

Dissertation

Demontageplanung und -steuerung

Planung und Steuerung industrieller Demontageprozesse mit PPS-Systemen

von
Alexander Huber
- 2001 -

Geleitwort

Waren Themen wie Recycling oder Demontage früher eher Randerscheinungen der Wirtschafts- und Ingenieurwissenschaften, rücken diese heute zunehmend ins Zentrum wirtschaftlicher Betrachtungen. Die zunehmende Knappheit von Rohstoffen auf der Input- und Deponievolumina auf der Output-Seite ist Motivation für Entwicklung und Realisierung von Konzepten der Sekundärproduktion, einer Form der industriellen Produktion, die marktfähige Produkte aus Sekundärrohstoffen an Stelle von direkt aus natürlichen Ressourcen gewonnenen Primärrohstoffen gewinnt.

Die Zielsetzung der Sekundärproduktion ist ökonomisch begründet und damit jeglicher ökologisch ideologischer Betrachtung entrückt. Konsequenz dieser Entwicklung ist, dass für die Sekundärproduktion die gleichen ökonomischen Zielsetzungen wie für die konventionelle Produktion gelten. Die Erreichung der Ziele muss durch entsprechende Planungs- und Steuerungssysteme unterstützt werden. Dabei weichen die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen der Sekundärproduktion von denen der konventionellen industriellen Produktion deutlich ab, als Beispiel sei hier nur die duale Kosten- und Erlössituation auf Input- und Output-Seite des Unternehmens erwähnt.

Alexander Huber hat mit seiner Arbeit ein Fachkonzept zur Demontageplanung- und -steuerung (DPS) vorgelegt, das auf einer detaillierten Analyse der besonderen Rahmenbedingungen aufsetzt und verschiedene bestehende und selbst entwickelte Planungs- und Steuerungsansätze zu einer geschlossenen Theorie zusammenführt. Er vermeidet die Wiedererfindung des Rades, wo immer es sinnvoll ist, und setzt mit neuen Konzepten an, wo immer es notwendig ist. Dabei entsteht ein schlüssiges Gesamtkonzept, das als Grundlage für die Implementierung einer DPS geeignet erscheint. Als *Sahnehäubchen* untersucht der Verfasser am Schluss der Arbeit die Potenziale, mit denen die gewünschte Funktionalität durch eine geschickte Anpassung von ERP-Systemen erzielt werden kann. Damit wird das erarbeitete Fachkonzept modernen Anforderungen an eine *Make-or-Buy*-gerechte Gestaltung der Informationsinfrastruktur gerecht.

Es ist dem Verfasser in überzeugender Weise gelungen, relevante Grundlagen und Gestaltungsmodelle für den wirtschaftlichen Betrieb von Demontagefabriken zu erarbeiten und sie (dies sei im Vorgriff auf die folgenden Ausführungen bereits erwähnt) in überzeugender Weise und methodisch einwandfrei darzulegen.

Prof. Dr. Claus Rautenstrauch
Magdeburg

Vorwort

Diese Arbeit entstand während meiner Zeit als Promotionsstipendiat in der Arbeitsgruppe Wirtschaftsinformatik des Instituts für Technische und Betriebliche Informationssysteme der Fakultät für Informatik an der Otto-von-Guericke-Universität in Magdeburg.

Herrn Prof. Dr. Claus Rautenstrauch, Leiter der Arbeitsgruppe Wirtschaftsinformatik und meinem akademischem Lehrer danke ich für die fachliche und persönliche Betreuung und Unterstützung, die (wie ich aus eigener Erfahrung weiß) keineswegs selbstverständlich ist. Ich hoffe, dass ich mit meinem Doktorvater noch lange freundschaftlich verbunden bleibe.

Herrn Prof. Dr. Michael Schenk, Leiter des Fraunhofer Instituts für Fabrikbetrieb und -automatisierung in Magdeburg sowie Herrn Prof. Dr. Alfred Taudes, Leiter der Abteilung Produktionsmanagement der Wirtschaftsuniversität in Wien bin ich für die Übernahme des Korreferats zu großem Dank verpflichtet.

Weiterhin bedanke ich mich bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Arbeitsgruppe Wirtschaftsinformatik für zahlreiche Anregungen und konstruktive Kritik sowie bei der Graduiertenförderung und der Stipendien-Vergabekommission für die Förderung meines Promotionsvorhabens.

Last but not least möchte ich mich bei meinen Eltern Rosemarie und Willi Huber bedanken. Meine Mutter hat nicht nur die *überwiegende Mehrheit*, sondern auch die *Formatvorlage* der Arbeit gewissenhaft korrigiert. Meine Eltern haben mir diesen Weg ermöglicht und mich in allen erdenklichen Situationen geleitet und unterstützt.

Ihnen ist diese Arbeit von ganzem Herzen gewidmet.

Dr.-Ing. Alexander Huber
Berlin

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	VI
Abkürzungsverzeichnis	IX
Abbildungsverzeichnis	XI
Tabellenverzeichnis	XIII
Symbolverzeichnis.....	XIV
1 Einleitung.....	1
1.1 Ausgangssituation und Problemstellung.....	1
1.2 Ziele	3
1.3 Aufbau	4
2 Einfluss der Kreislaufwirtschaft auf unternehmerisches Handeln.....	5
2.1 Einführung	5
2.1.1 Begriffsbestimmungen	7
2.1.2 Wirtschaftliche Einordnung	12
2.1.3 Rechtliche Einordnung	14
2.2 Entwicklungs- und Produktionsphase.....	20
2.2.1 Recyclinggerechte Konstruktion	20
2.2.2 Informationsbereitschaft der Produzenten	22
2.2.3 Produktverantwortung	23
2.3 Nutzungsphase	25
2.3.1 Akzeptanz rezyklierter Produkte	25
2.3.2 Produktnutzenkonzepte	27
2.3.3 Übergang Gebrauch-/Altprodukt	28
2.4 Entsorgungsphase	29
2.4.1 Schnittstelle Nutzung/Entsorgung.....	29
2.4.2 Entsorgungslogistik.....	31
2.4.3 Recycling.....	32
3 Demontagefabriken im Rahmen der Kreislaufwirtschaft.....	40
3.1 Einführung	40
3.2 Demontage	45
3.2.1 Systeme	47
3.2.2 Prozesse	48
3.2.3 Strategien.....	49
3.3 Betriebstypen	53
3.3.1 Grundform und Struktur.....	53
3.3.2 Demontagefabrik-Betriebstypologie	56
3.4 Überbetriebliche Organisationsformen.....	64
4 Produktionsplanung und -steuerung in Demontagefabriken	71
4.1 Einführung	71
4.2 Ziele	77
4.3 Planungsmodelle.....	81
4.4 Manufacturing Resource Planning	83
4.4.1 Funktionsgruppen.....	84

4.4.2 Kritik	88
4.5 Demontageinduzierte Herausforderungen	90
4.5.1 Unsicherheit	90
4.5.2 Komplexität	93
4.5.3 Zusammenfassung	95
5 Demontageplanung und -steuerung	97
5.1 Einführung	97
5.2 Primärbedarfsplanung	103
5.2.1 Einführung	103
5.2.2 Prozessobjektmodell	108
5.2.3 Materialstämme	108
5.2.4 Erzeugnisstrukturen	109
5.2.4.1 Stücklisten	109
5.2.4.2 Verwendungsnachweise	115
5.2.5 Funktionen	116
5.2.5.1 Prozessmodell	116
5.2.5.2 Altgeräteeinfallprognose	118
5.2.5.3 Losgrößenplanung	120
5.2.5.4 Vorlaufverschiebung	121
5.2.5.5 Altgerätebedarfsermittlung	122
5.2.5.6 Konsolidierung	133
5.2.5.7 Kapazitätsgrobplanung	135
5.2.5.8 Erzeugungsgesteuerte Disposition	138
5.3 Bedarfsplanung	139
5.3.1 Einführung	139
5.3.2 Prozessobjektmodell	140
5.3.3 Funktionen	140
5.3.3.1 Prozessmodell	140
5.3.3.2 Losgrößenplanung und Bildung von Planaufträgen	141
5.4 Prädiktive Zeit- und Kapazitätsplanung	142
5.4.1 Einführung	142
5.4.2 Prozessobjektmodell	143
5.4.3 Arbeitspläne	144
5.4.4 Funktionen	149
5.4.4.1 Prozessmodell	149
5.4.4.2 Variantenkonfiguration	150
5.4.4.3 Durchlaufterminierung	156
5.4.4.4 Kapazitätsplanung	162
5.4.4.5 Beschaffungsplanung	163
5.5 Reaktive Zeit- und Kapazitätsplanung	164
5.5.1 Einführung	164
5.5.2 Prozessobjektmodell	165
5.5.3 Altgeräte-Zustandsbestimmung	165
5.5.4 Funktionen	172
5.5.4.1 Prozessmodell	172
5.5.4.2 Variantenkonfiguration	173
5.5.4.3 Durchlaufterminierung	175
5.5.4.4 Kapazitätsplanung	175
5.5.4.5 Auftragsfreigabe	176

5.6	Steuerung	177
5.6.1	Einführung.....	177
5.6.2	Entscheidungsmodell	179
5.6.3	Demontageleitstand.....	181
5.6.4	Funktionsgruppen.....	184
5.6.4.1	Feinsteuerung	184
5.6.4.2	Betriebsdatenerfassung.....	188
6	Fallstudie.....	190
6.1	Einführung	190
6.1.1	Untersuchungsziel	190
6.1.2	Untersuchungsumfang und -methode.....	192
6.1.3	Produktionsplanung in SAP R/3	194
6.2	Demontageplanung in SAP R/3.....	196
6.2.1	Absatz- und Produktionsgrobplanung.....	198
6.2.1.1	Altgeräteanfallprognose	198
6.2.1.2	Losgrößenplanung	200
6.2.1.3	Vorlaufverschiebung	201
6.2.1.4	Altgerätebedarfsermittlung und Konsolidierung.....	202
6.2.1.5	Kapazitätsgrobplanung	203
6.2.1.6	Erzeugungsgesteuerte Disposition.....	204
6.2.2	Materialbedarfsplanung.....	205
6.2.2.1	Losgrößenplanung	205
6.2.3	Kapazitätsplanung	205
6.2.3.1	Variantenkonfiguration.....	205
6.2.3.2	Durchlaufterminierung	207
6.2.3.3	Kapazitätsplanung	208
6.2.3.4	Beschaffungsplanung	208
6.2.3.5	Auftragsfreigabe	209
6.2.4	Zusammenfassung demontageinduzierter SAP R/3-Anpassungen	210
6.2.4.1	Datenstrukturen	210
6.2.4.2	Funktionen.....	210
6.2.4.3	Integration.....	212
7	Schlussbetrachtung	215
7.1	Zusammenfassung	215
7.2	Ausblick.....	216
	Literaturverzeichnis	219

Abkürzungsverzeichnis

AbfG	Gesetz über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen
ACM	Association for Computing Machinery
ADAC	Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e. V.
AG	Altgerät
AJ	Abfallwirtschaftsjournal
AltautoV	Altautoverordnung
AODV	Aktionsorientierte Datenverarbeitung
ARIS	Architektur integrierter Informationssysteme
ATP	Available-To-Promise
AWF	Ausschuss für wirtschaftliche Fertigung e. V.
BANF	Bestellanforderung
BattV	Batterieverordnung
BDE	Betriebsdatenerfassung
BGBI.	Bundesgesetzblatt
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
BOA	Belastungsorientierte Auftragsfreigabe
BVSE	Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung e. V.
CO	Controlling (Modul in SAP R/3)
CRP	Capacity Requirements Planning
c't	Magazin für Computertechnik
DBW	Die Betriebswirtschaft
DE	Demontageerzeugnis
DIN	Deutsches Institut für Normung e. V.
DPS	Demontageplanung und -steuerung
Dynpro	Dynamisches Programm
EDI	Electronic Data Interchange
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EP	Entsorgungspraxis
ER	Entity-Relationship
EU	Europäischen Union
F+H	Fördern und Heben
FAZ	Frankfurter Allgemeine Zeitung
FB/IE	Zeitschrift für Unternehmensentwicklung und Industrial Engineering
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoff
FZK	Fortschrittszahlenkonzept
GVVBAbf	Gesetz zur Vermeidung, Verwertung und Beseitigung von Abfällen
HMD	Handbuch der maschinellen Datenverarbeitung
HR	Human Resources
IM	Industrie Management
IT	Informationstechnologie
KBA	Kraftfahrt-Bundesamt
KrW-/AbfG	Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz
M	Motor
MM	Materials Management (Modul in SAP R/3)
MP	Master Planning
MRP II	Manufacturing Resource Planning
MRP	Material Requirements Planning

MRR	Material Recovery Rates
NBU	Nachbearbeitungsunternehmen
NI	Nutzungsintensität
OE	Optischer Eindruck
OM	Office Management
OPT	Optimized Production Technology
PC	Personal Computer
PP	Production Planning
PPS	Produktionsplanung und -steuerung
PRPS	Produktions- und Recyclingplanung und -steuerung
RKW	Rationalisierungs-Kuratorium der Deutschen Wirtschaft e. V.
RPS	Recyclingplanung und -steuerung
SD	Sales and Distribution (Modul in SAP R/3)
SOP	Sales and Operations Planning
SzU	Schriften zur Unternehmensführung
t&m	Technologie und Management
TA Abfall	Technische Anleitung Abfall
UBA	Umweltbundesamt
UVPG	Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung
uwf	UmweltWirtschaftsForum
VDA	Verband der Automobilindustrie e. V.
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e. V.
VDI-Z	VDI Zeitschrift – Integrierte Produktion
VerpackV	Verpackungsverordnung
WiSt	Wirtschaftswissenschaftliches Studium
WISU	Das Wirtschaftsstudium
WMS	Workflow-Management-System
XML	eXtensible Markup Language
ZAU	Zeitschrift für angewandte Umweltforschung
ZE	Zeiteinheit
ZfB	Zeitschrift für Betriebswirtschaft
ZfbF	Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung
ZfU	Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht
ZwF	Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1:	Begriffsterminologie zur Kreislaufwirtschaft.....	10
Abb. 2.2:	Entscheidungsmodell zur Wahl von Vermeidung, Verwertung bzw. Beseitigung	16
Abb. 2.3:	Produktverantwortung	24
Abb. 2.4:	Absatzmärkte für Demontageerzeugnisse	26
Abb. 3.1:	Besondere Kosten- und Erlössituation	41
Abb. 3.2:	Demontageprozess.....	48
Abb. 3.3:	Transformationsprozess.....	48
Abb. 3.4:	Bestimmung der optimalen Demontagetiefe	51
Abb. 3.5:	Morphologischer Kasten zur Betriebstypologie	54
Abb. 3.6:	Morphologischer Kasten zur Demontagefabrik-Betriebstypologie.....	55
Abb. 3.7:	Morphologischer Kasten zum Altproduktspektrum	57
Abb. 3.8:	Kapazitäten und Güterströme der Demontagefabrik	59
Abb. 3.9:	Organisationsformen der Fertigung.....	61
Abb. 3.10:	Morphologischer Kasten zur Demontagefabrik-Betriebstypologie mit Ausprägungen	64
Abb. 3.11:	Überbetriebliche Beziehungen der Demontagefabrik	69
Abb. 3.12:	Altgerätequellen und optimale Beschaffungsmengen	70
Abb. 4.1:	Einordnung der Produktionsplanung und -steuerung in die Arbeitsvorbereitung.....	75
Abb. 4.2:	PPS-Funktionsebenen und -Funktionsgruppen	84
Abb. 4.3:	PPS-Funktionsebenen und -Funktionsgruppen nach Scheer	85
Abb. 4.4:	Planungssituation der Demontagefabrik.....	95
Abb. 5.1:	Prozessobjektmodell zur Primärbedarfsplanung	108
Abb. 5.2:	ER-Diagramm zur Materialklassifikation	109
Abb. 5.3:	Exemplarische Produktions- und Demontageerzeugnis-Struktur.....	111
Abb. 5.4:	Exemplarische Demontageerzeugnis-Strukturen mit Wiedereinsatzwahrscheinlichkeiten	113
Abb. 5.5:	ER-Diagramm zur erweiterten Demontageerzeugnis-Struktur	114
Abb. 5.6:	Exemplarische Demontageerzeugnis-Strukturen mit Wiedereinsatzwahrscheinlichkeiten und Demontagekoeffizienten.....	115
Abb. 5.7:	Prozessmodell zur Primärbedarfsplanung	117
Abb. 5.8:	Prozessmodell zur Altgeräteanfallprognose	119
Abb. 5.9:	ER-Diagramm zur Darstellung von Baugleichheiten.....	122
Abb. 5.10:	Altgeräte-Erzeugnisstrukturen.....	123
Abb. 5.11:	Demontagefabrik-Kapazitätsverhältnisse bei Altgerätebedarfsänderung...	125
Abb. 5.12:	Algorithmus zur Aufstellung des linearen Programms	130
Abb. 5.13:	Prozessmodell zur Altgerätebedarfsermittlung	131
Abb. 5.14:	Algorithmus zur Bestimmung kundeninduzierter und flexibler Demontageaufträge.....	132
Abb. 5.15:	ER-Diagramm zur Unterscheidung von Aufträgen zur Wiedereinsatz- bzw. Verwertungsvorbereitung	133
Abb. 5.16:	Prozessmodell zur Konsolidierung.....	134
Abb. 5.17:	ER-Diagramm zu Altgeräten und Clustern	135
Abb. 5.18:	ER-Diagramm zu Clustern und Repräsentativprodukten	136
Abb. 5.19:	Prozessmodell zur Kapazitätsbedarfsermittlung	137
Abb. 5.20:	Kapazitätsabstimmung.....	137
Abb. 5.21:	Prozessobjektmodell zur Bedarfsplanung.....	140

Abb. 5.22: Prozessmodell zur Bedarfsplanung	141
Abb. 5.23: Prozessobjektmodell zur prädiktiven Zeit- und Kapazitätsplanung	144
Abb. 5.24: ER-Diagramm zu Arbeitsplänen, Arbeitsgängen und Arbeitsplätzen.....	144
Abb. 5.25: Exemplarisch erweiterte Erzeugnisstruktur	148
Abb. 5.26: Prozessmodell zur prädiktiven Zeit- und Kapazitätsplanung	149
Abb. 5.27: Exemplarisches Strukturbild eines elektrischen Steckers.....	152
Abb. 5.28: Exemplarische dynamische Struktursystematik als Grundlage des Maximalarbeitsplans.....	152
Abb. 5.29: Algorithmus zur prädiktiven Variantenkonfiguration	156
Abb. 5.30: ER-Diagramm zu Auftragsnetzen und Aufträgen	157
Abb. 5.31: Komponenten der Plandurchlaufzeit eines Auftrags	159
Abb. 5.32: Netzplan zu einem exemplarischen Planauftragsnetz.....	160
Abb. 5.33: ER-Diagramm zur Kapazitätsbelastung	162
Abb. 5.34: Algorithmus zur Beschaffungsplanung	164
Abb. 5.35: Prozessobjektmodell zur reaktiven Zeit- und Kapazitätsplanung	165
Abb. 5.36: Altgeräteattribute mit exemplarischen Ausprägungen	168
Abb. 5.37: Exemplarische demontagespezifische Struktur eines Fuzzy-Systems	168
Abb. 5.38: Exemplarische Fuzzifizierung der Eingangsgrößen <i>Nutzungsintensität</i> und <i>optischer Eindruck</i>	169
Abb. 5.39: Ausschnitt aus einer exemplarischen Regelbasis	170
Abb. 5.40: Darstellung einer exemplarischen resultierenden Fuzzy-Ausgangsmenge	171
Abb. 5.41: Defuzzifizierung nach der Schwerpunktmethode.....	172
Abb. 5.42: Prozessmodell zur reaktiven Zeit- und Kapazitätsplanung	173
Abb. 5.43: Algorithmus zur reaktiven Variantenkonfiguration.....	174
Abb. 5.44: ER-Diagramm zur Ergänzung der Auftragsattribute.....	175
Abb. 5.45: Algorithmus zur Bildung von Auftragsprioritäten	175
Abb. 5.46: Datenfluss zwischen Demontageleitstand und DPS-System.....	183
Abb. 6.1: Exemplarische SAP R/3-Konfiguration	192
Abb. 6.2: Gegenüberstellung von PPS- und DPS-Konzept.....	197
Abb. 6.3: Demontageinduzierte SAP R/3-Datenstrukturerweiterungen.....	210
Abb. 6.4: Demontageinduzierte SAP R/3-Funktionsanpassungen	211
Abb. 7.1: Vertikale Integration: Weiterentwicklung zur <i>Produktions- und</i> <i>Demontageplanung und -steuerung</i>	217
Abb. 7.2: Horizontale Integration: Weiterentwicklung zur <i>Produktrecycling-</i> <i>planung und -steuerung</i>	217

Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1:	Unterschiede zwischen Produkt- und Nutzenverkauf.....	27
Tab. 2.2:	Recycling-Kreislaufarten, -Formen und -Behandlungsprozesse	34
Tab. 2.3:	Unterschiede zwischen Aufarbeitung und Instandsetzung	35
Tab. 3.1:	Überbetriebliche Organisationsformen des Recycling	65
Tab. 3.2:	Unternehmensnetzwerke im Recyclingbereich	66
Tab. 4.1:	Objekt der Primärbedarfsplanung.....	86
Tab. 5.1:	Verwendete Modellierungsarten.....	103
Tab. 5.2:	Unterscheidung von Verwertungs- und Demontagemengen.....	134
Tab. 5.3:	Relevante Arbeitsgangtypen in der DPS	146
Tab. 5.4:	Exemplarische Merkmale und Merkmalwerte für den Zustand eines Altgeräts.....	167
Tab. 6.1:	Systemspezifische und theoretische Anpassungsarten	193

Symbolverzeichnis

a	Index der Altgeräte
A	Menge der Altgeräte
a_{ad}	Anzahl der in Altgerät a enthaltenen Demontageerzeugnisse d
a_{ij}	Anzahl der in Demontageobjekt i enthaltenen Demontageobjekte j
b_j	Primärbedarf an Demontageobjekt j
d	Index der Demontageerzeugnisse
D	Menge der Demontageerzeugnisse
e_a	Anzahl der in der Primärbedarfsplanung zur Demontage eingeplanten Altgeräte a
e_d	Anzahl der in der Primärbedarfsplanung zur Demontage eingeplanten Demontageerzeugnisse d
f	Flächenschwerpunkt einer Fuzzy-Ausgangsmenge
g	Index der Regeln aus der Fuzzy-Regelbasis
H_g	Erfüllungsgrad der Regel g
i	Index der Demontageobjekte, die den Demontageobjekten j direkt vorgelagert sind.
j	Index der Demontageobjekte, die den Demontageobjekten i direkt nachgelagert sind.
J	Menge der Demontageobjekte
k	Index der Kapazitätsarten
K	Kosten
L	Leistung
p^{WE}	Wiedereinsatzwahrscheinlichkeit
u	Index der Planperioden
W	Wirtschaftlichkeit
w_j	Binäre Entscheidungsvariable
WE	Wiedereinsetzbarkeit
x_a	Anzahl der Altgeräte a
x_k	Kapazitätsmenge der Kapazitätsart k
y_a	Zu beschaffende Menge des Altgeräts a
y_{ij}	Erzeugungsmenge des j übergeordneten Demontageobjekts i
y_j	Beschaffungs- bzw. Erzeugungsmenge von Demontageobjekt j
z	Zielfunktion
α	Gewichtungsfaktor
μ	Zugehörigkeitsfunktion

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Die massenhafte Verbreitung technisch komplexer Produkte und stetige Verkürzung der Produktlebenszyklen führen seit einigen Jahren zu einem ständig steigenden Entsorgungsbedarf. Im Jahr 1997 wurden in Deutschland 1,8 Millionen Tonnen Elektro- und Elektronikgeräte ausrangiert; gegenwärtig wird von einer jährlichen Steigerungsrate von 4 % ausgegangen (vgl. BVSE (1998), S. 4ff.). Das Altautoaufkommen für 1999 wird mit ca. 1,7 Millionen Stück angegeben; die Steigerungsrate beträgt zwischen 3 und 7 % (vgl. Schenk (2000a), S. 7)¹. Die Entsorgung von Altprodukten kann beseitigungs- oder recyclingorientiert stattfinden. Insbesondere die Entsorgung von Elektronikschrott erfolgt zum Großteil beseitigungsorientiert (vgl. Tritsch (1996), S. 1), d. h. Altprodukte werden geshreddert und auf Deponien endgelagert oder in Müllverbrennungsanlagen thermisch vernichtet. Im Rahmen der Altautoentsorgung werden ca. 80% der Gewichtsanteile rezykliert (vgl. Schenk (2000a), S. 7f.). Dem Recycling kommt als Alternative zur Beseitigung eine wachsende Bedeutung zu. Neben einem positiven Beitrag zum Umweltschutz erweist sich Recycling zunehmend auch als wirtschaftlich attraktiv (vgl. Steinhilper/Hudelmaier (1993), S. 5). Die heute vorherrschenden Entsorgungsstrategien sind auf *Beseitigung* oder Rückgewinnung von *Stoffen* (Materialrecycling) gerichtet (vgl. BVSE (1998), S. 14ff.). Die Rückgewinnung von *Komponenten* und *Produkten* (Produktrecycling) spielt zurzeit eine untergeordnete Rolle. Produktrecycling kann ökologisch und wirtschaftlich besonders vorteilhaft sein (vgl. Jahn (1998), S. 2), da einzelne Komponenten eine höhere Lebenserwartung haben als das Gesamtprodukt (vgl. Rautenstrauch (1997a), S. 1) und durch einen wiederholten Einsatz evtl. Energie- und Rohstoffeinsparungen gegenüber einer Neuteilfertigung möglich sind (vgl. Warnecke (2000)).

Durch Zunahme gesetzlichen und gesellschaftlichen Drucks (z. B. über Gesetze², Verordnungen, Selbstverpflichtungen oder umweltbewussteres Nachfrageverhalten) im Sinne eines sparsamen Umgangs mit natürlichen Ressourcen und die Erkenntnis, dass bisher beseitigte Stoffe und Produkte Potenziale zum wirtschaftlichen Wiedereinsatz bieten, entwickelt sich die vorherrschende *Durchlaufwirtschaft* langfristig in Richtung einer *Kreislaufwirtschaft*. Kein Unternehmen wird sich zukünftig kreislaufwirtschaftlichen Aufgaben entziehen können (vgl. Rautenstrauch (1999), S. 2; Wildemann (1997b), S. 54). Zielsetzung der Kreislaufwirtschaft ist, Stoffe und Produkte, solange es sinnvoll ist, im Wirt-

¹ Für die Berechnung der Steigerungsrate wurden Angaben zu endgültigen Pkw-Stillegungen zu Grunde gelegt (vgl. KBA (1997), S. 355ff.; KBA (1998), S. 357, KBA (1999), S. 85).

² Insbesondere das *Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz*.

schaftskreislauf zu halten. Sekundärrohstoffe und -produkte z. B. können im Rahmen der Neuproduktion oder der Reparatur wiedereingesetzt werden.

In diesem Rahmen entwickelt sich ein Wachstumsmarkt mit neuen Geschäftsfeldern. Gegenwärtig sind in den USA über 73.000 Unternehmen bekannt, die im Bereich der Herstellung von Sekundärrohstoffen oder -produkten (Remanufacturing) tätig sind. Mit 350.000 beschäftigten Personen wird ein Gesamtumsatz von US\$ 53 Milliarden erwirtschaftet (vgl. Lund (1998)). Das Marktvolumen für Elektronikschrottreycling lag 1992 in Europa bei ca. US\$ 78 Millionen, prognostiziert wird eine Verfünfachung des Volumens auf US\$ 419 Millionen im Jahr 2002 (vgl. Frost&Sullivan (1997a)). In der gleichen Größenordnung wächst der Gesamtmarkt für Recyclinganlagen in Europa. Während 1993 US\$ 0,94 Milliarden mit Recyclinganlagen umgesetzt wurden, wird eine Zunahme auf US\$ 4,57 Milliarden im Jahr 2003 prognostiziert (vgl. Frost&Sullivan (1997b)). Neben produktions- sind in diesem Zusammenhang auch serviceorientierte Aspekte zu beachten: Der Rückführung von Altprodukten wird in Zukunft eine herausragende nachkaufwirksame Bedeutung für die Kundenneugewinnung bzw. -bindung auf gesättigten Märkten zukommen (vgl. Knolmayer u. a. (2000), S. 100; Wildemann (1997b), S. 54).

Eine der wesentlichen Voraussetzungen zur Erreichung kreislaufwirtschaftlicher Ziele besteht in der wirtschaftlichen Vereinzelung von Komponenten und Stoffen. Zur Vereinzelung von Komponenten und Stoffen stehen mehrere Behandlungsarten zur Verfügung (z. B. Shreddern/Sortieren oder Demontieren). Shreddern und anschließendes Sortieren ermöglichen einen hohen Materialdurchsatz, erlauben allerdings in der Regel weder sortenreine Stofftrennung noch Produktrecycling. Dagegen gestattet die Demontage eine Separierung von

- Komponenten zum *Produktrecycling*,
- sortenreinen Stoffen zum *Materialrecycling* und
- Komponenten und Stoffen zur *Beseitigung*.

Die Demontage ermöglicht einen höheren Werterhalt der Altprodukte, erfordert aber in der Regel auch einen höheren Aufwand (vgl. Seliger/Kriwet (1993), S. 529). Die vorzuziehende Behandlungsart hängt u. a. von gesetzlichen Regelungen sowie der Kosten- und Erlössituation ab:

- Hohe Demontagekosten entstehen vor allem durch unsichere Anfallmengen, unbekannte Altproduktzustände sowie eine große Altprodukt-Variantenvielfalt bei gleichzeitig geringen Stückzahlen je Variante. Bedingt durch diese Situation und durch den geringen Entwicklungsstand der eingesetzten Demontagetechnologie werden Demon-

tageprozesse häufig von hochspezialisierten Arbeitskräften manuell durchgeführt (vgl. Feldmann/Meedt (1996), S. 30; Tritsch (1996), S. 39).

- Geringe Demontageerlöse resultieren aus noch nicht ausreichend entwickelten Absatzmärkten für Demontageerzeugnisse sowie einer mangelhaften Marktorientierung von Unternehmen, die im Bereich der Demontage tätig sind (Demontagefabriken).

Allein im Bereich des Elektronikschrottreycling existieren in Deutschland zurzeit ca. 300 Demontagefabriken (vgl. BVSE (1998), S. 29). Häufiges Kennzeichen des vorherrschenden Demontagefabriktyps ist eine manuelle *ad hoc*-Fließdemontage, die weitgehend ohne Funktionen der Planung und Steuerung und ohne explizite Marktorientierung durchgeführt wird (vgl. Feldmann/Meedt (1996), S. 30; Wiendahl et al. (1999), S. 718). Verbesserungen der geschilderten Situation können vor allem durch *technische* (z. B. Erhöhung des Mechanisierungs- bzw. Automatisierungsgrads) und *organisatorisch/dispositive* (z. B. Planung und Steuerung der Demontage) Ansätze erreicht werden. Im Rahmen dieser Arbeit liegt der Schwerpunkt auf der *organisatorisch/dispositiven* Betrachtungsweise.

1.2 Ziele

Ziel der Arbeit ist die Erarbeitung eines möglichst einfach systemtechnisch abbildbaren, organisatorisch/dispositiven Ansatzes zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit industrieller, marktorientierter Demontageprozesse. Dazu wird ein Konzept zur Demontageplanung und -steuerung (DPS) vorgestellt.

Die Wirtschaftlichkeit von Demontageprozessen kann durch Erlössteigerung oder Kostensenkung erhöht werden. Ableitbare Zielsetzungen sind u. a. die Steigerung der Flexibilität und Qualität sowie Senkung von Unsicherheit und Komplexität der Demontageprozesse, -planung und -steuerung.

Durch den Einsatz eines systematischen, marktorientierten DPS-Konzepts ändert sich die Organisation von einer ungeplanten *ad hoc*-Fließdemontage in Richtung einer geplanten *on-demand-orientierten* Demontage. Dadurch soll eine Voraussetzung zur Erschließung und Entwicklung neuer bzw. zum Erhalt und Ausbau bereits existierender Geschäftsfelder im Bereich der Kreislaufwirtschaft erfüllt werden.

Das DPS-Konzept soll als Grundlage für die Anpassung konventioneller Systeme zur Produktionsplanung und -steuerung (PPS) auf die Belange der Demontage dienen. Demontageinduzierte Anpassungen sollen so gering wie möglich gehalten werden, um den Aufwand für Implementierung und Einsatz potenzieller DPS-Systeme niedrig zu halten.

1.3 Aufbau

Der Übergang von der Durchlauf- zur Kreislaufwirtschaft beeinflusst den Handlungsspielraum und das Zielkalkül betrieblicher Entscheidungen. Im *folgenden Kapitel* werden, nach Begriffsbestimmung und wirtschaftlicher sowie rechtlicher Einordnung, kreislaufwirtschaftsinduzierte Einflüsse entlang des Produktlebenszyklus beschrieben.

Im *dritten Kapitel* werden Demontagesysteme, -prozesse und -strategien erläutert. Darauf aufbauend wird eine marktorientierte Demontagefabrik-Betriebstypologie entwickelt. Die Betriebstypologie beschreibt den innerbetrieblichen Organisationsrahmen der Demontagefabrik. Den Abschluss des Kapitels bildet die Einordnung der Demontagefabrik in einen überbetrieblichen Organisationsrahmen.

Kapitel vier beschreibt Grundlagen konventioneller PPS-Konzepte und behandelt demontageinduzierte Herausforderungen der Produktionsplanung und -steuerung.

Den Schwerpunkt der Arbeit bildet die Beschreibung eines DPS-Konzepts in *Kapitel fünf*. Auf Basis der beschriebenen inner- und überbetrieblichen Einordnung der Demontagefabrik sowie der Demontagesysteme, -prozesse und -strategien wird in diesem Kapitel ein Konzept zur on-demand-orientierten DPS entwickelt. Das DPS-Konzept wird entlang der Funktionsgruppen der konventionellen PPS erarbeitet. In diesem Zusammenhang werden alle Funktionen beschrieben, die einen demontageinduzierten Anpassungsbedarf aufweisen. Sämtliche DPS-Funktionsgruppen und die wichtigsten DPS-Funktionen werden in Prozessobjektmodellen und erweiterten Ereignisgesteuerten Prozessketten abgebildet. Datenstrukturen werden in Entity-Relationship-Diagrammen beschrieben. Zur Spezifikation komplexer Algorithmen werden vereinfachte Struktogramme (Nassi-Shneiderman-Diagramme) eingesetzt.

Zur Validierung des erarbeiteten DPS-Konzepts und zur qualitativen Abschätzung des Anpassungsaufwands wird im *sechsten Kapitel* eine Fallstudie durchgeführt. Auf Basis einer betriebswirtschaftlichen Standardsoftware zur Produktionsplanung und -steuerung (SAP R/3) wird der systemspezifisch notwendige Anpassungsbedarf aufgezeigt.

2 Einfluss der Kreislaufwirtschaft auf unternehmerisches Handeln

2.1 Einführung

Ziel der Kreislaufwirtschaft ist, Stoffe und Produkte, so lange es sinnvoll ist, im Wirtschaftskreislauf zu halten. Motiviert wird das Ziel der Kreislaufwirtschaft zum einen durch die Verknappung von Ressourcenquellen (zur Erzeugung von Energie und Rohstoffen) und Entsorgungssenkern (Luft, Wasser, Boden), zum anderen durch die Erkenntnis, dass wirtschaftlich nutzbare Potenziale vernichtet werden (vgl. Gupta/Veerakamolmal (1999), S. 141). Zur Erfüllung des Ziels der Kreislaufwirtschaft müssen deshalb nutzbare Potenziale identifiziert und Voraussetzungen für eine wirtschaftliche Nutzung von Sekundärrohstoffen und -produkten geschaffen werden. Die Herstellung von Sekundärrohstoffen und -produkten (Remanufacturing) muss die Herstellung von Primärrohstoffen (Urproduktion) ergänzen und, soweit möglich und sinnvoll, ersetzen.

Die zunehmende Verknappung von Ressourcen und die Störung des ökologischen Gleichgewichts waren Anstoß, im Rahmen der Umweltkonferenz von Rio de Janeiro den Beschluss zu fassen, Wirtschaft und Gesellschaft zu einer Nachhaltigen Entwicklung³ zu führen (vgl. z. B. Meffert/Kirchgeorg (1998), S. 33f.). Diese Neuausrichtung von Wirtschaft und Gesellschaft spiegelte sich auch in dem 1996 in Kraft getretenen Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) wider. Zentrale Bestandteile des KrW-/AbfG sind die

- Neufassung des Abfallbegriffs,
- Priorisierung von Vermeidung vor Verwertung und Beseitigung,
- Priorisierung der Verwertung vor allen anderen Entsorgungsmethoden und
- erstmalige Festschreibung einer durchgängigen Produzentenverantwortung.

Die Einführung des Verursachungsprinzips in die Abfallpolitik (durch Festschreibung einer durchgängigen Verantwortung des Herstellers über den gesamten Lebenszyklus eines Produkts oder Stoffs) kann zu einer wirkungsvollen Umsetzung des Kreislaufwirtschaftsgedankens und damit zu einer völlig neuen Industriestruktur führen. Aus dem Verständnis heraus, dass ein Hersteller Verantwortung für den gesamten Lebenszyklus seiner Produkte übernimmt, könnte die klassische Produktionsindustrie langfristig Teil einer Dienstleistungsbereitstellung werden: Die Produzenten stellen für eine Dienstleistung benötigte Stoff- und Güterflüsse bereit und verwalten, rezyklieren bzw. beseitigen anfallende Altstoffe und -produkte (vgl. Moser (1996), S. 1124).

³ Der Begriff *Nachhaltige Entwicklung* wurde im Bericht der *Weltkommission für Umwelt und Entwicklung* „Our Common Future“ aus dem Jahr 1987 definiert und in die Diskussion gebracht (vgl. Hauff (1987)).

Im Kontext dieser Entwicklung ist die momentane Situation durch verschiedene Merkmale gekennzeichnet:

- *Unsichere Rahmenbedingungen:* Die Unternehmen befinden sich in einer Art Wartehaltung und gehen von weiteren Verschärfungen bzw. zusätzlichen gesetzlichen Bestimmungen aus. Einige Unternehmen verhalten sich proaktiv und gehen Wege, die gesetzlich (noch) nicht gefordert sind. Diese Unternehmen erhoffen sich Wettbewerbsvorteile durch den Aufbau von Wissen in Bereichen, die sie in naher Zukunft als relevant erachten. So demontierte die *Bosch Siemens Hausgeräte* in einer Pilotanlage in Berlin gebrauchte Haushaltsgroßgeräte, um Erfahrungen hinsichtlich Organisation und Wirtschaftlichkeit von Demontageprozessen und demontagegerechter Produktgestaltung zu sammeln. Als Konsequenz aus dem Entwurf der Elektronikschrottverordnung haben Elektrowerkzeuge-Hersteller 1994 ein System zur Rücknahme von Elektrowerkzeugen entwickelt, dem sich mehr als 2000 Händler angeschlossen haben (vgl. Bellin (1998), S. LS 9). Politische und gesetzliche Rahmenbedingungen nehmen zentralen Einfluss auf die Entwicklung neuer, umweltgerechter und innovativer Systeme und Produkte. Zentrale Motivation für Unternehmen im Wettbewerb Innovationen zu generieren, ist der wirtschaftliche Erfolg und damit die Aussicht auf Gewinne. Umweltinnovationen hängen daher in hohem Maße von der Ausgestaltung umweltpolitischer Rahmenbedingungen ab (vgl. Hemmelskamp (1997), S. 503).
- *Remanufacturing als Wachstumsmarkt:* Der Umwelt- und Recyclingmarkt wird zunehmend als bedeutendes Geschäftsfeld mit enormem Wachstumspotenzial erkannt⁴. Nach und nach werden umfangreiche Dienstleistungen angeboten, die vom spezialisierten Transportdienstleister bis zum überbetrieblichen Entsorgungsmanagement in Form strategischer Netzwerke reichen. Im Bereich des Remanufacturing entstehen neue Geschäftszweige und bereits vorhandene werden attraktiver (vgl. Hansen/Meyer (1998), S. LS 5; Kreikebaum (1994), S. 1038f.). Zu nennen sind hierbei z. B. Funktionen wie Schadstoffentfrachtung oder Zerlegung von Altprodukten. Es gibt zahlreiche Beispiele dafür, dass Firmen (ausschließlich aus wirtschaftlichem Interesse) die Potenziale des Recycling zu erkennen beginnen. *Mercedes-Benz* sammelt seit über 30 Jahren Altmotoren und bietet diese nach Demontage, Aufarbeitung und Remontage als neuwertige Austauschmotoren wieder am Markt an. *Xerox* führt Kopierer einer Aufarbeitung zu, bevor diese wieder an Kunden geliefert werden (vgl. Mahr (1998), S. 457). *Bosch* nimmt elektrische Werkzeuge zurück, um sie zu rezyklieren und *Siemens-Nixdorf Informationssysteme* führt 88 % der zurückgenommenen Personal Computer (PC) einem Recycling zu (vgl. o. V. (1998), S. 15). Aktivitäten in diesem Zusammenhang

⁴ Aktivitäten im Bereich des Recycling gibt es schon sehr lange. Treibendes Element war dabei in fast allen Fällen die Erzielung von Kosteneinsparungen bzw. Gewinnen (vgl. Nickel/Fleischer (1996), S. 4).

können unter *Product Recovery Management* zusammengefasst werden. Product Recovery Management befasst sich mit dem Management gebrauchter oder aus dem wirtschaftlichen Betrieb ausgeschiedener Produkte, für die ein Unternehmen aus gesetzlichen, vertraglichen oder anderen Gründen verantwortlich ist. Ziel ist die Ausschöpfung des ökologischen und wirtschaftlichen Werts der Altprodukte (vgl. Thierry et al. (1993), S. 1).

- *Wertewandel:* Der sich in der Gesellschaft vollziehende Wertewandel übt Druck auf Politik und Wirtschaft aus. Ein gestiegenes Umweltbewusstsein führt zu einem bewussterem Umgang mit knappen Ressourcen. Das Umweltbewusstsein der Deutschen ist größer als bislang angenommen. Nach einer repräsentativen Erhebung des Umweltbundesamts wird der Umweltschutz von 94 % der Befragten als wichtig oder sehr wichtig eingestuft – gegenüber nur 62 % im Jahr 1998 (vgl. UBA (2000b)). Umweltgerechtes Verhalten der Unternehmen wird vom Konsumenten wahrgenommen und honoriert (vgl. Haasis (1998), S. 117; Reinhart/Friess (1995), S. 298). Konsumenten achten beim Kauf nicht nur zunehmend auf Umweltverträglichkeit der Produkte, sondern ebenfalls auf umweltgerechte Prozessgestaltung der Hersteller (vgl. Rehak (1993), S. 22). Umweltgerechtes Handeln stellt für Unternehmen ein zunehmend wichtigeres Marketinginstrument dar (vgl. Birnkraut/Burmeister (1993), S. 43; Meffert/Kirchgeorg (1998), S. 273ff.; Steven (1992a), S. 34; Warnecke (1995), S. 278).

2.1.1 Begriffsbestimmungen

Themen der Kreislaufwirtschaft haben lange eine untergeordnete Rolle im Wirtschaftsleben gespielt. Abhängig vom Standpunkt des Betrachters (Produzent, Konsument, Entsorger oder Gesetzgeber) konnten sich daher unterschiedlich verwendete Begriffe und Definitionen entwickeln. In diesem Kapitel wird eine für die gesamte Arbeit verbindliche Sprachregelung angegeben, mit der Aufgabengebiete einheitlich abgegrenzt und Schnittstellen zwischen verschiedenen Funktionen und Prozessen definiert werden. Die mit der Demontage in Verbindung stehenden Begriffsdefinitionen werden in Kapitel 3 getroffen.

Kreislaufwirtschaft

Die im Sprachgebrauch übliche Verwendung des Begriffs *Kreislaufwirtschaft* resultiert aus zwei verschiedenen Betrachtungsweisen:

- *Wirtschaftlich:* *Kreislaufwirtschaft* bezeichnet die Zusammenführung von Stoffströmen durch alle am Produktlebenszyklus beteiligten Marktteilnehmer, sodass eine möglichst häufige, emissionsarme und Ressourcen schonende Nutzung von Stoffen auf hohem Wertschöpfungsniveau stattfinden kann (vgl. Thomé-Kozmiensky (1994), S. IV/14).

Weiterhin wird als Kreislaufwirtschaft der (wünschenswerte) Zustand eines wirtschaftlich und ökologisch optimalen Niveaus wirtschaftlicher Nutzung von materiellen Ressourcen bezeichnet (vgl. Strebel (1993), S. 36). In diesem Zusammenhang werden z. B. unterschiedliche Rollenverteilungen der Marktteilnehmer, neue Kooperationsformen, Wirtschaftlichkeits- und technologische Machbarkeitsaspekte sowie Produktnutzenkonzepte diskutiert.

- *Rechtlich:* Mit dem Begriff *Kreislaufwirtschaft* werden Rechte und Pflichten beschrieben, die das 1994 von der Bundesregierung verabschiedete und 1996 in Kraft getretene KrW-/AbfG enthält.

Die Kreislaufwirtschaft an sich ist wirtschaftlich motiviert, wo hingegen das KrW-/AbfG den Umweltschutz als Ziel hat. In dieser Arbeit wird mit dem Begriff *Kreislaufwirtschaft* immer die wirtschaftliche Betrachtungsweise eingenommen. Werden gesetzliche Grundlagen und Folgerungen herangezogen, wird dies durch Nennung der entsprechenden Rechtsgrundlage deutlich gemacht.

Abfall

Nach § 3 Abs. 1 Satz 1 KrW-/AbfG zählen alle beweglichen Sachen zu Abfällen, die unter die im Gesetz aufgeführten Gruppen fallen und denen sich ein Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muss. Bewegliche Sachen, die bei Produktion oder Konsum anfallen, ohne dass der Zweck darauf gerichtet ist, sind Abfälle. Da grundsätzlich alle Abfälle entsorgt werden müssen, wird in dieser Arbeit der Begriff *Entsorgungsgut* synonym zu Abfall verwendet. Gebrauchte Sachen, deren ursprüngliche Zweckbestimmung entfällt oder aufgegeben wird, ohne dass unmittelbar ein neuer Verwendungszweck entsteht, werden zu Abfall. Unmittelbarkeit in diesem Sinn liegt vor, wenn mit dem neuen Verwendungszweck kein wesentlicher Eingriff verbunden ist.

