rücklaufmenge⁶. Auf Basis vorhandener Altgeräteprognosedaten (aus Lebenszyklen und Zeitreihen) werden einzelne Altgeräteangebote prognostiziert. Das *Externe Prognose-system* hält in diesem Zusammenhang das Fuzzy-System bereit.

Nachdem die einzelnen Altgeräteangebotsprognosen vorliegen, werden diese zu einer übergreifenden Altgeräteangebotsprognose konsolidiert. Durch Abgleich mit bereits vorhandenen Lagerbeständen wird das Bruttoangebot ermittelt (s. Abbildung 5). Aus Altgerätebedarf und -angebot wird eine vorläufige Altgeräteprognose erstellt, deren Ziel es ist, Altgeräte entweder der Verwertungsvorbereitung, der kunden- oder lagerauftragsbezogenen Demontage zuzuordnen. Im Rahmen der Primärbedarfsplanung erfolgt eine *grobe* Kapazitätsplanung. Kapazitätsbedarfe werden daher ebenfalls grob bestimmt. Verwertungs- bzw. demontageinduzierte Kapazitätsbedarfe werden kumuliert und verschiedenen Kapazitätsarten zugeordnet. Die Kapazitätsbedarfe werden ermittelt, indem Altgeräte verschiedenen Clustern zugeordnet werden. Ein Cluster bezeichnet eine Menge von Objekten, die gemeinsame Merkmale aufweisen. Um Ähnlichkeiten zweier Objekte bzw. Objektmengen zu bestimmen, können Abstände (sog. Distanzmaße) verwendet werden. Ein bestimmtes zu demontierendes Altgerät mit übereinstimmenden Merkmalsausprägungen hinsichtlich z.B. Altgerätetyp und Behandlungsart, wird stets einem bestimmten Cluster zu-

⁶ Das theoretische Modell wurde anhand realer Produktdaten validiert (Marx-Gómez/Rautenstrauch 1999, 71).

geordnet (s. Abbildung 6). Das Merkmal *Behandlungsart*, mit den Ausprägungen *Altgerät zur Verwertungsvorbereitung* bzw. *Altgerät zur Demontage*, dient der Bestimmung von Kapazitätsarten und -mengen.

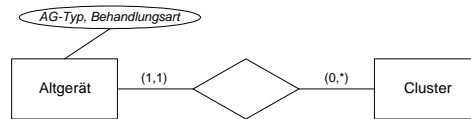


Abbildung 6
Zuordnung von Altgeräten zu Clustern

Durch die Verwendung von Clustern in der Kapazitätsermittlung kann das *Repräsentativverfahren* (Hackstein 1989, 103) angewendet werden. Beim Repräsentativverfahren wird für jedes Cluster ein typisches Produkt ausgewählt. Das ausgewählte Produkt kann auch ein Pseudoprodukt sein, das einem (z.B. durchschnittlichen) Clustervertreter entspricht. Aus Arbeitsplänen der repräsentativen Produkte werden die Bedarfe einzelner Kapazitätsarten abgeleitet. Durch Multiplikation mit der Menge einem Cluster zugeordneter Altgeräte kann der periodisierte Kapazitätsbedarf ermittelt werden. Der Kapazitätsbedarf wird mit dem vorhandenen Kapazitätsangebot abgestimmt, sodass sich ein kapazitiv und terminlich validiertes Programm ergibt.