Im Rahmen dieser Arbeit wird zwischen Abfall *zur Verwertung* und Abfall *zur Beseitigung* unterschieden.

- Abfälle *zur Beseitigung* (*Restmüll*) liegen vor, wenn das Ziel der Abfallbehandlung in der Entfernung des Abfalls aus dem Wirtschaftskreislauf besteht.
- Abfälle *zur Verwertung* (*Recyclinggüter*) liegen vor, wenn eingesetzte Abfallbehandlungen der Nutzung des Abfalls dienen. Abfälle zur Verwertung können weiterhin hinsichtlich ihrer Anfallart unterschieden werden:

- *Reststoffe* sind Stoffe, die bei wirtschaftlichen Unternehmungen anfallen, deren Entstehung jedoch nicht Betriebszweck der Anlage und deren Verwertung technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar ist.
- Als *Ausschuss* werden Zwischenprodukte bezeichnet, die in der Produktion anfallen, aber nicht den Qualitätsanforderungen entsprechen und im Produktionsprozess nicht weiter verwendet werden können, ohne dass eine vorherige Behandlung stattgefunden hat.
- *Altprodukte* gehen aus Konsumtionsprozessen hervor. 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 weiterer potenzieller Nutzer zum Erwerb aufbringen müsste. Im Gegensatz dazu können *Gebrauchtprodukte* in ihrer ursprünglichen Verwendung wiederverwendet werden. Sie besitzen zum Zeitpunkt ihres Anfalls einen Wert, der über den entsprechenden Transaktionskosten liegt. Altprodukte setzen sich aus Komponenten zusammen. Komponenten bestehen aus Bauteilen oder Baugruppen.

Abfallentsorgung

Nach § 3 Abs. 7 KrW-/AbfG umfasst die Abfallentsorgung Verwertung und Beseitigung von Abfällen. Da die Verwertung als ein Spezialfall des Recycling angesehen werden kann (vgl. VDI (1993), S. 4), wird der Begriffsbestimmung des KrW-/AbfG an dieser Stelle nicht gefolgt. Im Rahmen dieser Arbeit wird *Entsorgung* in die Bereiche *Beseitigung* und *Recycling* unterschieden (s. Abb. 2.1). Unter Beseitigung wird die (aus betriebswirtschaftlicher Sicht) endgültige Entledigung von Abfällen bezeichnet (vgl. Becker/Rosemann (1993), S. 142; Hammann (1988), S. 466ff.). Recycling kann als „erneute Verwendung oder Verwertung von Produkten oder Teilen von Produkten in Form von Kreisläufen“ definiert werden (VDI (1993), S. 4). Die *Demontage* stellt eine Behandlungsart des Recycling dar. Recycling wird in *Produkt-* und *Materialrecycling*⁵ unterteilt, da mit diesen beiden *Kreislaufarten* verschiedene Wertschöpfungsschritte verbunden sein können.

- Mit *Produktrecycling* wird der Wiedereinsatz von Altprodukten oder Komponenten in den Wirtschaftskreislauf bezeichnet. Um einen positiven Marktwert zu erlangen, sind Tätigkeiten der *Aufarbeitung* (z. B. Demontieren, Reinigen) notwendig.

⁵ Die Bezeichnungen *Stoff* und *Material* werden in der Literatur uneinheitlich verwendet. In dieser Arbeit werden Produkte, Komponenten und Stoffe unter dem Begriff *Material* zusammengefasst. In Anlehnung an die übliche Terminologie wird das *Recycling mit dem Ziel der Stoffverwertung* im Folgenden als *Materialrecycling* bezeichnet.

- Im Rahmen des *Materialrecycling* wird die Produktgestalt aufgelöst, dazu werden Tätigkeiten der *Aufbereitung* (z. B. Sortieren, Zerkleinern) durchgeführt.

Entsprechend der vorgesehenen Funktionserfüllung können die Recyclingformen *Wieder-* und *Weiterverwendung* bzw. *Wieder-* und *Weiterverwertung* unterschieden werden (vgl. VDI (1993), S. 6). Vereinfachend werden die Recyclingformen im weiteren Verlauf der Arbeit unter dem Oberbegriff *Wiedereinsatz* bzw. *Verwertung* (s. Abb. 2.1) zusammengefasst.

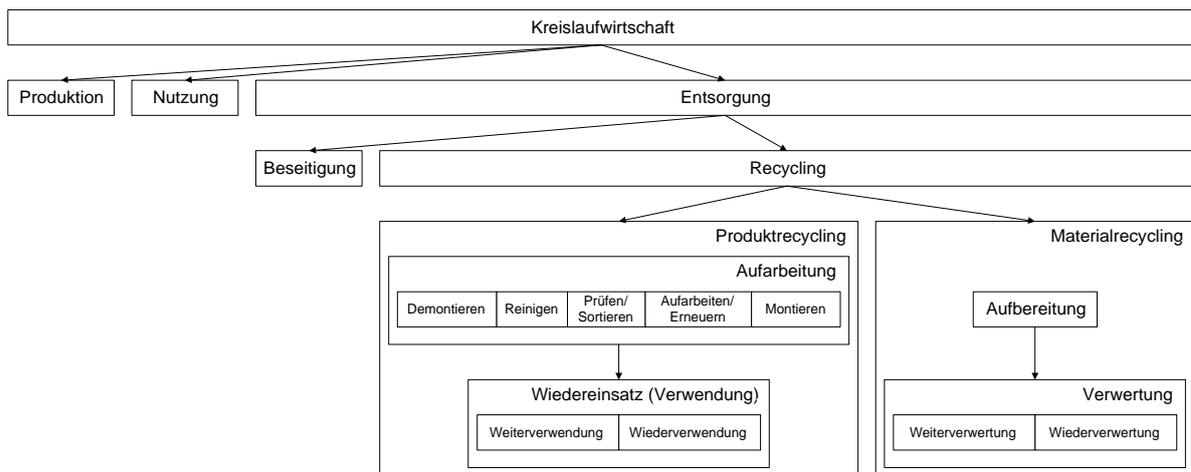


Abb. 2.1: Begriffsterminologie zur Kreislaufwirtschaft

Recyclinginduzierte Veränderung der Produkt- bzw. Stoffeigenschaften

Kann in seltenen Fällen der Wert bzw. Nutzen aufgearbeiteter Produkte gesteigert werden, so ist in den meisten Fällen davon auszugehen, dass Recycling zu einem Wertverlust führt. In der Regel liegen Stoffe oder Produkte, die aus einem Recyclingprozess hervorgehen, im Vergleich zum Ursprungsprodukt in verminderter Reinheit und Qualität vor, da die Organisationsstruktur und mit ihr das im Produkt gebundene Know-how beim Demontieren verloren geht. Bei einer Wert- bzw. Nutzensteigerung wird von *Upcycling*⁶ gesprochen, bei einer Wert- bzw. Nutzensenkung (dem weitaus häufigeren Fall) vom *Downcycling* (vgl. Steinhilper (1994), S. 2.1.2/1; Tritsch (1996), S. 8). Wenn die nach dem Recycling erhaltenen Produkte oder Stoffe nahezu identische Eigenschaften aufweisen wie die Ursprungsprodukte, wird von *Holdcycling* gesprochen⁷. Up- bzw. Holdcycling wird vor

⁶ *Upcycling* kann z. B. bei Modernisierung von Werkzeugmaschinen erreicht werden, dabei werden alte Werkzeugmaschinen (nach Demontage, Prüfung und Ersatz von Verschleißteilen) mit moderner Steuerungstechnik nachgerüstet (vgl. Schmid (1995), S. 59).

⁷ Im Rahmen der Demontage und Aufarbeitung von Einmalkameras werden bis zu 90 % der Komponenten wiederverwendet (vgl. Perlewitz et al. (1999), S. 224). Die Verschleißteile werden ausgetauscht und das Produkt weist am Ende des Recycling keine vom Kunden wahrnehmbaren Unterschiede zum vorherigen Nutzungszyklus auf.

allem dann erfolgen, wenn bereits bei Entwicklung später zu rezyklierender Produkte auf recyclinggerechte Konstruktion (z. B. Modulbauweise, Werkstoffwahl, Kennzeichnung der verschiedenen eingesetzten Stoffe und demontagegerechte Konstruktion) geachtet wird.

Recyclingerzeugnisse

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 Komponenten bezeichnet, die aus Abfällen gewonnen werden und im Rahmen von Produktions-, Instandhaltungs- oder Reparaturprozessen wieder eingesetzt werden können.

Im Rahmen dieser Arbeit werden die durch Demontageprozesse erzeugten Sekundärprodukte und -rohstoffe als *Demontageerzeugnisse* oder *Demontageprodukte* bezeichnet. Durch die Bedingung der Wiedereinsatzfähigkeit der Recyclingerzeugnisse stellen die Demontageerzeugnisse *Wirtschaftsgüter* dar.

Marktteilnehmer

- *Produzenten:* Als Produzent oder Hersteller soll im Rahmen dieser Arbeit gelten, wer Produkte unter Einbeziehung von Neuteilen oder aufgearbeiteten Produkten herstellt oder vertreibt. Der Handel nimmt im Rahmen der hier zu untersuchenden Fragestellungen eine untergeordnete Bedeutung ein. Die Aufgaben des Handels werden daher aus Vereinfachungsgründen in dieser Arbeit nicht gesondert betrachtet, sondern dem Aufgabenbereich des Produzenten zugeordnet. Der Produzent vereinigt somit alle Aufgaben der Beschaffung (über die gesamte Lieferkette), der Produktion und der Distribution. Im Sinne dieser Logik veräußert der Produzent das Produkt an den Konsumenten, der es nach der Nutzungsphase an den Entsorger übergibt. Abfälle können dem Entsorger auch direkt zugeführt werden.
- *Konsumenten:* Der Konsument wird in der vorliegenden Arbeit als Person bzw. Unternehmen verstanden, die allein oder gemeinsam (parallel oder sequenziell) ein Produkt nutzen, bis es für niemanden mehr einen Nutzen darstellt. Die Rolle des Konsumenten in der Kreislaufwirtschaft besteht hauptsächlich darin, Konsum- und Investitionsgüter nachzufragen und Alt- bzw. Gebrauchsgüter anzubieten bzw. Entsorgungsdienstleistungen nachzufragen. Außerdem fragt der Konsument im Zusammenhang mit einer

erhofften Lebensdauererlängerung seines Guts Reparaturdienstleistungen nach. Mittelbar kommt dem Konsumenten durch sein vom gesellschaftlichen Wertewandel geprägtes Nachfrageverhalten eine steuernde Rolle zu.

- *Entsorger*: Möchte sich der Konsument eines Produkts entledigen, tritt der Entsorger auf, der mit einem breiten Tätigkeitsspektrum Altprodukte entsorgt und evtl. Sekundärprodukte oder -rohstoffe erzeugt und wieder am Markt anbietet. Der Begriff des Entsorgers erstreckt sich auf eine große Bandbreite von Körperschaften und Unternehmen des öffentlichen oder privaten Rechts. In der vorliegenden Arbeit werden diejenigen Unternehmen und Körperschaften dem Bereich der Entsorger zugeordnet, die Aufgaben und Funktionen aus den Bereichen Rückführung, Recycling, Beseitigung oder Distribution wahrnehmen. Ein Unternehmen kann dabei mehrere oder nur Teile der genannten Funktionen anbieten. Diese Aufgaben können auch von Unternehmen wahrgenommen werden, die ihre eigentliche Kernkompetenz in der Produktion von Neuprodukten sehen⁸. Ein Unternehmen kann nach dieser Definition als Produzent und Entsorger auftreten.

2.1.2 Wirtschaftliche Einordnung

Kreislaufwirtschaft kann als „industrielle Evolution von der Primär- zur Sekundärrohstoffwirtschaft“ (Rutkowsky (1996), S. 77) im Rahmen der langfristigen Umorientierung von der Durchlauf- zur Kreislaufwirtschaft verstanden werden (vgl. Rötzel-Schwunk/Rötzel (1998), S. 6).

Die (Sub-)Ziele der Kreislaufwirtschaft bestehen darin,

- Stoffe und Produkte auf hohem Wertschöpfungsniveau so lange wie möglich im Wirtschaftskreislauf zu halten,
- Umweltbelastungen zu verringern und
- nutzbare Potenziale von Altprodukten zu bewahren.

Hierfür wird die Substitution von Deponierung und thermischer Beseitigung durch die verschiedenen Recyclingformen angestrebt. In diesem Zusammenhang werden die in ihrer Relevanz und ihrem Gewicht stark veränderten Aufgaben der Logistik, Produktions-, Montage- und Demontagetechnik wachsenden Einfluss auf die Ausgestaltung inner- und außerbetrieblicher Organisationen sowie der zwischenbetrieblichen Zusammenarbeit ausüben.

⁸ Ein Beispiel dafür stellt die Austauschmotorenfertigung von *Mercedes-Benz* in Berlin dar.

Die Möglichkeiten zur Wertschöpfung für die im Kreislauf geführten Stoffe und Produkte sind begrenzt (vgl. Reinhart/Friess (1995), S. 298; Wiendahl/Bürkner (1998), S. 595), folglich wird die Gestaltung einer effizienten, durchgängigen Entsorgungslogistik zu einem der zentralen Elemente in einer funktionierenden Kreislaufwirtschaft. Eine Voraussetzung für die wirtschaftliche Umsetzung des Kreislaufwirtschaftsgedankens ist, dass die Distributionslogistik der Entsorger zur Beschaffungslogistik der Produzenten wird.

Auf dem Weg in eine Kreislaufwirtschaft müssen Produkte, Komponenten und Stoffe als Sekundärrohstoffe und Sekundärprodukte im Kreislauf gehalten werden, allerdings darf es kein Recycling um jeden Preis geben. Stoff- und Produktkreisläufe vollständig zu schließen ist nicht nur thermodynamisch unmöglich, sondern auch wirtschaftlich und ökologisch sinnlos. An Stelle einer isolierten Betrachtung lokaler wirtschaftlicher und ökologischer Notwendigkeiten muss eine ganzheitliche Sichtweise treten, die eine Recyclingbewertung über alle betroffenen Prozesse vornimmt (vgl. Hansen/Meyer (1998), S. LS 8). Kosten der Rückführung, der Aufarbeitungs- und Aufbereitungsverfahren, der Distribution und alternativer Beseitigungsverfahren müssen ebenso berücksichtigt werden, wie Erlöspotenziale der Sekundärrohstoffe und Sekundärprodukte sowie aktuelle und erwartete gesetzliche Neuregelungen. Recycling wird unter Wirtschaftlichkeits-Gesichtspunkten dann realisiert, wenn Recyclingaktivitäten entweder zu Kostensenkungen des primären Inputs oder zu Erlöserhöhungen führen, mit denen die Recyclingkosten kompensiert werden können (vgl. Corsten/Reiss (1991), S. 619).

Die aktuelle Situation der Kreislaufwirtschaft im Allgemeinen und des Recycling im Besonderen kann durch zwei verschiedene Ansätze verbessert werden. Zum einen kann die vorhandene Shredder- und Sortiertechnologie weiter ausgebaut werden, zum anderen können Aktivitäten und Prozesse der Demontage und anschließender Aufarbeitung hinsichtlich Organisation, Planung, Informationstechnologie (IT)-Einsatz und Automatisierung verbessert werden. Welches der beiden Ansätze (Shreddern oder Demontage) wirtschaftlich vorzuziehen ist, wird zumeist ex ante bestimmt⁹. Zur Erfüllung der Forderung nach Maximierung des Niveaus der erhaltenen Wertschöpfung eines Wertstoffs oder Produkts, bietet sich die Demontage an. Durch Demontagevorgänge kann (im Vergleich zu anderen Separierverfahren) die geringste Vermischung von Stoffanteilen erreicht werden (vgl. Weber (1991), S. 85ff.). Nur durch die Demontage ist eine Wieder- bzw. Weiterverwendung von

⁹ Untersuchungen zeigen, dass Shreddern (trotz höherer Automatisierungsgrade) nur dann rentabel ist, wenn die Altprodukte nicht auf eine Demontage hin konstruiert wurden und die Komponenten nicht wiedereingesetzt werden können (vgl. Rutkowsky (1996), S. 133, der sich auf eine unveröffentlichte Studie der *Boston Consulting Group* aus dem Jahr 1996 bezieht).

Produkten und Komponenten überhaupt möglich¹⁰. Die Demontage ersetzt jedoch nicht das Shreddern, vielmehr ermöglicht die Demontage eine Steigerung der Gesamtre-cyclingquote¹¹.

2.1.3 Rechtliche Einordnung

Mit der fünften Novellierung des Abfallgesetzes wurde das *Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen* (KrW-/AbfG) verabschiedet¹². Das *Gesetz zur Vermeidung, Verwertung und Beseitigung von Abfällen* (GVVBAbf) vom 27.09.1994 enthält das KrW-/AbfG in seinem ersten Artikel. Im Unterschied zu den Verhältnissen vor Verabschiedung des KrW-/AbfG unterliegen nun sämtliche Rückstände dem Geltungsbereich eines Gesetzes, unabhängig davon, ob es sich um Stoffe zur Verwertung oder zur Beseitigung handelt.

Das KrW-/AbfG verfolgt das Ziel, die Kreislaufwirtschaft zur Schonung der natürlichen Ressourcen zu fördern und die umweltverträgliche Verwertung bzw. Beseitigung von Abfällen zu sichern. Der Kerngedanke der Kreislaufwirtschaft, Stoffe und Produkte so lange wie möglich im Wirtschaftskreislauf zu halten, wird über die Forderung nach konsequenter Vermeidung und Verminderung von Abfall in den Mittelpunkt der Zielsetzung des Gesetzgebers gestellt. Der Gedanke des Umweltschutzes in der Produktion gewinnt eine neue Qualität, er führt zur Abwendung vom lediglich additiven Umweltschutz mit der bislang üblichen End-of-Pipe Betrachtungsweise hin zur Integration des Kreislaufwirtschaftsgedankens mit seinen Auswirkungen auf Produktgestaltung, Produktpolitik und Produktionsprozesse. Abfallwirtschaftliche Regelungen sollen nicht erst ansetzen, wenn die Abfälle entstanden sind, sondern helfen, bereits die Entstehung von Abfällen zu vermeiden (vgl. Schenk/Opierzynski (1997), S. 27f.).

Ein erster Schritt in Richtung KrW-/AbfG war die Einführung des Abfallbeseitigungsgesetzes 1972, welches die Abfallbeseitigung, nicht jedoch die -verringern bzw. -verwertung regelte (vgl. Köller (1997), S. 39), es wurden lediglich bundeseinheitliche Standards für Sammlung, Behandlung und Deponierung verschiedener Abfälle definiert. Diesem Gesetz folgten mehrere Novellen, bis 1986 das *Gesetz über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen* (AbfG) erlassen wurde. Dieses Gesetz ersetzte den Terminus

¹⁰ Ein Beispiel für die funktionierende Demontage und Aufarbeitung ist das bereits 1988 eröffnete *Siemens-Nixdorf-Recyclingzentrum* in Paderborn. Dort wurden bereits 1995 5400 Tonnen Altgeräte des Konzerns verwertet. Dabei findet soweit möglich eine Aufarbeitung statt, sodass 17 % der angelieferten Menge einer Wiederverwendung zugeführt werden konnten (vgl. Linsmeier (1998), S. 104).

¹¹ Im Automobilrecycling konnte die Restmüllmenge des Shredderprozesses durch Demontagemaßnahmen um etwa ein Drittel gesenkt werden (vgl. Broschk/Röhm (1996), S. 105).

¹² Das KrW-/AbfG wurde am 07.10.1994 verkündet und trat am 07.10.1996 in Kraft.

Abfallbeseitigung durch Abfallentsorgung, was eine Erweiterung der bisher geltenden Regelungen bedeutet. Erstmals wurde eine Zielhierarchie gebildet, die Abfallvermeidung vor Abfallverwertung stellt und wiederum der Abfallbeseitigung überordnet. Drei weiterführende Verordnungen bzw. Gesetze folgten 1990:

- *Technische Anleitung Abfall* (TA Abfall)
- *Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung* (UVPG)
- *Bundes-Immissionsschutzgesetz* (BImSchG)

Die TA Abfall dient der Festlegung technischer Anforderungen an die Entsorgungswege. Das UVPG regelt sowohl die Erfassung als auch die Darstellung der Schutzgüter, dabei werden explizit Umweltauswirkungen berücksichtigt. Das BImSchV umfasst Anweisungen zum Anlagenbetrieb und Regeln z. B. für Lärmemissionen und Betriebsmittelqualitäten.

Nach § 4 Abs. 1 KrW-/AbfG umfasst die Kreislaufwirtschaft das Bereitstellen, Überlassen, Sammeln, Einsammeln durch Hol- und Bringsysteme, Befördern, Lagern und Behandeln von Abfällen. Der Gesetzgeber hat den Begriff der Kreislaufwirtschaft nicht eindeutig definiert. In der rechtswissenschaftlichen Literatur wird allerdings von einem aus den gesetzlichen Grundlagen heraus zu interpretierendem Gesamtzusammenhang gesprochen, indem die Kreislaufwirtschaft mit der sog. *3V-Philosophie*¹³ gleichgesetzt wird. Abfälle sind nach Maßgabe der 3V-Philosophie in erster Linie zu vermeiden. Zur Vermeidung gehört das Nichtentstehen von Abfällen und die mengenmäßige Verminderung und Reduzierung der Schädlichkeit von Abfällen (vgl. Peine (1994), S. I/32). Ist eine Vermeidung nicht möglich, sind Abfälle zu verwerten, wobei nach § 6 Abs. 1 KrW-/AbfG stoffliche und energetische Verwertung grundsätzlich gleichrangig sind, im speziellen Fall hat die jeweils umweltverträglichere Verwertungsart Vorrang. Weiterhin ist die Bundesregierung nach § 6 Abs. 1 Satz 4 KrW-/AbfG ermächtigt, für bestimmte Abfallarten den Vorrang der stofflichen oder energetischen Verwertung vorzugeben. Die energetische Verwertung ist entsprechend § 6 Abs. 2 KrW-/AbfG nur zulässig, wenn

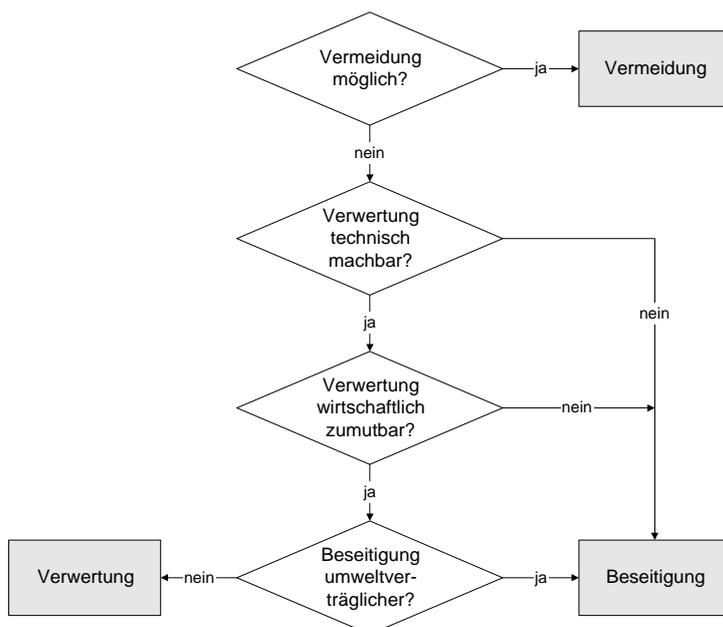
1. der Heizwert des Abfalls mindestens 11.000 kJ/kg beträgt,
2. ein Feuerwirkungsgrad von mindestens 75 % erzielt werden kann,
3. die entstehende Wärme genutzt und
4. die anfallenden Abfälle möglichst ohne nachgelagerte Behandlung abgelagert werden können.

Die Abgrenzung von energetischer Verwertung und thermischen Beseitigung ist damit oftmals lediglich in ihrem Ziel begründet. Richtet sich eine Maßnahme auf die Ver-

¹³ Die *3V-Philosophie* beinhaltet die Priorisierung von *Vermeidung* vor *Verminderung* vor *Verwertung* von Abfällen.

richtung des Schadstoffpotenzials, handelt es sich um Beseitigung, zielt sie dagegen auf Nutzung des Heizwerts, handelt es sich um Verwertung.

Vom Gesetz wird keine Verwertung um jeden Preis verlangt. Durch § 4 Abs. 4 KrW-/AbfG werden die Grenzen der Verwertungspflicht definiert: Abfälle sind zu verwerten, „soweit dies technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar ist“. Verlangt wird dabei eine hochwertige, ordnungsgemäße und schadlose Verwertung mit Verfahren, die praktisch geeignet sind, d. h. ohne längere Entwicklungszeit zur Verfügung stehen. Die wirtschaftliche Zumutbarkeit kann als gegeben vorausgesetzt werden, wenn nach § 5 Abs. 4, S. 3 KrW-/AbfG „die mit der Verwertung verbundenen Kosten nicht außer Verhältnis zu den Kosten stehen, die für eine Abfallbeseitigung zu tragen wären“. Die Formulierungen *technisch machbar* und *wirtschaftlich zumutbar* sind im Gesetz zwar definiert, dennoch bleibt offen, wann eine Unverhältnismäßigkeit der Kosten der Verwertung gegenüber denen einer Beseitigung vorliegt. In Abb. 2.2 ist ein Entscheidungsmodell zur Wahl von Vermeidung, Verwertung bzw. Beseitigung dargestellt:



Vgl. Rommel/Würdinger (1998), S. 38

Abb. 2.2: Entscheidungsmodell zur Wahl von Vermeidung, Verwertung bzw. Beseitigung

Der Abfallbegriff des KrW-/AbfG enthält eine *objektive* und eine *subjektive* Komponente. Abfälle im objektiven Sinne sind alle beweglichen Sachen, denen sich ein Besitzer entledigen muss. Eine Entledigungspflicht liegt nach § 3 Abs. 4 KrW-/AbfG genau dann vor, wenn eine bewegliche Sache nicht mehr entsprechend ihrer ursprünglichen Zweckbestimmung verwendet wird und sie auf Grund ihres Zustandes dazu geeignet ist, gegenwärtig oder künftig das Wohl der Allgemeinheit, insbesondere der Umwelt, zu gefährden.

Die subjektive Komponente bezeichnet alle beweglichen Sachen als Abfall, denen sich ein Besitzer entledigt oder entledigen will. Damit kann prinzipiell alles zu Abfall in subjektivem Sinn werden. Ein Entledigungswille kann unterstellt werden, wenn die bewegliche Sache für ihren Besitzer sinnlos geworden ist (vgl. Peine (1994), S. I/31). Für die Beurteilung der Zweckbestimmung, also der Feststellung der Sinnhaftigkeit oder Sinnlosigkeit, ist die Auffassung des Erzeugers oder Besitzers unter Berücksichtigung der Verkehrsanschauung zu Grunde zu legen. Der Begriff des Wirtschaftsguts besitzt somit nur im Rahmen des subjektiven Abfallbegriffs eine Bedeutung, da der Besitzer einer beweglichen Sache in seiner Entscheidung frei ist, die entsprechende Zweckbestimmung wegfallen zu lassen.

Eine *Beseitigung* aus dem Wirtschaftskreislauf liegt nur vor, wenn das primäre Ziel der eingesetzten Verfahren nicht der Erzeugung eines Wirtschaftsguts dient. Die Beseitigung bietet vielmehr die einzige Möglichkeit für die finale Ausschleusung von Abfällen aus dem Wirtschaftskreislauf (s. Kapitel 2.1.1). Die Beseitigung steht in Konkurrenz zur Verwertung. Die Höhe der Beseitigungskosten trägt zur Attraktivität der quasi alternativen Verwertung bei. Die Beseitigung umfasst in der Praxis zumeist die Verbrennung oder Deponierung und hat in der Regel eine (im Vergleich zur Verwertung) größere Umweltbelastung zur Folge (vgl. Dutz (1992), S. 37).

In der Praxis sind häufig Kombinationen aus Verwertung und Beseitigung anzutreffen, d. h. ein Altprodukt wird zuerst durch Recyclingverfahren teilweise wieder- oder weiterverwertet und anschließend werden Rückstände durch Verbrennung oder Deponierung beseitigt. Vorgelagerte Prozesse (z. B. Demontage, Zerkleinerung, Sortierung) ermöglichen dabei eine zumindest teilweise Nutzung von Stoffen und Produkten.

Konfliktpotenziale liegen zurzeit im Bereich der Abgrenzung zwischen Abfällen zur Beseitigung und Abfällen zur Verwertung (vgl. Vetter (1998), S. 11ff.). Abfallerzeuger aus gewerblichen Bereichen möchten die für sie günstigen Entsorgungspfade wählen können. Da Abfälle zur Beseitigung in den meisten Fällen Gebietskörperschaften zu überlassen sind, versuchen Gewerbetreibende immer dann ihre Abfälle *zur Verwertung* einzustufen, wenn die Beseitigung vergleichsweise teurer ist. Kommunale Entsorgungsbetriebe haben im Gegensatz dazu ein Interesse daran, ihre aufwendigen, die hohen Umweltstandards erfüllenden Beseitigungskapazitäten auch auszulasten. Deren Bestreben ist daher auf eine Ausweisung von möglichst großen Mengen andienungspflichtiger Abfälle *zur Beseitigung* gerichtet (vgl. Rommel/ Würdinger (1998), S. 38f.).

Das Kreislaufwirtschaftsgesetz wird durch das sog. *untergesetzliche Regelwerk* ergänzt. Die Bundesregierung hat die Aufgabe, durch das Erlassen von Rechtsverordnungen den

Kreislaufgedanken umzusetzen. Inhaltlich können dabei drei Verordnungskategorien unterschieden werden:

1. Verordnungen über die Sonderabfallbestimmung und -überwachung, die für den Vollzug des Gesetzes unerlässlich sind.
2. Verordnungen zur Produktkonstruktion.
3. Abfallpolitisch wünschenswerte Verordnungen (z. B. über den Betriebsbeauftragten für Abfall).

Verordnungen der zweiten Kategorie (die den Kernbereich der Kreislaufwirtschaft betreffen) sind neben der noch auf dem alten Abfallgesetz beruhenden *Verpackungsverordnung* (VerpackV), die *Altautoverordnung* (AltautoV) und die *Batterieverordnung* (BattV). Weiterhin ist in diesem Zusammenhang die *Freiwillige Selbstverpflichtung zur umweltgerechten Altautoverwertung (Pkw) im Rahmen des Kreislaufwirtschaftsgesetzes* zu nennen, die 1996 unter Federführung des Verbandes der Automobilindustrie e. V. (VDA) und 14 weiterer Wirtschaftsverbände gegenüber der Bundesregierung abgegeben wurde. Kernstück dieser Selbstverpflichtung ist der Aufbau eines flächendeckenden Rücknahme- und Verwertungsnetzes für Altautos und -teile, die nach dem 01.04.1998 zugelassen wurden, vollständig, nicht erheblich beschädigt, rollfähig und nicht älter als 12 Jahre sind, kostenlos zurückzunehmen. Auf der Ebene der Europäischen Union (EU) befinden sich weitere Direktiven im Gesetzgebungsverfahren, die z. T. über die bisherigen Regelungen in Deutschland hinaus gehen. Im Rahmen der *Directive for End-of-Life Vehicles* wird die kostenlose Rücknahme von Pkw gefordert, die nach dem 01.01.2001 zugelassen werden sowie aller anderen ab dem Jahr 2006.

Von umgesetzten oder geplanten Verordnungen gehen oft Signalwirkungen aus: Durch Ankündigung einer *Informationstechnik-Verordnung* (IT-Verordnung) konnte die Nachfrage nach Rückführungssystemen für IT-Geräte gesteigert werden. Im Zusammenhang mit dem Entwurf der *Verordnung über die Vermeidung, Verringerung und Verwertung von Abfällen gebrauchter elektrischer oder elektronischer Geräte* (Elektronikschrott-Verordnung) kam es zu Investitionstätigkeiten, deren Erträge durch die ausbleibende Umsetzung des Entwurfs in geltendes Recht und die allgemein sinkenden Beseitigungskosten weit hinter den Erwartungen zurückblieben (vgl. Affüpper/Holberg (1999), S. 19). Empirische Studien belegen, dass Unternehmen die stärksten Anstrengungen in Richtung Recycling dann tätigen, wenn sie sich mit entsprechend veränderten Gesetzesgrundlagen konfrontiert sehen (vgl. Dyckhoff/Jacobs (1994), S. 720).

Dem Kreislaufwirtschaftsgesetz fehlt ein operationalisierbares Zielsystem, wie es z. B. im Immissionsschutzrecht existiert. Das Kreislaufwirtschaftsgesetz ist frei von Begriffen wie dem des *Standes der Technik*, es spricht statt dessen von der *technischen Möglichkeit* und

vergrößert so den Ermessensspielraum. Dadurch kommt es u. a. zu einer Verringerung der Rechtssicherheit für Hersteller, Vertreiber und Entsorger (vgl. Rinschede/Wehking (1995)).

Vor Einführung des KrW-/AbfG war das Gewährleistungsrecht und die Produzentenhaftung Endpunkt der Haftung des Herstellers für seine Produkte. Im Rahmen des KrW-/AbfG wird die bisherige Haftung der Hersteller um das Konstrukt der *Produktverantwortung* ergänzt. Damit ist die Verantwortung der Hersteller auch nach der Nutzungsphase gesetzlich festgeschrieben. Produktverantwortung trägt, wer Erzeugnisse entwickelt, herstellt, be- und verarbeitet oder vertreibt. Die Produktverantwortung erstreckt sich nach § 22 Abs. 2 KrW-/AbfG auf folgende Punkte (vgl. Peine (1994), S. I/41):

- Entwicklung, Herstellung und Inverkehrbringen von Erzeugnissen muss sich in einer Art und Weise gestalten, dass sie mehrfach verwendbar, technisch langlebig und nach Nutzung schadstoffarm verwertet bzw. umweltschonend beseitigt werden können.
- Vorrangig müssen Stoffe bei der Produktion eingesetzt werden, die aus verwertbaren Abfällen oder Sekundärrohstoffen bestehen.
- Schadstoffhaltige Produkte müssen zur Sicherstellung einer umweltgerechten Verwertung bzw. Beseitigung gekennzeichnet werden.
- Eine detaillierte Kennzeichnung der Produkte soll die Kreislaufführung erleichtern. Dazu dienen Kennzeichnungen mit Hinweisen auf Rückgabe-, Wiedereinsatz- und Verwertungsmöglichkeiten sowie etwaige Pfandregelungen.
- Produkte müssen mit den durch ihren Gebrauch verbliebenen Abfällen vom Produzenten zurückgenommen und einer Verwertung bzw. Beseitigung zugeführt werden.

Wer nun im Einzelfall tatsächlich Produktverantwortung trägt, ist gesetzlich nicht geregelt. Wie § 22 Abs. 4 KrW-/AbfG deutlich macht, enthält der gesamte Abschnitt über die Produktverantwortung keine unmittelbar geltenden Regelungen. Der Kreis der Verpflichteten, die Bestimmung der betroffenen Erzeugnisse und die Art und Weise der Produktverantwortung muss durch Rechtsverordnungen (untergesetzliches Regelwerk) festgelegt werden. Bis dahin enthält § 22 KrW-/AbfG lediglich eine rechtlich unverbindliche Leitlinie. Die Bundesregierung hat hier die Aufgabe, durch Rechtsverordnungen festzulegen, für welche Erzeugnisse die Produktverantwortung in welcher Ausprägung von wem wahrzunehmen ist. Inhalt dieser Rechtsverordnungen können Ge- und Verbote, Beschränkungen, Kennzeichnungspflichten sowie Rücknahme- und Rückgabepflichten sein.

Die Einführung des KrW-/AbfG ist differenziert zu beurteilen. Die Produktverantwortung ist bislang ein Torso. Die Abfallvermeidung ändert sich durch die neu geschaffenen ge-

setzlichen Rahmenbedingungen in der Praxis nicht und bei der Abfallverwertung ist entscheidend, welche Rechtsverordnungen von der Bundesregierung erlassen werden. Mit Inkrafttreten des Gesetzes gibt es noch keine Kreislaufwirtschaft. Die Rahmenbedingungen wurden geschaffen und müssen nun mit Leben gefüllt werden. Eine Kreislaufwirtschaft wird durch dieses Gesetz ermöglicht, aber nicht erzwungen (vgl. Peine (1994), S. I/41).

2.2 Entwicklungs- und Produktionsphase

2.2.1 Recyclinggerechte Konstruktion

Im Rahmen der Konstruktion wird ein Großteil der während des gesamten Produktlebenszyklus entstehenden Kosten festgelegt (vgl. Hölzler (1996), S. 149ff.). In den vergangenen Jahrzehnten waren umweltspezifische Produktinnovationen vor allem auf die *Nutzungsphase* eines Produkts gerichtet. Dabei konnten z. B. im Haushaltsgerätebereich Energie- und Wasserverbrauchssenkungen von z. T. mehr als 50 % erreicht werden (vgl. Kreis (1998)). Ausgelöst durch den Kreislaufwirtschaftsgedanken wird zunehmend die *Entsorgungsphase* betrachtet. Maßnahmen der recyclinggerechten Konstruktion setzen in der Entwicklungsphase eines Produkts an, wirken sich aber erst in der Entsorgungsphase aus¹⁴. Bislang sind ca. 75 % der rezyklierten Produkte nicht recyclinggerecht konstruiert (vgl. Guide (1999), S. 106), jedoch nimmt die Berücksichtigung von Recyclinggesichtspunkten bei der Konstruktion, insbesondere von Elektro- und Elektronikgeräten, zu (vgl. BVSE (1998), S. 9).

Die Recyclingeignung wird maßgeblich durch die

- die *Produktstruktur*,
- die *Verbindungstechnologien* und
- die *Werkstoffwahl* beeinflusst (vgl. Jahn (1998), S. 21; Tritsch (1996), S. 22ff.).

Durch Berücksichtigung dieser Einflussgrößen sollen u. a. folgende Ziele erreicht werden (vgl. Gretsche (1982), S. 692f.; Jünemann/Müller (1992), S. 400; Seliger/Kriwet (1993), S. 531; VDI (1993), S. 8):

- Optimieren der Produktnutzung über alle Lebenszyklen.
- Schaffen von Potenzialen zur Modernisierung der Produkte nach der Nutzungsphase.
- Demontageaufwand senken (z. B. durch räumliche Anordnung der Produkte, Bereitstellung von Konstruktionsinformationen, Vereinheitlichung der Verbindungstypen).

¹⁴ Durch Maßnahmen, die auf recyclinggerechte Konstruktion abzielen, sind einige Erfolge erreicht worden, z. B. verkürzte sich die Demontagezeit eines PC um 80 % und die Schadstoffentfrachtungskosten ließen sich bei einer Waschmaschine um 30 % senken (vgl. Hieber/Tober (1995), S. 26).

- Schadstoffgehalt senken.
- Produktionsabfall senken.
- Lebensdauer erhöhen.
- Erhöhung der eindeutigen Stofftrennbarkeit (z. B. durch Wahl sinnvoller Werkstoffkombinationen).

Zwei Oberziele der recyclinggerechten Konstruktion können unterschieden werden:

1. Zum einen müssen hinsichtlich Stoff- und Komponentenwahl Voraussetzungen für den Einsatz rezyklierter Stoffe bzw. Produkte geschaffen werden.
2. Zum anderen muss das Produkt so entwickelt werden, dass es nach der Verwendungsphase gut rezykliert werden kann. Der Recyclingaufwand wird maßgeblich in der Entwicklungsphase bestimmt (vgl. Seliger/Kriwet (1993), S. 530). Zwei Fälle können dabei unterschieden werden (vgl. Dyckhoff u. a. (1994), S. 1077):
 - a) Komponenten eines Produkts die eine längere Lebensdauer besitzen als das Gesamtprodukt, müssen sich gut demontieren und aufarbeiten lassen, damit sie wiedereingesetzt werden können.
 - b) Bei kurzlebigen Komponenten eines Produkts steht Materialrecycling im Vordergrund. Bei der Konstruktion sollte besonders auf geeignete Stoffwahl und Zusammensetzung sowie demontagegerechte Strukturen und Verbindungen geachtet werden.

Problematisch ist, dass schon bei der Produktentwicklung Lösungen für einfaches und kostengünstiges Recycling aufzuzeigen sind, obwohl Technologien, Verfahren und Einsatzgebiete für das Recycling bzw. den Wiedereinsatz nicht als bekannt vorausgesetzt werden können (vgl. Krause (1994), S. 200; Seliger/Kriwet (1993), S. 530). Der zeitliche Abstand zwischen Verkauf und Recycling kann je nach Produktart 15 Jahre und länger betragen, z. B. wird die Lebensdauer von Produkten der Weißen Ware in der Regel mit 10-15 Jahren angenommen (vgl. Seliger/Kriwet (1993), S. 530). Im Zusammenhang mit dem Rücklauf von Altprodukten kann u. U. die sog. *Verdreifachungsregel* angewendet werden (vgl. Marx-Gómez (1999), S. 152). Diese aus empirischen Erhebungen abgeleitete Regel bezieht sich auf die Zeitpunkte *Verkaufszenit*, *Produktionsauslauf* und *Ende von Altproduktrückläufen*. Ist z. B. nach 2 Jahren der charakteristische Verkaufszenit eines Produkts überschritten und läuft die Produktion nach ca. 6 Jahren vollständig aus, sind nach ca. 18 Jahren keine Altproduktrückläufe mehr zu erwarten.

In der Entwicklungsphase zu berücksichtigende Anforderungen an Montage-, Fertigungs-, Gebrauchs- und Recyclinggerechtigkeit können im Konflikt zueinander stehen: Beispiels-

weise steht die Standardisierung von Komponenten und Verbindungen der Freiheit bei der Produktgestaltung entgegen, verringert aber gleichzeitig die notwendige Betriebsmittel- und Werkzeugvielfalt in der Montage und Demontage (vgl. Reinhart/Friess (1995), S. 301). Konflikte können selbst bei der ausschließlichen Verfolgung einer Strategie entstehen, z. B. kann eine Kunststoffbeschichtung der Lebensdauerverlängerung dienen und gleichzeitig die Recyclinggerechtigkeit verschlechtern.

Neben Faktoren, die Auswirkungen auf die Entsorgung haben, kann es auch zu Rückkopplungen von der Entsorgungs- in die Entwicklungsphase kommen: Ein Hersteller könnte bei der Verwendung alternativer Stoffe oder Fügeverfahren indifferent sein, da Stoffe bzw. Verfahren hinsichtlich Einsetzbarkeit und Kosten äquivalent sind. Die Tatsache, dass eine Alternative aufwendiger in der Entsorgung bzw. besser für einen Wiedereinsatz geeignet ist, geht ohne entsprechende Rückkopplungen aus der Entsorgungsphase nicht in die Auswahlentscheidung ein¹⁵.

2.2.2 Informationsbereitschaft der Produzenten

Die Fähigkeit und Bereitschaft der Produzenten, Produktinformationen bereitzustellen, ist ein kritischer Erfolgsfaktor für die Umsetzung der Kreislaufwirtschaft. Die Bereitstellung produktspezifischer Daten ist insbesondere eine Voraussetzung zur wirtschaftlichen Ausführung von Demontageprozessen (vgl. Tritsch (1996), S. 24ff.). Viele Hersteller haben (im Rahmen von Gewährleistung oder Reparatur) langjährige Erfahrung mit der Demontage ihrer Produkte sammeln können (vgl. Rutkowsky (1996), S. 167). Einige Unternehmen haben bereits selbstständig oder in Kooperation mit Entsorgungsnetzwerken Demontagepläne und -anweisungen erstellt¹⁶. Neben die Informationsfähigkeit der Unternehmen muss allerdings verstärkt eine Informationsbereitschaft treten. Das Wissen über Demontevorgänge, enthaltene Komponenten, Wert- und Schadstoffe müsste jedem Recyclingbetrieb zur Verfügung stehen, um ein effizientes Recycling zu gewährleisten. Lösungen für diese Problematik könnten sich vor allem auf drei Wegen ergeben:

- *Interessensverlust:* Bei sehr alten Produkten, die nicht mehr produziert werden, muss der Hersteller evtl. keine Wettbewerbsnachteile befürchten, wenn er Produkt- und Prozesseigenschaften veröffentlicht. Da unterstellt werden kann, dass die ersten zum Recycling anstehenden Rückläufe schon während des Produktlebenszyklus erfolgen, wird diese Art der Informationsbereitstellung nur für einen Teil der Entsorgungsgüter rele-

¹⁵ Besonders deutlich werden die beschriebenen Auswirkungen bei manchen Kunststoffen, bei denen die Entsorgungskosten die Produktionskosten übersteigen (vgl. Büchl (1993), S. 117).

¹⁶ Es existieren z. B. Demontageanleitungen von Haushaltsgroßgeräten verschiedener Hersteller, die von Entsorgungs- und Verwertungsnetzwerken erstellt wurden.

vant. Weiterhin ist davon auszugehen, dass, selbst nach einem Wechsel zu einer neuen Produktgeneration, im Produktvorgänger gebundenes Wissen Wettbewerbsvorteile beinhaltet und nicht veröffentlicht wird.

- *Gesetzliche Verpflichtung:* Unternehmen werden zunehmend gesetzlich dazu verpflichtet, bestimmte im Rahmen der Kreislaufwirtschaft relevante Informationen bereitzustellen¹⁷.
- *Kooperation:* Im Rahmen von kooperativen Beziehungen zwischen Hersteller und Entsorger können die Voraussetzungen für das Entstehen einer Vertrauensbasis geschaffen werden, die einen aus Sicht der Produzenten gefahrlosen Informationstransfer möglich macht. Insbesondere wenn aus Herstellersicht ein wirtschaftliches Interesse (z. B. an potenziellen Demontageerzeugnissen bzw. einer kostengünstigen Entsorgung) vorliegt, könnte der Hersteller selbst an einer guten Informationsversorgung des Entsorgers interessiert sein.

2.2.3 Produktverantwortung

Das KrW-/AbfG weist den Herstellern von Produkten die sog. Produktverantwortung zu (s. Kapitel 2.1.3). Nach dem Verkauf von Produkten ist nicht länger der Nutzer, der Staat oder die Gesellschaft für die Entsorgung verantwortlich, sondern die Entwickler, Hersteller und Vertreiber. Produktverantwortung ist ein zentrales Element der Kreislaufwirtschaft und beinhaltet den gesamten Produktlebenszyklus. In konsequenter Umsetzung des Verursacherprinzips wird nicht nur die Entsorgung von Abfällen demjenigen angelastet, der sie erzeugt hat, sondern der Pflichtenkreis bereits auf den Beginn der Produktion ausgedehnt. Produktverantwortung in diesem Sinn bedeutet, bei der Produktion an die Entsorgung (und damit auch an den Wiedereinsatz) zu denken. Dies umfasst auch die Entwicklung und Bereitstellung geeigneter Rückgabemöglichkeiten für die Käufer und die Bereitstellung von Produkt- und Entsorgungsinformationen (z. B. Stücklisten, Montage- und Demontagearbeitspläne, Materialstammdaten). Ein erster Schritt in Richtung Produktverantwortung kann in der Zusammenarbeit von Produktionsbetrieben der Computerindustrie mit Recyclingbetrieben gesehen werden (vgl. Dutz (1993), S. 54f.). Ähnliche Ansätze werden auch in der Automobilindustrie und anderen Branchen verfolgt (vgl. Warnecke/Sigl (1994), S. 18).

Aufbau und Pflege der Produktverantwortung kann dabei vom Produzenten selbst oder durch beauftragte Agenturen vorgenommen werden. Beispielhaft kann sich der Prozess

¹⁷ So sind Automobilhersteller, die Pkw in Schweden herstellen oder nach Schweden exportieren, seit dem Jahr 2000 verpflichtet, Demontageanleitungen für die entsprechenden Fahrzeuge zu erstellen.

zum Aufbau der Produktverantwortung aus Sicht des Produzenten wie folgt darstellen (s. Abb. 2.3):

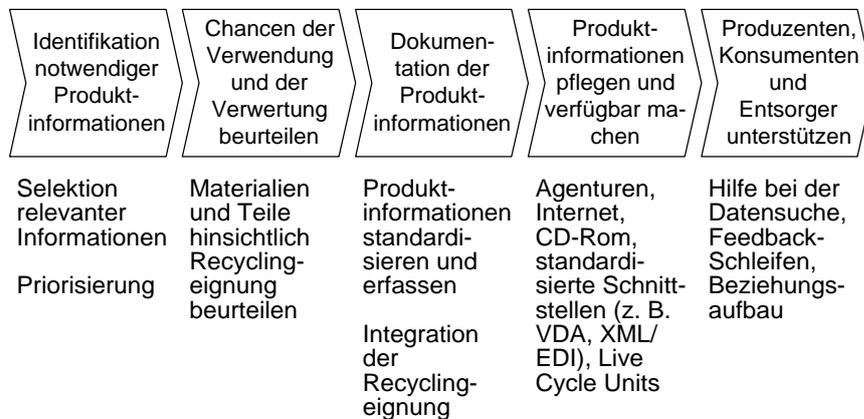


Abb. 2.3: Produktverantwortung

Die bereitzustellenden Informationen bestehen nicht nur aus Produkt- und Entsorgungsdaten, sondern auch aus Informationen, die während und nach der Nutzungsphase relevant werden (z. B. Wiedereinsatzpotenziale einzelner Komponenten, Verteilung der Rückläufe). Die im Zusammenhang mit der Kreislaufwirtschaft benötigten Informationen sind in der Regel über die verschiedenen Phasen des Lebenszyklus verstreut. Grundsätzlich lassen sich Informationen bezüglich

- der Produkte,
- der Rücklaufmenge und -prognostizierbarkeit,
- des Markts für aufgearbeitete bzw. aufbereitete Produkte, Komponenten und Stoffe sowie
- der Product Recovery- und Abfallmanagementtätigkeiten gliedern (vgl. Thierry et al. (1993), S. 2).

Weiterhin könnte der Produzent nicht nur eigene, sondern ebenfalls Prozesse des mit der Entsorgung beauftragten Partners überwachen. Erkenntnisse aus der Nutzungs- und Entsorgungsphase könnten so aktiv in die Phase der Produktentwicklung integriert werden. Ziel der Etablierung eines solchen Prozesses ist neben der Vergrößerung von Wirtschaftlichkeitspotenzialen im Rahmen des Recycling, die Schaffung von Wettbewerbsvorteilen durch Vorwegnahme gesetzlicher Regelungen, der Aufbau eines *grünen Images* und Know-how-Erweiterung.

2.3 Nutzungsphase

2.3.1 Akzeptanz rezyklierter Produkte

Auf Basis von gestiegenem Umweltbewusstsein ändert sich u. a. das Produktionsverhalten der Hersteller und das Nachfrageverhalten der Konsumenten (vgl. Rehak (1993), S. 22). Der Konsument ist in seiner Eigenschaft als Nachfrager wirtschaftlicher Leistungen nicht nur Auslöser wirtschaftlichen Handelns, sondern kann durch seine Einstellung und sein Handeln aktiv Einfluss auf Richtung und Geschwindigkeit der Kreislaufwirtschaftsentwicklung nehmen. Die Akzeptanz rezyklierter bzw. unter Einsatz von Sekundärrohstoffen oder -produkten hergestellter Produkte seitens der Konsumenten ist eine Voraussetzung für eine funktionierende Kreislaufwirtschaft. Aufgearbeitete Ersatzteile erhalten in letzter Zeit eine immer höhere Akzeptanz (vgl. Schmid (1995), S. 60). Generell wird erwartet, dass die Akzeptanz für aufgearbeitete Produkte und Komponenten steigt (vgl. BVSE (1998), S. 9; Gotzel et al. (1999), S. 32). In diesem Zusammenhang müssen aufgearbeitete Produkte nicht nur als eine Alternative zu Neuprodukten angesehen werden, sondern sich durch einen *Zusatznutzen* auszeichnen (vgl. Adam (1993a), S. 26). Dieser Zusatznutzen kann z. B. in den folgenden Bereichen entstehen:

- *Preis*: Rezyklierte bzw. unter Einsatz von Sekundärrohstoffen oder -produkten hergestellte Produkte können evtl. günstiger angeboten werden, als vergleichbare Neuprodukte (vgl. Ivisic (2000), S. 64ff.). Rezyklierte Produkte werden in der Regel nur mit deutlichen Preisabschlägen als Substitut akzeptiert (vgl. Keimeier (1994), S. 30)¹⁸.
- *Qualität*: Aufgearbeitete Produkte sind evtl. qualitativ hochwertiger als Neuprodukte¹⁹, obwohl sie in der Regel als qualitativ minderwertiger gelten (vgl. Adam (1993a), S. 26; Meffert/Kirchgeorg (1998), S. 724ff.; Steven (1992b), S. 108).
- *Befriedigung ökologischer Kundenbedürfnisse*: Durch Erwerb umweltgerecht hergestellter Produkte können ökologische Handlungsbedürfnisse der Konsumenten be-

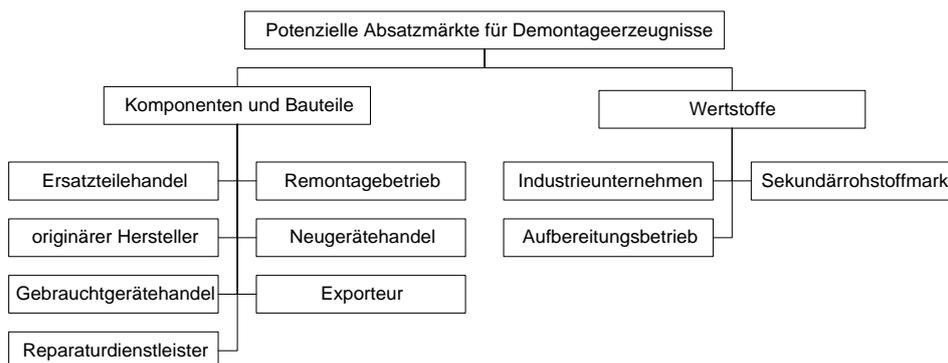
¹⁸ Einige Automobilversicherer (z. B. *Allianz*) fordern, Pkw-Reparaturen (soweit möglich) mit Ersatzteilen durchzuführen, deren Alter dem des beschädigten Pkw entspricht (*zeitwertgerechte Reparatur*). Interessant ist diese Idee im Zusammenhang mit der *Freiwillige Selbstverpflichtung zur umweltgerechten Altauverwertung (Pkw)*, im Rahmen derer sich die Automobilhersteller (unter bestimmten Voraussetzungen) zur Rücknahme ihrer Pkw verpflichtet haben (s. Kapitel 2.1.3). Zu klären sind dabei vor allem offene Fragen im Hinblick auf Sicherheit, Gewährleistung und Qualität (vgl. o. V. (1997), S. 96).

¹⁹ Wiedereingesetzte Controller in der Computerindustrie gelten zuverlässiger als Neuprodukte, da ca. 90 % der Ausfälle in den ersten Betriebsstunden erfolgen (vgl. Rutkowsky (1996), S. 111). Aufgearbeitete Kurbelwellen sind deutlich belastbarer als neue, da sie ihre Eigenspannung bereits abbauen konnten (vgl. Schmid (1995), S. 59). Bei Werkzeugmaschinen kann durch Umbau und Modernisierung der Wert aufgearbeiteter Produkte gegenüber (ehemaligen) Neuprodukten gesteigert werden (vgl. Schmid (1995), S. 59). Der Umsatz, der mit dem Verkauf von aufgearbeiteten Werkzeugmaschinen im deutschsprachigen Raum 1996 erzielt wurde, lag bei DM 600 Millionen, und betrug damit mehr als 5 % des Neugeräteumsatzes (vgl. Kapitza (1996), S. 88).

friedigt werden. Die ökologieorientierte Haltung vieler Konsumenten hat dazu geführt, dass sich ein *grünes Marketing* etablieren konnte (vgl. Kotler et al. (1996), S. 696). Beobachtungen zeigen, dass Konsumenten nicht mehr damit zufrieden zu stellen sind, leere Worthülsen oder grüne Symbole auf Verpackungen oder Anzeigen zu sehen, vielmehr möchte der Käufer sicher sein können, dass die Produktionsprozesse, das Produkt und die Verpackung umweltverträglich ablaufen bzw. hergestellt wurden (vgl. Rehak (1993), S. 22). Verbraucher sind bereit, für umweltgerechte Produkte mehr zu zahlen²⁰ (vgl. Meffert/Kirchgeorg (1998), S. 129f.). Die umweltgerechte Entsorgung entwickelt sich zu einem entscheidenden Wettbewerbsfaktor (vgl. BMWi (1994), S. 33).

- *Service*: Durch einen gut organisierten *After-Sales-Service* stehen nicht länger ausschließlich die Produkteigenschaften im Vordergrund, sondern die benötigte Ersatzleistung. Diese kann durch (qualitativ gleichwertige) aufgearbeitete Produkte erbracht werden²¹. Dabei können Serviceleistungen auch Bestandteil von Produktnutzenkonzepten sein.

Besonders die Verschiedenartigkeit bleibt bei der Analyse und Bedienung der Absatzmärkte für Demontageerzeugnisse zu beachten (s. Abb. 2.4). Die einzelnen Zielmärkte stellen unterschiedliche Anforderungen an die Art, Qualität und den Aufarbeitungsumfang der Demontageerzeugnisse. Beispiele für Wiedervermarktung sind aufgearbeitete und modernisierte Computersysteme, elektrische Scanner, Ladenkassen, Kopiergeräte und Ersatzteile aus Haushaltsgroßgeräten und Autos (vgl. Steinhilper (1993), S. 12).



Vgl. Ivisic u. a. (1999), S. III 31

Abb. 2.4: Absatzmärkte für Demontageerzeugnisse

²⁰ Die zusätzliche Zahlungsbereitschaft bewegt sich dabei zwischen 1 % bis 16 %, wobei 92 % der befragten zuzahlungswilligen Verbraucher nicht mehr als 10 % zuzahlen wollen (vgl. Wildemann (1998), S. 11).

²¹ In einigen Bereichen werden bereits ausschließlich aufgearbeitete Produkte angeboten. Austauschmotoren für nicht mehr produzierte Pkw von *Mercedes-Benz* sind ausschließlich in aufgearbeiteter Form zu erhalten.

2.3.2 Produktnutzenkonzepte

In der Kreislaufwirtschaft etablieren sich neue Konzepte, die nicht nur von Produkt-herstellern getragen, sondern auch von Konsumenten akzeptiert werden müssen. Das Konzept des Nutzenverkaufs spielt hierbei eine tragende Rolle, da es von zentraler wirtschaftlich-ökologischer Bedeutung ist (vgl. Stahel (1997), S. 6).

Innerhalb der Produktnutzenkonzepte steht nicht länger der *Besitz* eines Produktes, sondern sein *Nutzen* im Vordergrund. Der Nutzungsgeber als Eigentümer des Produktes überlässt dem Nutzungsnehmer das Produkt entgeltlich für einen definierten Zeitraum oder eine definierte Anzahl von Nutzungszyklen²². Die Durchsetzung dieser Konzepte hängt entscheidend von der Konsumentenakzeptanz ab, denn der Nutzenverkauf beinhaltet keinen Eigentumsübergang auf den Käufer, sondern lediglich den Übergang des Besitzrechts an dem Produkt. Nach dem Nutzungszeitraum erhält der Hersteller das Produkt zurück. Der Nutzenverkauf kann so als eine Möglichkeit der Wahrnehmung von *Produzentenverantwortung* gesehen werden.

<i>Nutzenverkauf</i>	<i>Produktverkauf</i>
<i>Leistung</i> steht im Vordergrund	<i>Produkt</i> steht im Vordergrund
<i>Wertbezug</i> : langfristiger Nutzungswert über die Nutzungsdauer	<i>Wertbezug</i> : kurzfristiger Tauschwert am Point of Sale
<i>Haftung</i> für Leistungsqualität	<i>Haftung</i> für Fertigungsqualität
<i>Bezahlung</i> ratenweise und bei Leistungserbringung	<i>Bezahlung</i> bei Eigentumsübergang
<i>Arbeitsleistung</i> vor Ort, rund um die Uhr, keine Lagerhaltung möglich	<i>Arbeitsleistung</i> zentral, global, Produkte sind lagerbar, wiederverkäuflich/tauschbar
Kein <i>Eigentums- und Haftungsübergang</i> an den Nutzer	<i>Eigentums- und Haftungsübergang</i> an den Käufer

Vgl. Stahel (1997), S. 4

Tab. 2.1: Unterschiede zwischen Produkt- und Nutzenverkauf

Der Verkauf von Nutzen kann durch den Handel, den Hersteller oder ein drittes Unternehmen durchgeführt werden. Vertragliche Grundlage für den Nutzenverkauf bilden Miet- oder Leasingverträge zwischen beiden Parteien. Der Vermietungs- oder Leasinggedanke ist

²² Verschiedenste Firmen nutzen bzw. bieten bereits erfolgreich Produktnutzenkonzepte an: *Lufthansa*, *AVIS* (vgl. Rutkowsky (1996), S. 113), *Black & Decker* (vgl. Bellin (1997), S. 29), *Econ Air* (vgl. Droste (1997), S. 42), *Xerox* (vgl. Mahr (1998), S. 457), *CharterWay* (o. V. (1995), S. 27).

nicht neu, neu sind die gezielt umweltorientierten Umsetzungen (vgl. Rutkowsky (1996), S. 112f.). In Tab. 2.1 sind Unterschiede zwischen Produkt- und Nutzenverkauf dargestellt.

Nachfolgend sind einige Merkmale von Produktnutzenkonzepten zusammengestellt:

- Der Hersteller weiß, dass er sein Produkt wieder zurückerhält und er kennt die Mengenströme und Zeiträume der Rückflüsse. Er kann daher den Wiedereinsatz von Komponenten oder aufgearbeiteten Geräten gut planen. Der Hersteller ist motiviert, Produkte demontagegerecht zu konstruieren und hochwertige Stoffe und Teile zu verwenden, die sich gut zum Wiedereinsatz oder zur Verwertung eignen.
- Für den Hersteller kann es günstig sein, den Rücknahmezeitpunkt selbst bestimmen zu können (vgl. Rutkowsky (1996), S. 112). Rückläufe werden damit hinsichtlich Menge, Zeit und Qualität gut prognostizierbar. Auf diese Art können übermäßige Verschleißerscheinungen ausgeschlossen und der Gesamtertrag (über den Produktlebenszyklus) maximiert werden.
- Durch maßgeschneiderte Serviceleistungen können Kundenbeziehungen gepflegt und gefestigt werden.
- Da für den Konsumenten der Nutzen und nicht das Produkt im Vordergrund steht, kann eine Akzeptanz für den Einsatz aufgearbeiteter (qualitativ gleichwertiger) Erzeugnisse im Vergleich zum Produktverkauf leichter erreicht werden.
- Während der Nutzungsphase kann der Hersteller systematisch Informationen sammeln, die ihm bei der Bestimmung des besten Recyclingverfahrens Entscheidungsunterstützung bieten können.
- Durch Einsatz von Konzepten des Produktnutzenverkaufs können die Hersteller einfacher Produktverantwortung übernehmen, da Informationen leichter erhoben werden können und evtl. die Steuerung des gesamten Produktlebenszyklus möglich wird (vgl. Rutkowsky (1996), S. 112f.). Die Unternehmen können so den gesetzlichen Forderungen nach Übernahme von Produktverantwortung (s. Kapitel 2.1.3) entgegen kommen (vgl. Fleig (1997), S. 22).

2.3.3 Übergang Gebrauch-/Altprodukt

Der Konsumtionsprozess ist abgeschlossen, sobald ein Produkt dem letzten Nutzer keinen Nutzen mehr stiftet, sich der Konsument des Produkts entledigen möchte und sich kein Käufer für das Gebrauchprodukt findet. Zu diesem Zeitpunkt wird aus dem Gebrauchprodukt ein Altprodukt. Im Sinne der Kreislaufwirtschaft übergibt der Letztnutzer das

Altprodukt an den Entsorger. Für das Entstehen von Altprodukten werden vier Ursachen unterschieden (vgl. Rutkowsky (1996), S. 96):

- *Wegfall der Nutzungsgrundlage*: Es können der allgemeine Wegfall der Nutzungsgrundlage und der Wegfall auf Grund einer hohen Produktspezifität (z. B. Verpackung) unterschieden werden.
- *Veränderung im Kosten-Nutzen-Verhältnis*: Zu Veränderungen im Kosten-Nutzen-Verhältnis kann es z. B. durch Preiserhöhungen (z. B. von Betriebsstoffen), Senkung von Verkaufserlösen oder im Bereiche der Mode (psychologischer Nutzen) kommen.
- *Technische Obsoleszenz*: Technisch veraltete Geräte werden ersetzt.
- *Defekt*: Wirtschaftlicher Totalschaden oder hohe Reparaturhäufigkeit können zum Entledigungswunsch eines Produkts führen.

2.4 Entsorgungsphase

2.4.1 Schnittstelle Nutzung/Entsorgung

Die Wirtschaftlichkeit des Recycling hängt u. a. von Alter und Zustand des Altprodukts ab. Der Letztbesitzer sollte das zur Entsorgung anstehende Altprodukt baldmöglichst bereitstellen. Allerdings vergehen (nach Übergang vom Gebrauchs- zum Entsorgungsgut) mitunter Jahre, bis das Altprodukt zur Entsorgung bereitgestellt wird. Ursachen dafür sind z. B. Bequemlichkeit und Unwissenheit bezüglich der vorgesehenen Entsorgungskanäle (vgl. Mager/Waltemath (1997), S. 12). Von den Entsorgern müssen leistungsfähige, für den Letztnutzer komfortable Mechanismen zur Abholung oder Übergabe der Altprodukte erdacht und umgesetzt werden²³. Hinsichtlich des zur Zeit sehr geringen Rücklaufvolumens erscheint ein Recycling oftmals nicht wirtschaftlich durchführbar (vgl. Bönker u. a. (1998), S. 265). Um Stückzahlen zu erreichen, die eine wirtschaftliche Demontage und Aufarbeitung möglich werden lassen, müssen Voraussetzungen und Anreizsysteme zur Erfassung, Sammlung und Rückführung geschaffen werden. Die Rücklaufmengen werden nicht unwesentlich von gesetzlichen (s. Kapitel 2.1.3) und vertraglichen Rahmenbedingungen beeinflusst (vgl. Thierry et al. (1993), S. 3). Als Reaktion auf den Entwurf der Elektronikschrotverordnung haben über 2000 Elektrogeräthändler ein System zur Rücknahme von Elektro-Kleingeräten ins Leben gerufen, das den Letztbesitzern die Mög-

²³ Bereits umgesetzt sind Systeme, die Neuprodukte liefern und gleichzeitig (z. T. markenunabhängig) Altprodukte zurücknehmen. Solche Systeme werden u. a. von *Bosch Siemens Hausgeräte* und der *Arbeitsgemeinschaft CYCLE* betrieben (vgl. Meffert/Kirchgeorg (1998), S. 716). Seit 1990 bieten *Nokia Data* und *IBM* Rücknahmeverfahren für Altcomputer an (vgl. Mierzowski (1990), S. 18).

lichkeit zur kostenlosen Rückgabe bietet. Es wurde mit einer Rücklaufquote von lediglich ca. 4 % gerechnet. Mittlerweile hat sich gezeigt, dass der tatsächliche Rücklauf noch weit unter der vorsichtigen Schätzung liegt (vgl. Bellin (1998), S. LS 9). Zur Veränderung dieser Situation und zur Hinwirkung in Richtung einer stärkeren Kreislaufführung werden in diesem Zusammenhang verschiedene Instrumente diskutiert (vgl. z. B. König (1991), S. 31f.; Meffert/Kirchgeorg (1998), S. 212ff.):

- Pfandgebühren
- Leasingverträge²⁴
- Deposit-Refund-Lösung²⁵
- Differenzierte Entsorgungskosten
- Gesetze und Verordnungen²⁶

Nach Ergebnissen einer neueren Untersuchung schwankt die Rücklaufquote stark. Während Unternehmen, die Rücknahmen anbieten, jedoch keine entsprechenden Instrumente einsetzen, sehr geringe Quoten erzielen (z. B. *AEG Hausgeräte* [0,01 %], *Compaq Computer* [$< 0,1$ %]), erreichen diejenigen Unternehmen eine wesentlich höhere Quote (z. B. *Siemens-Nixdorf* [35 %], *Xerox* [80 %], *Kaldewei* [80 %]), die einen aktiven Rücklauf (z. B. über Leasingverträge) unterstützen (vgl. Gotzel u. a. (1999), S. 17).

Für alle Schritte, die auf einen Wiedereinsatz abzielen, ist es notwendig, bestimmte Informationen zu erheben. Neben Informationen, die noch im Lauf der Entsorgung oder der Demontage erhoben werden können (z. B. *Typenschildinformationen* wie Hersteller, Baujahr usw.), sind nutzungsspezifische Daten (z. B. Nutzungshäufigkeit, bekannte Defekte, durchgeführte Reparaturen, Umwelteinflüsse) bei der Demontageplanung und -steuerung wichtig. Nutzungsspezifische Informationen müssen in den meisten Fällen vor Ort, bei Abholung oder Übergabe erhoben werden. Neben Konzepten und Instrumenten des Entsorgungsprozesses muss daher auch eine Auskunftsbereitschaft des Besitzers vorhanden sein, der die beschriebenen Informationen zur Verfügung stellt. Im Idealfall verfügt das Produkt über ein elektronisches Logbuch (Produktdatenspeicher), das seinen gesamten Lebenszyklus aufzeichnet (vgl. Rautenstrauch (1997b), S. 390). Dazu gehören nicht nur Daten aus der Nutzungsphase (z. B. Belastungs- und Anwendungsbedingungen), sondern

²⁴ Durch den hohen Leasinganteil im Bereich der Kopiergeräte hat *Xerox* bei einem Anteil von ca. 80 % der abgesetzten Produkte eine Kontrollmöglichkeit in der Nutzungsphase (vgl. Meffert/Kirchgeorg (1998), S. 717).

²⁵ Produzenten hinterlegen ein Deposit, das sie bei Rücknahme des Produkts zurückerhalten (Refund). Der Rest verfällt als Abgabe (vgl. Ewers (1998)).

²⁶ Auf Grund der BattV müssen Käufer einer neuen Autobatterie eine Gebühr von DM 15,- zusätzlich zum Kaufpreis entrichten, wenn sie keine Altbatterie beim Kauf zurückgeben.

ebenfalls Daten aus der Entwicklungs- und Produktionsphase (z. B. Explosionszeichnungen, Stücklisten, Arbeitspläne)²⁷.

2.4.2 Entsorgungslogistik

„*Entsorgungslogistik* umfasst die Planung, Steuerung, Durchführung und Kontrolle der gesamten Altgüter-, Komponenten-, Teile-, Wert- und Reststoffströme mit ihren dazugehörigen Informationen sowie die Gestaltung der gesamten entsorgungslogistisch relevanten physischen, informationstechnischen, organisatorischen und psychologischen Prozesse innerhalb und außerhalb des Unternehmens mit dem Ziel der optimalen Abfallvermeidung bzw. -verminderung, -verwendung, -verwertung und umweltschonenden -beseitigung“ (Emmermann (1996), S. 60f.)²⁸.

- Zu den *strategischen* Aufgaben der Entsorgungslogistik gehören Entscheidungen über räumliche Anordnungen der Entsorgungseinrichtungen, insbesondere die Entscheidung über Hol- und Bringsysteme, Festlegung von Sammelstellen, Demontage- und Verwertungsanlagen sowie deren Kapazitätsauslegung (vgl. Emmermann (1996), S. 65).
- Die Funktionen der *operativen* Entsorgungslogistik bestehen aus der Tourenplanung für die Rückführung, der Transportmittelauswahl, der Transportmittel- und Ladehilfsmittelverwaltung und der Lagerbestandsverwaltung (vgl. Emmermann (1996), S. 65; Moukabary/Röttchen (1997), S. 36). Eine begleitende Informationsverarbeitung beinhaltet die Erfassung aller relevanten produkt- und mengenspezifischen Daten von Altstoffen und -produkten der Produktion und Konsumtion (vgl. Spitzenpfeil (1990), S. 22) sowie die hinsichtlich Zeit und Ort zielgerichtete Informationsbereitstellung (z. B. die Avisierung einer bestimmten Altproduktmenge).

Die Forderung nach einer übergreifenden Konzeption der Entsorgungslogistik resultiert aus der Tatsache, dass Abfälle bei Beschaffung, Produktion und Distribution (z. B. Rücknahme von Verpackungen) anfallen. Die Aufgaben des Entsorgers werden im Verständnis dieser Arbeit sehr weit gefasst. Der zentrale Prozess der Entsorgungslogistik ist die *Rückführung*. Das Altprodukt erfährt durch die Standortveränderung im Rahmen der Rückführung in der Regel den ersten Wertzuwachs. Zu den Aufgaben der Rückführung zählen dabei nicht nur die Erfüllung von Transportleistungen, ebenfalls müssen Ausgleichs-

²⁷ Die ersten (einfachen) Produktdatenspeicher sind schon seit längerem in Einsatz: Pkw von *BMW* speichern gefahrene Kilometer und Motorzustände, Drucker von *Hewlett Packard* speichern die Anzahl gedruckter Seiten und Einschaltvorgänge und Videoprojektoren von *ASK* speichern die Lampenleuchtzeit (vgl. Seliger (1997), S. 211).

²⁸ Die Entsorgungslogistikkosten haben einen Anteil von ca. 10 % an den gesamten Logistikkosten der Unternehmen und erreichen (je nach Branche) Werte zwischen 1 % bis 3 % vom Unternehmensumsatz (vgl. Wildemann (1998), S. 42).

funktionen hinsichtlich Menge, Zeit, Sortiment und Raum erfüllt werden (vgl. Wildemann (1998), S. 77). Während des Rückführungsprozesses können und sollen zudem weitere Tätigkeiten erbracht werden. Beispielsweise ist an Aufgaben einer ersten (Sicht-)Prüfung der Altprodukte zu denken. Anhand der Identifikationsergebnisse und z. B. Angaben zu Hersteller, Baujahr und Typ kann evtl. bereits über die Entsorgungsstrategie (Recycling oder Beseitigung) entschieden werden. Somit kann vermieden werden, dass Altprodukte, die mit großer Wahrscheinlichkeit aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten lediglich eine Schadstoffentfrachtung, aber kein Produktrecycling erfahren, zum Recyclingbetrieb verbracht werden. Weiterhin könnten einfachere Demontageaufgaben (z. B. Schadstoffentfrachtung) in der Prozesskette Rückführung ausgeführt werden. Diese Dienstleistung kann sich zu einer Kernkompetenz der Rückführer entwickeln. Die Schadstoffentfrachtung wird spätestens dann notwendig, wenn die Entscheidung gefallen ist, ein bestimmtes Altprodukt nicht zu rezyklieren, sondern zu beseitigen. Abgesehen von Aktivitäten im Zusammenhang mit der Produktentsorgung ermöglicht die Produktrücknahme dem Hersteller den Zugang zu Folgeumsätzen (vgl. Rutkowsky (1996), S. 106), der Sammelprozess kann dabei gleichzeitig zum Distributionsprozess der Ersatzware werden. Die Rückführung von Altprodukten könnte in Zukunft eine herausragende Bedeutung für die Kundenneugewinnung bzw. Altkundenbindung einnehmen (vgl. Wildemann (1997b), S. 54).

Die Rückführung repräsentiert einen kritischen Einflussfaktor für die Wirtschaftlichkeit des gesamten Recycling. Bislang entfallen 50 bis 70 % der gesamten Entsorgungskosten auf die Rückführlogistik (vgl. Schmid (1995), S. 59). Eine große räumliche Entfernung kann auf Grund der verursachten Transportkosten und damit auf Grund des dem Altprodukt bereits zugeführten Werts ein Recycling unwirtschaftlich machen (vgl. Baum (1993), S. 30). Die potenziellen Vorteile eines wiederholten Einsatzes von Komponenten können durch Transportkosten aufgezehrt werden. Durch überbetriebliche Zusammenarbeit und Einsatz intelligenter logistischer Systeme kann einer nachteiligen Entwicklung entgegen gesteuert werden (vgl. Hansen/Meyer (1998), S. LS 8).

Der Produzent kann evtl. die für die Versorgung aufgebauten Vertriebswege auch für die Rückführung nutzen. So können Leerfahrten zum Transport von Altgüterströmen genutzt werden. Dieser Spezialfall der Rückführung wird als *Redistribution* bezeichnet (vgl. Meffert/Kirchgeorg (1998), S. 211).

2.4.3 Recycling

Recycling ist die „erneute Verwendung oder Verwertung von Produkten oder Teilen von Produkten in Form von Kreisläufen“ (VDI (1993), S. 4). Der Recyclinggedanke hat durch die Knappheit natürlicher Ressourcen, zunehmende Umweltverschmutzung und die Er-

kenntnis, dass wirtschaftlich nutzbare Potenziale weggeworfen werden, stark an Bedeutung gewonnen. Recycling stellt (neben der Beseitigung) eine Möglichkeit der Produktentsorgung dar (s. Abb. 2.1)²⁹. Neben die technische 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 (vgl. Corsten/Reiss (1991), S. 618)³⁰.

Das Recycling verfolgt sowohl ökologische als auch wirtschaftliche Ziele (vgl. Corsten/Reiss (1991), S. 618). Zu den *ökologischen* Zielen gehören die Verminderung

- des Energie- und Rohstoffinputs zur Schonung natürlicher Ressourcen,
- der Umweltschädigungen sowie
- der Abfallmengen, um nur begrenzt verfügbaren Deponieraum zu sparen.

Die *wirtschaftlichen* Ziele lassen sich in Mengen-, Zeit- und Wertziele unterteilen:

- Das *Mengenziel* besteht darin, Rohstoffverbrauchsmengen in der Produktion zu senken und somit Kosten zu sparen.
- Die Verminderung beschaffungsbedingter Unsicherheiten und Verkürzung der Durchlaufzeiten in der Produktion gelten als *Zeitziele*.
- *Wertziele* resultieren einerseits daraus, dass durch das Recycling Entsorgungskosten gespart werden können, andererseits ist es möglich, durch Veräußerung oder Wiedereinsatz rezyklierter Güter einen Erlös zu erzielen. In diesem Zusammenhang muss die Höhe der Recyclingkosten berücksichtigt werden.

Recycling wird nach Kreislaufarten, Formen und Behandlungsprozessen gegliedert (s. Tab. 2.2). Die verschiedenen Recyclingkreislaufarten, -formen und Behandlungsprozesse treten in der Praxis in aller Regel nicht voneinander getrennt auf (vgl. Steinhilper (1994), S. 2.1.2/1). Altprodukte werden z. B. demontiert und in Teilen wieder- und weiterverwendet, ein anderer Teil wird dem Shredder zugeführt und verwertet oder beseitigt. Parallel zu den drei Phasen im Lebenszyklus industriell gefertigter Produkte (Produktion, Nutzung und Entsorgung)³¹ kann Recycling in die drei zugeordneten Kreislaufarten

²⁹ Zu einer umfassende Literaturlanalyse zum *betrieblichen Recycling* vgl. Rautenstrauch (1993).

³⁰ Bei bestimmte Gütern (z. B. im Rahmen des Atomgesetzes) ist Recycling gesetzlich vorgeschrieben und stellt somit kein echtes Entscheidungsproblem mehr dar (vgl. Corsten/Reiss (1991), S. 618).

³¹ Das Produktlebenszykluskonzept betrachtet das Produktleben im Sinne einer Produktbiographie und differenziert dieses in verschiedene Phasen, wobei jedoch keine konsistente Aufteilung und Bezeichnung der einzelnen Phasen existiert. So werden im Rahmen der *Technikwirkungsanalyse* folgende Phasen genannt: Forschung, Entwicklung, Produktion, Absatz, Produktnutzung und Nachnutzungsphase.

- Produktionsabfallrecycling,
- Recycling während der Produktnutzung und
- Altstoffrecycling unterschieden werden (vgl. VDI (1993), S. 5).

<i>Recycling-Kreislaufarten</i>	<i>Produktrecycling</i>		<i>Materialrecycling</i>	
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Recycling während der Produktnutzung 		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Produktionsabfallrecycling ▪ Altstoffrecycling 	
<i>Recycling-Formen</i>	Wieder- verwendung	Weiter- verwendung	Wieder- verwertung	Weiter- verwertung
<i>Recycling-Behandlungsprozesse</i>	Aufarbeitung		Aufbereitung	

Quelle: VDI (1993), S. 5

Tab. 2.2: Recycling-Kreislaufarten, -Formen und -Behandlungsprozesse

Produktrecycling

Die Kreislaufart *Recycling während der Produktnutzung* ist dem Produktrecycling zugeordnet. Produktrecycling bezeichnet die Rückführung gebrauchter Produkte und Komponenten in ein neues Gebrauchsstadium unter Nutzung der vorhandenen Gestalt (vgl. VDI (1993), S. 5)³². Produktrecycling stellt insofern die höchste Form des Recycling dar, da die erneute *Verwendung* der Produkte bzw. Komponenten angestrebt wird (vgl.

Steinhilper/Hudelmaier (1993), S. 20). Verwendung lässt sich in Wieder- und Weiterverwendung gliedern. Die Wiederverwendung bezeichnet die wiederholte Benutzung eines Produkts für den gleichen Verwendungszweck unter Nutzung seiner Gestalt ohne bzw. mit beschränkter Veränderung einiger Teile. Unter Weiterverwendung wird die erneute Benutzung eines gebrauchten Produkts für einen anderen Verwendungszweck, für den es ursprünglich nicht hergestellt wurde, verstanden. Sie kann unter Nutzung der Gestalt ohne oder mit beschränkter Veränderung des Produkts erfolgen. In der Regel haben diejenigen Produkte und Komponenten die größten Chancen für eine wirtschaftliche Wiederverwendung, die keinen großen Innovationssprüngen unterliegen (vgl. Binger u. a. (1998), S. 67).

Produktrecycling sollte als Chance produktiver und wirtschaftlicher Betätigung an Stelle unproduktiver Notwendigkeit betrachtet werden (vgl. Warnecke (2000)). Die Grundidee des Produktrecycling ist, dass einige Komponenten eine höhere Lebenserwartung haben als

³² In diesem Zusammenhang müsste die Recyclingkreislaufart Produktrecycling eigentlich als *Produkt- und Komponentenrecycling* bezeichnet werden. Hiervon wird aus Gründen der Vereinfachung im weiteren Verlauf der Arbeit abgesehen.

das Produkt (vgl. Kurbel/Rautenstrauch (1997), S. 301). Ziel dieser Recyclingkreislaufart ist es, durch die Nutzungsphase veränderte Produktmerkmale wiederherzustellen, um aufgearbeitete Produkte oder Komponenten einer erneuten Verwendung zuzuführen (vgl. Warnecke (1995), S. 256). Ein aufgearbeitetes Produkt entspricht hinsichtlich seiner Funktionstüchtigkeit und Zuverlässigkeit im Allgemeinen einem neuen Gerät. Die Aufarbeitung unterscheidet sich grundsätzlich von der Instandhaltung, bei der lediglich ein Restabnutzungsvorrat zurückgewonnen wird (vgl. Steinhilper (1987), S. 45). Tab. 2.3 zeigt generelle Fertigungsschritte einer Aufarbeitung und grenzt diese zur Instandsetzung ab.

<i>Aufarbeitung in Serie</i>		<i>Einzelinstandsetzung</i>
Defekte Erzeugnisse		Defektes Erzeugnis
Erzeugnisse vollständig demontieren		Fehlerursache bestimmen
Komponenten reinigen		Defekte Komponente demontieren
Komponenten prüfen und sortieren	Ablauf	Defekte Komponente instand setzen oder erneuern
Defekte Komponenten aufarbeiten oder erneuern		Instandgesetzte oder erneuerte Komponente wieder montieren
Erzeugnisse wieder montieren		
Aufgearbeitete Erzeugnisse		Instandgesetztes Erzeugnis
- Industriell, technologieintensiv	Merkmale	- Handwerklich, arbeitsintensiv
- Generelle Gesamtaufarbeitung		- Individuelle Teileinstandsetzung
- Kunde erhält anonymes Erzeugnis		- Kunde behält eigenes Erzeugnis
- Keine Lieferzeit bzw. Wartezeit		- Wartezeit auf Instandsetzung
- Volle Gewährleistung wie für neues Erzeugnis		- Gewährleistung nur für Instandsetzung
- Anpassung der Erzeugnisse an technischen Fortschritt		- Technisches Niveau des Erzeugnisses bleibt erhalten

Quelle: VDI (1993), S. 7

Tab. 2.3: Unterschiede zwischen Aufarbeitung und Instandsetzung

Im Zusammenhang mit den beschriebenen Recyclingformen ergeben sich die folgenden Problemfelder (vgl. Koenenkamp (1998)):

- Ein potenzieller Kunde muss bereit sein, eine aufgearbeitete Komponente an Stelle eines Neuteils zu verwenden.
- Die aufgearbeitete Komponente muss denselben Sicherheitsanforderungen entsprechen, wie sie an Neuteile gestellt werden.

- Aufarbeitung, Lagerung und Vertrieb sind unter rationellen Gesichtspunkten in der Regel nur bei großen Stückzahlen wirtschaftlich.
- Austausch- oder Ersatzteile müssen auch in weiterentwickelten Produktreihen verwendet werden können, das setzt Kompatibilität der Teile oder eine lange Serienlaufzeit voraus.

Weiterhin sind die Einhaltung hoher Qualitätsstandards (zumindest bei den zum Wiedereinsatz angedachten Teilen) und der Einfluss rechtlicher Rahmenbedingungen zu beachten.

Materialrecycling

Materialrecycling kann in die beiden Kreislaufarten *Produktionsabfallrecycling*³³ und *Altstoffrecycling* unterschieden werden:

- *Produktionsabfallrecycling* setzt während der industriellen Produktion an. Es besteht in der Rückführung von Produktionsabfällen sowie Hilfs- und Betriebsstoffen in den gleichen oder einen neuen Produktionsprozess. Das Aufbereiten und Wiedereinsteuern von Produktionsabfällen z. B. durch Zerkleinern, Verdichten und Wiedereinschmelzen kann zu Einsparungen in der Produktion führen (vgl. Steinhilper/Hudelmaier (1993), S. 20).
- *Altstoffrecycling* setzt nach der Produktnutzung an, es bezeichnet die Rückführung von Altstoffen nach oder ohne Durchlauf eines Behandlungsprozesses in einen neuen Produktionsprozess (vgl. VDI (1993), S. 5).

Die Recyclingform *Verwertung* ist dem Materialrecycling zuzuordnen, hierbei wird die Produktgestalt aufgelöst. Es können die Recyclingformen Wieder- und Weiterverwertung unterschieden werden. Wiederverwertung ist der wiederholte Einsatz von Altstoffen und Produktionsrücklaufs- bzw. Hilfs- und Betriebsstoffen in einen gleichartigen wie dem bereits durchlaufenen Produktionsprozess. Durch die Verwertung entstehen aus den Ausgangsstoffen weitgehend gleichwertige Werkstoffe oder Produkte mit anderen Eigenschaften oder anderer Gestalt (vgl. VDI (1993), S. 6).

Im Zusammenhang mit den beschriebenen Recyclingformen ergeben sich folgende Problemfelder (vgl. Koenenkamp (1998)):

- Die Sortierung der Werkstoffe ist notwendig, um hochwertige Sekundärrohstoffe zu erhalten.

³³ Durch die Zuordnung des Produktionsabfallrecycling zum Materialrecycling wird das *Ausschussrecycling* nicht vollständig berücksichtigt. Ebenso wie Reststoffe können auch Ausschussprodukte rezykliert werden. Der letztgenannte Fall muss dem Produktrecycling zugeordnet werden.

- Sind Werkstoffe einmal insoweit vermischt, dass Verfahren zur sortenreinen Trennung unwirtschaftlich wären, ist die Verwendung des Recyclingprodukts evtl. eingeschränkt.
- Generell birgt das Material- im Gegensatz zum Produktrecycling das Problem, dass beim Auflösen der Werkstückgestalt die Organisationsstruktur und mit ihr das im Produkt verwendete Know-how verloren geht (sog. Downcycling).
- Vermischen von verschiedenen Werkstoffen kann zu unerwünschten Reaktionen führen, die das entstehende Recyclingprodukt unbrauchbar machen. Es muss evtl. als Sondermüll entsorgt werden.

Wie beim Produktrecycling ist der Einfluss rechtlicher Rahmenbedingungen auf die Durchführung des Recycling und den späteren Wiedereinsatz von Sekundärrohstoffen zu beachten.

Vergleich der Recyclingarten

Aus drei Gesichtspunkten ist Produktrecycling vorteilhafter als reines Materialrecycling (vgl. Warnecke (2000)):

- Die Nutzungsdauer der Komponenten wird verlängert. Nach einer oder mehreren Sekundärnutzungen kann noch immer ein stoffliches Recycling angeschlossen werden.
- Komponenten können häufig funktionsgleich wiedereingesetzt werden. Ein Downcycling kann damit vermieden und der Werterhalt der Altprodukte gegenüber einem Materialrecycling gesteigert werden.
- Die erneute Nutzung von Komponenten ermöglicht bis zu 95 % der Energie einzusparen, die im Rahmen der Neuteilefertigung für Urproduktion, Rohstoffherzeugung und Bearbeitung verbraucht würde. In diesem Zusammenhang müssen evtl. entstehende Aufwände für die Aufarbeitung bzw. Aufbereitung berücksichtigt werden.

In dieser Arbeit steht das Produktrecycling im Vordergrund. Auf Basis nachgefragter Demontageerzeugnisse werden Altprodukte mit dem Ziel demontiert, zerstörungsfrei Komponenten zu vereinzeln (Produktrecycling) und zu veräußern. Obwohl das Materialrecycling die heute gängige Recycling-Kreislaufart darstellt (vgl. Rautenstrauch (1999), S. 65f.), gibt es eine Vielzahl von Beispielen für die erfolgreiche Durchführung von Produktrecycling. Das industrielle Produktrecycling befindet sich zurzeit in einer stetigen Aufwärtsentwicklung (vgl. Warnecke (1995), S. 268f.). Produktrecycling kommt für Konsumgüter ebenso wie für Investitionsgüter in Betracht. Nachfolgend sind einige Bei-

spiele zusammengestellt (vgl. Perlewitz (2000); Steinhilper/Hudelmaier (1993), S. 20; Warnecke (1995), S. 268; Weule/Schmälzle (1999), S. 357):

- Kfz-Motoren, -Getriebe, -Lichtmaschinen, -Anlasser, -Antriebswellen
- Elektrowerkzeuge, Werkzeugmaschinen
- Waschmaschinen
- Personal Computer
- Büromaschinen (z. B. Kopiergeräte)³⁴
- Industrieroboter
- Getränkeautomaten

Grenzen des Recycling

Recycling von Produkten und Stoffen ist nicht uneingeschränkt möglich. Grenzen bzw. Widerstände existieren in technischer, wirtschaftlicher, ökologischer und psychologischer Hinsicht (vgl. Steven (1992b), S. 108):

- *Technische Grenzen:* Die Rezyklierbarkeit von Recyclinggütern wird einerseits durch den Umstand begrenzt, dass sich die Sekundärrohstoffqualität mit jedem Recyclingdurchgang verschlechtern kann, andererseits sind die Altprodukte teilweise nicht demontierbar bzw. eine Trennung der Grundstoffe ist technisch nicht oder nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand durchführbar.
- *Wirtschaftliche Grenzen:* Unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten werden Recyclingaktivitäten nur durchgeführt, wenn die Recyclingkosten unter den Absatzerlösen für die gewonnenen Rezyklate bzw. den Einsparungen von Primärrohstoffen und -produkten liegen.
- *Ökologische Grenzen:* Recycling erfordert den Einsatz von Energie, Transportleistungen und teilweise den Zusatz von Primärrohstoffen zur Verbesserung der Qualität. Daher ist Recycling ökologisch nur dann sinnvoll, wenn dieser Aufwand den ökologischen Nutzen nicht übersteigt (vgl. Sander (1977), S. 52). Weiterhin können auch Recyclingprozesse umweltschädliche Kuppelprodukte hervorbringen (vgl. Corsten/Reiss (1991), S. 618).