Literaturverzeichnis

- Adam, D. (1998): Produktionsmanagement. 9. Aufl., Wiesbaden.
- Bönker, T.; Eckerth, G.; Schmidt, G. (1998): Innovative Recyclingfabrik mit Netzwerkstruktur zur Schaffung von Bauteilkreisläufen. In: ZAU, 11. Jg., Heft 2, S. 265-277.
- Corsten, H. (1996): Produktionswirtschaft: Einführung in das industrielle Produktionsmanagement. 6. Aufl., München u.a.
- Corsten, H.; Reiss, M. (1991): Recycling in PPS-Systemen. DBW, 51 Jg., Heft 5, S. 615-627.
- 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. 1.-3. März 1999, Eindhoven, The Netherlands. S. 101-114.
- Gupta, S. M.; Veerakamolmal, P. A (1999): Case-Based Reasoning Approach for the Optimal Planning of Disassembly Processes. In: Proceedings of Second International Working Seminar on Re-Use. 1.-3. März 1999, Eindhoven, The Netherlands. S. 141-150.
- Hackstein, R. (1989): Produktionsplanung und -steuerung (PPS): Ein Handbuch für die Betriebspraxis. Düsseldorf.
- Huber, A. (2000): On-demand orientierte Demontageplanung auf Basis konventioneller PPS-Systeme: In: PPS-Management 5 Jg., Heft 2, S. 24-28.

- Kaiser, H. (1999): Integration umweltschutzbezogener Funktionen und Daten in PPS-Systemen. In: Luczak, H.; Eversheim, W. (1999), S. 757-759.
- Kurbel, K. (1999): Produktionsplanung und -steuerung: Methodische Grundlagen von PPS-Systemen und Erweiterungen. 4. Aufl., München, Wien.
- Kurbel, K.; Rautenstrauch, C. (1997): Integration des Produktrecycling in die Produktionsplanung und -steuerung. In: Weber, J. (1997), S. 299-320.
- Luczak, H.; Eversheim, W. (Hrsg.) (1999): Produktionsplanung und -steuerung: Grundlagen, Gestaltung und Konzepte. 2. Aufl., Berlin u.a.
- Marx-Gómez, J.; Rautenstrauch, C. (1999): Predicting the Return of Scrapped Products: A Fuzzy Logic Approach. In: Proceedings of 6th International Seminar on Life Cycle Engineering, Kingston, (CA), 1999. S. 63-71.
- Perlewitz, H. (2000): Eco-Compatibility for Industrial Processes for the Production of Primary Goods. <http://www-mt.kf.tu-berlin.de> am 22.05.00.
- Rautenstrauch, C. (1997): Fachkonzept für ein integriertes Produktions-, Recyclingplanungs- und Steuerungssystem (PRPS-System). Berlin, New York.
- Rautenstrauch, C. (1999): Betriebliche Umweltinformationssysteme. Berlin u.a.
- Schomburg, E. (1980): Entwicklung eines betriebstypologischen Instrumentariums zur systematischen Ermittlung der Anforderungen an EDV-gestützte Produktionsplanung und -steuerungssysteme im Maschinenbau. Dissertation, Aachen.
- Schotten, M.; Pillep, R. (1999): Ausblick. In: Luczak, H.; Eversheim, W. (1999), S. 757-759.
- Seliger, G.; Kriwet, A. (1993): Demontage im Rahmen des Recycling. *ZwF*, 88 Jg., Heft 11, S. 529-532.
- Steinhilper, R.; Hudelmaier, U. (1993): Erfolgreiches Produktrecycling zur erneuten Verwendung oder Verwertung. Eschborn.
- VDI (1993): Konstruieren recyclinggerechter technischer Produkte. VDI-Richtlinie 2243, Düsseldorf.
- Warnecke, G.; Sigl, M. (1994): Recycling ist Produktion. In: *VDI-Z*, 136 Jg., Heft 1/2, S. 18-20.
- Weber, J. (Hrsg.) (1997): Umweltmanagement. Stuttgart.
- Wiendahl, H.-P.; Bürkner, S. (1998): On-Line Planning and Control in Disassembly. In: *CIRP International Seminar on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering*. 1.-3. Juli 1998, Capri, Italy. S. 591-598.
- Wiendahl, H.-P.; Bürkner, S. (1999): Planning and Control in Disassembly. In: *Proceedings of Second International Working Seminar on Re-Use*. 1.-3. März 1999, Eindhoven, The Netherlands. S. 217-226.
- Wildemann, H. (1995): Entstörmanagement als PPS-Funktion. 2. Aufl., München.