³⁴ Im Durchschnitt werden 85 %, gemessen am Gesamtgewicht, der von Xerox erfassten Kopiergeräte einer Verwertung oder einer Verwendung zugeführt. Durch die Konstruktion der neuen Produktgenerationen, die unter Recycling- bzw. Demontageprinzipien entworfen und produziert werden, steigt der Verwertungs- bzw. Verwendungsanteil auf ca. 97 % des Gesamtgewichts (bei Betrachtung eines einzelnen Zyklus). Die Wiederverwendung hat dabei einen Anteil von ca. 30 %. Etwa 10 % der Komponenten werden in Neugeräten eingesetzt, die restlichen 20 % werden über den Kundendienst als Ersatzteile vermarktet (vgl. Mahr (1998), S. 476; Meffert/Kirchgeorg (1998), S. 738).

- *Psychologische Widerstände:* Rezyklierte Produkte werden häufig nicht oder nur schwer vom Markt angenommen, da sie als qualitativ minderwertig angesehen werden (s. Kapitel 2.3.1).

3 Demontagefabriken im Rahmen der Kreislaufwirtschaft

3.1 Einführung

Als *Demontagefabriken* werden Fabriken verstanden, die nach erwerbswirtschaftlichem Prinzip Altprodukte demontieren und gewonnene Sekundärrohstoffe bzw. -produkte veräußern. In diesem Zusammenhang hält die Demontagefabrik ein System bereit, in dem Demontageprozesse mit dem Ziel der Gewinn- bzw. Deckungsbeitragsmaximierung durchgeführt werden (vgl. Huber (2000b), S. 24).

Die Aufgaben der Demontagefabrik umfassen:

- Organisation, Planung und Steuerung der Demontageprozesse
- Durchführung der Demontageprozesse:
 - Durchführung originärer Demontagetätigkeiten (z. B. Zerteilen, Zerlegen)
 - Durchführung von Ergänzungsprozessen und logistischen Funktionen (z. B. Sortieren, Handhaben, Transportieren)

Am Ende des Altprodukt-Demontageprozesses kann

- der Demontageerzeugnis-Verkauf (z. B. als Ersatzteil),
- die Verwertung,
- die Beseitigung oder
- eine Kombination der genannten Möglichkeiten stehen.

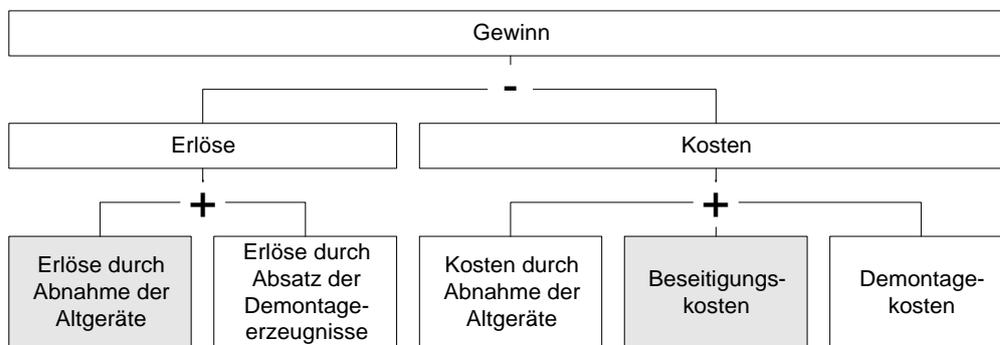
Unsicherheiten erstrecken sich auf die Leistungserstellungsprozesse und das gesamte Umsystem der Demontagefabrik. Beispielsweise hinsichtlich:

- *Beschaffungsmarkt*: Anfallmengen und Zeitpunkte
- *Rechtlicher Rahmen*: Gesetze und Verordnungen (s. Kapitel 2.1.3)
- *Gesellschaftlicher Wertewandel*: Honorierung und Akzeptanz umweltgerechter Produkte und Verfahren
- *Absatzmarkt*: Preise für Sekundärrohstoffe und -produkte sowie Entsorgungsdienstleistungen

Die Demontagefabrik nimmt neben einer *Service-* auch eine *Produzentenfunktion* ein (vgl. Tritsch (1996), S. 22; Wiendahl/Bürkner (1998), S. 591f.). Einerseits löst die Demontagefabrik Entsorgungsaufgaben ihrer Kunden (Servicefunktion), andererseits befriedigt sie die Nachfrage nach Demontageerzeugnissen (Produzentenfunktion). Im Folgenden wird daher von einer *dualen Leistungssituation* der Demontagefabrik gesprochen.

Neben Kosten des Transformationsprozesses (der Demontage), können bei der Demontagefabrik auf der Input- und der Outputseite jeweils Kosten und Erlöse entstehen. Auf der

Erlösseite können neben (konventionellen) Absatzerlösen (potenzielle) Abnahmeerlöse erzielt werden, wenn der Eigentümer eines Altprodukts zu dessen Entsorgung verpflichtet ist, das Altprodukt aber keinen positiven (Markt-)Wert besitzt. Auf der Kostenseite müssen neben (konventionellen) Kosten für Stoffe, Komponenten und Produktion auch (potenzielle) Beseitigungskosten eingeplant werden, die wiederum dadurch entstehen, dass bestimmte Output-Materialien keinen positiven (Markt-)Wert besitzen. Im Gegensatz zu konventionellen Betrieben sind Beseitigungskosten im Rahmen der Demontage kritisch. Sie können über die Annahme spezifischer Altprodukttypen (z. B. Waschmaschine eines bestimmten Herstellers) bzw. ganzer Altproduktklassen (z. B. Herde, Weiße Ware, Pkw) entscheiden. In Abb. 3.1 sind die im Unterschied zu einer konventionellen Fabrik bestehenden zusätzlichen Kosten- und Erlöse durch graue Unterlegung hervorgehoben.



Quelle: Huber/Marx-Gómez (2000b), S. 1181

Abb. 3.1: Besondere Kosten- und Erlössituation

Das Angebot (an Altprodukten) muss mit der Nachfrage (nach Demontageerzeugnissen) abgeglichen werden, um überhöhten Lagerbeständen (bei zu vielen Altprodukten) bzw. niedrigem Servicelevel (bei zu wenig Demontageerzeugnissen) vorzubeugen. Nur ca. die Hälfte der Unternehmen, die zurzeit im Bereich Remanufacturing tätig sind, versuchen (mit verschiedenen Strategien) einen Ausgleich von Angebot und Nachfrage herzustellen (vgl. Guide/Gupta (1999), S. 105). Generell besteht das produktionswirtschaftliche Entscheidungsproblem für Demontagefabriken darin, ein *optimales Annahme- und Produktionsprogramm* zu bestimmen. Optimal ist das Annahme- und Produktionsprogramm bei maximalem Gesamtdeckungsbeitrag. Im Gegensatz zu anderen Optimierungsansätzen im Bereich der Demontageplanung (vgl. z. B. Spengler (1994), S. 64ff.; Tritsch (1996), S. 74), darf auf Grund der dualen Leistungssituation hierbei nicht von einem gegebenen Altproduktprogramm ausgegangen werden; vielmehr ist das optimale Altprodukt-Annahme- und Demontageerzeugnis-Produktionsprogramm zu ermitteln.

Auf der *Inputseite* (Annahme) der Demontagefabrik können auf Grund der dualen Erlössituation für ein bestimmtes Altprodukt Kosten oder Erlöse c_a entstehen. Entsprechend

der altproduktspezifischen Inputmenge x_a^{Input} resultieren altproduktspezifische Annahmekosten bzw. -erlöse von:

$$\sum_{a=1}^n c_a x_a^{Input}$$

Auf der *Outputseite* (Absatz) können Erlöse für die Veräußerung bzw. Kosten für die Abgabe zur Beseitigung von Demontage-Outputs³⁵ d_d entstehen. Abhängig von der Menge der abgesetzten Demontage-Outputs y_d^{Output} ergeben sich die outputspezifische Absatzkosten bzw. -erlöse:

$$\sum_{d=1}^m d_d y_d^{Output}$$

Die Kosten des Demontageprozesses lassen sich in fixe und variable Bestandteile zerlegen (vgl. Spengler (1994), S. 64ff.). In diesem Zusammenhang müssen die Demontageskosten der zu demontierenden Altprodukte x_a^{Input} (oberste Dispositionsstufe) und der Demontageerzeugnisse y_d^{Gesamt} berücksichtigt werden, die entweder (weiter) zu demontieren $y_d^{Demontage}$ oder abzusetzen y_d^{Output} sind.

Auf der obersten Dispositionsstufe (Demontage der Altprodukte) fallen fixe c_a^{fix} und variable c_a^{var} Demontageskosten an. Die fixen Kosten (z. B. Rüstkosten) sind unabhängig von der Altproduktmenge x_a^{Input} ($\forall x_a^{Input} \geq 1$), die variablen Kosten (z. B. Maschinenkosten) nehmen entsprechend der Demontagemenge zu:

$$\sum_{a=1}^n c_a^{fix} w_a + \sum_{a=1}^n c_a^{var} x_a^{Input}$$

Auf allen folgenden Dispositionsstufen (Demontage der Demontageerzeugnisse) fallen ebenfalls fixe d_d^{fix} und variable d_d^{var} Demontageskosten an. Die fixen Kosten sind wiederum unabhängig von der Demontageerzeugnis-Menge $y_d^{Demontage}$ ($\forall y_d^{Demontage} \geq 1$), die variablen Kosten steigen entsprechend der Demontageerzeugnis-Menge:

$$\sum_{d=1}^m d_d^{fix} v_d + \sum_{d=1}^m d_d^{var} y_d^{Demontage}$$

Im Rahmen des vorgestellten Optimierungsmodells sind einige Nebenbedingungen zu beachten. Neben Annahme- und Absatzhöchst- bzw. -mindestmengen müssen Kapazitätsrestriktionen beachtet werden. Bei der Demontage von Altprodukten sind neben Restriktionen der Potenzialfaktoren insbesondere Schadstoffaufnahmegrenzen zu beachten. Dabei

³⁵ Demontage-Outputs können Demontageerzeugnisse oder Restmüll sein.

kann es sich einerseits um Grenzen hinsichtlich unkontrolliert in die Umwelt abgegebener Schadstoffe und andererseits um Aufnahmegrenzen kontrollier- und speicherbarer Schadstoffe handeln.

Damit ist die Zielfunktion

$$z = \sum_{a=1}^n (x_a^{Input} (c_a - c_a^{\text{var}}) - c_a^{\text{fix}} w_a) + \sum_{d=1}^m (d_d y_d^{Output} - d_d^{\text{fix}} v_d - d_d^{\text{var}} y_d^{\text{Demontage}})$$

unter den folgenden Nebenbedingungen zu *maximieren*:

$$y_d^{Output} \geq b_d^{\min}, \quad \forall d = 1, \dots, m$$

$$y_d^{Output} \leq b_d^{\max}, \quad \forall d = 1, \dots, m$$

$$x_a^{Input} \geq b_a^{\min}, \quad \forall a = 1, \dots, n$$

$$x_a^{Input} \leq b_a^{\max}, \quad \forall a = 1, \dots, n$$

$$Q_l \geq \sum_{a=1}^n q_{al} x_a^{Input} + \sum_{d=1}^k r_{dl} y_d^{\text{Demontage}}, \quad \forall l = 1, \dots, p$$

$$y_d^{\text{Gesamt}} = \sum_{a=1}^n n_{ad} x_a^{Input} + \sum_{k=1}^m m_{kd} y_k^{\text{Demontage}}, \quad \forall d = 1, \dots, m$$

$$y_d^{\text{Gesamt}} = y_d^{\text{Demontage}} + y_d^{Output}, \quad \forall d = 1, \dots, m$$

$$W \cdot w_a \geq x_a^{Input}, \quad \forall a = 1, \dots, n$$

$$V \cdot v_d \geq y_d^{\text{Demontage}}, \quad \forall d = 1, \dots, m$$

$$w_a \in \{0,1\}, \quad \forall a = 1, \dots, n$$

$$v_d \in \{0,1\}, \quad \forall d = 1, \dots, m$$

$$y_d^{\text{Gesamt}}, x_a^{Input}, y_d^{\text{Demontage}}, y_d^{Output} \geq 0, \quad \forall d = 1, \dots, m; \forall a = 1, \dots, n$$

Hierbei bedeuten³⁶:

a	Index der Altprodukte
b_a^{\max}	Maximal anzunehmende Menge des Altprodukts a

³⁶ Die verwendeten Bezeichnungen haben nur lokale Bedeutung; sie sind daher an dieser Stelle zusammenfassend dargestellt, aber nicht in das Symbolverzeichnis der Arbeit aufgenommen worden.

b_a^{\min}	Mindestens anzunehmende Menge des Altprodukts a ³⁷
b_d^{\max}	Maximal abzusetzende Menge des Demontage-Outputs d ³⁸
b_d^{\min}	Mindestens abzusetzende Menge des Demontage-Outputs d
c_a	Annahmekosten bzw. -erlös für Altprodukt a
c_a^{fix}	Fixe Kosten bei Demontage des Altprodukts a auf der obersten Dispositionsstufe
c_a^{var}	Variable Kosten bei Demontage des Altprodukts a auf der obersten Dispositionsstufe
d	Index der Demontage-Outputs bzw. Demontageerzeugnisse
d_d	Absatzkosten bzw. -erlös für Demontage-Output d
d_d^{fix}	Fixe Kosten bei Demontage des Demontageerzeugnisses d
d_d^{var}	Variable Kosten bei Demontage des Demontageerzeugnisses d
k	Index der (Zwischen-)Demontageerzeugnisse
l	Index der Kapazitätsarten
m_{kd}	Anzahl der resultierenden Demontageerzeugnisse d bei Demontage des (Zwischen-)Demontageerzeugnisses k
n_{ad}	Anzahl der resultierenden Demontageerzeugnisse d bei Demontage des Altprodukts a
q_{al}	Kapazitätsbedarf der Kapazitätsart l bei Zerlegung des Altprodukts a
Q_l	Maximal zur Verfügung stehende Kapazität der Kapazitätsart l ³⁹
r_{dl}	Kapazitätsbedarf der Kapazitätsart l bei Zerlegung des Demontageerzeugnisses d
V	Hinreichend groß gewählte Konstante zur Linearisierung der Demontageskosten ⁴⁰
v_d	Binäre Entscheidungsvariable, mit $v_d = \begin{cases} 1, & \text{falls } y_d^{\text{Demontage}} \geq 1 \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$
W	Hinreichend groß gewählte Konstante zur Linearisierung der Annahmekosten bzw. -erlöse ⁴¹
w_a	Binäre Entscheidungsvariable, mit $w_a = \begin{cases} 1, & \text{falls } x_a^{\text{Input}} \geq 1 \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$
x_a^{Input}	Anzahl der anzunehmenden Altprodukte a
$y_d^{\text{Demontage}}$	Anzahl der zu demontierenden Demontageerzeugnisse d

³⁷ Beispielsweise bedingt durch Rahmenverträge mit Produzenten oder Entsorgungsdienstleistern.

³⁸ Diese Begrenzung kann sich auf die Veräußerungspotenziale von Demontageerzeugnissen bzw. Beseitigungspotenziale von Restmüll beziehen.

³⁹ Kapazitätsarten sind z. B. Personal- bzw. Maschinenstunden oder Schadstoffaufnahmepotenzial.

⁴⁰ Die Konstante V muss dabei größer sein als das maximale $y_d^{\text{Demontage}}$, $\forall d = 1, \dots, n$.

⁴¹ Die Konstante W muss dabei größer sein als das maximale x_a^{Input} , $\forall a = 1, \dots, n$.

y_d^{Gesamt}	Anzahl der gewonnen und z. T. weiterzerlegten Demontageerzeugnisse d
y_d^{Output}	Anzahl der abzusetzenden Demontage-Outputs d

Das vorgestellte Modell ist nur als Grundmodell zu verstehen. Zum einen sind Optimierungsmodellen dieser Art in der Praxis zumeist enge Grenzen gesetzt, zum anderen werden bei der Programmplanung nicht alle demontageinduzierten Besonderheiten berücksichtigt. Der Deckungsbeitrag lässt sich in diesem Zusammenhang nur als Erwartungswert formulieren. Die Gültigkeit des Optimierungsergebnisses setzt die genaue Kenntnis der Modellgrößen voraus. Insbesondere hinsichtlich der Annahme- und Absatzhöchst- bzw. -mindestmengen muss im Bereich der Demontage von großen Schwankungen ausgegangen werden. Weiterhin wird unterstellt, dass alle potenziellen Demontageerzeugnisse (die weiter zerlegt bzw. veräußert werden) vorhanden und demontierbar sind. Die Kosten werden als zurechenbar und statisch vorausgesetzt. Bei der Demontage kann es jedoch zur Kuppelproduktion kommen, für die eine Kostenzuordnung auf die einzelnen Demontageerzeugnisse z. T. nicht möglich ist. Weiterhin sind die variablen Kosten in der Regel nicht statisch, da abhängig vom Altproduktzustand ein verschieden hoher Demontageaufwand nötig sein kann. Außerdem kann ein bestimmtes Demontageerzeugnis aus verschiedenen Altprodukten demontiert werden, was zu unterschiedlichen fixen und variablen Demontagekosten führen kann.

Ist die Demontageaufgabe gelöst, d. h. sind die Bestandteile eines Altprodukts entsprechend des gewählten Demontagepfads für Verwertung, Wiedereinsatz oder Beseitigung vorbereitet, schließen sich konventionelle Prozesse (z. B. Verfahrenstechnik, Montage, Qualitätssicherung) an. Demontagespezifische Besonderheiten (z. B. Unbestimmtheit des Anfallzeitpunkts, Bestimmung der optimalen Demonetagtiefe) haben keinen Einfluss auf diese nachgelagerten Prozesse. Im Rahmen dieser Arbeit wird daher angenommen, dass die weiteren Schritte der Verwertung, der Remontage, des Wiedereinsatzes und der Beseitigung von sog. Nachbearbeitungsunternehmen (NBU) übernommen werden. Prozesse bzw. Aufgaben der NBU werden daher nicht in dem Demontageplanung- und -steuerungskonzept abgebildet bzw. berücksichtigt. NBU können dabei organisatorisch, rechtlich oder physisch mit der Demontagefabrik verbunden sein.

3.2 Demontage

Demontieren kann als „Gesamtheit aller Arbeitsgänge, die dem Vereinzeln von Mehrkörpersystemen zu Baugruppen, Bauteilen oder formlosem Stoff durch Trennen dienen“ verstanden werden (Spur (1997), S. 2-1). Beim Trennen handelt es sich um ein Fertigungsverfahren mit folgender Definition (DIN (1985)): „Trennen ist Fertigen durch Ändern der

Form eines Körpers, wobei der Zusammenhalt örtlich aufgehoben, d. h. im ganzen vermindert wird. Dabei ist die Endform in der Ausgangsform enthalten.“

Die Demontage von Produkten kann in verschiedenen Situationen erforderlich werden (vgl. Seliger/Kriwet (1993), S. 529):

- Vorbereitung von Prüfungen in der Produktion
- Vereinfachung von Transportvorgängen
- Verringerung des Lagervolumens
- Wartung und Reparatur während der Nutzung
- Rückgewinnung von Komponenten
- Separierung von Stoffen zur Verwertung bzw. Beseitigung

Diese Arbeit konzentriert sich auf die Demontage von Altprodukten, d. h. auf die Demontage im Rahmen des Recycling. Der Schwerpunkt der Betrachtungen liegt daher auf den beiden letztgenannten Punkten. Dabei zielt die Demontage in der Regel nicht auf die vollständige Zerlegung eines Altprodukts in seine Einzelteile ab, sondern auf Rückgewinnung von Komponenten, sortenreine Gewinnung von Wertstoffen und Entfrachtung von Schadstoffen.

Ein für die Leistung der Demontagefabrik relevantes Unterscheidungsmerkmal bezüglich Altproduktbehandlung stellt die Recycling-Kreislaufart dar (s. Kapitel 2.4.3). Wird die Demontage eines Altprodukts vorrangig im Rahmen eines Produktrecycling durchgeführt, sind (im Vergleich zum Materialrecycling) z. T. andere Demontageverfahren einzusetzen. Durch den Einsatz anderer Verfahren ergeben sich in der Regel andere Kapazitätsbelastungen oder andere Durchlaufzeiten. Demontageaufträge werden daher hinsichtlich der Behandlungsart in

- *Aufträge zur Verwertungsvorbereitung*⁴² (im Rahmen eines Materialrecycling) und
- *Aufträge zur Wiedereinsatzvorbereitung* (im Rahmen eines Produktrecycling) unterschieden.

Die Demontage erlaubt im Vergleich zu anderen Behandlungsarten des Recycling einen höheren Werterhalt des Altprodukts, erfordert aber in der Regel auch einen höheren Aufwand (vgl. Seliger/Kriwet (1993), S. 529). Im Gegensatz zum Shreddern zielt die Demontage darauf ab, Komponenten durch zerstörungsfreies oder zerstörendes Trennen aus dem Produktverbund herauszulösen (vgl. Tritsch (1996), S. 15). Durch Auflösung der Produktstruktur kann sowohl die erneute Teileverwendung als auch die Stoffverwertung auf ho-

⁴² Aufträge zur Verwertungsvorbereitung entstehen beispielsweise, wenn einer Entsorgungsdienstleistung (Servicefunktion) keine entsprechende Nachfrage nach Demontageerzeugnissen (Produzentenfunktion) gegenübersteht.

hem Wertniveau gewährleistet werden. Die möglichen Vorteile der Demontage im Gegensatz zu alternativen Behandlungsarten (z. B. Shreddern) sind nachfolgend aufgeführt (vgl. Seliger/Kriwet (1993), S. 529):

- Rückgewinnung funktionsfähiger Komponenten zum erneuten Einsatz
- Möglichkeit zur Rückgewinnung sämtlicher Stoffe
- Erhöhung der Reinheit rezyklierter Stoffe

Eine große Herausforderung für die Demontage besteht in der prinzipiellen Unvorhersehbarkeit der genauen Demontageaufgabe, z. B. hinsichtlich (vgl. Birnkraut/Burmeister (1993), S. 43; Reinhart/Friess (1995), S. 299; Seliger/Kriwet (1993), S. 530):

- der Altproduktanfallmengen,
- der Variantenvielfalt,
- der Altproduktzustände,
- der mangelnden Demontagegerechtigkeit,
- der in dem Altprodukt enthaltenen Stoffe und Komponenten,
- der Demontagetiefe und damit der notwendigen Arbeitsgänge und erzeugbaren Demontageprodukte sowie
- unerwartet auftretender Prozesskräfte bei der Demontage.

In einen Demontageprozess gehen *Altgeräte* ein. Als Altgeräte werden technisch komplexe Altprodukte bezeichnet, die durch das Vorliegen

- einer Vielzahl von *Verbindungen*,
- einer Vielzahl von *Stoffen* und
- einer vielschichtigen und verflochtene *Baustruktur* gekennzeichnet sind.

Der Output des Demontageprozesses wird unterschieden in

- *Demontageerzeugnisse* (s. Kapitel 2.1.1) und
- *Restmüll* (s. Kapitel 2.1.1).

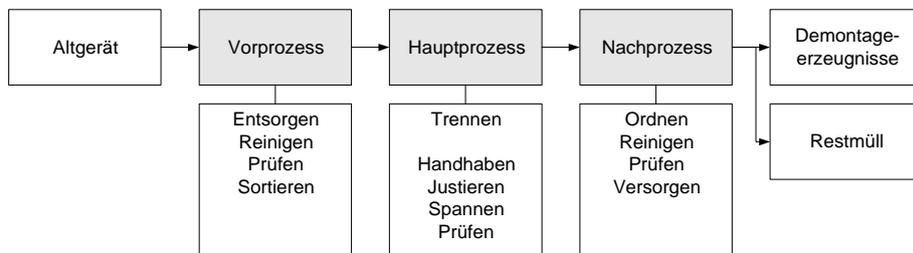
3.2.1 Systeme

Ein Demontagesystem umfasst materielle, energietechnische und informationstechnische Strukturen, die den Demontageprozess bewirken (vgl. Spur (1997), S. 4-1). Ein Demontagesystem besteht aus Demontagemitteln (z. B. Fertigungshilfsmitteln, Betriebsmitteln), Demontagepersonal und Demontageobjekten (z. B. Altgeräten). Die Grundfunktion eines Demontagesystems ist die Transformation von Altgeräten in Demontageerzeugnisse und Restmüll. Demontagesysteme müssen sich bei geringen Investitions- und Betriebskosten an unterschiedliche Marktsituationen und Altprodukteigenschaften anpassen können. Die

hohen Flexibilitätsanforderungen führen zumeist dazu, dass die Demontage manuell und mit einfachen Betriebsmitteln durchgeführt wird. Aus dem hohen Personalaufwand resultieren in der Regel erhebliche Demontagekosten (vgl. Feldmann/Meedt (1996), S. 30; Seliger/Hentschel (1996), S. 42).

3.2.2 Prozesse

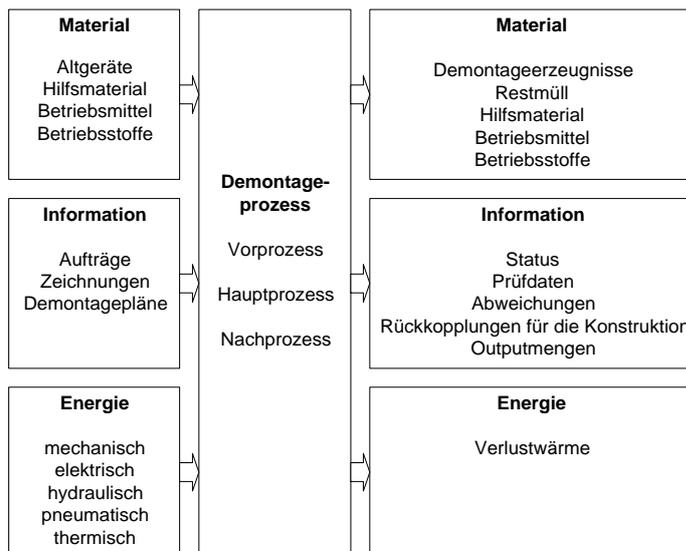
Ein Demontageprozess bezeichnet die Gesamtheit der Arbeitsabläufe und Veränderungen materieller, energetischer und informationstechnischer Art im Demontagesystem (vgl. Spur (1997), S. 4-1). Demontageprozesse dienen der fortschreitenden Verminderung eines Zusammenhalts gefügter Komponenten. Demontageprozesse können nach ihrer chronologischen Reihenfolge in *Vor-*, *Haupt-* und *Nachprozesse* gegliedert werden (s. Abb. 3.2):



Vgl. Spur (1997), S. 4-4

Abb. 3.2: Demontageprozess

Material, Energie und Information gehen in den Demontageprozess ein und werden z. T. transformiert (s. Abb. 3.3).



Vgl. Spur/Helwig (1986), S. 594

Abb. 3.3: Transformationsprozess

Weiterhin können Demontageprozesse nach ihrer *Funktion* beschrieben werden. Hierbei wird unterschieden zwischen Prozessen, die für die Trennung einzelner Objekte aus dem Verbund notwendig sind (sog. Löseprozesse) und begleitenden Prozessen, die den Trennvorgang vor- bzw. nachbereiten oder übergeordnete Informationsaufgaben wahrnehmen (vgl. Barth u. a. (1993), S. 142f.):

- Löseprozesse:
 - geometrische Prozesse (z. B. Handhabung)
 - physikalische Prozesse (z. B. Zufuhr von Kraft)
- Begleitende Prozesse:
 - Nebenprozesse (z. B. Reinigung)
 - Informationsprozesse (z. B. Komponentenerkennung)
 - Positionierungsprozesse
 - Kontrollprozesse
 - Steuerungsprozesse

3.2.3 Strategien

Die Demontage kann in der Regel dann sinnvoll eingesetzt werden, wenn funktionsfähige bzw. leicht aufarbeitbare Komponenten gewonnen werden können, wertvolle Werkstoffe den Aufwand rechtfertigen oder Schadstoffe separiert werden müssen (vgl. Spur (1997), S. 1-9). Die *Demontagestrategie* beschreibt in diesem Zusammenhang den Umfang, in dem Demontageaktivitäten an einem Altgerät durchgeführt werden. Es lassen sich drei Strategien unterscheiden:

1. *Keine Demontage*: Bei Anwendung der Strategie *keine Demontage* wird ein Altgerät ohne Umwege einer Verwertung bzw. Beseitigung zugeführt. Für technisch komplexe Geräte kommt diese Strategie selten in Betracht, da in diesem Fall auch keine Schadstoffentfrachtung stattfindet. Technische Geräte enthalten in der Regel Schadstoffe (z. B. Öle, Kondensatoren, Akkumulatoren). Die negative Wirkung dieser Stoffe auf ein im Ganzen geshreddertes Altgerät wäre evtl. so groß, dass die gesamte Stofffraktion als Sondermüll beseitigt werden müsste (vgl. Affüpper/Holberg (1999), S. 19f.). Eine Verwertung ohne vorherige Demontage könnte für das vielzitierte Einwerkstoffprodukt in Frage kommen, allerdings ist das Einwerkstoffprodukt per Definitionem kein technisch komplexes Produkt (s. Kapitel 3.2), zudem könnte auch in diesem Fall eine Demontage zur Wertschöpfungserhaltung u. U. sinnvoll sein.

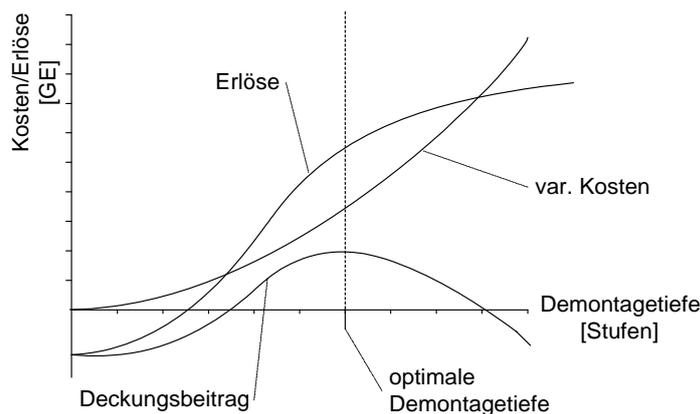
2. *Komplettdemontage*: Die *Komplettdemontage* hat die vollständige Trennung des Altgerätefügeverbunds zum Ziel. Durch den höheren Zeitaufwand, geringeren Massendurchsatz und höhere Personalkosten ist die *Komplettdemontage* nur in Ausnahmefällen wirtschaftlich und ökologisch sinnvoll (vgl. Spur (1997), S. 1-9). Ein Ziel der Demontage besteht darin, die in den Altgeräten enthaltene Wertschöpfung zu bewahren.
3. *Teildemontage*: Die Strategie *Teildemontage* lässt sich nach den verfolgten Zielen (Schadstoffentfrachtung, Materialrecycling und Produktrecycling) einteilen:
 - a) Bei der *Schadstoffentfrachtung* findet eine Demontage nur insoweit statt, wie sie für die Entfernung der in einem Produkt enthaltenen Schadstoffe notwendig ist. Da sich die Demontage bezüglich ihres Aufwands und des geschaffenen Ertrags stets an alternativen Behandlungsprozessen messen lassen muss (vgl. Spur (1997), S. 1-9), ist die *Schadstoffentfrachtung* mit anschließender Aufbereitung oder Beseitigung ein übliches Entsorgungsverfahren (vgl. Affüpper/Holberg (1999), S. 20).
 - b) Ist die *Teildemontage* durch (sortenreine) Gewinnung von Stofffraktionen zur anschließenden Verwertung motiviert, liegt das Ziel des *Materialrecycling* vor. Diese Form der *Teildemontage* schließt Vorgänge einer *Schadstoffentfrachtung* ein.
 - c) Werden Komponenten erzeugt, die für einen Wiedereinsatz vorgesehen sind, zielt die *Teildemontage* auf das *Produktrecycling* ab. Diese Form der *Teildemontage* schließt in der Regel Vorgänge mit dem Ziel der *Schadstoffentfrachtung* bzw. des *Materialrecycling* ein.

Ausschlaggebend für die Entscheidung für eine bestimmte Demontagestrategie ist die erreichbare Wertschöpfung des Demontageprozesses, die durch folgende Funktionen beeinflusst wird (vgl. Broschk/Röhm (1996), S. 104; Wiendahl et al. (1999), S. 722):

- Kosten-/Erlösverhältnis der Demontage
- Absatzmöglichkeit für Demontageerzeugnisse
- Beseitigungsmöglichkeiten für anfallende Schadstoffe
- Handlung im Rahmen gesetzlicher Vorgaben
- Gezielte Beschaffungsmöglichkeiten für Altgeräte
- Servicevereinbarungen (Entsorgungsverpflichtungen)
- Technische, personelle und logistische Potenziale der Demontagefabrik

Auf Grund der genannten Einflussfaktoren wird eine anzustrebende *Demontagetiefe* festgelegt, die als Eingabeparameter die durchzuführenden Demontageoperationen für ein Altgerät bestimmt. Eines der Hauptziele bei der Bestimmung der *Demontagetiefe* ist die Maximierung der Deckungsbeiträge. Im Gegensatz zu den von außen vorgegebenen wirt-

schaftlichen und gesetzlichen Rahmenbedingungen sind Demontagekosten von Unternehmensseite her beeinflussbar. Die Erlöse für Demontageerzeugnisse steigen mit der Anzahl vereinzelter und wiedereinsetzbarer Komponenten und der Sortenreinheit der Wertstoffe. Die Differenz zwischen variablen Kosten und Erlösen stellt den Deckungsbeitrag dar (s. Abb. 3.4), dessen Maximum sich ergibt, wenn der horizontale Abstand zwischen Kosten und Erlösfunktion maximal ist und so die optimale Demontagetiefe bestimmt (vgl. Tritsch (1996), S. 18).



Vgl. Navin-Chandra (1994), S. 67

Abb. 3.4: Bestimmung der optimalen Demontagetiefe

Die Demontagetiefe wird in der Regel in Gewichtsprozenten angegeben, was daraus zu erklären ist, dass Schrott nicht als Menge von Einzelgeräten, sondern als Masse betrachtet wird (vgl. Werder (1996), S. 105). Im Rahmen dieser Arbeit sind solche Angaben unbrauchbar, da sich hieraus keine Handlungsanweisungen ergeben. Außerdem deutet der Begriff *Demontagetiefe* an, dass sich der Umfang durchgeführter Demontageverrichtungen in einer einzelnen Maßzahl eindeutig beschreiben lässt. Dies ist aber nur dann der Fall, wenn es genau eine einzige technisch mögliche Reihenfolge für alle Demontageverrichtungen gibt (vgl. Kriwet (1995), S. 66). In dieser Arbeit wird Demontagetiefe daher nicht als numerische, sondern als eine aus den Demontageoperationen abgeleitete Größe betrachtet.

In der Literatur wird die *optimale* Demontagetiefe als derjenige *Demontagezustand* bezeichnet, „dem der höchste Deckungsbeitrag zugeordnet ist, bzw. diejenigen Operationen, die bis zu diesem Zustand durchgeführt worden sind“ (Werder (1996), S. 120). Dies sind zwei nicht äquivalente Definitionen der Demontagetiefe, da ein Demontagezustand durch verschiedene Abfolgen von Demontageoperationen erreicht werden kann. Diese Demontageoperationen können in verschiedenen Reihenfolgen auch unterschiedliche Kosten verursachen, folglich unterschiedliche Deckungsbeiträge liefern. Die optimale Demontagetiefe soll in dieser Arbeit definiert werden als diejenige *Abfolge von Demontageoperationen*, die

den Deckungsbeitrag maximiert. Die (optimale) Demontagetiefe kann also nur durch einen (optimalen) Demontageplan eindeutig beschrieben werden.

Die optimale Demontagetiefe ist für komplexe technische Geräte nur sehr schwer zu bestimmen. Bei der Bestimmung der Abfolge von Demontageoperationen (dem Demontageplan) treten u. a. folgende Probleme auf:

- *Fehlende bzw. unzureichende Datenbasis:* Es existieren oft keine Daten über Demontagezeiten oder mögliche Demontagereihenfolgen der Komponenten bzw. Verbindungselemente.
- *Komplexität des Optimierungsproblems:* Durch die große Anzahl möglicher Demontagereihenfolgen (im Extremfall exponentiell zur Anzahl der zu demontierenden Teile)⁴³ ist die Bestimmung der optimalen Demontagereihenfolge sehr rechenaufwendig.
- *Unsicherheit:* Teilweise ist erst während der Demontage erkennbar, welche Demontageoperationen durchführbar bzw. durchzuführen sind, da nutzungsbedingte Veränderungen (z. B. durch Reparaturen, Korrosion) nicht von vornherein feststellbar sind. Neben der Unsicherheit bezüglich des Demontageablaufs ist ebenso unsicher, welche Altgeräteteile sich zum Wiedereinsatz eignen (vgl. Guide (1999), S. 106).
- *Kostenzuordnung:* Eine korrekte Kostenzuordnung ist lediglich bei linearer Ausbaureihenfolge (und auch dort nur bis zum vorletzten Teil) möglich. Bei einer komplexen Baustruktur fallen, ähnlich wie bei der Kuppelproduktion, einige Teile als Nebeneffekt der Demontage anderer Teile an. Die Zuordnung entstandener Kosten auf ein bestimmtes Teil ist daher in der Regel nicht möglich⁴⁴.

Bei der Bestimmung der optimalen Demontagetiefe, d. h. des Demontageplans, können zwei Vorgehensweisen unterschieden werden⁴⁵:

- Bei der *prädiktiven Demontagetiefenbestimmung* wird der Demontageumfang vor Beginn der Demontage festgelegt.
- Bei der *reaktiven Demontagetiefenbestimmung* wird der Demontageumfang während der Demontage festgelegt, da davon ausgegangen wird, dass vor Beginn der Demontage noch nicht alle relevanten Daten bekannt sind.

⁴³ Für n Teile existieren maximal $n!$ verschiedene Demontagereihenfolgen.

⁴⁴ Die Demontage mit dem Ziel, ein einzelnes Teil zu erzeugen und den Rest des Altgeräts z. B. zu verwerten, bildet hierbei keine Ausnahme, da der Werkstoffverbund im Altgerät durch die erfolgten Demontageaktivitäten vermindert wurde und sich dadurch Verwertungsvorteile ergeben könnten.

⁴⁵ Zu Methoden der Demontagetiefenbestimmung vgl. u. a. Gungor/Gupta (1998); Kriwet (1994); Navin-Chandra (1994); Spengler (1994); Tritsch (1996); Werder (1996).

3.3 Betriebstypen

Nachfolgend wird, ausgehend von einer allgemeinen Grundform, unter Berücksichtigung demontagespezifischer Systeme, Prozesse und Strategien sowie Aufbau- und Ablauforganisation, die *Demontagefabrik-Betriebstypologie* abgeleitet.

3.3.1 Grundform und Struktur

Industrieunternehmen werden häufig anhand der vorliegenden *Auftragsauslösungsart* klassifiziert. Hierbei können die beiden (extremen) Ausprägungen *Produktion auf Lager* und *Produktion auf Bestellung mit Einzelaufträgen* unterschieden werden (vgl. Kurbel (1999), S. 111ff.). Diese Merkmalsausprägungen bedingen in der Regel weitere Eigenschaften eines Unternehmens, die im Folgenden beschrieben werden. Insbesondere müssen die Aufgaben und Lösungsansätze der Produktionsplanung und -steuerung hinsichtlich des betrachteten Betriebstyps differenziert werden (vgl. Kurbel (1999), S. 32). *Betriebstypen* bezeichnen Betriebe ähnlicher Struktur, die gleiche Anforderungen an einen bestimmten Aufgabenbereich, z. B. die Produktionsplanung und -steuerung (PPS), stellen (vgl. Hackstein (1989), S. 21).

Betriebe, mit der Merkmalsausprägung *Produktion auf Lager* fertigen ihre Erzeugnisse für einen weitestgehend anonymen Markt, zumeist in Großserien- oder Massenproduktion auf Lager. Dieser Betriebstyp ist durch ein standardisiertes Programm und einen gleichförmigen bzw. zumindest in Grenzen prognostizierbaren Absatz gekennzeichnet. Der Primärbedarf wird für den gesamten betrachteten Planungshorizont festgelegt. Aus dem Primärbedarf lässt sich der Sekundärbedarf ermitteln, unter Berücksichtigung des Lagerbestands ergibt sich der zu produzierende Nettobedarf (vgl. Kurbel (1999), S. 111ff.).

Der *Auftragsfertiger* stellt seine Produkte auf Grund konkreter Kundenaufträge nach Kundenspezifikationen her. Auftragsorientierte Fertigung ist meist im Bereich der Investitionsgüterproduktion anzutreffen. Vordergründiges Ziel der PPS bei Auftragsfertigung ist die termingerechte Abwicklung von Kundenaufträgen. Die Auftragsauslösung erfolgt durch Produktion auf Bestellung mit Einzelaufträgen, die Fertigungsart ist in der Regel Einmal-, Einzel- oder Kleinserienfertigung (vgl. Kurbel (1999), S. 189ff.). Bei der Auftragsfertigung muss von lückenhaften Grunddaten ausgegangen werden. Die genauen Produktstrukturen werden erst mit dem Kundenauftrag festgelegt, daher liegen zumeist keine definierten Stücklisten und Arbeitspläne vor. In diesem Fall muss auf Erfahrungs- oder Durchschnittswerte zurückgegriffen werden, genaue Planungsergebnisse können daher nicht erwartet werden.

Die Gründe für die Unsicherheit bei Auftragsfertigung sind in den

- unvollständigen Grunddaten,
- unbekanntem Bearbeitungszeiten und
- größeren Fehlerbehaftungen der (zum einmaligen Gebrauch) erstellten Strukturdaten (z. B. Arbeitspläne, Stücklisten) zu suchen (vgl. Kurbel (1999), S. 193f.).

Bei einem reinen Auftragsfertiger stellen die planungsperiodenbezogenen Kundenaufträge den Primärbedarf dar. Da weder Endproduktarten noch Kundenaufträge im Vorhinein feststehen, werden Prognosemethoden (wie sie bei der Programmfertigung zum Einsatz kommen) für die Primärbedarfsplanung nicht verwendet. Eine langfristige Produktgruppenplanung auf Basis von Prognosewerten ist jedoch denkbar. Im Rahmen der Bedarfsplanung kann zwischen erwartungsbezogener und kundenauftragsbezogener Disposition unterschieden werden. Die erwartungsbezogene Disposition bezieht sich auf Standardteile, die verbrauchsgesteuert geplant werden. Kundenauftragsbezogene Teile werden in der Regel bedarfsgesteuert disponiert.

Merkmal	Merkmalsausprägungen			
Erzeugnis-spektrum	Erzeugnisse nach Kundenspezifikation	Typisierte Erzeugnisse mit kundenspezifischen Varianten	Standarderzeugnisse mit Varianten	Standarderzeugnisse ohne Varianten
Erzeugnis-struktur	Einteilige Erzeugnisse	Mehrteilige Erzeugnisse mit einfacher Struktur	Mehrteilige Erzeugnisse mit komplexer Struktur	
Auftragsaus-lösungsart	Produktion auf Bestellung mit Einzelaufträgen	Produktion auf Bestellung mit Rahmenaufträgen	Produktion auf Lager	
Dispositionsart	Disposition kundenauftragsorientiert	Disposition überwiegend kundenauftragsorientiert	Disposition überwiegend programmorientiert	Disposition programmorientiert
Beschaffungsart	Fremdbezug unbedeutend	Fremdbezug in größerem Umfang	Weitestgehender Fremdbezug	
Fertigungsart	Einmalfertigung	Einzel- und Kleinserienfertigung	Serienfertigung	Massenfertigung
Organisationsform	Baustellenfertigung	Werkstattfertigung	Gruppen-/ Linienfertigung	Fließfertigung
Fertigungsstruktur	Fertigung mit einer Stufe	Fertigung mit mittlerer Anzahl Stufen	Fertigung mit großer Anzahl Stufen	

Vgl. Schomburg (1980)

Abb. 3.5: Morphologischer Kasten zur Betriebstypologie⁴⁶

Zwischen den Extremformen *Produktion auf Lager* und *Produktion auf Bestellung mit Einzelaufträgen* ist das Spektrum der Mischformen angesiedelt. Im Folgenden wird die der Arbeit zu Grunde liegende Betriebstypologie für den Betriebstyp *Demontagefabrik* erläu-

⁴⁶ In der Originalquelle wird das Merkmal *Organisationsform* als *Fertigungsablaufart* bezeichnet, und die Merkmalsausprägungen des Merkmals *Fertigungsstruktur* beziehen sich auf eine Fertigung mit geringer, mittlerer und großer *Tiefe*. Die Umbenennungen waren notwendig, um Konflikte mit der in der Betriebswirtschaft üblichen Verwendung der Begriffe auszuschließen (vgl. Rautenstrauch (1997a), S. 5).

tert⁴⁷. Auf Basis dieser Klassifikation können grundlegende Anforderungen, die im Rahmen eines bestimmten Betriebstyps an PPS-Konzepte gestellt werden, abgeleitet werden. Die relevante Betriebsstruktur wird über die Ausprägung von acht Betriebsstrukturmerkmalen klassifiziert (s. Abb. 3.5).

Die Demontagefabrik weist in Teilen eine andere Merkmalsrelevanz auf als konventionelle Betriebe. Daher wird im Folgenden eine demontagebetriebsspezifische Anpassung der Typologie vorgenommen.

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

Abb. 3.6: Morphologischer Kasten zur Demontagefabrik-Betriebstypologie

Die Bewertung der beiden ersten Merkmale besteht darin, erzeugte Produkte zu klassifizieren (z. B. hinsichtlich Variantenvielfalt, Komplexität) – auch um Rückschlüsse auf die Komplexität der Fertigung zu erlauben. Wie bereits erläutert (s. Kapitel 3.1 und 3.2) liegt der Tätigkeitsschwerpunkt der hier untersuchten Demontagefabrik auf der Erfüllung originärer Demontagetätigkeiten mit dem Ziel der Rückgewinnung von Komponenten und der Separierung von Stoffen zur Verwertungsvorbereitung. Die Demontage hängt daher von der vorgefundenen Struktur der Altgeräte ab und nicht von der Struktur der erzeugten Produkte (Komponenten). In diesem Zusammenhang ist nicht relevant, ob ein Demontageergebnis von komplexer oder einfacher Struktur ist, vielmehr ist die Struktur von Inter-

⁴⁷ Diese Betriebstypologie wurde von Schomburg entwickelt (vgl. Schomburg (1980)) und wird in der Literatur zu PPS- und PRPS-Systemen häufig (z. T. modifiziert) verwendet (vgl. Glaser u. a. (1992), S. 409ff.; Hackstein (1989), S. 21ff.; Kurbel (1999), S. 32ff.; Rautenstrauch (1997a), S. 5ff.).

esse, die überwunden (demontiert) werden muss, um ein bestimmtes Demontageprodukt zu erzeugen.

Neben demontagespezifischen Anpassungen der konventionellen Merkmale bzw. Merkmalsausprägungen, wird das Merkmal *Produktions-Integrationsform* neu in den morphologischen Kasten aufgenommen. Zusammen mit den übrigen Merkmalen bzw. Ausprägungen wird es im Folgenden besprochen.

Die Betriebstypologie wird in Abb. 3.6 entsprechend angepasst. Die angepassten bzw. neu hinzugefügten Merkmale und deren Ausprägungen werden etwas abgesetzt, um die vorgenommenen Änderungen zu verdeutlichen.

3.3.2 Demontagefabrik-Betriebstypologie

Die relevanten Merkmalsausprägungen werden nachfolgend beschrieben und in den morphologischen Kasten übertragen. Die einzelnen Merkmale werden dabei nicht nur im Hinblick auf Ausprägungsmöglichkeiten im Rahmen des Betriebstypologiemodells, sondern auch hinsichtlich anderer für die Charakterisierung der Demontagefabrik wichtiger Einflussfaktoren beschrieben.

Altproduktspektrum

Das betrachtete *Altproduktspektrum* besteht aus technisch komplexen Altgeräten (s. Kapitel 3.2), demnach werden *Standardaltprodukte mit bzw. ohne Varianten* (z. B. Altautos bzw. Waschmaschinen) ebenso berücksichtigt wie *typisierte Altgeräte mit kundenspezifischen Varianten* (z. B. Werkzeugmaschinen mit auftragsbezogenen Anpassungskonstruktionen). Kundenspezifische Neukonstruktionen werden nicht betrachtet, da die Demontage technisch komplexer Güter (mit dazugehörigen Testdemontagen, Erstellung von Stücklisten, Ermittlung des besten Demontepfads usw.) in der Regel erst durch wiederholte Durchführung wirtschaftlich wird.

Altproduktart und *Herstellerbezug* beeinflussen das zu demontierende Altproduktspektrum (s. Abb. 3.7):

- *Altproduktart*: Die Produktannahme kann sich auf einen oder mehrere Produkttypen (z. B. Waschmaschinen), eine oder mehrere Produktgruppen (z. B. Weiße Ware) beschränken oder unabhängig von Produkttyp und -gruppe erfolgen (z. B. alle Produkte einer Firma).

- *Herstellerbezug*: Die von einer Demontagefabrik angenommenen Produkte können entweder Produkte (bzw. Teile der Produktpalette) eines Herstellers umfassen (*spezifisch*) oder unabhängig (*neutral*) vom Produzenten sein.

Merkmale	Merkmalsausprägungen		
Altproduktart	typenoffen	typengebunden (Produktgruppe)	typengebunden (Produkttyp)
Produzentenbezug	neutral	spezifisch	X

Abb. 3.7: Morphologischer Kasten zum Altproduktspektrum

Weiterhin können Kombinationen der verschiedenen Ausprägungen vorliegen: Eine Demontagefabrik könnte sich auf eine bestimmte Produktgruppe spezialisieren und dennoch (z. B. zum Ausgleich evtl. Überkapazitäten) andere, typfremde Altgeräte annehmen.

Altproduktstruktur

Schomburg definiert Produkte mit bis zu einhundert Stücklistenpositionen als *mehrteilige Altprodukte mit einfacher Struktur*, Erzeugnisse mit mehr als drei Strukturstufen und mehr als zweihundert Stücklistenpositionen gelten als *mehrteilige Altprodukte mit komplexer Struktur* (vgl. Schomburg (1980), S. 90). Wird angenommen, dass im Verlauf der Demontagetätigkeiten weniger als zweihundert Positionen vereinzelt werden, könnte die Ausprägung *mehrteilige Altprodukte mit komplexer Struktur* ausgeschlossen werden. Da aber nicht unrealistisch ist, dass ein PPS-System mehr als zweihundert Positionen pro Altgerät verwalten muss (z. B. in einer Maximalstückliste), wird die Ausprägung *mehrteilige Altprodukte mit komplexer Struktur* mit einbezogen.

Auftragsauslösungsart

Dieses Merkmal beschreibt die Bindung der Demontage an den Absatzmarkt. Das Kriterium zur Differenzierung der verschiedenen Ausprägungen ist die *Art der Auflösung des Primärbedarfs* (vgl. Schomburg (1980), S. 48). Die Demontage kann einerseits durch das Vorliegen langfristiger Rahmenverträge mit wenigen Abnehmern (s. Kapitel 2.3.1) ausgelöst werden, andererseits müssen Kundenbedarfe auch über Komponenten- bzw. Wertstofflager befriedigt werden können. Aufträge werden daher durch Rahmenverträge (*Demontage auf Bestellung mit Rahmenaufträgen*) oder Absatzprognosen (*Demontage auf Lager*) ausgelöst.

Die traditionelle Auftragsauslösung ist damit beschrieben, allerdings wurde die Doppelfunktion der Demontagefabrik (s. Kapitel 3.1) noch nicht berücksichtigt. Da die Demonta-

gefabrik Produktions- und Serviceleistungen erfüllt, können Aufträge auch durch Entsorgungsverpflichtungen gegenüber z. B. Herstellern oder Entsorgungsdienstleistern ausgelöst werden. In diesem Zusammenhang ist es irrelevant, ob den Aufträgen Demontageerzeugnis-Bedarfe gegenüberstehen. Als Bindungsarten an den Entsorgungsmarkt lassen sich Rahmenverträge oder Annahmeprognozen nennen⁴⁸.

Aus der Ausrichtung des zu erarbeitenden Konzepts zur Demontageplanung auf das Produktrecycling, d. h. den Wiedereinsatz von Komponenten, ergibt sich eine Fokussierung auf die Erzeugung von Demontageprodukten. In Abgrenzung zur push-orientierten Fließdemontage, bei der anfallende Altgeräte demontiert werden, kann hier von einer pull-orientierten *on-demand Demontage* gesprochen werden, bei der Altgeräte nur dann im Hinblick auf ein Produktrecycling demontiert werden, wenn ein entsprechender Bedarf (Kunden- oder Lagerbedarf) an Demontageerzeugnissen besteht. Demontageerzeugnisse repräsentieren den Treiber der Demontageplanung.

Dispositionart

Das Merkmal *Dispositionart* gibt Aufschluss darüber, in welcher Weise (*kundenauftrags-* oder *programmorientiert*) der Sekundärbedarf disponiert wird (vgl. Schomburg (1980), S. 54). Angewendet auf den Fall der Demontage besteht der Sekundärbedarf aus Altgeräten, die das Dispositionsobjekt darstellen.

Die Nachfrage nach Demontageerzeugnissen wird durch eine *programm-* und *kundenauftragsorientierte Disposition* geplant, d. h. ein Altgerät wird nur dann eingeplant, wenn durch seine Demontage eine vorhandene bzw. prognostizierte Nachfrage befriedigt werden kann. In der Regel kann nur die Beschaffung eines Teils der Altgeräte geplant werden, deren Demontage im Rahmen der freien Kapazitäten der Demontagefabrik eingeplant werden kann (s. Abb. 3.8).

⁴⁸ In speziellen Bereichen, z. B. in der Schwermaschinen-, Schiffs- oder Gebäudedemontage kann evtl. auch die Auftragsauslösungsart *Demontage auf Bestellung mit Einzelaufträgen* hinzugerechnet werden. Diese Bereiche werden im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter berücksichtigt, sodass auch die entsprechende Auftragsauslösungsart nicht von Bedeutung ist.

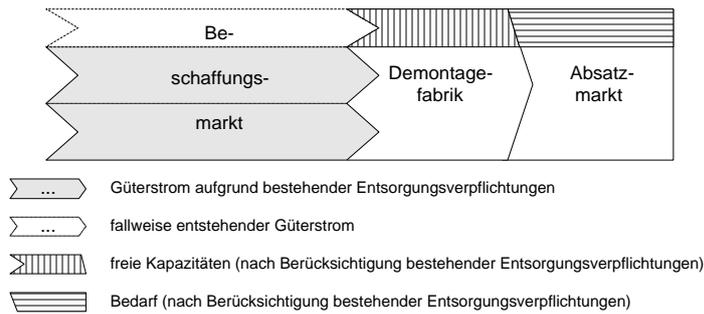


Abb. 3.8: Kapazitäten und Güterströme der Demontagefabrik

Beschaffungsart

Die *Beschaffungsart* gibt den Umfang des *Fremdbezugs* im Rahmen der betrieblichen Erstellung von Sachleistungen an (vgl. Schomburg (1980), S. 63). Mit Fremdbezug wird dabei der Bezug von Vorprodukten bezeichnet (vgl. z. B. Hoitsch (1985), S. 168ff.). Die Demontagefabrik bezieht Komponenten bzw. Altgeräte, diese stellen jedoch im obigen Verständnis keine Vorprodukte, sondern Rohstoffe dar. Ein Fremdbezug würde vorliegen, wenn andere Betriebe (z. B. Entsorgungsdienstleister) Demontageleistungen erbringen und die Demontagefabrik z. B. vordemontierte Komponenten beschafft. Im Folgenden wird davon ausgegangen, dass die extern erbrachten Demontageleistungen (z. B. Schadstoffentfrachtung) im Vergleich zur Gesamtleistung relativ unbedeutend sind.

Im Gegensatz zur konventionellen Fließdemontage besteht das Ziel des hier vorgestellten Ansatzes darin, diejenigen Komponenten zu erzeugen (zu demontieren), nach denen ein Bedarf besteht. In diesem Zusammenhang müssen die planerischen Voraussetzungen geschaffen werden, Altgeräte zielgerichtet beschaffen zu können. Die Beschaffung bezeichnet im Rahmen dieser Arbeit nicht ausschließlich die Bestellung von Inputfaktoren. Vielmehr wird davon ausgegangen, dass Demontagefabriken in ein überbetriebliches Entsorgungs- bzw. Verwertungsnetzwerk eingebunden sind (s. Kapitel 3.4) und der Altgerätefluss durch eine intelligente Logistik bedarfsgerecht gesteuert werden kann.

Neben der zielgerichteten Altgerätebeschaffung (im Rahmen der *Produktionsleistung*) können (im Rahmen der *Serviceleistung*) natürlich unbeeinflussbar Altgeräte anfallen, die von der Demontagefabrik für eine Verwertung bzw. Beseitigung vorbereitet werden müssen. Um überflüssige Altgerätebestände zu vermeiden, werden die aus der Serviceleistung heraus anfallenden Altgeräte so weit möglich zur Befriedigung bestehender Demontageerzeugnis-Bedarfe genutzt. Die derzeitige Situation auf dem Entsorgungsmarkt ist (noch) geprägt vom unbeeinflussbaren, zum Großteil nicht oder schlecht prognostizierbarem Altgeräteanfall. In einigen Bereichen (z. B. Ersatzteilhandel) entwickelt sich

zunehmend das Bedürfnis, Kundenwünsche gezielt befriedigen zu können⁴⁹. Im Rahmen der Demontageplanung sollte es daher möglich sein, unbeeinflussbar anfallende Altgeräte effizient zur Erzeugung von Demontageprodukten zu nutzen und entstehende Unterdeckungen effizient aus zusätzlich beschafften Altgeräten zu befriedigen.

Demontageart

Das Merkmal *Demontageart* kennzeichnet die Häufigkeit der Leistungswiederholung (vgl. Schomburg (1980), S. 68). Die im Rahmen dieser Arbeit betrachtete Demontagefabrik ist weder durch *Massen-* noch durch *Einmaldemontage* gekennzeichnet. Massendemontage liegt z. B. bei der Demontage von Einmalkameras vor (vgl. Perlewitz et al. (1999), S. 224), als Einmaldemontage kann z. B. die Demontage einer Bohrrinsel bezeichnet werden. Kennzeichen der hier untersuchten Demontagefabriken sind Heterogenität und Komplexität der zu demontierenden Altgeräte, daher wird versucht, die Häufigkeit der Leistungswiederholung zu erhöhen. Damit charakterisiert die *Einzel- und Kleinserien-demontage* die Häufigkeit der Leistungswiederholung für die hier untersuchte Form der Demontagefabrik hinreichend genau. Die Einzel- und Kleinseriendemontage ist gekennzeichnet durch eine durchschnittliche Auftragszeit von unter sechzehn Stunden und eine Auflagenhöhe von unter einhundert Stück (vgl. Schomburg (1980), S. 92).

Organisationsform

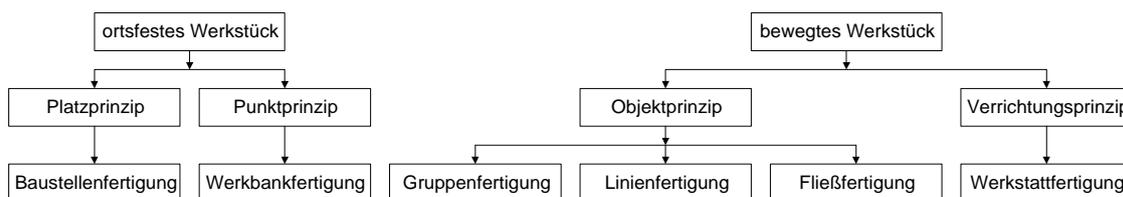
Die *Organisationsform* wird durch die räumliche Anordnung und kapazitätsmäßige Abstimmung der Betriebsmittel sowie durch Transportbeziehungen zwischen den Betriebsmitteln charakterisiert (vgl. Schomburg (1980), S. 78). Die Produktivität und die Flexibilität eines Demontagesystems wird im Wesentlichen durch die funktionale, räumliche und zeitliche Struktur der Organisationsform bestimmt (vgl. Hentschel (1996), S. 36). Es können vier Organisationsprinzipien (Platz-, Punkt-, Objekt- und Verrichtungsprinzip) unterschieden werden, aus denen sich Organisationsformen ableiten lassen (s. Abb. 3.9):

- *Baustellenfertigung* liegt vor, wenn Bearbeitungsmittel ans ortsfeste Werkstück herangebracht werden.
- Wenn Werkstücke an einer Bearbeitungsstation vollständig bearbeitet werden, wird von *Werkbankfertigung* gesprochen.
- *Gruppen-/Linienfertigung* ist durch die Zusammenfassung gleich oder ähnlich zu bearbeitender Objekte charakterisiert. Bei Gruppenfertigung sind unterschiedliche Ar-

⁴⁹ Darunter: *Mercedes-Benz ATC*, *Siemens-Nixdorf Informationssysteme*, *Xerox* (vgl. Huber (2000a), S. 59).

beitsvorgangsfolgen, bei der Linienfertigung nur gleiche Arbeitsvorgangsfolgen zugelassen.

- Werden gleich oder ähnlich zu bearbeitende Objekte mit stets gleichen Arbeitsvorgangsfolgen, starren Transportbeziehungen, exakter Kapazitätsabstimmung und unter Zeitzwang bearbeitet, wird von *Fließfertigung* gesprochen.
- Das Kennzeichen der *Werkstattfertigung* ist die Zusammenfassung der Bearbeitungsmittel nach dem Merkmal gleicher Verrichtungen.



Vgl. AWF (1984), S. 16

Abb. 3.9: Organisationsformen der Fertigung

Eine *Baustellendemontage* im oben beschriebenen Verständnis, d. h. analog zur Baustellenfertigung (vgl. AWF (1984), S. 16; Schomburg (1980), S. 78), kommt im Rahmen der hier untersuchten Demontagefabrik nicht in Betracht, da die Werkstücke grundsätzlich an die Bearbeitungsstationen gebracht werden und nicht umgekehrt⁵⁰. Die Gemeinsamkeiten der beiden Organisationsformen *Baustellen-* und *Werkbankdemontage* sind jedoch relativ groß:

- Das Werkstück bleibt während der Bearbeitung ortsfest.
- Einige Bearbeitungsmittel (z. B. Werkzeuge), um die evtl. mehrere Demontageaufträge konkurrieren, werden ans ortsfeste Werkstück gebracht.

Da dem Merkmal Organisationsform des vorliegenden Betriebstypologiemodells die Ausprägung *Werkbankdemontage* fehlt, die Werkbankdemontage als Organisationsform der Demontage aber von großer Bedeutung ist⁵¹ (vgl. Hesselbach/Kühn (1998), S. 143), wird die Ausprägung *Baustellendemontage* durch *Werkbankdemontage* ersetzt⁵². Die *Gruppen-/Liniendemontage* eignet sich für kleinere bis mittlere und eingeschränkt für größere Serien, da eine wirtschaftliche Demontage unterschiedlicher Altgeräte mit großen Form- bzw. Bearbeitungsähnlichkeiten ebenso möglich ist, wie die Anpassung an neue Demontageverfahren und geänderte Ablauffolgen. Merkmale der *Fließdemontage* (z. B. exakte Kapazitätsabstimmung und zeitlich gebundener Arbeitsfortschritt) sind für die

⁵⁰ Eine Baustellendemontage liegt z. B. bei der Demontage einer Bohrinselfabrik vor.

⁵¹ Mercedes-Benz führt im Rahmen des Austauschmotorenrecycling eine Werkbankdemontage durch.

⁵² Teilweise werden Baustellenfertigung und Werkbankfertigung unter dem *Punktprinzip* vereinigt (vgl. Pape (1990), S. 35).

untersuchte Demontage nicht erfüllt, da die Demontage unter hoher Unsicherheit stattfindet (s. Kapitel 3.2) und hohe Flexibilitätsanforderungen an die Organisationsform stellt. Die Fließdemontage wird im Allgemeinen nur für den Fall der Massendemontage relevant (vgl. Pape (1990), S. 38) und hier nicht weiter betrachtet⁵³. Kennzeichen der *Werkstatt-demontage* ist die hohe Flexibilität gegenüber den wechselnden Anforderungen des Demontageprozesses (vgl. Hentschel (1996), S. 41; Schomburg (1980), S. 78). Als nachteilig bei der Werkstattdemontage erweist sich die mangelnde Übersichtlichkeit und der hohe innerbetriebliche Materialfließaufwand, wenn große Mengen an Altgeräten demontiert werden müssen (vgl. Hentschel (1996), S. 41).

Demontagestruktur

Die *Demontagestruktur* wird durch die Anzahl der Demontagestufen und die Anzahl aufeinanderfolgender Arbeitsvorgänge im Demontageprozess beschrieben (vgl. Schomburg (1980), S. 84). Die Ausprägung *Demontage mit einer Stufe* ist (neben der Einstufigkeit) eingeschränkt auf weniger als elf aufeinanderfolgende Arbeitsvorgänge (vgl. Schomburg (1980), S. 93). Diese Ausprägung könnte sich z. B. bei der Demontage von Leiterplatten ergeben oder wenn die Demontage lediglich der Schadstoffentfrachtung dient, um dann das gesamte Altgerät zu shreddern. Für die Demontage komplexer Altgeräte mit dem Ziel, einen hohen Anteil an wiedereinsatzbaren Sekundärprodukten zu gewinnen, ist diese Demontagestruktur nicht geeignet. Als *Demontage mit mittlerer Anzahl Stufen* werden Demontageprozesse bezeichnet, die bis zu drei Stufen aufweisen (vgl. Schomburg (1980), S. 84). Demontageprozesse mit einer höheren Stufenanzahl sollen nicht ausgeschlossen werden, daher werden die beiden Ausprägungen *Demontage mit mittlerer Anzahl Stufen* und *Demontage mit großer Anzahl Stufen* in die Betrachtungen einbezogen.

Produktions-Integrationsform

Die Ausprägungen des Merkmals *Produktions-Integrationsform* beschreiben den Grad, mit dem Aufgaben der Demontage mit denen der Produktion verknüpft sind. Demontage- bzw. recyclingintegrierende Produktionssysteme sind in der Lage, sowohl Neuprodukte herzustellen als auch Altgeräte zu demontieren bzw. rezyklieren. Durch die Integration können sich insbesondere Vorteile hinsichtlich Informationsversorgung, Logistik und Kapazitätsflexibilität ergeben (vgl. Jahn (1998), S. 27ff.). Allerdings erhöhen sich Aufgabenspektrum und Planungs- bzw. Steuerungsaufwand der Produktionslogistik, da die

⁵³ Im Fall der Demontage von Einmalkameras kann es zur Massendemontage und damit zur Organisationsform der Fließdemontage kommen (vgl. Perlewitz et al. (1999), S. 224).

Prozesse Produktion und Demontage sowie deren Interdependenzen berücksichtigt werden müssen (vgl. Jahn (1998), S. 44ff.). Die Demontage wird räumlich und unter Nutzung gemeinsamer Kapazitäten in oder sogar während der Produktion durchgeführt. Das Ziel dieses Konzepts besteht vor allem darin, Kapazitätsüberhänge wirtschaftlich nutzen zu können, außerdem werden die Subziele Arbeitsbereicherung und Vereinfachung der Logistik (im Gegensatz zur anschließenden Demontage bzw. Produktion) genannt (vgl. Grob (1993), S. 76f.). Die Merkmalsausprägung *Addition* weist keinerlei hauptprozessübergreifenden Kapazitätsübertragungspotenziale auf⁵⁴. Demontageaufgaben bzw. -betriebsmittel werden lediglich zur Produktion addiert. Bei Addition sind die Betriebsmittel unifunktional zu betrachten (vgl. Jahn (1998), S. 83f.). Eine weitere Produktions-Integrationsform besteht in der *Kombination* von Demontage und Produktion. Die Kombination weist z. T. hauptprozessübergreifende Kapazitätsübertragungspotenziale auf. Bestimmte Betriebsmittel sind bifunktional gestaltet, sodass Aufgaben der Demontage und der Produktion auf ihnen ausgeführt werden können (vgl. Jahn (1998), S. 85f.). Durch das Vorliegen von Kapazitätsübertragungspotenzialen ist insbesondere eine ergänzte Kapazitätenkonkurrenz zu berücksichtigen. Bei der *vollständigen Integration* kommt es zur zeitweiligen kompletten Kapazitätsübertragung auf die Demontage bzw. Produktion. Die Demontageaufgaben sind vollständig in die Produktion implementiert. Die Betriebsmittel sind bifunktional gestaltet und eine Zuordnungsmöglichkeit von Fertigungsbereichen zur Produktion oder zur Demontage ist in der Regel nicht mehr gegeben. Vielmehr sind Fertigungsbereiche bestimmten Produktions- und (in der Regel verwandten) Demontageaufgaben zugeordnet (vgl. Jahn (1998), S. 86f.).

Die Demontagefabrik nimmt im Rahmen dieser Arbeit organisatorisch abgegrenzte Aufgaben der originären Demontage wahr, daher wird die Integration von Produktion und Demontage bzw. Recycling nicht weiter betrachtet.

Zusammenfassung

Die Ausführungen zu den besprochenen Merkmalen sind nachfolgend durch Darstellung in dem angepassten morphologischen Kasten zusammengefasst (s. Abb. 3.10). Die Ausprägungen der Betriebsstrukturmerkmale sind durch graue Unterlegung hervorgehoben.

Randbereiche der Demontage, die mit einer für die Demontage (bislang) atypischen Strukturiertheit oder Sicherheit ablaufen (z. B. die Demontage von Einmalkameras) orientieren sich eher an Vorgängen der konventionellen Montage und weisen die demonta-

⁵⁴ Hinsichtlich der Nebenprozesse können Kapazitäten (z. B. Transportkapazitäten) evtl. von Produktion und Demontage genutzt werden.

gespezifischen Kennzeichen nicht auf. Diese Demontagebereiche werden von der vorgestellten Betriebstypologie nicht erfasst.

Merkmale	Merkmalsausprägungen			
Altproduktspektrum	Altprodukte nach Kundenspezifikation	Typisierte Altprodukte mit kundenspezifischen Varianten	Standardaltprodukte mit Varianten	Standardaltprodukte ohne Varianten
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

Abb. 3.10: Morphologischer Kasten zur Demontagefabrik-Betriebstypologie mit Ausprägungen

3.4 Überbetriebliche Organisationsformen

Außer der Betriebstypologie, die auf die *innerbetriebliche* Struktur der Demontagefabrik gerichtet ist, müssen *überbetriebliche* Organisationsformen betrachtet werden. Hinsichtlich überbetrieblicher Organisation kann Recycling in drei Formen unterschieden werden (vgl. Kurbel/Rautenstrauch (1997), S. 301):

- *Herstellerrecycling*: Der Produkthersteller rezykliert die eigenen Altgeräte.
- *Kooperatives Recycling*: Ein Unternehmen übernimmt das Recycling für den Produkthersteller. Es kann dabei in der Regel auf Herstellerinformationen (z. B. Stücklisten, Arbeitspläne) zurückgreifen.

- *Anonymes Recycling*: Bestehen zwischen Produkthersteller und Recyclingbetrieb keine Beziehungen (insbesondere keine Informationsbeziehungen), wird von anonymem Recycling gesprochen⁵⁵.

Unter einem Unternehmensnetzwerk wird eine interorganisationale Organisationsform verstanden, die auf die Realisierung von Wettbewerbsvorteilen der vernetzten Unternehmen abzielt (vgl. Sydow/Windeler (1997), S. 147ff.). Wendet man die innerhalb der Unternehmensnetzwerktheorie verwendete Terminologie (*Markt*, *Kooperation* und *Hierarchie*) auf das Recycling an, lassen sich die drei beschriebenen Organisationsformen folgendermaßen einordnen (s. Tab. 3.1):

<i>Form</i>	<i>Kennzeichen (vgl. Picot u. a. (1997), S. 79ff.)</i>	<i>Ausprägung im Recyclingbereich</i>
Markt	<i>kurzfristige, z. T. spontane Transaktionsbeziehung (Ablauf: zwischen Unternehmen)</i>	anonymes Recycling
Kooperation	<i>langfristige Transaktionsbeziehung (Ablauf: zwischen Unternehmen)</i>	kooperatives Recycling
Hierarchie	<i>langfristige Transaktionsbeziehung (Ablauf: innerhalb eines Unternehmens bzw. eines vergleichbaren hierarchischen Gebildes)</i>	Hersteller-recycling

Tab. 3.1: Überbetriebliche Organisationsformen des Recycling

Im Rahmen der *Kooperation* können durch stabil angelegte Bindungen zwischen rechtlich selbstständigen Unternehmen Netzwerke konstituiert werden. Je nach Art und Stärke der Bindung kann die Kooperation auch kapitalmäßige Verflechtungen beinhalten. Typische Vertreter der Unternehmensnetzwerke sind (vgl. Sydow (1992)):

- Strategische Netzwerke
- Strategische Allianzen
- Regionale Netzwerke
- Virtuelle Unternehmen
- Industrielle Verwertungsnetzwerke (vgl. Schwarz (1994))⁵⁶

Unternehmensnetzwerke im Bereich der Kreislaufwirtschaft sind im Vergleich zu Netzwerken im Rahmen anderer Industriebereiche deutlich weniger verbreitet (vgl. Wildemann

⁵⁵ Untersuchungen in den USA ergaben, dass die meisten von ca. 2000 US-Unternehmen, die ausschließlich Produktrecycling betreiben, nicht an Originalhersteller gebunden, sondern als freie Unternehmen tätig sind (vgl. Warnecke (1995), S. 269).

⁵⁶ Beispiele sind: Verwertungsnetzwerke in Kalundborg/Dänemark und in der Steiermark/Österreich.

(1996), S. 334). Die Mehrheit der Demontageunternehmen in Deutschland ist zurzeit dadurch gekennzeichnet, dass sie ein *anonymes* Recycling durchführt, d. h. zwischen Hersteller und Demontageunternehmen bestehen weder rechtliche noch organisatorische Bindungen und es findet kein formalisierter Informationsaustausch statt (vgl. Hesselbach/Kühn (1998), S. 142). Lediglich Demontageaktivitäten auf sehr hohem Wertschöpfungsniveau (mit dem Ziel des Produktrecycling) werden derzeit auch *herstellerspezifisch* (im Rahmen des *Herstellerrecycling*) ausgeführt. Es ist zu erwarten, dass sich in Zukunft der Schwerpunkt zu *herstellernerutralen Kooperationsformen* verschoben wird (vgl. Bönker u. a. (1998), S. 265). Der Hauptgrund für diese Entwicklung ist in dem für eine wirtschaftliche *herstellerspezifische* Demontage und Aufarbeitung oft zu geringen Rücklaufvolumen zu suchen.

Nachfolgend sind existierende Netzwerke im Bereich der Kreislaufwirtschaft charakterisiert (s. Tab. 3.2):

<i>Name</i>	<i>Gründung</i>	<i>Kerngeschäftsfeld</i>
EGR	1993	Entsorgungsdienstleistungen
EUCAR	1992	Entsorgungsdienstleistungen, Weiterentwicklung von Demontagetechniken und Erschließung neuer Stoffkreisläufe (Automobilbranche)
Logex System	1993	Sammlung, Zerlegung, Aufbereitung und Verwertung
Von Roll MBB	1997	Sammlung, Zerlegung und Verwertung
Zentek	1995	Sammlung und Verwertung

Tab. 3.2: Unternehmensnetzwerke im Recyclingbereich

Die Kerngeschäftsfelder der vorgestellten Netzwerke verdeutlichen, dass der Schwerpunkt der Recyclingnetzwerke derzeit in der Erbringung von Entsorgungsdienstleistungen bzw. der Verwertung liegt. Aspekte des Wiedereinsatzes von Komponenten spielen eine untergeordnete Rolle: Während fast drei Viertel der Entsorgungsgüter einem Materialrecycling zugeführt werden, liegt der Anteil des Produktrecycling bei ca. 7 % (vgl. Hesselbach/Kühn (1998), S. 143).

Im Recyclingbereich liegt das Ziel der Netzwerkstruktur darin, dass Teilnehmer durch den besseren Informationstransfer Vorteile wie Kostenreduktion, Imageverbesserung oder Senkung des Verwertungsrisikos realisieren können (vgl. Schwarz (1994), S. 171). Kooperationsverträge ermöglichen es den Teilnehmern, Unternehmen vor- und nachgelagerter Stufen an sich zu binden und auf diese Weise wirtschaftliche Unsicherheiten zu reduzieren. Zwischen Unternehmen, die an der Erstellung einer Gesamtleistung beteiligt sind, müssen

zahlreiche Abstimmungen (z. B. Lieferbedingungen, Zahlungsweisen, Gewährleistungen, Liefertermine) erfolgen. Durch Schaffung von Kooperationen können zwischenbetriebliche Rationalisierungspotenziale ausgeschöpft werden (vgl. Wildemann (1997a), S. 418).

Untersuchungen zeigen, dass gerade an Schnittstellen zwischen Rückführung und Demontage Rationalisierungspotenziale verborgen sein können (vgl. Baumgarten/Frille (1999), S. 81). Insbesondere können Transaktionskosten hinsichtlich häufiger Verhandlungen, Vertragsgestaltungen, Kommunikationsaufnahmen und Gewährleistungspflichten gesenkt werden. Im Zusammenhang mit den beschriebenen Kooperationsformen sind folgende Punkte zu beachten:

- *Produktinformation:* Die Schaffung einer Vertrauensbasis ist für eine (aus Produzentsicht) gefahrlose Bereitstellung von Produktinformationen Voraussetzung (s. Kapitel 2.2.2). Die Bereitstellung von Informationen kann im Rahmen des Netzwerkes direkt von der Informationsquelle (z. B. Hersteller) oder indirekt über eine beauftragte Instanz (z. B. Agentur) erfolgen. Das notwendige Vertrauen kann durch Kooperationsbeziehungen entstehen. Die Verbreitung von Informationen ist allerdings auch innerhalb eines Netzwerkes ein sensibler Bereich, daher stellt die Einigung auf ein verbindliches Regelwerk zum Informationsaustausch einen kritischen Erfolgsfaktor dar (vgl. Bönker u. a. (1998), S. 276).
- *Planungssicherheit:* Die Erhöhung der Planungssicherheit kann u. a. durch Reduzierung der Unsicherheit bezüglich des Altgeräteanfalls erreicht werden. Entsorgungsdienstleister könnten z. B. Altgeräte avisieren, damit könnte die Demontagefabrik ihre Aktivitäten (zumindest kurzfristig) relativ genau planen (s. Kapitel 2.4.2).
- *Verlängerte Werkbank:* Durch temporäre Auslagerung verschiedener Tätigkeiten (z. B. grobe Vordemontage) in andere Funktionsbereiche (z. B. Entsorgungslogistik) könnten Unterkapazitäten der Demontagefabrik ausgeglichen werden.
- *Fremdvergabe:* Durch ständige Auslagerung verschiedener Aktivitäten (z. B. Schadstoffentfrachtung) in andere Funktionsbereiche (z. B. Entsorgungslogistik), können Teilfunktionen möglicherweise effizienter durchgeführt werden⁵⁷.
- *Logistiksteuerung (auslastungsorientiert):* Durch intelligente Verteilung der Altgeräte kann ein netzwerkinterner Kapazitätsauslastungsausgleich zwischen verschiedenen Demontagefabriken stattfinden.

⁵⁷ Aktivitäten einer vorgelagerten Schadstoffentfrachtung könnten dazu führen, dass Geräte nicht mehr unter besonderen Auflagen transportiert werden müssen (wie z. B. FCKW-haltige Kühlgeräte). Gleichzeitig könnten Maßnahmen einer groben Vordemontage über eine Volumenreduzierung zu einer verbesserten Auslastung der Transportfahrten führen.

- *Logistiksteuerung (deckungsbeitragsorientiert):* In bestimmten Situationen (z. B. bei einer geringen Nachfrage nach bestimmten Demontageerzeugnissen) kann es sinnvoll sein, entsprechende Altgeräte direkt zu verwerten oder zu beseitigen. Entstehende zusätzliche Entsorgungskosten werden akzeptiert, wenn sie durch die zusätzliche Erzeugung und den Verkauf anderer (stark nachgefragter) Demontageerzeugnisse überkompensiert werden. Durch intelligente Steuerung der Entsorgungsgüterströme können Altgeräte kurzfristig (z. B. Marktsituationenabhängig) umdisponiert werden. Weiterhin kann an eine
 - Bündelung der Altstoffströme durch Vorsortierung oder Vorzerlegung,
 - die Einrichtung von Leerfahrtenbörsen,
 - eine Kombination von Distributions-, Rückführ- und Beschaffungslogistik und
 - den Einsatz von kombiniertem Verkehr gedacht werden (vgl. Hieber (1995), S. 296).
- *Konzentration auf Kernkompetenzen:* Die Konzentration der Unternehmen auf ihre Kernkompetenzen birgt die Gefahr, dass sie nicht in der Lage sind, komplette Problemlösungen für den Kunden anzubieten. Durch verstärkte Kooperationen mit anderen Teilnehmern der Kreislaufwirtschaft (z. B. Entsorgungsdienstleistern, Produzenten, Verwertungsbetrieben) kann dieser Konflikt gelöst und die Voraussetzungen für eine Konzentration auf eigene Kernkompetenzen (z. B. Durchführung originärer Demontagetätigkeiten) geschaffen werden (vgl. Wildemann (1996), S. 310).
- *Unternehmensgröße vs. Flexibilität:* Im Bereich der Demontage agieren derzeit hauptsächlich kleine und unabhängige Unternehmen am Markt (vgl. Hesselbach/Kühn (1998), S. 142). Die Gründung von Unternehmensnetzwerken ist in diesem Zusammenhang ein geeignetes Mittel, Größennachteile zu kompensieren und gleichzeitig Flexibilität zu bewahren (vgl. Tuma u. a. (1999), S. 9).
- *Standardisierte Informationstechnik:* Viele der angeführten Punkte (z. B. Produktinformation, Planungssicherheit, Logistiksteuerung) erfordern einen Datenaustausch. Dieser findet in der Regel zwischen verschiedenen IT-Systemen statt. Durch Festlegung netzwerkinterner IT-Standards (z. B. hinsichtlich IT-Systemen und Schnittstellen) kann der Informationsaustausch effizient gestaltet werden.

Die aufgezeigten Bereiche lassen erkennen, dass die Einbringung der Demontagefabrik in überbetriebliche Kooperationsformen sinnvoll sein kann. Um die Aussagen dieser Arbeit nicht auf eine Kooperationsform zu beschränken, wird im Weiteren angenommen, dass die Demontagefabrik in ein Unternehmensnetzwerk eingebunden ist und über anonyme Material- und Informationsbeziehungen außerhalb des Netzwerks verfügt (s. Abb. 3.11).

Zwischen Demontagefabrik und Netzwerk fließen Material und Informationsströme in beide Richtungen, ebenso wie zwischen Hersteller und Demontagefabrik. Das NBU ist (aus Sicht der Demontagefabrik) ausschließlich Materialsenke, der Entsorgungslogistikdienstleister ausschließlich Materialquelle.

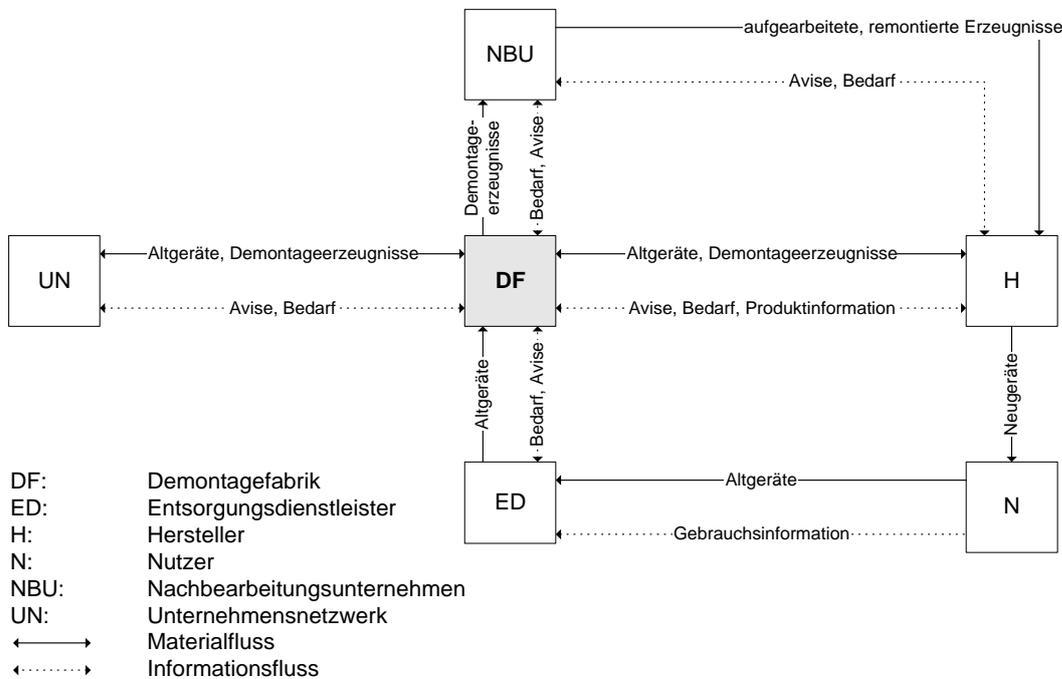


Abb. 3.11: Überbetriebliche Beziehungen der Demontagefabrik

Im Weiteren wird davon ausgegangen, dass Altgerätequellen (z. B. Unternehmensnetzwerke, einzelne Hersteller), zu denen vertragliche Bindungen bestehen, einen fixen Anteil an Entsorgungsgütern liefern, der um einen variablen Anteil schwanken darf. Als variabler Anteil wird in diesem Zusammenhang genau die Menge bezeichnet, die das Netzwerk bzw. der Hersteller zusätzlich zur fixen Menge andienen darf und zu deren Abnahme gleichzeitig die Demontagefabrik verpflichtet ist. Zusätzlicher Altgerätebedarf wird durch den anonymen Beschaffungsmarkt gedeckt. Eine spezifische Ausprägung des anonymen Beschaffungsmarkts stellen Recyclingbörsen dar⁵⁸. Über den fixen und variablen Bereich hinausgehende Entsorgungsbedarfe der Netzwerke und Hersteller werden aus Sicht der Demontagefabrik wie Angebote aus dem anonymen Beschaffungsmarkt behandelt und nach Bedarf genutzt.

⁵⁸ Recyclingbörsen werden in Deutschland z. B. über Industrie- und Handelskammern angeboten und z. T. in elektronischer Form (z. B. über das WorldWideWeb) verfügbar gemacht (vgl. Rautenstrauch (1999), S. 126ff.).

Folgende Fälle können unterschieden werden (s. Abb. 3.12):

- *Fall 1:* Die optimale Beschaffungsmenge⁵⁹ liegt oberhalb der vereinbarten (fixen und variablen) Altgerätemenge. Der zusätzliche Bedarf kann aus dem anonymen Beschaffungsmarkt heraus gedeckt werden.
- *Fall 2:* Die optimale Beschaffungsmenge liegt unterhalb der vereinbarten (fixen und variablen) Altgerätemenge. Der Überbelastung kann evtl. durch geeignete Maßnahmen (z. B. Verschiebung von Aufträgen in eine andere Periode, Überstunden, Aufbau von Lagerbeständen, Deponierung, Verbrennung) entgegengewirkt werden.
- *Fall 3:* Die optimale Beschaffungsmenge liegt oberhalb der durch Vertragsbeziehungen anfallenden sowie zusätzlich beschaffbaren Altgerätemenge. Die Unterdeckung kann evtl. durch geeignete Maßnahmen ausgeglichen werden (z. B. Überstundenabbau, Abbau von Lagerbeständen, Bezug von Neuteilen).

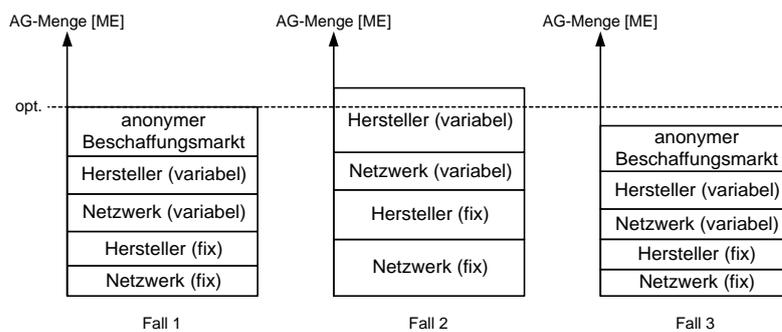


Abb. 3.12: Altgerätequellen und optimale Beschaffungsmengen

⁵⁹ Als *optimal* wird diejenige Altgerätemenge bezeichnet, mit der genau die Zielvorgaben aus Absatzprognose, Kundenaufträgen und Entsorgungsverpflichtungen erfüllt werden können.

4 Produktionsplanung und -steuerung in Demontagefabriken

4.1 Einführung

Produktionsplanung

Produktion bezeichnet die Kombination der Elementarfaktoren Arbeit, Material und Maschinen durch die derivativen Faktoren Planung und Organisation zum Zwecke der Leistungserstellung (vgl. Gutenberg (1983), S. 1ff.).

Planung bezeichnet die „geistige Vorwegnahme zukünftiger Handlungsalternativen, deren Bewertung anhand zu verfolgender Zielsetzungen und die dementsprechende Auswahl einer oder mehrerer zu realisierender Alternativen“ (Domschke u. a. (1997), S. 1). Die Hauptschwierigkeit der Planung besteht darin, dass zukünftige Entwicklungen vorhergesagt werden müssen und die Planungskomplexität mit wachsender zeitlicher Reichweite steigt (vgl. Domschke u. a. (1997), S. 1).

Die *Produktionsplanung* ist Teil der Unternehmensplanung (vgl. Kurbel (1999), S. 19) und bildet den Rahmen für die Produktionssteuerung. Produktionsplanung kann in drei interdependente Teilgebiete unterschieden werden (vgl. Gutenberg (1983), S. 147ff.):

- *Produktionsprogrammplanung*: Planung herzustellender Produkte nach Art und Menge.
- *Bereitstellungsplanung*: Planung erforderlicher Produktionsfaktoren.
- *Produktionsprozessplanung*: Strukturierung räumlicher und zeitlicher Arbeits- und Bewegungsvorgänge sowie Planung und Steuerung der Produktionsdurchführung.

Die im Rahmen der Produktionsprozessplanung auszuführenden Aufgaben werden (innerhalb einer sukzessiv erfolgenden Planung) in folgende Teilaufgaben zerlegt (vgl. Domschke u. a. (1997), S. 15f.):

- *Losgrößenbestimmung*: Bestimmung der kostenminimalen Losgrößen und deren Verteilung innerhalb eines Planungszeitraumes.
- *Durchlauf- und Kapazitätsterminierung*: Bestimmung der frühesten bzw. spätesten Zeitpunkte für die Bearbeitung von Aufträgen, sodass Terminvorgaben (z. B. Liefertermine) eingehalten werden können.
- *Reihenfolgeplanung und Feinterminierung*: Die einzelnen zur Bearbeitung anstehenden Aufträge werden in eine Reihenfolge gebracht und zeitlich (z. B. auf Maschinen) verteilt.

Im Rahmen *strategischer Produktionsplanung* werden zukünftige Zielmärkte und Produktfelder definiert und Produktionsvolumen geplant. In diesem Zusammenhang werden z. B.

Entscheidungen bezüglich der Fertigungstiefe getroffen (vgl. Hansmann (1994), S. 47ff.). Quantitative und qualitative Vorgaben aus der strategischen Produktionsplanung ergeben die Rahmenbedingungen für die operative Produktionsplanung. Während strategische Planungen einen Zeitraum von bis zu 10 Jahren umfassen können, beziehen sich operative Planungen in der Regel auf einen Zeitraum von bis zu einem Jahr.

Das Produktionsprogramm enthält (vgl. Zäpfel (1996), S. 79):

- eine *qualitative* Komponente (bezogen auf die Art der zu erstellenden Leistung),
- eine *quantitative* Komponente (bezogen auf die Menge der einzelnen Leistungsarten),
- eine *zeitliche* Komponente (bezogen auf die Zeitpunkte der Leistungserstellung).

Das Produktionsprogramm ergibt sich aus konkurrierenden Zielen einzelner an der Erstellung beteiligter Personen oder Abteilungen. Dabei konkurrieren zumeist sich widersprechende Ziele wie z. B. Befriedigung individueller Kundenwünsche (aus dem Marketing) und Forderungen nach Standardisierung (aus dem Produktionsmanagement). Das Produktionsprogramm stellt in der Regel einen Kompromiss dar, der durch Ausgleich von Bereichsinteressen zu Stande kommt (vgl. Zäpfel (1996), S. 81). Die originäre Aufgabe der Produktionsprogrammplanung besteht in der Planung des deckungsbeitragsmaximalen Produktionsprogramms. Die Ergebnisse der Produktionsprogrammplanung stützen sich auf kurzfristige Prognosen von Absatzmengen und -preisen, von denen die wirtschaftlich günstigsten z. B. mithilfe der Deckungsbeitragsanalyse ausgewählt werden (vgl. Hansmann (1994), S. 134ff.). Die Bedeutung des Deckungsbeitrags als zu maximierender Zielfunktion liegt darin begründet, dass sich über den Deckungsbeitrag Interessen der hinsichtlich verschiedener Ziele konkurrierenden Bereiche *Produktion* und *Absatz* vereinen lassen, da sich die Wirkungen produktions- und absatzwirtschaftlicher Instrumente in der Deckungsbeitragshöhe niederschlagen (vgl. Zäpfel (1996), S. 82f.). Weiterhin ist der Deckungsbeitrag (im Gegensatz zum Gewinn) kurzfristig orientiert, da fixe Kosten als unveränderlich angenommen werden und nicht in die Kalkulation einfließen.

Die Umsetzung von Optimierungsansätzen in PPS-Systeme scheitert zum einen an der Nichtverfügbarkeit benötigter Daten und zum anderen am Rechenaufwand, den simultan ablaufende Optimierungsmodelle beanspruchen (vgl. Domschke u. a. (1997), S. 18; Hackstein (1989), S. 111; Scheer (1998), S. 99). Im Gegensatz zur Suche nach einer optimalen Lösung wird daher in der Praxis (und so auch im Rahmen der eingesetzten PPS-Systeme) häufig eine Anpassungsstrategie verfolgt: Unter Berücksichtigung evtl. Kapazitätsengpässe werden diejenigen Produktmengen gefertigt, die voraussichtlich abgesetzt werden können (vgl. Kurbel (1999), S. 117f.).

Im Weiteren liegt der Schwerpunkt auf der *operativen* Produktionsplanung und -steuerung. Aspekte einer langfristigen Produktionsprogramm- oder Bereitstellungsplanung werden nicht berücksichtigt, da diese *strategischen* Charakter besitzen und nicht Bestandteil der in dieser Arbeit untersuchten PPS-Konzepte bzw. -Systeme sind. Produktionsplanung bezeichnet (aus operativer Sicht) die Planung des Produktionsablaufs für einen bestimmten zukünftigen Zeitraum. Sie setzt sich aus operativer Produktionsprogrammplanung, Mengenplanung sowie Termin- und Kapazitätsplanung zusammen.

Die *Probleme* der Produktionsplanung können wie folgt unterschieden werden (vgl. Kurbel (1999), S. 42):

- Mengenprobleme (z. B. Losgrößenbestimmung)
- Terminprobleme (z. B. Bestimmung der Auftragsausführungszeitpunkte)
- Zuordnungsprobleme (z. B. Zuordnung der Aufträge zu einer Maschine)
- Reihenfolgeprobleme (z. B. Reihenfolge der Aufträge auf einer Maschine)

Zu dem Zeitpunkt, an dem die Planvorgaben zu Durchsetzungsaktivitäten führen, vollzieht sich der Übergang von der Planung zur Steuerung. Der Übergang ist oft nicht eindeutig, so wird z. B. die Betriebsmittelbelegungsplanung bei zentraler Durchführung nicht der Steuerung zugerechnet; ist die Betriebsmittelbelegungsplanung Teil dezentraler Aktivitäten, kann sie der Steuerung zugerechnet werden (vgl. Zäpfel (1996), S. 60).

Produktionssteuerung

Steuerung bezeichnet die Willensdurchsetzung des (Produktions-)Plans in die Realität. Treten keine Störungen auf, ist die Durchsetzung mit dem Veranlassen und Realisieren beendet. Besteht die Möglichkeit, dass es zu Störungen kommt, müssen zusätzlich Überwachungs- und Sicherungsmaßnahmen vorgesehen werden (vgl. Zäpfel (1996), S. 35).

Unter *Produktionssteuerung* ist das „Veranlassen, Überwachen und Sichern der Aufgabendurchführung hinsichtlich Menge, Termin, Qualität, Kosten und Arbeitsbedingungen“ zu verstehen (REFA (1985a), S. 22).

- *Veranlassen* bezeichnet den mengen- und terminorientierten Anstoß, der die Durchführung einer Aufgabe auslöst.
- *Überwachen* dient dem Feststellen der Erfüllung einer Aufgabe oder eines Produktionszustands bezüglich der Einhaltung von Sollwerten.

- *Sichern* dient der Ermittlung und Auslösung von Maßnahmen zur Vermeidung oder Verminderung von Abweichungen der Ist- von den Sollwerten. Dabei kann zwischen dem aktuellen Eingreifen und der Planänderung unterschieden werden.

Der Begriff der Produktionssteuerung ist aus Sicht des zentralen Gestaltungskonzepts der *Lenkung* nicht korrekt gewählt. Grundsätzlich stellt die Steuerung neben der Regelung ein Instrument zur Lenkung dynamischer Systeme dar. Die Steuerung ist dadurch gekennzeichnet, dass auf Basis extern vorgegebener Führungsgrößen Stellgrößen für die Steuerstrecke abgeleitet werden, ohne dass die Ergebnisse des Lenkungsprozesses berücksichtigt werden (vgl. Tuma/Franke (1999), S. 19f.). Ein stabiles Systemverhalten kann demnach durch eine Steuerung nur gewährleistet werden, falls

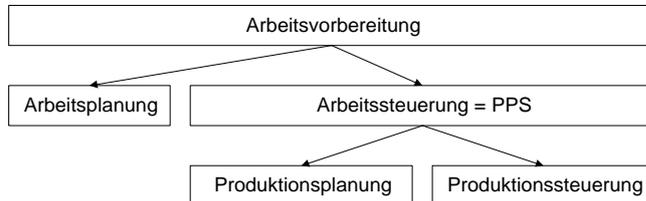
- die Auswirkungen aller möglichen Störungen auf das System bekannt sind,
- jeder Störgröße ex ante eine hinsichtlich ihrer Wirkung vollständig bekannte Steuerungsmaßnahme zugeordnet werden kann und
- keine systemimmanenten Unbestimmtheiten (z. B. fehlerhafte Nachrichtenübermittlung) vorhanden sind.

Im Rahmen der *Regelung* werden die Ergebnisse des Lenkungsprozesses berücksichtigt. Die Ableitung der Stellgrößen basiert neben externen Führungsgrößen auf den Regelgrößen selbst. Es findet somit eine Rückkopplung statt und die Regelung nimmt (im Gegensatz zur Steuerung) eine Überwachungsfunktion wahr. Die Voraussetzungen hinsichtlich eines stabilen Systemverhaltens durch *Steuerung* sind bei realen Produktionssystemen nicht erfüllt (vgl. Tuma/Franke (1999), S. 21), daher wäre der Prozess der Produktionsdurchführung als *Regelung* oder *Lenkung* zu bezeichnen. In der Literatur wird üblicherweise der Begriff der *Steuerung* verwendet, daher wird diese nicht unproblematische Konvention auch für die folgenden Kapitel dieser Arbeit getroffen.

Die *Aufgabe* der Produktionssteuerung besteht darin, zu gewährleisten, dass alle Funktionen im Sinne der vorgelagerten Produktionsplanung ausgeführt werden. In diesem Zusammenhang muss die Steuerung beim Auftreten von Störungen reagieren. Im Rahmen der Steuerung kann es sinnvoll sein, Teilaufgaben aus der zentralistischen Organisationsform der Produktionsplanung und -steuerung herauszulösen und dezentral zu bearbeiten. Die Produktionsplanung gibt z. B. vor, welche Aufträge in welchen Planperioden abzuarbeiten sind, die Einplanung und die Veranlassung übernimmt ein dezentraler Verantwortungsbereich mit erweitertem Entscheidungsspielraum. *Elektronische Leitstände* stellen den Einstieg in die Dezentralisierung dar, *verteilte PPS-Systeme* setzen diesen Trend fort (vgl. Kurbel (1999), S. 265).

Produktionsplanung und -steuerung

Die Produktionsplanung und -steuerung stellt neben der Arbeitsplanung einen Teil der *Arbeitsvorbereitung* dar (s. Abb. 4.1).



Vgl. Hackstein (1989), S. 3

Abb. 4.1: Einordnung der Produktionsplanung und -steuerung in die Arbeitsvorbereitung

Gegenstand der Produktionsplanung und -steuerung ist die planerische Seite der Produktion (vgl. Rautenstrauch (1997a), S. 11). Die Produktionsplanung und -steuerung gehört zu den wichtigsten Aufgaben eines Industriebetriebs (vgl. Kurbel (1999), S. 15). In den 60er Jahren entstanden erste Softwaresysteme, sog. *PPS-Systeme*, mit dem Ziel, die Produktion zu planen und zu steuern (vgl. Kurbel (1999), S. 15). Leicht automatisierbare Lösungen (z. B. im Bereich Grunddatenverwaltung, Mengenplanung) standen zunächst im Vordergrund, später wurden z. B. EDV-Programme für die Termin- und Kapazitätsplanung entwickelt. Diese Programme konnten vorerst nur in Stapelverarbeitung betrieben werden, Anfang der achtziger Jahre wurde über Dialogschnittstellen eine Benutzerinteraktion ermöglicht. Zunächst für kundenanonyme Serienfertiger entwickelt, konnten die Programme im Lauf der Zeit auch auf Bedürfnisse anderer Fertigungsarten (z. B. Einzel- und Kleinserienfertigung) angepasst werden (vgl. Zäpfel (1996), S. 61).

Unter einem *PPS-Konzept* wird im Weiteren ein in sich geschlossenes Vorgehensmodell verstanden, das unter Einbezug zugehöriger Daten und Algorithmen die Aufgaben der Produktionsplanung und -steuerung bewältigen kann. Unter einem *PPS-System* wird ein Werkzeug verstanden, das in der Regel in Form von Software vorliegt und auf einem oder mehreren *PPS-Konzepten* basiert. Eines der ältesten und gleichzeitig am weitesten verbreiteten *PPS-Konzepten* ist das sog. *Manufacturing Resource Planning (MRP II)*, es wird in ca. 95 % aller heute anzutreffenden *PPS-Systeme* eingesetzt (vgl. Pawellek (1992), S. 50; Steinaecker u. a. (1997), S. 95).

„Ein *PPS-System* ist ein Softwaresystem, welches zur *operativen* Planung und Steuerung des Produktionsgeschehens in einem Industriebetrieb eingesetzt wird“ (vgl. Kurbel (1988), S. 948). Dabei werden die komplexen Probleme der operativen Produktionsplanung und -steuerung mit ihren sachlich und zeitlich interdependenten Problemen sukzessive gelöst (vgl. Fandel u. a. (1997), S. 1). Die Fokussierung auf die operative Ebene hat u. a. zur Folge, dass die Ausstattung des Unternehmens (z. B. hinsichtlich Betriebsmitteln) als

vorgegeben und für den Planungszeitraum unveränderlich angenommen wird (vgl. Kurbel (1999), S. 18). Strategische Entscheidungen (z. B. Beschaffung von Betriebsmitteln oder Festlegung der Produktpalette) gehören nicht zu den Aufgaben der PPS.

Die PPS ist traditioneller Einsatzbereich für computergestützte Systeme (vgl. Hansmann (1994), S. 24f.; Scheer (1998), S. 96). Die Gründe dafür sind in den hohen Mengenvolumen der zu verarbeitenden Informationen und der hohen Planungskomplexität zu suchen. PPS-Konzepte leiten ihre Kompetenz aus dem interdisziplinären Spannungsfeld von Betriebswirtschaft, Operations Research und Informatik her; die Produktionstechnik bildet die gemeinsame Bezugsbasis (vgl. Fandel u. a. (1997), S. 8). Während betriebswirtschaftliche Planungsmodelle die Grundlage für Produktionsplanung und -steuerungskonzepte darstellen, diese aber nur sehr selten in praxisrelevante Modelle umgesetzt werden können, liegt der Schwerpunkt in der Wirtschaftsinformatik auf „Konzeption, Realisierung und Verbesserung von computergestützten PPS-Systemen“ (Rautenstrauch (1997a), S. 11).

Wichtigste Elemente eines PPS-Systems sind die Modellbank, Methodenbank und die Datenbank mit entsprechenden Querverbindungen (vgl. Fandel u. a. (1997), S. 8f.):

- *Modellbank*: Die Modellbank dient der Bereitstellung betriebswirtschaftlicher Planungsgrundsätze zur zweckentsprechenden Modellierung der PPS.
- *Methodenbank*: Die Methodenbank dient der Bereitstellung von Lösungsverfahren zur Erzeugung von Lösungsvorschlägen für Entscheidungsprobleme der PPS.
- *Datenbank*: Die Datenspeicherung, -verwaltung und -verarbeitung findet in der Datenbank statt.

Aus den Aufgaben der PPS (s. Kapitel 4.1) können die Planungsgrößen *Art*, *Menge*, *Termin* und *Ressource* identifiziert werden. Eines der Kernprobleme von PPS-Systemen entsteht dadurch, dass diese Planungsgrößen hochgradig interdependent sind. Die Interdependenzen entstehen vor allem durch die Konkurrenz von Aufträgen um knappe Ressourcen (z. B. Betriebsmittel). Diese Knappheit wird durch die

- *vorhandene* Ressourcenzeit,
- *benötigte* Ressourcenzeit und
- *Terminierung* der Ressourcenzeiten bestimmt.

Die erste Determinante ist Gegenstand der Investitionsplanung, die nachfolgenden stellen Kernaufgaben der PPS-Systeme dar (vgl. Steinaecker u. a. (1997), S. 3).

4.2 Ziele

„Ein PPS-System hat die Aufgabe, auf Grund erwarteter oder vorliegender Kundenaufträge den mengenmäßigen und zeitlichen Produktionsablauf unter Beachtung verfügbarer Ressourcen (z. B. Kapazitäten) durch Planvorgaben festzulegen, diese zu veranlassen sowie zu überwachen und bei Abweichungen Maßnahmen zu ergreifen, sodass bestimmte betriebliche *Ziele* erreicht werden“ (Zäpfel (1996), S. 56).

Produktionswirtschaftliche Ziele

Die PPS-Ziele müssen sich in das Zielsystem des Unternehmens einordnen lassen (vgl. Kurbel (1999), S. 19). Eine der Leitlinien unternehmerischen Handelns unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten besagt, dass die Wirtschaftlichkeit W eines Unternehmens (Ausgedrückt als Quotient der Leistung L und der Kosten K) möglichst hoch sein soll (vgl. Hoitsch (1985), S. 24; Kurbel (1999), S. 19; Zäpfel (1996), S. 37):

$$W = \frac{L}{K} \rightarrow \max$$

Wird die Maximierung der Wirtschaftlichkeit als *Ziel* der PPS angesehen, streben die Maßnahmen entsprechend eine Leistungssteigerung oder Kostensenkung an. Obwohl die Produktionsplanung und -steuerung die Kosten- und Leistungsseite beeinflusst, lassen sich Leistungen bzw. Erträge im Rahmen produktionswirtschaftlicher Planungsentscheidungen in der Regel nicht beeinflussen (vgl. Hoitsch (1985), S. 25; Kurbel (1999), S. 19). Herzustellende Mengen und Verkaufspreise werden zumeist außerhalb der Produktionsplanung (z. B. in der Absatzplanung) determiniert. Faktoren, die Einfluss auf die Erlösseite ausüben (z. B. Termintreue, Planungssicherheit), sind in PPS-Systemen bisher nicht explizit berücksichtigt (vgl. Rautenstrauch (1997a), S. 14). Der Fokus produktionswirtschaftlicher Planungsentscheidungen liegt daher auf der Gestaltung der *Kostenseite*. Daraus ergibt sich nach Maßgabe des Wirtschaftlichkeitsprinzips das Ziel der PPS: Die Maßnahmen der Produktionsplanung und -steuerung sind so zu treffen, dass eine vorgegebene Leistung L mit möglichst niedrigen Kosten K erbracht wird (vgl. Zäpfel (1996), S. 40f.).

Im Rahmen der Produktionsplanung und -steuerung müssen diejenigen Kosten betrachtet werden, die durch Maßnahmen der PPS beeinflussbar sind⁶⁰. Die folgenden Kosten werden daher als entscheidungsrelevante Kosten bezeichnet (vgl. Kurbel (1999), S. 20; Rautenstrauch (1997a), S. 14):

⁶⁰ Bestimmte Kosten müssen im Rahmen der operativen Produktionsplanung und -steuerung als unveränderbar angenommen werden, dazu zählen z. B. Lohn- oder Stückbearbeitungskosten.

- Einrichte-/Rüstkosten
- Leer-/Stillstandskosten
- Lagerkosten
- Kosten auf Grund der Nichteinhaltung von Lieferterminen (z. B. durch Konventionalstrafen)
- Kosten für Vermeidung absehbarer Terminüberschreitungen (z. B. durch Überstunden)

Ersatzziele

Eine kostenmäßige Planung und Steuerung geht mit erheblichen Problemen einher; so müssten z. B. alle notwendigen Kosteninformationen zum Planungszeitpunkt zur Verfügung stehen, außerdem lassen sich manche Kosten auf Grund ihres Opportunitätskosten-Charakters nicht erfassen (vgl. Zäpfel (1982), S. 191). Daher werden PPS-*Ersatzziele* herangezogen, die in einem nachweisbaren oder vermuteten Zusammenhang mit den Kostenzielen stehen (vgl. Kurbel (1999), S. 20). Für PPS-Systeme werden insbesondere die folgenden Zeit- und Mengenziele als Ersatzziele herangezogen (vgl. Hackstein (1989), S. 1; Kernler (1995), S. 17ff.; Kurbel (1999), S. 20f.):

- *Niedrige Durchlaufzeiten:* Kurze Durchlaufzeiten sind anzustreben, da sie kurze Lieferzeiten ermöglichen (vgl. Kernler (1995), S. 19). Die Liegezeit stellt häufig den größten Anteil an der Durchlaufzeit dar (vgl. Hackstein (1989), S. 13), daher zielt eine Reduzierung der Durchlaufzeiten in erster Linie auf die Reduzierung von Liegezeiten ab. Die Durchlaufzeitreduzierung kann über eine Senkung des Werkstattbestands zu einer Verminderung der entsprechenden Lagerkosten führen, allerdings darf dieser Kostenvorteil nicht durch Lagerkosten im Fertigwarenlager (durch vorzeitige Fertigstellung) überkompensiert werden. Die Durchlaufzeitreduzierung ist nur als Teil der Reduzierung von *Abwicklungszeiten* (Zeitspanne zwischen Auftragserteilung und Auslieferung) sinnvoll (vgl. Adam (1998), S. 535; Rautenstrauch (1997a), S. 15). Im Verständnis dieser Arbeit wird daher eine Durchlaufzeitreduzierung grundsätzlich als Teil der Abwicklungszeitreduzierung angesehen.
- *Hohe Termintreue und Lieferbereitschaft:* Eine hohe Termintreue führt auf Grund zumeist kürzerer Lagerzeiten von Fertigprodukten zu geringeren Kapitalbindungskosten. Weiterhin verringert sich das Risiko, Konventionalstrafen oder Regressforderungen zu erhalten bzw. mit dem Auftragsentzug seitens des Auftraggebers rechnen zu müssen (vgl. Rautenstrauch (1997a), S. 16).
- *Geringe Bestände:* Generell bedeuten hohe Bestände hohe Lagerkosten (Kapitalbindungskosten und Lagerhaltungskosten) sowie eine Beeinträchtigung der Flexibilität bei Nachfrageverschiebungen (vgl. Rautenstrauch (1997a), S. 15). Bestände in den ver-

schiedenen Lagern eines Betriebs (Eingangs-, Werkstatt-, Fertigwarenlager) üben unterschiedlichen Einfluss auf die PPS-Ziele aus. Von den Eingangslagerbeständen hängt, bedingt durch die Möglichkeit Aufträge vorzuziehen, eine Verbesserung der Kapazitätsabstimmung ab. Bestände im Fertigwarenlager weisen die höchste Kapitalbindung auf, können jedoch die Lieferbereitschaft erhöhen. Wiendahl vertritt die nicht unumstrittene These, dass zwischen mittlerem Werkstattbestand und mittleren Durchlaufzeiten ein fast linearer, positiver Zusammenhang besteht; hohe Werkstattbestände wirken sich demnach negativ auf Durchlaufzeiten und deren Streuung aus (damit auch auf die Termintreue) und verursachen hohe Kapitalbindungskosten (vgl. z. B. Wiendahl/Erdlenbruch (1987), S. S.1.3/12ff.). Als Entkräftung dieser These wird angeführt, dass sinkende Durchlaufzeiten in der Produktion nicht zwingend zu einer verbesserten Termintreue oder einer Senkung der Abwicklungszeiten führen müssen (vgl. Adam (1998), S. 33). In Lagerkosten fließen Kapitalbindungskosten ein, deren Berechnung nicht unproblematisch ist: Zum einen muss ein plausibler Zinssatz ermittelt, zum anderen müssen die Bestände monetär bewertet werden. In Demontagefabriken gelagerte Altgeräte können durchaus einen negativen Wert aufweisen (dies ist evtl. zu vermuten, wenn die Demontagefabrik Erlöse mit der Annahme von Altgeräten erzielt (s. Kapitel 3.1)). Da neben den originären Kosten der Lagerung weitere Kosten für anschließende Behandlungsprozesse (z. B. Demontage- oder Beseitigungskosten) zu berücksichtigen sind, darf dies keinesfalls zu einer Altgeräte-Annahmestrategie führen, die lediglich auf die Annahme möglichst vieler Altgeräte mit negativem Wert abzielt. Die entsprechenden Behandlungskosten sind ebenfalls einzukalkulieren. Ein opportunitätskostenbasierter Ansatz (vgl. Teunter (1999), S. 413ff.; Teunter/Inderfurth (1998), S. 3ff.) zur Berechnung der Kapitalbindungskosten für Altgeräte $k(KB)$ besteht darin, dass die Differenz zwischen Neuproduktionskosten $k(NP)$ und den Kosten für ein Remanufacturing $k(R)$ eines Geräts mit dem (als bekannt vorausgesetzten) Zinssatz i multipliziert wird: $k(KB) = i * (k(NP) - k(R))$. Die Differenz beider Kostenarten lässt evtl. einen besseren Rückschluss auf den recyclingspezifischen Wert eines Altgeräts zu als eine rein marktorientierte Bewertung. Obwohl die diesem Ansatz zu Grunde liegende Alternative zwischen Neuproduktion und Remanufacturing im Rahmen des in dieser Arbeit vorgestellten Konzepts zur Demontageplanung nicht existiert, könnten doch hypothetische Werte angesetzt werden⁶¹.

- *Hohe und gleichmäßige Kapazitätsauslastung*: Betriebsmittel (besonders Engpassbetriebsmittel) sollten in hohem Maße ausgelastet sein, damit die Voraussetzungen ge-

⁶¹ Zu beachten bleibt, dass die Ermittlung des Zinssatzes, der Kosten für die Neuproduktion und für ein Remanufacturing nicht unproblematisch sind und in der Regel nur geschätzt werden können. Weiterhin berücksichtigt dieser Ansatz lediglich ein Remanufacturing von *Produkten*; die Erzeugung bzw. Vermarktung von *Komponenten* ist nicht vorgesehen.

schaffen werden, insbesondere Stillstands- und Rüstzeiten zu minimieren (vgl. Rautenstrauch (1997a), S. 16). Im Rahmen der PPS kann die Kapazitätsauslastung über Funktionen der Kapazitätsplanung beeinflusst werden. Mittelbar hängt der Auslastungsgrad von externen Faktoren (z. B. Auftragslage) ab (vgl. Wiendahl/Erdlenbruch (1987), S. S.1.3/13). Die PPS kann durch Bereitstellungs- und Ausgleichsfunktionen zur Zielerfüllung beitragen.

Hinsichtlich ihrer unterschiedlichen Orientierung können die Ziele *niedrige Durchlaufzeiten* und *hohe Termintreue und Lieferbereitschaft* als *Marktziele*, *niedrige Bestände* und *hohe und gleichmäßige Kapazitätsauslastung* als *Betriebsziele* bezeichnet werden (vgl. Kernler (1995), S. 17; Wiendahl/Erdlenbruch (1987), S. S.1.3/4ff.). Insbesondere in absatzpolitischen Bereichen (z. B. im Zusammenhang mit produktspezifischen Kundenwünschen), in der Produktionsplanung (z. B. bei Planänderungen) und in der Produktionssteuerung (z. B. bei Störungen) stellt die *Erhöhung der Flexibilität* eine weitere wichtige Zielsetzung dar. Das Flexibilitätsziel kann als Unterziel der genannten Markt- bzw. Betriebsziele betrachtet werden (vgl. Kurbel (1999), S. 22). In der Literatur werden zuweilen noch weitere Ziele genannt, diese sind Subziele der angeführten Ziele und lassen sich auf diese reduzieren (vgl. Kernler (1995), S. 17f.):

- *Hohe Planungssicherheit und Auskunftsbereitschaft:* Das Anstreben kurzer Durchlaufzeiten und geringer Bestände bei hoher Termintreue setzt eine hohe Planungssicherheit und Auskunftsbereitschaft voraus.
- *Hohe Materialverfügbarkeit:* Eine hohe Materialverfügbarkeit ist Voraussetzung für das Erreichen einer hohen Lieferbereitschaft.
- *Geringe Beschaffungskosten:* Die Senkung von Beschaffungskosten erfordert im Fall der Beschaffung *durch Einkauf* die Reduzierung von Lagerbeständen, um Kapitalbindungskosten gering zu halten⁶². Zur Kostensenkung bei Beschaffung *durch Eigenproduktion* sind niedrige Bestände, kurze Durchlaufzeiten bzw. eine hohe Kapazitätsauslastung notwendig.

Im Rahmen heutiger PPS-Systeme werden die genannten Ziele nicht explizit unterstützt, d. h. einem Anwender ist es nicht möglich, ein bestimmtes Ziel oder eine Zielkombination zu verfolgen bzw. höher oder niedriger zu gewichten (vgl. Rautenstrauch (1997a), S. 16).

⁶² Eine Ausnahme können Mengenrabatte oder saisonale Einkaufspreise darstellen.

Zielkonflikt

Zwischen den genannten Ersatzzielen werden Zielkonflikte vermutet, die in der Literatur kontrovers diskutiert werden (vgl. z. B. Adam (1998), S. 33ff.; Gutenberg (1983), S. 216; Hackstein (1989), S. 16; Hoitsch (1985), S. 190ff.; Kernler (1995), S. 18ff.). Die Zielkonflikte werden (entsprechend der Menge konkurrierender Ziele) als *Dilemma*, *Trilemma* bzw. *Polylemma der Ablaufplanung* bezeichnet. Die verschiedenen Standpunkte hängen dabei u. a. von

- (teilweise unausgesprochen) unterstellten *Betriebstypologien* sowie
- einer unterschiedlichen *Begriffsbasis* (z. B. Durchlaufzeit vs. Abwicklungszeit) ab.

4.3 Planungsmodelle

Zur Lösung der Produktionsplanungsprobleme wurden in der Betriebswirtschaft eine Vielzahl verschiedener Planungsmodelle entwickelt. Diese Modelle lassen sich zwei verschiedenen Kategorien zuordnen, den *Partial-* und den *Totalmodellen* (vgl. z. B. Kurbel (1999), S. 43ff.).

Partialmodelle

Bedingt durch das Streben nach optimalen Lösungen ist es durch den Komplexitätsgrad der Planungsmodelle im Produktionsbereich sehr schwierig, alle Teilprobleme in einem Modell zu berücksichtigen. Daher werden Teilprobleme von geringer(er) Komplexität gebildet. Werden mehrere Teilprobleme mit evtl. unterschiedlichen Planungszeiträumen und unterschiedlichen Detaillierungsgraden schrittweise nacheinander ausgeführt, wird von sukzessiver Planung gesprochen. Die meisten dieser Modelle lassen sich der

- Produktionsprogrammplanung,
- Losgrößen-/Bestellmengenplanung oder
- Fertigungsablaufplanung zuordnen.

Totalmodelle

Im Gegensatz zu Partialmodellen, die (sofern sie kombiniert werden) sukzessiv ablaufen, wird im Rahmen der Totalmodelle versucht, die Lösung verschiedener Teilprobleme gleichzeitig, d. h. simultan zu erreichen. Ihre Motivation finden Totalmodelle darin, dass einzelne Teilprobleme der Produktionsplanung zeitlich, hierarchisch/organisatorisch und

sachlich stark interdependent sind (vgl. Hoitsch (1985), S. 299)⁶³. Dennoch kommen Optimierungsmodelle dieser Art in der Praxis zumeist nicht zum Einsatz:

- *Rechenaufwand*: Das entstehende Datenvolumen ist nicht berechenbar (vgl. z. B. Kurbel (1999), S. 48; Mertens (1997), S. 133). Modellrechnungen zeigen, dass selbst bei kleinen bis mittleren Fertigungsunternehmen (100 Endprodukte) mit 20 Millionen Variablen gerechnet werden muss (vgl. Kurbel (1999), S. 47f.).
- *Datenermittlung*: Die Bestimmung der zahlreichen Koeffizienten und Nebenbedingungen der Variablen wäre außerordentlich aufwendig, wenn nicht unmöglich. Bereits bei Planaufstellung (z. B. ein Jahr im Voraus) müssten alle Koeffizienten und Nebenbedingungen angegeben werden können.
- *Detaillierungsgrad*: Der Planungshorizont ist hinsichtlich der Planungsbereiche völlig unterschiedlich, was u. a. dazu führt, dass das Feinplanungszeitraaster (z. B. Tage) auf die gesamte Produktionsprogrammplanung, die in der Regel einen Planungshorizont von Monaten bzw. Jahren aufweist, angewendet werden muss (vgl. Hoitsch (1985), S. 319).
- *Störungsreaktion*: Auf Störungen kann im Rahmen des Totalmodells nicht reagiert werden, ohne eine vollständige Neuplanung vorzunehmen, d. h. einzelne Teilbereiche, die von der Störung betroffen sind, können nicht separat neu geplant werden.

PPS-Konzepte in der Praxis

In der Praxis haben sich im Bereich der PPS vorwiegend sukzessive Ansätze durchgesetzt (vgl. z. B. Domschke u. a. (1997), S. 18; Kurbel (1999), S. 42ff.; Scheer (1998), S. 99; Zäpfel (1996), S. 112). Das Paradigma der *Optimierung* muss der *Planbarkeit* weichen. In Teilbereichen arbeiten PPS-Systeme in (aus betriebswirtschaftlicher Sicht) unbefriedigender Art und Weise (vgl. Kurbel (1999), S. 116). Entstehende Optimierungsprobleme werden in der Regel *heuristisch* gelöst⁶⁴ (vgl. Domschke u. a. (1997), S. 18). Im Rahmen der sukzessiven Ansätze werden Ergebnisse eines vorgelagerten Bereichs an einen nachgelagerten Bereich übergeben. Rückkopplungen sind häufig nicht vorgesehen (vgl. Kurbel (1999), S. 28f.). Die Leistungsfähigkeit des Sukzessivplanungskonzepts hängt somit von der Korrektheit der Prämissen ab, die von einer Planungsstufe für die ent-

⁶³ Beispielsweise müsste die Ablaufplanung bereits erfolgt sein, damit die Betriebsmittelverfügbarkeit bekannt ist und *Losgrößen* geplant werden können. Umgekehrt setzt die Lösung des Teilproblems *Ablaufplanung* die Kenntnis der *Losgrößen* voraus.

⁶⁴ Manche PPS-Systeme bieten z. B. im Rahmen der *Losgrößenplanung* die Möglichkeit eine Optimierung durchzuführen (z. B. SAP R/3: *Andler-Verfahren*).

sprechend nachgelagerte Stufe als Bedingung gesetzt werden (vgl. Corsten/Reiss (1991), S. 624). Ein System, das die PPS-Probleme heuristisch löst (insbesondere mit Prioritätsregelverfahren), wird im besten Fall zu gleich guten, in der Regel aber zu schlechteren Ergebnissen gelangen, als ein optimierendes System. Eine schlechtere Produktion mit geringerem Planungsaufwand muss aber nicht notwendigerweise schlechter sein, als eine bessere (z. B. optimale) Produktion mit höherem Planungsaufwand (vgl. Fandel (1991), S. 180). Das Gesamtkostenminimum der Produktionsplanung orientiert sich nicht nur an den entscheidungsrelevanten Kosten der Produktion, sondern ebenfalls an den entstehenden Entscheidungsfindungskosten.

4.4 Manufacturing Resource Planning

In der Literatur wird PPS regelmäßig mit dem Konzept des Manufacturing Resource Planning (MRP II) gleichgesetzt (vgl. Mertens (1992a), S. 29). Dies resultiert u. a. aus der Tatsache, dass die meisten der heute eingesetzten PPS-Systeme auf dem MRP II-Konzept basieren (vgl. z. B. Domschke u. a. (1997), S. 18; Kimms (1998), S. 642). MRP II stellt ein mögliches Konzept zur Lösung der PPS-Aufgaben dar. MRP II unterstützt als einziges Konzept alle Funktionsgruppen der Produktionsplanung und -steuerung (vgl. Schenk/Glistau (1996), S. 46). Andere Konzepte decken nur eine bzw. einige Funktionsgruppen ab, z. B. Optimized Production Technologie (OPT), Belastungsorientierte Auftragsfreigabe (BOA) oder das Fortschrittszahlenkonzept (FZK). Diese Konzepte wurden als Reaktion auf die mangelhafte Berücksichtigung unternehmensspezifischer Belange durch das MRP II-Konzept entwickelt (vgl. Steinaecker u. a. (1997), S. 91)⁶⁵. Die drei Buchstaben MRP werden im Zusammenhang mit der Zahl *Zwei* (z. B. MRP II, MRP/2, MRP 2) in unterschiedlichen Zusammenhängen genutzt und z. B. als Management Resource Planning oder Closed Loop Manufacturing Resource Planning bezeichnet⁶⁶. Im Folgenden wird der ursprünglichen Begriffswahl gefolgt, MRP II wird demnach als *Manufacturing Resource Planning* bezeichnet (vgl. Wight (1982), S. 41ff.).

Das MRP II-Konzept kann als sukzessives Planungsschema betrachtet werden (vgl. Kimms (1998), S. 642), das durch einen zunehmenden Detaillierungsgrad bei abnehmendem Planungshorizont gekennzeichnet ist (vgl. Mertens (1992a), S. 30). MRP II erweitert den Bereich der Materialwirtschaft (Material Requirements Planning [MRP]) um die Zeitwirtschaft. Diese lässt sich in Zeit- und Kapazitätsplanung unterscheiden. Beim MRP II-Konzept handelt es sich eher um ein *Produktionsplanungs-* als um ein *Steuerungs-*

⁶⁵ Zu den Unzulänglichkeiten des MRP II-Konzepts vgl. Drexl u. a. (1994); Kimms (1989); Küpper/Helber (1995); Tempelmeier (1995).

⁶⁶ Zu einer detaillierten Übersicht über die verschiedenen verwendeten MRP II Bezeichnungen vgl. Mertens (1992).

konzept. Es schafft durch Planung des Materialbedarfs und der Ressourcen in erster Linie Voraussetzungen für die Steuerung (vgl. Mertins/Neubauer (1994), S. 192). Bedingt durch eine in der Regel zentrale Feinterminierung werden der ausführenden Ebene keine Entscheidungskompetenzen eingeräumt. MRP II kann somit als ein zentralistisches Genauplanungssystem aufgefasst werden, das deterministisch plant und den stochastischen Charakter der Fertigung ignoriert (vgl. Schenk/Glistau (1996), S. 47).

Die Ziele des MRP II entsprechen den Ersatzzielen der PPS (s. Kapitel 4.2). Das Hauptziel besteht in der Abstimmung der Produktionskapazitäten mit abzusetzenden Erzeugnissen (vgl. Mertens (1992b), S. 7). Analog zu den PPS-Ersatzzielen lassen sich die Ziele des MRP II nicht gewichten.

4.4.1 Funktionsgruppen

Die PPS ist eine planerisch/dispositive Tätigkeit, die im Rahmen bestimmter Funktionsgruppen abläuft und (Ersatz-)Ziele verfolgt. Die Definition der PPS-Teilfunktionen ist allerdings oft uneinheitlich (vgl. Steinaecker u. a. (1997), S. 81). Zur Beschreibung der PPS haben sich vielfältige Strukturierungsformen herausgebildet. Eine der am weitesten verbreiteten Formen lässt sich in die Bereiche *Funktionsebenen* und *Funktionsgruppen* (s. Abb. 4.2) gliedern (vgl. Schomburg (1980), S. 18). Die Funktionsgruppen eines PPS-Systems sind durch die zwischen ihnen fließenden Informationen miteinander verknüpft (vgl. Fandel u. a. (1997), S. 3). Diese Darstellungsform wird (in teilweise leicht abgeänderter Art) oft verwendet, um die Schritte des MRP II im Rahmen eines PPS-Systems zu verdeutlichen (vgl. z. B. Corsten/Reiss (1991), S. 622; Fandel u. a. (1997), S. 2; Hackstein (1989), S. 5).

Funktionsebene	Funktionsgruppe	
Produktionsplanung	Datenverwaltung	Produktionsprogrammplanung
		Mengenplanung
		Termin- und Kapazitätsplanung
Produktionssteuerung		Auftragsveranlassung
		Auftragsüberwachung

Vgl. Hackstein (1989), S. 5

Abb. 4.2: PPS-Funktionsebenen und -Funktionsgruppen

Anpassung und Modellierung des in dieser Arbeit vorgestellten PPS-Konzepts erfolgt in Anlehnung an die *Architektur integrierter Informationssysteme (ARIS)*-Konzeption, die es ermöglicht, rechnergestützte Informationssysteme in verschiedene Beschreibungsperspek-

tiven zu zerlegen (vgl. Scheer (1998)). Um eine konsistente Terminologie zu erreichen, wird auf die Funktionsgruppen-Strukturierung nach Scheer zurückgegriffen (s. Abb. 4.3).

Funktionsebene	Funktionsgruppe
Produktions- planung	Primärbedarfsplanung
	Bedarfsplanung
	Zeit- und Kapazitätsplanung
Produktions- steuerung	Auftragsfreigabe
	Feinsteuerung
	Betriebsdatenerfassung (BDE)

Vgl. Scheer (1998), S. 98

Abb. 4.3: PPS-Funktionsebenen und -Funktionsgruppen nach Scheer

Prinzipiell bestehen neben den Abweichungen bezüglich der Begriffswahl die folgenden Unterschiede beider Strukturierungsformen:

1. In der Darstellungsform der Abb. 4.3 ist die Produktionsprogrammplanung ausgeschlossen. Die Bestimmung des deckungsbeitragsmaximalen Produktionsprogramms und die Entscheidung über Eigenfertigung oder Fremdbezug wird somit nicht als PPS-Funktion betrachtet.
2. In der herkömmlichen Darstellungsform (s. Abb. 4.2) wird die Auftragsveranlassung (in Abb. 4.3 mit *Auftragsfreigabe* bezeichnet) eindeutig zur Steuerung gerechnet, während sie in der Darstellungsform der Abb. 4.3 als Bindeglied zwischen Planung und Steuerung angesehen wird und beiden Funktionsebenen zugeordnet ist.
3. In der Darstellungsform der Abb. 4.3 wird die Datenverwaltung nicht als eigene Funktionsgruppe betrachtet, sondern in andere Funktionsgruppen integriert.

Primärbedarfsplanung

Auf der ersten Planungsstufe werden die zu produzierenden Enderzeugnisse und absatzfähigen Ersatzteile bestimmt und die zeitliche Verteilung der Produktion festgelegt. Die Primärbedarfsplanung erfolgt innerhalb des MRP II-Konzepts grundsätzlich rollierend. Nach dem Prinzip des *Infinite Loading* (Einlastung ohne Kapazitätsgrenzen) wird zunächst der Kapazitätsbedarf bestimmt (vgl. Mertens (1992a), S. 30). Darauf folgend wird eine (grobe) Kapazitätsabstimmung durchgeführt, um die Realisierbarkeit des Produktionsprogramms (zumindest hinsichtlich der vorläufigen Planungen) sicherzustellen (vgl. Höck

(1998), S. 13f.). Die Kapazitätsgrobplanung kann auf Basis der Leitteile oder für sämtliche geplanten Primärbedarfe erfolgen (vgl. Imboden (1998), S. 80). Treten Differenzen zwischen Kapazitätsangebot und -bedarf auf, müssen Umplanungen erfolgen.

In diesem Zusammenhang muss das *Objekt* der Primärbedarfsplanung bestimmt werden. Im Rahmen konventioneller PPS-Konzepte ist der Primärbedarf folgendermaßen charakterisiert:

- *Absatzorientierung*: Der Primärbedarf bezeichnet die zu produzierenden Enderzeugnisse und absatzfähigen Ersatzteile.
- *Externe Vorgabe*: Der Primärbedarf wird nicht von einem übergeordneten Produkt abgeleitet, vielmehr werden aus dem Primärbedarf Sekundärbedarfe abgeleitet. Insofern ist der Primärbedarf extern (z. B. durch den Absatzmarkt) vorgegeben.

Diese beiden Eigenschaften treffen in der konventionellen Produktion auf die *veräußerten* Produkte (Enderzeugnisse, Ersatzteile) zu, die den Primärbedarf darstellen. Im Rahmen der Demontageplanung trifft die Eigenschaft *externe Vorgabe* auf beide potenziellen Objekte der Primärbedarfsplanung (Altgeräte, Demontageerzeugnisse) zu (s. Tab. 4.1).

	<i>Altgeräte (AG)</i>	<i>Demontageerzeugnisse (DE)</i>
<i>Absatzorientierung</i>	- liegt nicht vor -	- liegt vor -
	AG werden nicht veräußert	DE werden veräußert
<i>Externe Vorgabe</i>	- liegt vor -	- liegt vor -
	Aus AG können DE-Angebote abgeleitet werden. Die AG-Menge ist (durch Entsorgungsverpflichtungen) z. T. extern vorgegeben.	Aus DE können AG-Bedarfe abgeleitet werden. Die Menge herzustellender DE ist durch den Absatzmarkt determiniert.

Tab. 4.1: Objekt der Primärbedarfsplanung

Dadurch, dass Demontageerzeugnisse beide für Primärbedarfe geforderte Eigenschaften aufweisen und zusätzlich aus der Überlegung heraus, dass die *Herstellung* von Demontageerzeugnissen und nicht *Annahme* und Demontage von Altgeräten den Planungsprozess steuern sollte, werden *Demontageerzeugnisse* im Weiteren als Primärbedarf betrachtet.

Bedarfsplanung

Die Bedarfsplanung stellt ein Kernstück konventioneller PPS-Systeme dar. Das Ziel der Bedarfsplanung besteht darin, die mengenmäßige und termingerechte Materialversorgung der Produktion sicherzustellen. Dazu werden Sekundärbedarfe (abgeleitete Bedarfe) für Zwischen- und Vorprodukte bestimmt (vgl. Domschke u. a. (1997), S. 19). Die Ergebnisse der Materialbedarfsplanung sind termingerecht eingeplante Lose und Bestellmengen (vgl. Höck (1998), S. 15ff.).

Zeit- und Kapazitätsplanung

Die Aufgaben der Zeit- und Kapazitätsplanung bestehen darin, zu überprüfen, ob eingeplante Aufträge hinsichtlich vorhandener Kapazitäten realisierbar sind und eine Zuordnung der Aufträge zu Kapazitäten vorzunehmen (vgl. Hackstein (1989), S. 169). Die im Rahmen der Zeit- und Kapazitätsplanung betrachtete Kapazitätsplanung wird auch als *mittelfristige Kapazitätsplanung* bezeichnet, da die Kapazitäten selbst unverändert bleiben.

Die Dispositionsfunktion der Zeit- und Kapazitätsplanung beginnt mit einer Ergänzung der Auftragsdaten, anschließend wird, noch ohne Beachtung von Kapazitätsrestriktionen, die Terminierung durchgeführt. Beendet wird die Zeit- und Kapazitätsdisposition durch die Kapazitätsabstimmung (vgl. Scheer (1998), S. 211f.). Ergebnisse der Zeit- und Kapazitätsplanung sind terminierte und kapazitiv validierte Fertigungsaufträge. Ein Fertigungsauftrag ist eine zeitlich determinierte Arbeitsanweisung zur Herstellung einer bestimmten Menge eines Produkts (vgl. Domschke u. a. (1997), S. 15).

Auftragsfreigabe

Als Bindeglied zwischen Planung und Steuerung besteht die Funktion der Auftragsfreigabe darin, die Verfügbarkeit benötigter Materialien und Ressourcen sicherzustellen und die Produktion anzustoßen (vgl. Wiendahl (1987), S. 158ff.). Gleichzeitig müssen für die Produktion notwendige Informationen bereitgestellt werden (vgl. Scheer (1998), S. 285). Sind Materialien und Kapazitäten verfügbar, werden sie reserviert und der Auftrag wird als *freigegeben* gekennzeichnet. Durch Rückkopplung zur Zeit- und Kapazitätsplanung wird sichergestellt, dass aktuelle, evtl. geänderte Produktionssituationen (z. B. bezüglich frei verfügbarer Materialien), berücksichtigt werden (vgl. Höck (1998), S. 23). Die Auftragsfreigabe kann *periodisch* (z. B. täglich) oder *ereignisorientiert* (z. B. bei Durchführung eines Eilauftrags) ausgeführt werden (vgl. Scheer (1998), S. 288).

Feinsteuerung

Im Rahmen der Feinsteuerung dominiert als Planungseinheit der *Arbeitsgang* (vgl. Scheer (1998), S. 302). Die Betriebsmittelbelegungsplanung bildet den Hauptteil und ist Ergebnis der Feinsteuerung (vgl. Höck (1998), S. 25; Scheer (1998), S. 302). Die Betriebsmittelbelegungsplanung enthält Start- und Endtermine einzelner Arbeitsgänge sowie evtl. Personal- und Werkzeugbelegungspläne (vgl. Höck (1998), S. 27).

Betriebsdatenerfassung

Die Betriebsdatenerfassung (BDE) bezeichnet das Sammeln und Speichern von Betriebsdaten sowie damit zusammenhängende Verarbeitungsfunktionen, die der Korrektur, Aufbereitung oder Weitergabe dienen (vgl. Roschmann (1990), S. 168). Durch Überprüfung des Fertigungsfortschritts wird gewährleistet, dass auf evtl. Störungen entsprechend reagiert werden kann. Das Ziel der BDE besteht darin, über Stör- und Fertigmeldungen einen Regelkreis aufzubauen, der kontinuierlich Soll- und Istdaten miteinander abgleicht und gegebenenfalls korrigierend auf den Produktionsprozess einwirkt (vgl. Höck (1998), S. 27). Wenn Soll- und Istdaten abgeglichen werden, erweitern sich die Aufgaben von einer reinen Betriebsdatenerfassung zur Betriebsdatenverarbeitung (vgl. Scheer (1998), S. 342).

4.4.2 Kritik

Nachfolgend werden die Kritikpunkte am MRP II-Konzept zusammengefasst:

- MRP II stellt das einzige Konzept dar, das alle Funktionsgruppen der Produktionsplanung und -steuerung unterstützt (vgl. Schenk/Glistau (1996), S. 46). Die Stärke des MRP II liegt jedoch im Bereich der Planung bis zur Auftragsfreigabe (vgl. Mertins/Neubauer (1994), S. 192).
- Aus der sukzessiven Vorgehensweise des MRP II ergeben sich folgende Hauptkritikpunkte (vgl. Adam (1993b), S. 464ff.; Corsten (1996), S. 465ff.; Imboden (1998), S. 81; Kurbel (1999), S. 28f.; Scheer (1998), S. 99; s. Kapitel 4.3):
 - Die Planungsmaßnahmen dienen vorrangig der Ermittlung von Mengen und beachten erst im zweiten Schritt terminliche und kapazitive Restriktionen.
 - Die Güte des gesamten Plans hängt entscheidend von der Güte der ersten Planungsstufe ab. Gleichzeitig basieren die Planungen der ersten Stufe oft auf Annahmen, die mit dem detaillierten Plan nicht übereinstimmen.

- Interdependenzen einzelner Planungsstufen werden unzureichend berücksichtigt. Insbesondere werden rückwärts gerichtete Beziehungen zwischen Bedarfs- und Kapazitätsplanung nicht abgebildet.
- Die durchgeführte deterministische Planung ist bei Störungen schnell veraltet. Aufgestellte Pläne sind nur zum Zeitpunkt der Planung und unter den getroffenen Annahmen korrekt (vgl. Kurbel (1999), S. 28). In der Regel lässt sich zwischen den im Rahmen der Durchlaufterminierung verwendeten Vorgabezeiten und den tatsächlichen Durchlaufzeiten kein funktionaler Zusammenhang nachweisen (vgl. Aue-Uhlhausen/Kühnle (1988), S. 200).
- Störungen führen durch zentralistische und deterministische Planung und nicht vorhandene Entscheidungsspielräume auf ausführender Ebene zu umfangreichem Neuplanungsbedarf (s. Kapitel 4.3). Die Neuplanung unterbleibt jedoch häufig, da der Planungsaufwand zu hoch ist oder die Planungen ausschließlich periodenorientiert (und nicht ereignisorientiert) durchgeführt werden. Zudem sind störungsanzeigende Rückmeldungen aus der Fertigung oft nicht verfügbar (vgl. Kurbel (1999), S. 28).
- Die Auftragsfreigabe erfolgt unabhängig von der Fertigungssituation nur auf Basis der Materialverfügbarkeiten (vgl. Schenk/Glistau (1996), S. 47). Dies kann zu höheren Werkstattbeständen führen.
- Kosten- bzw. Erlösziele können im Rahmen des MRP II nicht verfolgt werden. Statt dessen werden Ersatzziele herangezogen, die in einem vermuteten Zusammenhang mit der Kosten- bzw. Erlössituation stehen (s. Kapitel 4.2). Die Ersatzziele der PPS können im Rahmen des MRP II nicht gewichtet werden (vgl. Rautenstrauch (1997a), S. 16; Kurbel (1999), S. 30). Über entsprechende Prioritätsregeln soll das Erreichen eines bestimmten Ziels unterstützt werden, allerdings besteht zwischen Prioritätsregeln und Zielen oft kein funktionaler Zusammenhang (vgl. Aue-Uhlhausen/Kühnle (1988), S. 199). Grundsätzlich besteht eine mangelhafte Ausrichtung der PPS-Funktionen auf übergeordnete Unternehmensziele (vgl. Corsten (1996), S. 466).

Trotz der aufgezeigten Schwächen des MRP II-Konzepts wird im Weiteren (s. Kapitel 5) ein Ansatz zur Demontageplanung und -steuerung (DPS) vorgestellt, der auf Basis des konventionellen MRP II-Konzepts erarbeitet wurde. Die Gründe werden nachfolgend kurz aufgezählt und im folgenden Kapitel 5 ausführlich dargestellt:

- *Anpassung*: Einige Schwachstellen des MRP II-Konzepts werden durch Integration angepasster Funktionen sowie erweiterte Konzepte konventioneller PPS-Systeme kom-

pensiert (z. B. dezentrale elektronischer Leitstände, Variantenkonfiguration, lineare Optimierung, Fuzzy-Systeme).

- *Prozessähnlichkeit*: Grunddaten und Planungsalgorithmen von Recycling bzw. Demontage und Produktion weisen strukturelle sowie inhaltliche Ähnlichkeiten und Gemeinsamkeiten auf (vgl. Rautenstrauch (1997a), S. 56).
- *Verbreitungsgrad*: Die meisten der heute eingesetzten PPS-Systeme basieren auf dem MRP II-Ansatz. Im Bereich des Remanufacturing setzen ca. 75 % der Unternehmen eine Form des MRP II ein (vgl. Guide (1999), S. 107).
- *Abbildung in Standard-PPS-Systeme*: Ein Ziel dieser Arbeit besteht in der Darstellung von Abbildungsmöglichkeiten bzw. Anpassungsnotwendigkeiten der DPS hinsichtlich Standard-PPS-Systemen. Dies wird im Rahmen einer Fallstudie anhand der Standardsoftware SAP R/3 geprüft, deren Modul PP (*Production Planning*) dem grundsätzlichen Aufbau des MRP II folgt (vgl. z. B. Keller/Teufel (1997), S. 87f.; Lebefromm (1997), S. 79ff.; Kurbel (1999), S. 331).

4.5 Demontageinduzierte Herausforderungen

Im Rahmen der Abbildung demontagespezifischer Besonderheiten in ein PPS-System müssen Produkt- und Prozessstrukturen übertragen werden. Auf Basis der Demontageplanungsprobleme werden Anforderungen an ein DPS-Konzept gestellt. Diese Anforderungen werden im Rahmen einzelner Funktionsgruppen der DPS (s. Kapitel 5) abgeleitet und beschrieben. Die Hauptprobleme bei der Abbildung von Produkt- und Prozessstrukturen bestehen zum einen darin, dass sich Demontageabläufe nicht deterministisch planen lassen, da im Vergleich zur konventionellen Montage/Produktion hohe *Unsicherheiten* bestehen. Zum anderen kann die Demontageplanung im Vergleich zur konventionellen Montage/Produktion eine höhere *Komplexität* aufweisen (vgl. Guide (1999), S. 101). Diese Komplexität ist z. T. durch Unsicherheiten bedingt. Aus beiden genannten Problemen resultieren fehlerhafte Planungen bezüglich physischer Demontageprozesse sowie der Kosten- und Erlössituation.

4.5.1 Unsicherheit

Unsichere Mengen

Informationen über den erwarteten Altgeräterückfluss sind für die Demontageplanung von großer Bedeutung. Die Menge anfallender Altgeräte determiniert den Umfang der Demontageplanung auf strategischer und operativer Ebene. Auf strategischer Ebene müssen Demontagekapazitäten und geeignete Logistikstrukturen (z. B. Lager, Transport-

einrichtungen) ausgelegt werden. Auf operativer Ebene stehen Kapazitätsauslastung und Befriedigung spezifischer Kundenbedarfe (z. B. hinsichtlich Lieferterminen, Demontageerzeugnis-Qualität) im Vordergrund. Der Rückfluss ausgedienter Altgeräte ist bezüglich Arten, Zeiten und Mengen kaum prognostizierbar (vgl. Guide (1999), S. 105; Seliger/Hentschel (1996), S. 43). Eine zufriedenstellende Planung zur Entsorgung anstehender Altgerätemengen und -zeitpunkte konnte bisher weder über

- ehemalige Abverkaufszahlen der zur Entsorgung anstehenden Altgeräte, noch durch
- aktuelle Abverkaufszahlen der Geräte erreicht werden, die gegenwärtig Haushalten und Betrieben als Ersatz zufließen,
- weiterhin sind in der Regel keine Fortschreibungen von Altgeräterückflüssen erhältlich, die eine zeitreihenbasierte Prognose ermöglichen könnten (vgl. Marx-Gómez/Rautenstrauch (1999), S. 63).

Die Unsicherheit bezüglich der Altgeräteeinfallmengen resultiert u. a. daraus, dass die Nutzungsdauer der Altgeräte unbekannt ist (s. Kapitel 2.2.1). Weiterhin konkurrieren alternative Entsorgungsverfahren und -möglichkeiten (z. B. Shreddern, Export⁶⁷) um die vorhandenen Altgeräte.

Rücklaufprognosen sind dann relativ genau, wenn sie z. B. auf Basis von Leasingverträgen (s. Kapitel 2.4.1) erstellt werden. Verleaste Geräte (z. B. Kopierer) stehen der Demontagefabrik nach (zumeist mit dem Endkunden vertraglich) definierten Zeiträumen zur Verfügung. Ähnliches gilt für die Demontage im Rahmen von Produktnutzenkonzepten (s. Kapitel 2.3.2). Ohne dass mit dem Endkunden eine definierte Zeitspanne zur Überlassung eines bestimmten Geräts vereinbart werden muss, können die Geräte zu passenden Zeitpunkten abgeholt (ausgetauscht) und demontiert werden.

Abgesehen von Leasingverträgen bzw. Produktnutzenkonzepten unterliegen Kapazitätsauslastung und Befriedigung spezifischer Kundenbedarfe auf Grund ungenauer Rückflussprognosen einer hohen Unsicherheit. Mehr als die Hälfte der Unternehmen im Bereich Remanufacturing haben keinerlei Kontrolle über die Altgeräterückflüsse. Einige Unternehmen setzen Hilfsmittel ein, um den Rückfluss zu steuern. Diese Steuerung ist allerdings entweder mengen- oder zeitorientiert (vgl. Guide (1999), S. 105). Neuere Ansätze beschäftigen sich mit Prognosen zum Altgeräterücklauf auf Basis von Fuzzy-Logik (s. Kapitel 5.2.5.2).

⁶⁷ Derzeit werden weit über 50 % des in Deutschland anfallenden Elektronikschrotts exportiert, das entspricht ca. 1 Million Tonnen pro Jahr (vgl. BVSE (1998), S. 4ff.).

Unbekannte Altgeräte

Sind bisher unbekannte Altgeräte zu demontieren, werden nur in Ausnahmefällen Stücklisten und Demontearbeitspläne vorliegen. Die Informationsversorgung (s. Kapitel 2.2.2) hängt u. a. mit der Bindung der Demontagefabrik an Hersteller bzw. Netzwerk zusammen. Unternehmen, die in ein Netzwerk eingebunden sind (Organisationsform: *Kooperation*), verfügen evtl. über eine verbesserte Informationsversorgung als Unternehmen, die ausschließlich in kurzfristige, spontane Transaktionsbeziehungen (Organisationsform: *Markt*) mit ihren Geschäftspartnern treten. Trotz unterstellter Einbindung der Demontagefabrik in ein Unternehmensnetzwerk wird im Weiteren angenommen, dass die Planungsinformationen unvollständig sind. Zum einen wird der Netzwerkverbund nicht alle benötigten Informationen (z. B. hinsichtlich nutzungsbedingter Veränderungen) liefern können, zum anderen ist die Demontagefabrik nicht ausschließlich in einem Netzwerk eingebunden, sie kann ebenfalls anonyme Demontageleistungen erbringen (s. Kapitel 3.4).

Auf Basis unbekannter bzw. unvollständiger Strukturdaten müssen Vorkalkulationen durchgeführt oder exakte Durchlaufzeiten und genaue Liefertermine bestimmt werden. Um diese Planungen durchführen zu können, wird auf Schätzungen oder statistische Vergangenheitswerte zurückgegriffen (vgl. Hackstein (1989), S. 116; Schomburg (1987), S. S.1.2/4f.). Zudem kann eine Planung auf Basis von Referenzprodukten (z. B. einem Pseudo-Altgerät mit durchschnittlicher Ausprägung aller Merkmale) durchgeführt werden.

Unbekannte Altgerätezustände

Die zur Demontage anstehenden Altgeräte weisen unsichere Altproduktzustände hinsichtlich

- *Modifikation* (z. B. zusätzliche, fehlende oder unzugängliche Komponenten),
- *Funktion* (z. B. Funktionsfähigkeit einer Komponente) und
- *Beanspruchung* auf.

Die Altgerätebeanspruchung beeinflusst Demontagekosten und Wiedereinsatzfähigkeit der Demontageerzeugnisse. Die Altgerätebeanspruchung kann zum Zeitpunkt der Ausmusterung sehr unterschiedlich sein. Folgende Bewertungsmerkmale lassen sich zur Unterscheidung heranziehen (vgl. Spur (1997), S. 2-7f.):

- Beweglichkeit
- Funktionsfähigkeit
- Verschmutzungsgrad
- Schädlichkeit
- Verschleißzustand

- Deformationszustand
- Korrosionszustand

Durch unbekannte Altproduktzustände wird oft erst während der Demontage ersichtlich, welche Operationen durchzuführen sind. Dadurch lassen sich

- Durchlaufzeiten und Liefertermine,
- Kapazitätsbedarf,
- Art und Reihenfolge der Arbeitsgänge,
- auftretende Schadstoffe und Prozesskräfte sowie
- Demontagekosten bzw. -erlöse a priori nur auf Basis von Erwartungswerten bestimmen.

Unvollständige und unsichere Planungsdaten (z. B. Rückflussprognose, Altgerätezustand, Altgeräte-Erzeugnisstruktur) 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 Störungsbewältigung eingeleitet werden (vgl. z. B. Wildemann (1995), S. 41ff.)⁶⁸. Die Maßnahmen der Störungsbewältigung (z. B. Um- und Neuplanungen) müssen mit ausreichender Schnelligkeit durchgeführt werden (vgl. Gupta/Veerakamolmal (1999), S. 141). Ausreichende Schnelligkeit liegt vor, wenn der Demontageablauf durch die Durchführung von Planungsaktivitäten nicht verzögert wird. In diesem Zusammenhang ergibt sich eine besonders hohe Forderung nach Flexibilität. Das DPS-Konzept muss diese Flexibilitätsanforderungen entsprechend umsetzen.

4.5.2 Komplexität

Die Demontagefabrik ist in der beschriebenen Typologie (s. Kapitel 3.3.2) durch hohe Komplexität gekennzeichnet. Im folgenden werden betriebstypologieunabhängige (vgl. Schomburg (1987), S. S.1.2/4) und demontagefabrikspezifische Komplexitätsmerkmale genannt und beschrieben.

- *Altgerätespektrum und -struktur*: Die Demontage wird durch eine hohe Variantenvielfalt der Altgeräte, verursacht durch verschiedene Modelle, Hersteller und Baujahre, erschwert. Geringe Stückzahlen pro Variante (vgl. Hesselbach/Westernhagen (1999), S. 151; Wiendahl/Bürkner (1999), S. 249) führen in diesem Zusammenhang zu einer weiteren Komplexitätserhöhung. Die Planungskomplexität hängt in der Regel von der

⁶⁸ Im Rahmen des vorgestellten Konzepts wird davon ausgegangen, dass sich das Auftreten bestimmter Störungen (z. B. Störungen, die auf Grund unbekannter Altgerätezustände entstehen) nicht verhindern lässt.

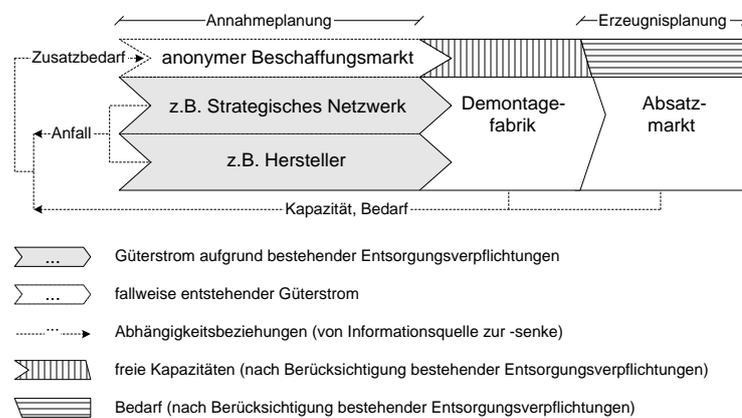
Komponentenanzahl und -struktur eines Altgeräts ab. Die Anzahl möglicher Demontagereihenfolgen je Altgerät ist im Extremfall exponentiell zur Anzahl der zu demontierenden Teile.

- *Konstanz des Nutzungszustands:* Die zu demontierenden Altgeräte weisen unterschiedliche Nutzungszustände auf (vgl. Bönker u. a. (1998), S. 274). Dies kann u. a. zu der Notwendigkeit führen, häufig zu Rüsten und komplexe (*Maximal-*)Arbeitspläne bzw. (*Maximal-*)Stücklisten vorzuhalten. Dabei ist zu beachten, dass Abhängigkeiten zwischen den Zuständen einzelner Komponenten existieren können. Der Defekt bzw. die Funktionsfähigkeit einer Komponente kann auf den Defekt bzw. die Funktionsfähigkeit einer anderen Komponente schließen lassen. Weiterhin kann der Gesamtzustand des Altgeräts eine hohe Korrelation zu einer oder mehreren Komponenten aufweisen.
- *Konstanz der Demontagetiefe:* Die Demontagetiefe kann starken Schwankungen unterliegen. Sie hängt vor allem vom *Nutzungszustand* des Altgeräts und der *Demontageerzeugnis-Nachfragesituation* ab, d. h. zwei gleiche Altgeräte müssen nicht unbedingt zu gleichen Demontageabläufen führen.
- *Konstanz des Demontageablaufs:* Entsprechend der *Demontagetiefe* und des verfolgten *Demontageziels* (Verwertungs-, Wiedereinsatzvorbereitung) kann der Demontageablauf hohen Schwankungen unterliegen.
- *Konstanz des Altgeräteanfalls:* Der Altgeräteanfall wird als unsicher angenommen (s. Kapitel 4.5.1). In diesem Zusammenhang kann es zu komplexitätserhöhenden Störungen kommen.
- *Baugleichheiten:* Der planerische Umgang mit *Baugleichheiten* stellt ein Hauptproblem der Demontageplanung dar. Durch einen zusätzlichen Freiheitsgrad und entsprechend entstehende Abhängigkeiten zwischen den Komponenten der Demontageerzeugnis-Struktur wird die Komplexität der Demontageplanung erhöht (vgl. Taleb/Gupta (1997), S. 950). Zur Befriedigung eines Primärbedarfs von n Demontageerzeugnissen müssen zwischen *einem* und n Altgeräten demontiert werden⁶⁹. Enthält ein Altgerät den gesamten Primärbedarf, muss *ein* Altgerät demontiert werden. Genau n Altgeräte müssen demontiert werden, wenn jedes Demontageerzeugnis in einem (physisch) anderen Altgerät enthalten ist. Sind alle Altgeräte baugleich, bestimmt der maximale Primärbedarf die Anzahl notwendiger Altgeräte. In der Regel wird der gesamte Primärbedarf aus verschiedenen Altgeräten zu befriedigen sein, wobei unterstellt werden muss, dass mehrere Demontageprodukte aus demselben Altgerät erzeugt werden können. Gleich-

⁶⁹ In diesem Zusammenhang soll zur Vereinfachung angenommen werden, dass alle Demontageerzeugnisse demontierbar und wiedereinsetzbar sind.

zeitig können mehrere Altgeräte die gleichen (potenziellen) Demontageerzeugnisse beinhalten. In gängigen Stücklistentypen münden die abzubildenden Produktionsschritte letztlich als Synthese in *ein* Endprodukt (vgl. Imboden (1998), S. 85). Damit wird unterstellt, dass zwischen Endprodukt und Material eine 1:n-Beziehung vorliegt. Im Rahmen der Demontage können allerdings aus gleichen Altgeräten unterschiedliche Demontageerzeugnisse resultieren. Die gängigen Stücklistentypen sind daher für die Planung der Demontage ungeeignet.

- *Doppelfunktion der Demontagefabrik:* Durch die Doppelfunktion der Demontagefabrik (Service- und Produzentenfunktion) ergibt sich die Notwendigkeit einer dualen Programmplanung. In diesem Zusammenhang sind Interdependenzen zwischen Annahmeplanung (Zeiten und Mengen des Altgeräteeinflusses) und Erzeugnisplanung (Zeiten und Mengen der Demontageproduktproduktion) zu berücksichtigen (s. Abb. 4.4).



Quelle: Huber/Marx-Gómez (2000b), S. 1182

Abb. 4.4: Planungssituation der Demontagefabrik

Erst nachdem bekannt ist, welche Mengen an Altgeräten (auf Grund der Entsorgungsrahmenverträge mit Netzwerken oder Herstellern) in der Planperiode anfallen, kann über eine zusätzliche Beschaffung am *anonymen Beschaffungsmarkt* entschieden werden.

4.5.3 Zusammenfassung

Zusammenfassend können folgende Komplexität und Unsicherheit verursachende Herausforderungen der Demontageplanung identifiziert werden. Sie beziehen sich auf *Input*, *Durchsatz* und *Output* des Demontageprozesses (vgl. Huber (2000d)):

- *Materialeinsatz- und Materialmengenflexibilität:* Ein definierter Primärbedarf (Art und Menge von Demontageerzeugnissen) kann mit unterschiedlichen Altgeräte-Zusammensetzungen 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.

5 Demontageplanung und -steuerung

5.1 Einführung

Die Demontageplanung und -steuerung (DPS) stellt, analog zur PPS, neben der Arbeitsplanung ein Teil der Arbeitsvorbereitung dar (s. Abb. 4.1). Die DPS umfasst die organisatorisch/dispositive Seite der Demontage.

Generell kann *additives* und *produktionsintegriertes* Recycling unterschieden werden (vgl. Rautenstrauch (1999), S. 65ff.). Bei produktionsintegriertem Recycling steht der unmittelbare Wiedereinsatz von Produkten bzw. Stoffen im Vordergrund. Systeme zur Planung und Steuerung des produktionsintegrierten Recycling werden als Produktions- und Recyclingplanungs- und -steuerungssysteme (PRPS-Systeme) bezeichnet (vgl. Rautenstrauch (1997a)). Additive Demontage zielt auf den mittelbaren Stoff- bzw. Produktwiedereinsatz. Softwaresysteme zur operativen Planung und Steuerung mittelbarer Demontage werden als Demontageplanungs- und -steuerungssysteme (DPS-Systeme) bezeichnet (vgl. Huber (2000b), S. 24ff.). Insbesondere steht bei Systemen bzw. Konzepten der DPS das *Produktrecycling* im Vordergrund. Analog zu konventionellen PPS-Systemen bzw. -Konzepten werden die komplexen Probleme operativer Planung und Steuerung sukzessive gelöst.

Die Wahl des Begriffs *Demontageplanung und -steuerung* ist (im Zusammenhang mit der üblichen Verwendung des Begriffs *Produktionsplanung und -steuerung*) nicht ganz konsequent. Der Begriff *Produktion* schließt den Begriff der *Fertigung* ein, der seinerseits u. a. *Trennen* und *Fügen* beinhaltet. Trennen als Hauptfunktion der Demontage und Fügen als Hauptfunktion der Montage stehen somit auf der gleichen semantischen Ebene. Insofern könnte an Stelle von *Demontage-* auch von *Produktionsplanung und -steuerung* gesprochen werden. Wird die Terminologie auf Systeme bzw. Konzepte übertragen, stellt die DPS (im Rahmen der Recyclingplanung und -steuerung) ein Pendant zur Montageplanung und -steuerung (im Rahmen der PPS) dar. Im Rahmen dieser Arbeit soll der Unterschied zu konventionellen PPS-Konzepten bzw. -Systemen verdeutlicht werden. Im Weiteren wird daher die Begriffsspezialisierung *Demontageplanung und -steuerung* verwendet.

Die Konzeption von PPS-Systemen lässt Aspekte des Recycling weitestgehend außer Betracht (vgl. Corsten/Reiss (1991), S. 621), obwohl die Demontageplanung der Produktionsplanung z. T. explizit zugerechnet wird (vgl. Adam (1998), S. 111). Geeignete Methoden zur Planung und Steuerung von Demontagevorgängen sind bislang nicht ausreichend verfügbar (vgl. Wiendahl/Bürkner (1999), S. 247). Die Anpassung von PPS-Systemen auf Umweltbelange wird aus Gründen der Komplexität und der verhaltenen

Berücksichtigung umweltrelevanter Belange in Unternehmen bisher nicht ausreichend voran getrieben (vgl. Steinaecker u. a. (1997), S. 79).

Die Forderung nach Einbeziehung der Umweltproblematik in die Produktionsplanung wird seit längerem erhoben (vgl. Corsten/Reiss (1991), S. 621; Strebel (1988a)). Das Gebiet der Produktionsplanung erfährt in diesem Zusammenhang Impulse ökologischer Art (vgl. Götzelmann (1994), S. 1105; Kern (1982), S. 123ff.; Strebel (1988b), S. 98). Vereinzelt Lösungen zur Integration der Umweltproblematik wurden in letzter Zeit vorgestellt. Die heute gängige Recyclingmethode ist das Materialrecycling. Recyclingverfahren wie Shreddern oder thermische Verwertung weisen im Gegensatz zur Demontage eine verhältnismäßig geringe Prozesskomplexität auf. Eine rechnerunterstützte Planung dieser Prozesse ist in der Regel nicht nötig. Die Demontage zeichnet sich dagegen durch hohe Prozesskomplexität und als Hauptkostenverursacher in Recyclingprozessen aus (vgl. Rautenstrauch (1999), S. 65f.).

In der Literatur vorgestellte Konzepte, die im weiteren Sinne das Gebiet der Demontageplanung berühren, können anhand ihres Integrationsgrads unterschieden werden. *Integration* umfasst hierbei die Gesamtheit aller Aktivitäten, die notwendig sind, um ein Planungsproblem zu bewältigen, dessen Komplexität sich durch hinzukommende Planungsaufgaben erhöht (vgl. Zäpfel (1982), S. 297).

- Ein Großteil bisher vorgestellter Systeme bzw. Konzepte sind als *Insellösung* bzw. *Add-On* konzipiert. Diese Ansätze stellen z. T. nur Ausschnitte der DPS dar. Sie haben ihren Schwerpunkt z. B. in der Erzeugung von Demontearbeitsplänen, -erzeugnisstrukturen bzw. -stücklisten. Mit diesen Systemen werden insofern originäre *Arbeitsplanungsaufgaben* (s. Abb. 4.1) unterstützt. Häufig steht die prädiktive bzw. reaktive Bestimmung optimaler Zerlegevarianten und Demontagetiefen oder die Gruppierung von Altgeräten im Vordergrund (vgl. z. B. Feldmann u. a. (1995), S. 123ff.; Hentschel (1996); Kurbel/Schneider (1995); Scheuerer (1995); Tritsch (1996); Werder (1996)). Die Erzeugung der genannten Stammdaten ist Voraussetzung für den produktiven Einsatz von DPS-Systemen. Weitere Ansätze beschäftigen sich z. B. mit der Prognose des Altgeräteanfalls (vgl. Marx-Gómez (1999); Marx-Gómez/Rautenstrauch (1999), S. 63) oder mit der zur Erfüllung von Demontageerzeugnis-Bedarfen notwendigen Bestimmung kostenminimaler Altgerätemengen (vgl. Taleb/Gupta (1997)).
- Einige in der Literatur vorgestellte (Fach-)Konzepte weisen einen *hohen Integrationsgrad* mit bisher vorhandenen und in der Praxis eingesetzten Lösungen auf: Im Vordergrund steht hierbei z. B. die Integration von Recyclingplanungs- und -steuerungskonzepten in konventionelle, bisher ausschließlich auf Produktion gerichtete

tete PPS-Konzepte (vgl. Rautenstrauch (1997a)). Einen weiteren Untersuchungsschwerpunkt bilden *ökologieorientierte PPS-Konzepte*, in denen parallel zum Einsatz der PPS-Funktionsgruppen mögliche *Öko-Potenziale* bzw. *Öko-Szenarien* beschrieben werden (vgl. Steinaecker u. a. (1997)).

Durch Einfluss der Kreislaufwirtschaft auf zukünftige Unternehmensorganisationen werden neue technische und organisatorische Strukturen erforderlich. Diese beziehen Produktionsplanung und -steuerung mit ein (vgl. Schotten/Pillep (1999), S. 757). Prozesse des Produktrecycling und der Produktion beruhen auf den gleichen wirtschaftlichen Grundlagen und Triebkräften (vgl. Warnecke/Sigl (1994), S. 18). Es bietet sich daher an, vorhandene konventionelle PPS-Konzepte auf Einsatzmöglichkeiten im Bereich des Recycling zu untersuchen (vgl. Corsten/Reiss (1991), S. 626; Haasis (1994), S. 123; Kaiser (1999), S. 618; Rautenstrauch (1997a), S. 1). In diesem Zusammenhang müssen Einsatz und notwendige Anpassungen des MRP II-Konzepts untersucht werden (vgl. Guide (1999), S. 112). Bislang setzen ca. 75 % der Unternehmen, die im Bereich Remanufacturing tätig sind, eine (in der Regel angepasste) Form des MRP ein (vgl. Guide (1999), S. 107). Der Vorteil eines Einsatzes von auf dem MRP II-Konzept basierenden DPS-Systemen besteht u. a. darin, Erfahrungen nutzen zu können, die bislang mit konventionellen PPS-Systemen gemacht wurden. Hierbei kann die konventionelle Aufgabenunterteilung der Produktionsplanung und -steuerung (s. Kapitel 4.4) beibehalten werden (vgl. Inderfurth (1999), S. 4). Mit im Zentrum entsprechender Untersuchungen steht die Fragestellung, welche Funktionen konventioneller PPS im Rahmen der DPS zum Einsatz kommen (vgl. Wiendahl et al. (1999), S. 720). Bestehende Funktionen konventioneller PPS-Systeme können in gewissem Umfang wieder- bzw. weiterverwendet werden (vgl. Kaiser (1999), S. 618), bestimmte Funktionen bzw. Funktionsgruppen erfordern Erweiterungen, Modifikationen bzw. Ergänzungen um entsprechende Modelle und Methoden (vgl. Schenk (2000b)). Anpassungen der bestehenden Konzepte bzw. Systeme sollten nur insoweit vorgenommen werden, wie dies für einen erfolgreichen Einsatz in der Demontage notwendig ist. Durch einen geringeren Anpassungsaufwand können die Einsatzpotenziale weiter erhöht werden.

Hauptaufgaben operativer Demontageplanungssysteme bzw. -konzepte werden in der Literatur nur oberflächlich diskutiert (vgl. Rudolph (1999), S. 144). Veröffentlichungen auf dem Gebiet der Demontageplanung und -steuerung haben ihren Schwerpunkt in erster Linie im Bereich der Steuerung oder der Entwicklung von Algorithmen für die Erstellung von Demontagebäumen und -reihenfolgen (vgl. Dini et al. (1998)). Entsprechend fehlen bislang Konzepte zur integrierten Demontageplanung und -steuerung, obwohl die DPS durch Informationsbereitstellungs- und Entscheidungsunterstützungs-Funktionen erheblich zur Wirtschaftlichkeit von Demontageprozessen beitragen kann (vgl. Rudolph (1999), S. 140; Wiendahl/Bürkner (1999), S. 251).

Demontagefabriken sind häufig durch eine *ad hoc*-Demontage gekennzeichnet, die weitgehend ohne Funktionen der Planung und Steuerung durchgeführt wird (vgl. Feldmann/Meedt (1996), S. 30). Konzepte bzw. Systeme der DPS können in diesem Zusammenhang dazu beitragen, die Wirtschaftlichkeit der Demontage zu erhöhen (vgl. Wiendahl et al. (1999), S. 718). Durch die Orientierung der Demontagefabrik auf die Wieder- bzw. Weiterverwendung von Produkten oder Komponenten (Produktrecycling) und die Befriedigung kundenspezifischer Bedarfe ändert sich die Organisation von einer *ad hoc*-Fließdemontage in Richtung einer geplanten *on-demand-orientierten* Demontage (vgl. Huber (2000c), S. 75). Komponenten, für die kein Bedarf besteht, sollten erst gar nicht im Hinblick auf Produktrecycling demontiert werden. Vielmehr sollten für diese Komponenten Demontagetätigkeiten nur insoweit durchgeführt werden, wie sie zur Verwertungsvorbereitung notwendig sind. Im Gegensatz zur konventionellen, anfallorientierten Fließdemontage müssen in diesem Zusammenhang zwei Besonderheiten beachtet werden (vgl. Huber et al. (2001), S. 403):

- *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 u. a. die planungsseitigen Voraussetzungen zur Ermittlung notwendiger Altgerätemengen in DPS-Systemen geschaffen werden (vgl. Kurbel (1999), S. 372; Taleb/Gupta (1997), S. 951).

Bedingt durch die duale Leistungssituation der Demontage (Service- und Produzentenleistung) können *Altgeräte* nicht ausschließlich beschafft werden. Ein nicht unbedeutender Teil wird unbeeinflussbar anfallen. Im Rahmen des DPS-Konzepts müssen allerdings die Möglichkeiten zur zielgerichteten Beschaffung bereit gestellt werden. Wird angenommen, dass neuere (Alt-)Geräte im Hinblick auf den Wiedereinsatz von Ersatzteilen eher nachgefragt werden als ältere (Alt-)Geräte, muss dies planungsseitig umgesetzt 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 (vgl. Huber (2000c), S. 75):

- Falls *Altgeräte unbeeinflussbar* anfallen und *keine Beschaffung möglich* ist, sind anfallende *Altgeräte effizient* zu nutzen, d. h. so zu demontieren, dass aus einer gegebenen Altgerätemenge die optimale⁷⁰ Menge an Demontageerzeugnis-Bedarfen befriedigt werden kann.

⁷⁰ Hier wurde der Begriff *maximal* vermieden, um zu verdeutlichen, dass es aus Kostengesichtspunkten durchaus sinnvoll sein kann, einen bestimmten Demontageerzeugnis-Bedarf nicht (oder erst zu einem späteren Zeitpunkt) zu befriedigen.

- Falls *Altgeräte ausschließlich zielgerichtet beschafft* werden, ist diejenige Altgerätemenge zu ermitteln, mit der ein gegebener Demontageerzeugnis-Bedarf *effizient* befriedigt werden kann.
- Falls *Altgeräte unbeeinflussbar* anfallen und eine *zielgerichtete Beschaffung möglich* ist, sind willkürlich anfallende Altgeräte *effizient* zu nutzen und evtl. Differenzmengen aus zusätzlich beschafften Altgeräten zu befriedigen⁷¹.

Eine Anforderung an das DPS-Konzept besteht somit darin, die Voraussetzungen zu schaffen, dass von

- einem z. T. *beeinflussbaren* Altgeräteanfall und
- einer *dynamischen* Absatzsituation ausgegangen werden kann (vgl. Huber (2000d)).

Die Entwicklung von Konzepten für DPS-Systeme wird durch Prozessähnlichkeiten von Produktion und Demontage (vgl. Jahn (1999), S. 33; Wiendahl et al. (1999), S. 720) und die sich dadurch eröffnende Möglichkeit, vorhandene Systeme bzw. Konzepte anzupassen, erleichtert. Insbesondere Grunddaten und Planungsalgorithmen weisen sowohl strukturelle als auch inhaltliche Ähnlichkeiten und Gemeinsamkeiten auf (vgl. Rautenstrauch (1997a), S. 56)⁷². Der Integration in vorhandene Systeme bzw. Konzepte kommt ein besonders hoher Stellenwert zu. Denn als Insellösungen konzipiert, widersetzen sich separate Informationssysteme häufig einer nachträglichen Integration (vgl. Corsten/Reiss (1991), S. 626). Die Integrationsaktivitäten können aus den verschiedenen Sichtweisen für PPS-Systeme betrachtet werden (s. Kapitel 4.4.1). Im Rahmen dieser Arbeit werden die Aktivitäten nach Funktions- und Datensicht differenziert. Des Weiteren lassen sich verschiedene Anpassungsmaßnahmen unterscheiden. Anpassungsmaßnahmen lassen sich danach einteilen, ob sie erweiternden, modifizierenden oder ergänzenden Charakter haben (vgl. Corsten/Reiss (1991), S. 623ff.):

- *Erweiterung*: Von Erweiterung wird gesprochen, wenn hinzukommende Planungs- und Steuerungsprobleme einschließlich zugehöriger Daten im Rahmen der *qualitativ unveränderten* PPS-Funktionsgruppen (s. Abb. 4.3) berücksichtigt werden⁷³ (z. B. Stammdatenerweiterung).

⁷¹ Im Zusammenhang mit der Altgerätebeschaffung soll auf die grundsätzliche Möglichkeit hingewiesen werden, Demontageerzeugnis-Bedarfe auch aus *Neugeräten* befriedigen zu können. Analog zu Produktgruppen mit negativem Deckungsbeitrag, die z. B. der Vervollständigung des Produktprogramms dienen und aus Marketinggründen (Verbundbeziehungen) aufrecht erhalten werden (vgl. Nieschlag u. a. (1994), S. 230ff.), könnte es in Ausnahmefällen sinnvoll erscheinen, Neugeräte zu beschaffen und zu demontieren.

⁷² In der Literaturquelle bezieht sich diese Aussage auf die *Recyclingplanung* und -steuerung.

⁷³ Diese Einteilung ist in der Literatur nicht unumstritten. Unter *Erweiterung* wird z. T. das Hinzufügen weiterer Planungsstufen verstanden (vgl. z. B. Schröder (1990), S. 65).

- *Modifikation*: Reichen Maßnahmen der Erweiterung zur Adaption nicht aus, muss die *Struktur* des PPS-Systems angepasst werden (z. B. Veränderung der Reihenfolge auszuführender Funktionen).
- *Ergänzung*: Werden durch notwendige Anpassungen Leistungsgrenzen des PPS-Systems erreicht und können die spezifischen Probleme nur durch *zusätzliche* Funktionen bzw. Planungs- und Informationssysteme (z. B. Add-Ons) berücksichtigt werden, muss das PPS-System entsprechend ergänzt werden (z. B. externe Berechnung eines Optimierungsproblems).

Ziel dieses Kapitels ist, aufbauend auf Konzepten der konventionellen PPS (s. Kapitel 4.4), notwendige Anpassungen aufzuzeigen (s. Kapitel 4.1), die zur Durchführung der Demontageplanung und -steuerung notwendig sind. Der Anpassungsbedarf wird durch demontagespezifische Anforderungen (s. Kapitel 4), die vorgestellte Demontagefabrik-Betriebstypologie (s. Kapitel 3.3.2) und unter Berücksichtigung der Ziele und Herausforderungen der Demontageplanung (s. Kapitel 4.2, 4.5) determiniert. Das PPS-Konzept wird Schritt für Schritt zu einem DPS-Konzept modifiziert. Schwerpunkte werden (aus Sicht der *betrieblichen PPS-Funktionen*) auf die on-demand-orientierte Demontage mit dem Ziel des Produktrecycling (s. Kapitel 4.1) und (aus Sicht der *PPS-Funktionsgruppen*) auf die Planung gelegt. In diesem Zusammenhang werden demontageinduzierte Anpassungen der

- Stamm- und Bewegungsdaten,
- Primärbedarfsplanung,
- Bedarfsplanung sowie
- Zeit- und Kapazitätsplanung erarbeitet.

Im Anschluss an Erläuterungen der Planungsdaten und -funktionen werden Voraussetzungen zur Durchführung einer dezentralen, reaktiven Steuerung entwickelt. Hierbei werden relevante Aspekte der Steuerung (z. B. BDE, dezentrale Leitstände) beleuchtet.

Die nachfolgenden Kapitel, in denen die Funktionsgruppen der Demontageplanung beschrieben werden, sind gleichartig strukturiert. Die verwendeten und entsprechend der Beschreibungsobjekte geordneten Modellierungsarten können Tab. 5.1 entnommen werden. Nach einer jeweils allgemeinen und demontagespezifischen Einführung wird jede Funktionsgruppe in einem Prozessobjektmodell abgebildet. Anschließend werden Grundlagen und demontageinduzierte Anpassungen relevanter Stamm- und Bewegungsdaten dargestellt. Bevor einzelne anzupassende Funktionen, die sich von der konventionellen Planungsdurchführung in PPS-Systemen unterscheiden, detailliert beschrieben werden, wird der Hauptprozess der jeweiligen Funktionsgruppe vorgestellt und die Funktionszusammenhänge in einem Prozessmodell abgebildet.

<i>Beschreibungsobjekt</i>	<i>Merkmal</i>	<i>Beschreibungsmodell</i>	<i>Einsatz</i>
Funktionsgruppe	hoher Abstraktionsgrad (Modellelement: Prozessobjekt, Prozessfunktion)	Prozessobjektmodell	je Funktionsgruppe
Funktionsgruppe	mittlerer Abstraktionsgrad (Modellelement: Ereignis, Funktion)	Prozessmodell auf Basis erweiterter ereignisgesteuerter Prozessketten	je Funktionsgruppe
Funktion	mittlerer Abstraktionsgrad (Modellelement: Ereignis, Funktion)	Prozessmodell auf Basis erweiterter ereignisgesteuerter Prozessketten	fallweise
Algorithmus	hoher Detaillierungsgrad	Struktogramm	fallweise
Datenstruktur	hoher Detaillierungsgrad	Entity-Relationship- (ER-)Diagramm ⁷⁴	fallweise

Tab. 5.1: Verwendete Modellierungsarten

Die PPS-Begriffsterminologie (insbesondere die Bezeichnung der Funktionsgruppen) wird weitestgehend beibehalten. Die teilweise nicht ganz unproblematische Beibehaltung erfolgt mit dem Ziel, die Parallelität des erarbeiteten DPS-Konzepts hinsichtlich konventioneller PPS aufrecht zu erhalten. Etwaige Abweichungen werden hervorgehoben.

5.2 Primärbedarfsplanung

5.2.1 Einführung

Im Rahmen der *Primärbedarfsplanung* erfolgt in PPS-Systemen die Planung derjenigen Produktmengen, die voraussichtlich gefertigt und abgesetzt werden können. Module der Primärbedarfsplanung gängiger PPS-Systeme beinhalten Verwaltungs- und Prognosefunktionen, aber keine den Deckungsbeitrag optimierende Produktionsprogrammplanung

⁷⁴ Die Darstellung der ER-Diagramme ist an die Notation von Scheer angelehnt (vgl. z. B. Scheer (1998), S. 31ff.), die auf das von Chen entwickelte *Entity-Relationship Model* zurückgeht (vgl. Chen (1976)). Als Ergänzung zur Notation von Scheer werden in dieser Arbeit die Angaben von Ober- und Untergrenzen (z. B. (0,*), (1,1)) für die Anzahl der Beziehungsausprägungen aufgenommen (vgl. z. B. Schlageter/Stucky (1983), S. 50ff.). Weiterhin wird die von Scheer verwendete Notation zu Generalisierung/Spezialisierung (*IS-A*) durch die Wahl eines entsprechenden Konnektors (*XOR*, *AND*, *OR*) zur expliziten Unterscheidung von Teilmengen-Überschneidungen ersetzt (vgl. z. B. Kurbel (1999)).

im produktionswirtschaftlichen Sinn (vgl. Domschke u. a. (1997), S. 19; Rautenstrauch (1997a), S. 19; Zäpfel (1996), S. 117). Ausgangsbasis der Primärbedarfsplanung sind Informationen hinsichtlich verfügbarer Kapazitäten (Personal und Betriebsmittel) und des Absatzpotenzials. Der Primärbedarf setzt sich aus den Bedarfen verkaufsfähiger Erzeugnisse (Enderzeugnisse und Zwischenprodukte) zusammen (vgl. Domschke u. a. (1997), S. 19; Scheer (1998), S. 100). Der Primärbedarfsplan bildet die Grundlage zur Materialbedarfsplanung und beeinflusst die Planungsgenauigkeit aller nachfolgenden Stufen (vgl. Hackstein (1989), S. 90ff.). Im Rahmen der Leistungserstellung des produzierenden Gewerbes wird der Primärbedarf durch Absatzprognosen oder Kundenaufträge determiniert. Die Primärbedarfsplanung erfolgt grundsätzlich rollierend, die Produktionspläne umfassen mehrere Perioden und werden zu definierten Zeitpunkten aktualisiert. Der Produktionsplan ist für die erste Periode verbindlich und für die restlichen vorläufig (vgl. Heinen (1991), S. 66).

Die Gültigkeit eines Plans, der für einen bestimmten Zeitraum aufgestellt wird, ist auf Grund möglicher Änderungen von Rahmenbedingungen zumeist beschränkt. Bezüglich der Aktualisierung der Pläne kann zwischen

- *periodenweiser* oder
- *ereignisorientierter* rollierender Planung unterschieden werden.

Unter *periodenweiser* rollierender Planung wird die Wiederholung der (sich um eine Planperiode verschiebenden) Planung verstanden. Bei *ereignisorientierter* rollierender Planung wird der nächste Planungslauf nicht zu vorher festgelegten Zeitpunkten, sondern in Abhängigkeit relevanter Ereignisse (z. B. Änderungen von Rahmenverträgen, Maschinenausfällen) durchgeführt. Oft wird die *periodenweise* mit der *ereignisorientierten* Planung verbunden.

Wird ein erneuter Planungslauf durchgeführt, kann zwischen dem

- *Neuaufwurf-* und
- *Net-Change-*Prinzip unterschieden werden.

Beim *Neuaufwurf* wird ein bestehender Plan ignoriert und eine komplette Neuplanung durchgeführt. Innerhalb des *Net-Change-*Prinzips werden lediglich Veränderungen gegenüber vorher erfassten Eingangsgrößen berücksichtigt. Es werden nur diejenigen Teile neu geplant, die von der Abweichung betroffen sind. Durch Verrechnung positiver und negativer Veränderungen führen nur Nettoveränderungen auch zu Unterschieden gegenüber der vergangenen Planung. Eine komplette Neuplanung erfordert auf Grund der hohen zu bewältigenden Datenmengen in der Regel hohe Laufzeiten und kann aus Zeit- bzw. Kostengründen nicht beliebig oft durchgeführt werden (vgl. Rose/Stengel (1988)).

Zur Sicherstellung der Realisierbarkeit des aufgestellten Produktionsprogramms wird eine Kapazitätsgrobplanung durchgeführt⁷⁵. Bei bekannten Daten erfolgt die Planung auf Basis von Stücklisten und Arbeitsplänen, bei unbekanntem Daten wird auf Schätzungen oder statistische Vergangenheitswerte zurückgegriffen (vgl. Hackstein (1989), S. 116). Eines der Hauptziele der Kapazitätsplanung besteht darin, Über- bzw. Unterauslastungen des Betriebs frühzeitig zu erkennen, um geeignete Instrumente bzw. Maßnahmen zur Anpassung ableiten zu können.

Die vordergründige Aufgabe der Primärbedarfsplanung besteht in der Festlegung von Herstellungsmengen an verkaufsfähigen Erzeugnissen (Art und Menge von Enderzeugnissen und Zwischenprodukten), bezogen auf eine bzw. mehrere Perioden (vgl. Kurbel (1999), S. 116). Implizit geschieht dies auch, um die Leistung des Betriebs in der Planperiode zu bestimmen. Die Kenntnis der geplanten Periodenleistung ist u. a. wichtig, damit die

- Auslastung des Betriebs sowie
- Art und Menge zu beschaffender Sekundärbedarfe geplant und gegebenenfalls Anpassungsmaßnahmen hinsichtlich der Periodenleistung eingeleitet werden können.

Bedingt durch die on-demand-Orientierung der Demontagefabrik lösen Demontageerzeugnisse Altgeräte als Treiber des Planungsprozesses ab (s. Kapitel 5.1). Diejenigen Demontageerzeugnisse, deren erzielbarer Deckungsbeitrag den durchschnittlichen Mehraufwand ihrer zerstörungsfreien Demontage rechtfertigen, werden als *planbare* Demontageerzeugnisse bezeichnet. Planbare Demontageerzeugnisse zeichnen sich dadurch aus, dass sie in Stücklisten der entsprechenden Altgeräte gepflegt sind und im Rahmen der Primärbedarfsplanung disponiert werden. Der durchschnittliche Mehraufwand beinhaltet zusätzlich notwendige Tätigkeiten (z. B. Arbeitsgänge), die über eine Verwertungsvorbereitung (Vorbereitung zum Materialrecycling) hinaus zur zerstörungsfreien Erzeugung des entsprechenden Demontageprodukts (Vorbereitung zum Produktrecycling) nötig sind. Dies ist wichtig, da zum Zeitpunkt der Kunden- bzw. Lagerauftragsannahme nicht unbedingt davon ausgegangen werden kann, dass weitere Demontageerzeugnisse aus demselben Altgerät erzeugt werden (die insgesamt zu einem positiven Deckungsbeitrag führen könnten). Aus wirtschaftlichen Überlegungen heraus wird ein Demontageerzeugnis-Auftrag genau dann angenommen, wenn die Erzeugung des Demontageprodukts und die Verwertungsvorbereitung der verbleibenden Fraktionen (des Rest-Altgeräts) zu einem höheren Deckungsbeitrag führen als die alleinige Durchführung der Verwertungsvorbereitung. Die Entscheidung über Annahme bestimmter Kunden- bzw. Lageraufträge findet nicht in der

⁷⁵ In diesem Zusammenhang wird z. T. von einer mittelfristigen Kapazitätsplanung gesprochen, bei der im Unterschied zur langfristigen Kapazitätsplanung (Investitionsplanung) die Kapazitäten selbst unverändert bleiben (vgl. Scheer (1998), S. 210).

DPS, sondern in der Absatzplanung bzw. im Vertrieb statt. Die Erzeugung von Demontageprodukten wird in der Absatzplanung eingeplant, von der DPS durchgeplant und entsprechend durchgesetzt. Die Absatzplanung ist der Primärbedarfsplanung vorgelagert (vgl. Mertens (1997), S. 145). Im Zusammenhang mit der Erzeugung von Demontageprodukten wird davon ausgegangen, dass Bedarfe (Kunden- oder Lageraufträge) nur eingeplant werden, wenn die Beschaffung der Sekundärmaterialien (Altgeräte) als gesichert angenommen werden kann. Die Beschaffung soll dann als gesichert angenommen werden, wenn sie mit der Komponentenbeschaffung im konventionellen Produktionsbereich vergleichbar ist.

Die konventionelle Primärbedarfsplanung (s. Kapitel 4.4.1) ist nicht in der Lage, eine Leistungsbestimmung im Bereich der Demontage durchzuführen. Aus der Primärbedarfsplanung sind weder Aussagen hinsichtlich Betriebsauslastung noch hinsichtlich zu beschaffender Sekundärbedarfe ableitbar. Auf Grund des doppelten Leistungsspektrums der Demontagefabrik (Service- und Produzentenleistung) genügt es nicht, Altgerätebedarfe zu kennen, die sich aus der geplanten Erzeugung von Demontageprodukten ableiten lassen. Zusätzlich müssen zur Verwertungsvorbereitung anstehende Altgerätemengen aus Entsorgungsverpflichtungen berücksichtigt werden (s. Abb. 4.4).

Im Rahmen der Serviceleistung wird der Altgeräteanfall geplant. Art und Menge des Altgeräteanfalls richten sich nach spezifischen Entsorgungsverpflichtungen gegenüber dedizierten Herstellern oder Aufgaben im Netzwerkverbund (s. Kapitel 3.4). In diesem Zusammenhang ist die Bereitstellung geeigneter Prognosedaten hinsichtlich des Altgeräteaufkommens von zentraler Bedeutung (vgl. Inderfurth (1999), S. 10; Jahn (1998), S. 63; Kaiser (1999), S. 618; Rudolph (1999), S. 145ff.). Bestehen freie Kapazitäten nach dem Erbringen der Entsorgungsverpflichtungen, können Demontageerzeugnis-Bedarfe durch Einlastung weiterer Demontageaufträge befriedigt werden. Dabei müssen durch Entsorgungsdienstleistungen potenziell bereits anfallende Demontageerzeugnisse berücksichtigt werden.

Das Ziel der Planungsaktivitäten besteht darin, eine optimale Altgerätemenge zu beschaffen. Die Altgerätemenge ist optimal, wenn die Zielvorgaben aus Absatzprognose, Kundenaufträgen und Entsorgungsverpflichtungen genau erfüllt werden. In diesem Zusammenhang muss die zu beschaffende Altgerätemenge y_a der Altgeräte $a = 1, \dots, n$

$$\sum_{a=1}^n y_a$$

minimiert werden. Dabei sind die folgenden Nebenbedingungen hinsichtlich der zur Erzeugung der nachgefragten Demontageerzeugnisse notwendigen Altgerätemenge

$x_a^{DE-Erzeugung}$, der im Lager verfügbaren Altgerätemenge x_a^{Lager} und der aus Entsorgungsverpflichtungen anfallenden Altgerätemenge x_a^{Anfall} zu berücksichtigen:

$$y_a \geq x_a^{DE-Erzeugung} - x_a^{Lager} - x_a^{Anfall} \quad \forall a = 1, \dots, n$$

$$y_a, x_a^{DE-Erzeugung}, x_a^{Lager}, x_a^{Anfall} \geq 0 \quad \forall a = 1, \dots, n$$

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 (aus Entsorgungsverpflichtungen) und Demontageerzeugnissen kann die Primärbedarfsplanung sinnvoll durchgeführt werden.

Die Dispositionsobjekte der Serviceleistung (Altgeräte) sind gleichzeitig Sekundärbedarfe der Produzentenleistung. Beide Leistungsarten werden in der Primärbedarfsplanung geplant. Daher wird die Sekundärbedarfsplanung (aus der Funktionsgruppe *Bedarfsplanung*, s. Kapitel 4.4.1) in die Primärbedarfsplanung integriert. In der Demontage besteht die Aufgabe der Sekundärbedarfsplanung darin, Altgerätebedarfe zur Befriedigung einer gegebenen Nachfrage nach Demontageerzeugnissen zu planen. In der Sekundärbedarfsplanung existiert somit nur eine einzige Dispositionsstufe (s. Kapitel 3.3.2).

Nach Planung von Demontageerzeugnissen und Altgeräten findet vor der Kapazitätsgrobplanung eine Konsolidierung des Altgerätebedarfs und -anfalls statt. Zur Berücksichtigung vorhandener Lagerbestände oder Zusatzbedarfe wird vor der Konsolidierung eine Brutto-/Nettorechnung durchgeführt. Diese beinhaltet die Ermittlung

- des Demontageerzeugnis-Nettobedarfs (Nettobedarf = $\max \{ \text{Bruttobedarf} - \text{verfügbarer Bestand}^{76}; 0 \}$) und
- des Altgerätebruttoanfalls (Bruttoanfall = Anfall + verfügbarer Bestand).

Die Durchführung der Brutto-/Nettorechnung erlaubt unter Zugrundelegung des gleichen Leistungsspektrums (Altgeräteanfall, Erzeugung von Demontageprodukten) weniger Altgeräte (zusätzlich) zu beschaffen bzw. weniger Demontageprodukte zu erzeugen. Durch das Vorliegen nur einer Dispositionsstufe muss die Brutto-/Nettorechnung lediglich einmal pro Planungsperiode durchgeführt werden.

⁷⁶ Verfügbarer Bestand = Lagerbestand + Werkstattbestand + offene Bestellungen - reservierter Bestand - Sicherheitsbestand.

Die Aufgaben der Demontage-Primärbedarfsplanung können folgendermaßen zusammengefasst werden (vgl. Huber et al. (2001), S. 406):

1. Demontagefabrik-*Leistungsbestimmung*:
 - Produzentenleistung aus Absatzprognosen bzw. Aufträgen.
 - Serviceleistung aus Annahmeprognosen der Entsorgungsverpflichtung.
2. Absicherung der *Durchführbarkeit* geplanter Leistungen durch Kapazitätsgrobplanung.
3. Schaffung von Voraussetzungen zur Ableitung *zusätzlich* zu beschaffender *Sekundärbedarfe* (Altgeräte).

5.2.2 Prozessobjektmodell

Anhand der Primärbedarfsplanungs-Aufgaben kann das Prozessobjektmodell (s. Abb. 5.1) entwickelt werden. Auf Basis der Altgeräte-Entsorgungsaufträge 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.

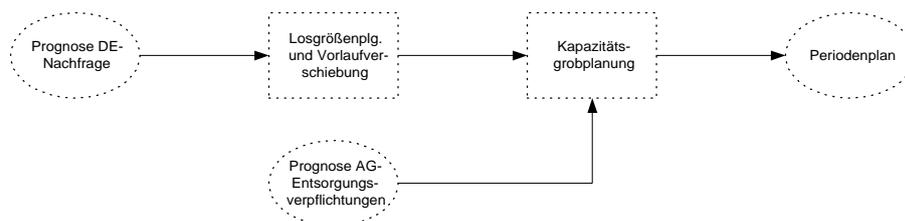


Abb. 5.1: Prozessobjektmodell zur Primärbedarfsplanung

5.2.3 Materialstämme

Der *Materialstamm* enthält Informationen zu Produkten, Komponenten sowie Hilfs- und Betriebsstoffen. Sämtliche notwendigen physikalischen und betriebswirtschaftlichen Daten werden im Materialstamm abgelegt (vgl. Rautenstrauch (1997a), S. 99). Zusätzlich sind demontage- bzw. entsorgungsrelevante Attribute aufzunehmen. Insbesondere sind dabei Attribute zu berücksichtigen, die Aufschluss über Lagerfähigkeit, Demontierbarkeit, Aufarbeitbarkeit, Werkstoffverträglichkeit und Wiedereinsetzbarkeit geben (vgl. Corsten (1996), S. 478; Kurbel (1999), S. 370f.; Rautenstrauch (1997a), S. 101f.). Generell ist zu beachten, dass evtl. Materialstämme für *Nicht-Standardteile* (z. B. ein in der Nutzungsphase hinzugefügtes Teil) ergänzt werden müssen (vgl. Rautenstrauch (1997a), S. 99). Der Begriff *Material* wird im Rahmen der DPS als Generalisierung verwendet (s. Abb. 5.2).

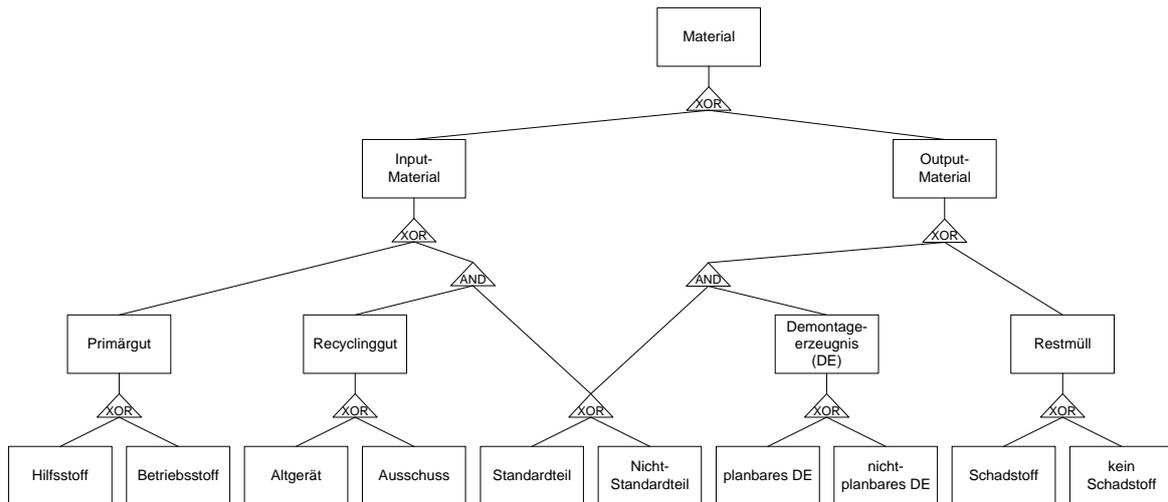


Abb. 5.2: ER-Diagramm zur Materialklassifikation

Alt- bzw. Ausschussgeräte sind die Rohstoffe der Demontagefabrik⁷⁷, sie werden in Standard- bzw. Nicht-Standardteile unterschieden. Recyclinggüter können durch Primärgüter (Hilfs- und Betriebsstoffe) ergänzt werden. Produziert werden Demontageerzeugnisse (Demontageerzeugnisse beinhalten Wertstoffe) und Restmüll. Demontageerzeugnisse lassen sich danach einteilen, ob deren erzielbarer Deckungsbeitrag den durchschnittlichen Mehraufwand ihrer zerstörungsfreien Demontage rechtfertigt (s. Kapitel 5.2.1). Ist diese Forderung erfüllt, werden sie als planbar bezeichnet und können somit Objekt der Primärbedarfsplanung sein. Nicht-planbare Demontageerzeugnisse fallen ausschließlich als Kuppelprodukt an und werden (wie Restmüll) allenfalls vergangenheitsorientiert disponiert. Restmüll stellt den Teil des verwertbaren Abfalls dar, der nicht Demontageerzeugnis ist (s. Kapitel 2.1.1, 3.2). Restmüll kann nach seiner Schadstoffhaltigkeit unterteilt werden. Eine Entscheidung, ob ein bestimmtes Kuppelprodukt als nicht-planbares Demontageerzeugnis oder als Restmüll behandelt wird, kann fallweise notwendig werden und sich (z. B. abhängig von der Nachfragesituation) ändern.

5.2.4 Erzeugnisstrukturen

5.2.4.1 Stücklisten

Als Stückliste wird im Allgemeinen die listenförmige Darstellung einer Erzeugnisstruktur unter Einbeziehung relevanter Daten wie Sachnummern, Bezeichnungen und Mengenkoeffizienten bezeichnet (vgl. Kurbel (1999), S. 74). Erzeugnisstrukturen dienen somit als Grundlage zur Stücklistenerzeugung. Als Teil der Arbeitsplanung umfasst die Datenverwaltung das Anlegen, Ändern und Löschen der Stücklisten (vgl. Scheer (1998), S. 105).

⁷⁷ Grundsätzlich werden Recyclinggüter in *Altgeräte*, *Ausschuss* und *Reststoffe* unterteilt (s. Kapitel 2.1.1), da Reststoffe kein Inputmaterial darstellen, sind sie nicht Bestandteil der DPS-Materialklassifikation.

Strukturabhängig werden drei verschiedene Stücklistenarten unterschieden (vgl. z. B. Glaser u. a. (1992), S. 14ff.; Kurbel (1999), S. 74ff.; Scheer (1998), S. 119ff.):

- *Baukastenstückliste*: Einstufige Stücklisten, die lediglich direkt untergeordnete Materialien ausweisen, werden als Baukastenstücklisten bezeichnet.
- *(Mengen-)Übersichtsstückliste*: Als (Mengen-)Übersichtsstücklisten werden Stücklisten bezeichnet, die Materialien mit entsprechenden Mengen ausweisen und keine strukturellen Zusammenhänge abbilden. Demnach ist die Frage nicht beantwortbar, ob ein bestimmtes Material direkt oder indirekt in das Enderzeugnis eingeht.
- *Strukturstückliste*: Mehrstufige Stücklisten, die (im Gegensatz zu Baukastenstücklisten) die Zusammensetzung des Enderzeugnisses auf allen nachgelagerten Stufen erkennen lassen, werden als Strukturstücklisten bezeichnet. Insofern werden die Baukastenstücklisten aller Materialien der Struktur aufgeführt.

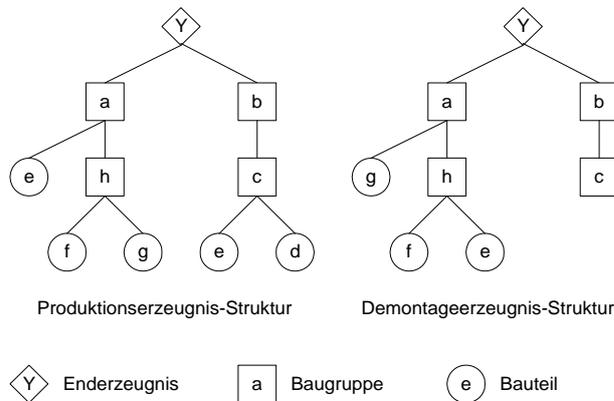
Die hauptsächlichen Einsatzbereiche der Stücklisten liegen in der

- Bedarfsauflösung,
- Fertigungsplanung,
- Arbeitsvorbereitung und
- Kalkulation (vgl. Scheer (1998), S. 119).

Bedingt durch strukturelle und inhaltliche Ähnlichkeiten benötigter Produktions- und Demontageinformationen wird eine Demontagedatenstruktur verwendet, die analog zur Produktionserzeugnis-Struktur aufgebaut ist. In Demontageerzeugnis-Strukturen werden Strukturbeziehungen zwischen Knoten (Materialien) anders interpretiert als in Produktionserzeugnis-Strukturen. Mögliche Demontepfade werden durch Anordnung der Materialien in Demontageerzeugnis-Strukturen widergespiegelt. In diesem Zusammenhang sind Art, Anzahl und Zustand der Verbindungselemente zu berücksichtigen.

Demontageprodukte, die bei Zerlegung eines Altgeräts erzeugt werden, sind in der Stückliste über negative Einträge dargestellt. Die Stücklistenauflösung führt im Rahmen der Bedarfsplanung konventioneller PPS-Systeme zur Erzeugung des Sekundärbedarfs benötigter Materialien und entsprechender Planaufträge sowie im weiteren Verlauf zu Reservierungen (vgl. Imboden (1998), S. 86). Im Rahmen der Demontageplanung führen negative Stücklistenmengen (Demontageerzeugnisse) zu negativen Reservierungen, somit zu Materialzugängen, die in sog. *ATP-Mengen* eingerechnet werden. Die ATP- (Available-To-Promise-)Menge ist die Menge, die für Materialreservierungen zu erzeugender Planaufträge verfügbar ist. Zur Berechnung der ATP-Menge wird der aktuelle Lagerbestand um geplante Zugänge erhöht bzw. um geplanten Abgänge vermindert.

In nachfolgender Abb. 5.3 ist beispielhaft eine Produktionserzeugnis-Struktur (linker Teil der Abbildung) und eine Demontageerzeugnis-Struktur (rechter Teil) dargestellt.



Quelle: Kurbel (1999), S. 369

Abb. 5.3: Exemplarische Produktions- und Demontageerzeugnis-Struktur

Ein grundsätzlicher Unterschied zwischen einer konventionellen Produktions- und einer Demontagestückliste betrifft die geringere Stücklistentiefe (entspricht der Knotenanzahl einer Erzeugnisstruktur). Die geringere Tiefe kann folgende Ursachen haben (vgl. Rautenstrauch (1997a), S. 105f.):

- Eine Baustruktur muss nicht bis auf Einzelteilebene aufgespannt werden, wenn eine Baugruppe als Ganzes wiedereinsetzbar ist (s. Abb. 5.3: in der Demontageerzeugnis-Struktur ist die Baugruppe *c* nicht weiter auf Bauteilebene aufgespannt, die Bauteile *e* und *d* sind aus technischen oder wirtschaftlichen Gründen nicht zur Vereinzelung vorgesehen).
- Materialien, die nicht wiedereingesetzt werden können (z. B. Restmüll, s. Abb. 5.2), müssen nicht in der Demontagestückliste enthalten sein. In bestimmten Fällen kann es aber z. B. im Hinblick auf beschränkte Schadstoffaufnahmepotenziale (Kapazitätsrestriktion) sinnvoll sein, auch Materialien zu erfassen, für die es keine Möglichkeit des Wiedereinsatzes gibt.
- Materialien, die potenziell wiedereinsetzbar, aber aus technischen oder wirtschaftlichen Gründen nicht zum Produktrecycling vorgesehen sind, müssen ebenfalls kein Bestandteil der Demontagestückliste sein.

Ein weiterer Unterschied zwischen Produktions- und Demontagestücklisten besteht hinsichtlich der Verbindungselemente. Erzeugnisstrukturen werden in der Regel nach Konstruktionsgesichtspunkten aufgestellt. Demzufolge werden (entsprechend Beispiel Abb. 5.3) die Bauteile *f* und *g* zur Baugruppe *h* montiert; *h* und *e* ergeben Baugruppe *a*. Im Rahmen der Demontage kann sich im einfachsten Fall eine entsprechend rückwärts orien-

tierte Trennreihenfolge ergeben. Auf Grund der Verbindungselemente kann auch eine völlig andere Trennreihenfolge notwendig werden. In obigem Beispiel ergibt sich die Notwendigkeit, zuerst g von h zu trennen, um dann f und e vereinzeln zu können. Dies kann z. B. dadurch entstanden sein, dass, bei der Montage von h und e , e eine stärkere Verbindung mit f als mit h eingegangen ist. Aus der *Montagebaugruppe* h , die f und g beinhaltet, wird die *Demontagebaugruppe* h mit den Bauteilen f und e (vgl. Kurbel (1999), S. 369).

Als Instrument deterministischer Genauplanung kann die konventionelle Stückliste möglicherweise auftretende Unsicherheiten nicht abbilden. Unsicherheiten, die im Rahmen der Demontage eine zentrale Rolle spielen (s. Kapitel 4.5.1), müssen in erweiterten Stücklisten berücksichtigt werden. Insbesondere besteht die Notwendigkeit, Zustände (Modifikation, Beanspruchung und Funktion) der Altgeräte, Demontageerzeugnisse bzw. Verbindungselemente in die Planung einzubeziehen. Die Wiedereinsetzbarkeit von Demontageerzeugnissen stellt einen der größten Unsicherheitsfaktoren der Demontage dar (s. Kapitel 4.5.1). Etwa 95 % der Demontagefabriken benutzen einfache Durchschnittswerte, um die Wiedereinsetzbarkeit zu bestimmen (vgl. Guide (1999), S. 106). Die Heterogenität der Altgerätezustände zum Zeitpunkt des Anfalls lässt sich sinnvoller über Funktionen darstellen (vgl. Rautenstrauch (1999), S. 86f.). Neben der Nutzungsdauer bietet es sich an, weitere Parameter des Lebenszyklus eines Altgeräts (z. B. Nutzungsintensität, Ausfallursache) zu berücksichtigen. Hinsichtlich der Integration von Ansätzen zur Ermittlung der Wiedereinsetzbarkeit in das DPS-Konzept müssen zwei Fälle unterschieden werden. Für die folgenden Betrachtungen wird die bisher explizite Unterscheidung zwischen Altgerät und Demontageerzeugnis aufgehoben. Die Mengen der *Altgeräte* $A = \{ a \mid a \text{ ist ein Altgerät} \}$ und der *Demontageerzeugnisse* $D = \{ d \mid d \text{ ist ein Demontageerzeugnis} \}$ werden unter der neuen Menge der *Demontageobjekte* $J = \{ j \mid j \text{ ist ein Demontageobjekt} \}$ zusammengefasst:

$$J = A \cup D = \{ j \mid j \in A \vee j \in D \}$$

- *Vor Altgeräteanfall:* Zum Zeitpunkt der *langfristigen Demontageplanung* liegen noch keine Kenntnisse über spezifische Altgeräteparameter vor. Die Parameter werden erst beim physischen Anfall der Altgeräte in der Demontagefabrik zu erheben sein. Zur Demontageplanung wird daher die Wiedereinsatzwahrscheinlichkeit p_{ij}^{WE} ($p_{ij}^{WE} \in [0,1]$), mit $i, j \in J$) verwendet. p_{ij}^{WE} ist eine Durchschnittsgröße, die die Wahrscheinlichkeit angibt, mit der ein bestimmtes Demontageerzeugnis j aus seinem bzw. seinen direkten Vorgänger(n) i (Baugruppe oder Altgerät) wirtschaftlich demontiert und aufgearbeitet werden kann, sodass es am Ende des Recyclingprozesses die gewünschten Eigenschaften aufweist. Da sich ein bestimmtes Demontageerzeugnis (auf Grund von Bau-

gleichheiten) in verschiedenen Altgeräten bzw. Baugruppen befinden kann, können einem Demontageergebnis mehrere p_{ij}^{WE} zugeordnet sein (s. Abb. 5.4). In der Demontageplanung werden Demontageergebnis-Zustände prognostiziert, um die zur Befriedigung eines gegebenen Demontageergebnis-Bedarfs notwendigen Altgeräte zu berechnen. Weiterhin werden auf Basis der Wiedereinsatzwahrscheinlichkeit Planaufträge generiert, die u. a. im Rahmen der DPS-Funktionsgruppe *Zeit- und Kapazitätsplanung* terminiert werden.

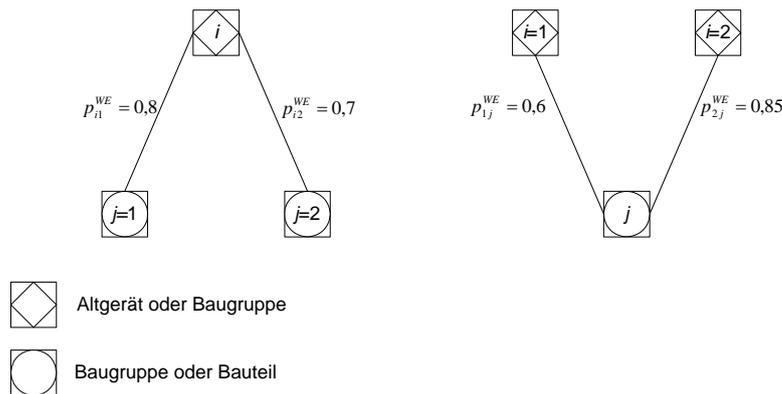


Abb. 5.4: Exemplarische Demontageergebnis-Strukturen mit Wiedereinsatzwahrscheinlichkeiten

- *Nach Altgeräteanfall:* Nach Anlieferung der Altgeräte beginnt die *kurzfristige Demontageplanung*, die sich auf die aktuelle Planungsperiode bezieht. Ziel einer erneuten Ermittlung der Wiedereinsatzbarkeit ist die Bestimmung derjenigen Altgeräte (aus den angelieferten Altgeräten), deren Demontage einen gegebenen Demontageergebnis-Bedarf optimal befriedigt. Der Bedarf wird dann optimal befriedigt, wenn die Demontagekosten minimiert werden. Im Rahmen der DPS wird die Optimalitätsbedingung (analog zur PPS) durch die DPS-Ersatzziele (s. Kapitel 4.2) substituiert. Durch Erhebung altgerätespezifischer Parameter kann eine genauere Ermittlung der Wiedereinsatzbarkeit (als in der *langfristigen* Planung) durchgeführt werden. Zusätzlich lassen sich mithilfe der Fuzzy-Logik Expertenregeln modellieren und verarbeiten, die bei der Lösung des Entscheidungs- und Bewertungsproblems Verwendung finden (vgl. Huber/Marx-Gómez (2000a)). Die Ergebnisse dieser qualitativen Zustandsbestimmung für Demontageergebnisse ermöglichen die Generierung von *Demontageaufträgen*, die bisher verwendete *Planaufträge* ersetzen.

Wiedereinsatzwahrscheinlichkeiten sind als periodisierte Größen zu verstehen, die der Vollständigkeit halber um einem Periodenindex u zu $p_{ij,u}^{WE}$ erweitert werden müssten. Da die Aussagen über Wiedereinsatzwahrscheinlichkeiten in der Regel keine bestimmten Perioden betreffen, wird der Periodenindex aus Vereinfachungsgründen weggelassen. Wiedereinsatzwahrscheinlichkeiten können insbesondere benutzt werden, um notwendige

Beschaffungs- bzw. Demontagemengen zu bestimmen⁷⁸. Durch Verwendung der Wiedereinsatzwahrscheinlichkeit erhöht sich die Anzahl notwendiger Altgeräte, die zur Befriedigung des Demontageergebnis-Bedarfs erforderlich sind (bzw. bleibt der Altgerätebedarf gleich, wenn $p_{ij}^{WE} = 1$ gilt). In diesem Zusammenhang besteht das Ziel darin, Wiedereinsatzwahrscheinlichkeiten so exakt zu bestimmen, dass die Nachfrage möglichst genau befriedigt werden kann (p_{opt}^{WE}). Zu niedrige Wiedereinsatzwahrscheinlichkeiten ($p^{WE} < p_{opt}^{WE}$) erhöhen Fertigwaren- (Demontageergebnisse) bzw. Eingangslagerbestände (Altgeräte). Zu hohe Wiedereinsatzwahrscheinlichkeiten ($p^{WE} > p_{opt}^{WE}$) führen zu sinkender Termintreue. Abweichungen in beide Richtungen vom *optimalen*⁷⁹ Wert der Wiedereinsatzwahrscheinlichkeiten haben somit Konflikte hinsichtlich der DPS-Ersatzzielerfüllung (*geringe Bestände bzw. hohe Termintreue und Lieferbereitschaft*) zur Folge.

Die Verwendung der Indizes i bzw. j verdeutlicht, dass die Wiedereinsatzwahrscheinlichkeit eine *Beziehungsinformation* ist, die von der Art des entsprechenden Altgeräts bzw. dessen Zustand abhängt, sie stellt somit kein Attribut des Entity-Typs *Material*, sondern des Beziehungs-Typs *Struktur* dar. Wiedereinsatzwahrscheinlichkeiten werden folglich in der Stückliste und nicht z. B. im Materialstamm der Demontageergebnisse gepflegt. In Abb. 5.5 ist die Erzeugnisstruktur als Beziehungstyp im ER-Diagramm dargestellt.

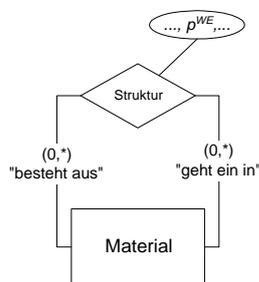


Abb. 5.5: ER-Diagramm zur erweiterten Demontageergebnis-Struktur⁸⁰

Das Attribut Wiedereinsatzwahrscheinlichkeit ist als Erweiterung vorhandener und weiter bestehender Attribute (z. B. Materialnummer, Menge) aus verschiedenen Attributgruppen (z. B. Identifikation, Klassifikation) zu verstehen. Die Pflege der Wiedereinsatzwahrscheinlichkeiten ist im Hinblick auf die Erfüllung der DPS-Ersatzziele von zentraler

⁷⁸ In der Literatur wird in einem ähnlichen Zusammenhang z. T. von *Material Recovery Rates* (MRR) gesprochen (vgl. Guide (1999), S. 107).

⁷⁹ Im Zusammenhang mit Wiedereinsatzwahrscheinlichkeiten kann nicht von einem zu ermittelnden *wahren* Wert gesprochen werden, da der anzustrebende Wert der Wiedereinsatzwahrscheinlichkeiten u. a. vom Umfang der (Altgeräte-)Stichprobe abhängt. Es kann höchstens von einem anzustrebenden *optimalen* Wert hinsichtlich eines bestimmten Zeitraums gesprochen werden, der dann erreicht sein soll, wenn innerhalb dieses Zeitraums genau so viele Altgeräte beschafft wurden, dass der Demontageergebnis-Bedarf exakt befriedigt werden konnte.

⁸⁰ Zur Grundform der Erzeugnisstrukturdarstellung vgl. Scheer (1998), S. 111.

Bedeutung. Wird davon ausgegangen, dass sich spezifische Wiedereinsatzwahrscheinlichkeiten im Zeitablauf verändern (weil z. B. die Nutzungszeit eines bestimmten Altgeräts steigt) bzw. dem optimalen Wert annähern müssen, sind Rückkopplungen aus der Demontagesteuerung in die Demontageplanung erforderlich. In diesem Zusammenhang kann die BDE genutzt werden, um Stammdaten (z. B. mittels der Funktion *Arbeitsgangmeldung*) zu aktualisieren.

Weiterhin müssen Demontagekoeffizienten a_{ij} in der Stückliste gepflegt werden (s. Abb. 5.6). *Demontagekoeffizienten* stellen eine Maßzahl für die Menge eines Demontageerzeugnisses j dar, die bei der Demontage der direkt vorgelagerten Baugruppe bzw. des direkt vorgelagerten Altgeräts i erzeugt wird. Die Möglichkeit, dass ein bestimmtes Demontageerzeugnis z. B. nicht vorhanden oder unbrauchbar ist, wird über die entsprechende Wiedereinsatzwahrscheinlichkeit berücksichtigt.

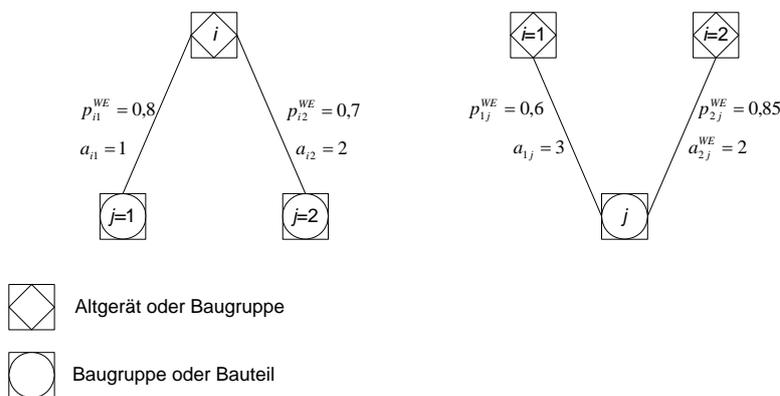


Abb. 5.6: Exemplarische Demontageerzeugnis-Strukturen mit Wiedereinsatzwahrscheinlichkeiten und Demontagekoeffizienten

5.2.4.2 Verwendungsnachweise

Im Gegensatz zu Stücklisten, die eine „besteht aus“-Beziehung darstellen, bilden Verwendungsnachweise „geht ein in“-Beziehungen ab. Verwendungsnachweise werden auch als *synthetische* und Stücklisten als *analytische* Sichten der Erzeugnisstruktur bezeichnet.

Verwendungsnachweise dienen im Allgemeinen dazu, übergeordnete Baugruppen, Enderzeugnisse bzw. Aufträge zu identifizieren, die z. B. von

- verspäteten Lieferungen,
- Konstruktionsänderungen oder
- Kostenänderungen betroffen sind.

Verwendungsnachweise können analog zu Stücklisten in die genannten Strukturarten (Baukasten-, (Mengen-)Übersichts- und Strukturverwendungsnachweise) unterschieden werden (s. Kapitel 5.2.4.1).

Neben die bereits angesprochenen Einsatzgebiete der Verwendungsnachweise tritt im Zusammenhang mit der Demontageplanung die Aufgabe, diejenigen Altgeräte zu identifizieren, die beschafft werden können, um ein bestimmtes Demontageprodukt zu erzeugen. Während in PPS-Systemen analytische Erzeugnisstrukturen (Stücklisten) im Mittelpunkt der Sekundärbedarfsplanung stehen, nehmen bei DPS-Systemen synthetische Erzeugnisstrukturen (Verwendungsnachweise) diese Stellung ein. Der Verwendungsnachweiseinsatz wandelt sich von einer fallweise aktivierten Funktion zu einer der zentralen Datenverwaltungsfunktionen im Rahmen der Demontageplanung.

5.2.5 Funktionen

5.2.5.1 Prozessmodell

Auf Basis vorliegender Kunden- und Lageraufträge wird die Absatzprognose für Demontageerzeugnisse erstellt (s. Abb. 5.7). Nachdem vorhandene Lagerbestände und evtl. Zusatzbedarfe im Rahmen einer Brutto-/Nettorechnung berücksichtigt wurden, kann eine Losbildung der Demontageerzeugnis-Bedarfe vorgenommen werden. Im Anschluss an die Vorlaufverschiebung können mithilfe von Wiedereinsatzwahrscheinlichkeiten und Demontagekoeffizienten Altgerätebedarfe ermittelt werden. Die Altgerätebedarfe können auf Grund evtl. vorliegender Baugleichheiten nicht eindeutig Kunden- oder Lageraufträgen zugeordnet werden, daher werden zusätzlich sog. *flexible* Altgerätebedarfe ermittelt. Diese können, falls notwendig, umdisponiert werden (z. B. in eine spätere Periode), ohne dass Kundenaufträge betroffen sind. Der Altgerätebedarf kann durch Altgeräteeinfall im Rahmen der Entsorgungsverpflichtung oder zusätzliche Beschaffung befriedigt werden. Unter Zugrundelegung der Entsorgungsverpflichtungs-Prognosedaten wird die Altgeräteeinfallprognose erstellt. Durch Abgleich mit bereits vorhandenen Lagerbeständen wird der Bruttoanfall ermittelt. Aus Altgerätebedarf und -anfall wird eine vorläufige, konsolidierte Altgeräteprognose erstellt, deren Ziel es ist, Altgeräte entweder der Demontage zur Wertungsvorbereitung oder der kundenauftrags- bzw. lagerauftragsbezogenen Demontage zur Wiedereinsatzvorbereitung zuzuordnen. Der Kapazitätsbedarf wird mit dem vorhandenen Kapazitätsangebot abgestimmt, sodass sich ein kapazitiv und terminlich validiertes Programm ergibt. Aus Vergangenheitswerten werden zu erwartende Mengen an *nicht-planbaren* Demontageerzeugnissen und an Restmüll prognostiziert.

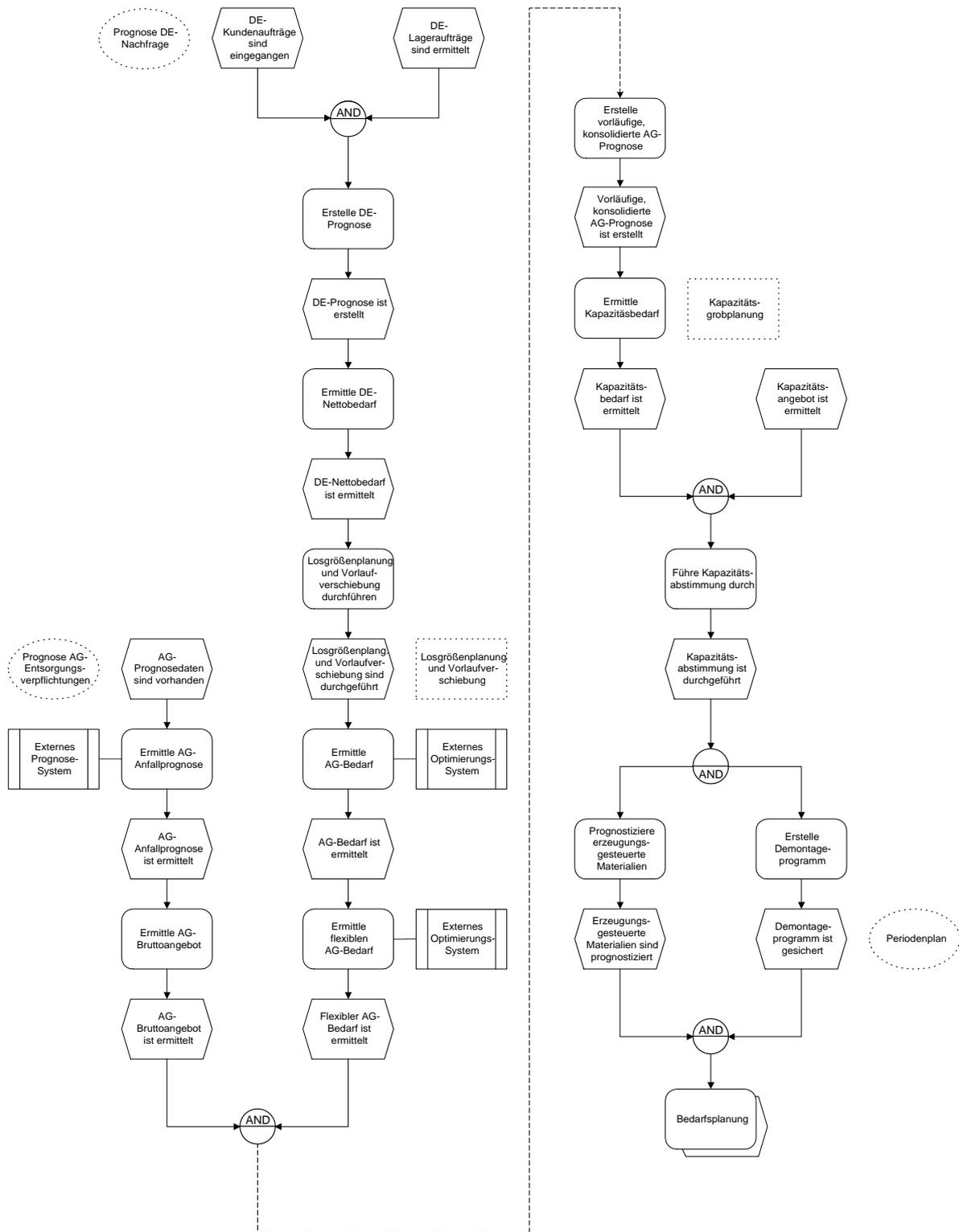


Abb. 5.7: Prozessmodell zur Primärbedarfsplanung

5.2.5.2 Altgeräteanfallprognose

Neben der Erzeugung von Demontageprodukten muss die Demontagefabrik Serviceleistungen erbringen. In diesem Zusammenhang muss der periodisierte Altgeräteanfall geplant werden. Art und Menge des Anfalls richtet sich nach spezifischen Entsorgungsverpflichtungen gegenüber Herstellern und den Aufgaben im Netzwerkverbund (s. Kapitel 3.4). Die Beziehungsart zwischen Altgerätequellen (z. B. Netzwerk, Hersteller, Entsorgungsdienstleister) und Demontagefabrik hat Einfluss auf die Güte der Prognosedaten. Hinsichtlich der Informationsquellen können Prognosedaten qualitativ unterschieden werden:

- *Vergangenheitsdaten*: Datenmaterial über relevante Lieferungen von Altgerätearten und -mengen in der Vergangenheit.
- *Lebenszyklusdaten*: Daten, die den Lebenszyklus einer bestimmten Altgeräteart betreffen.

Vergangenheitsdaten bieten keine Sicherheit bezüglich tatsächlicher Ausprägung des Altgeräteanfalls (s. Kapitel 4.5.1). Mit zunehmender Trenderkennung und Zeitreihentiefe steigt jedoch die Wahrscheinlichkeit, mit traditionellen Prognosemethoden eine gewisse Sicherheit für den Altgeräteanfall zu erlangen. In PPS-Systemen sind verschiedene Prognosemethoden implementiert (vgl. Fandel u. a. (1997), S. 130ff.). Grundsätzlich können uni- und multivariable Prognoseverfahren unterschieden werden; in PPS-Systemen sind überwiegend univariable Verfahren implementiert (vgl. Zäpfel (1996), S. 96). Im Zusammenhang mit unterschiedlichen Zeitreihenverläufen (z. B. konstant, trendförmig, saisonal, trendsaisonal) kommen Methoden der exponentiellen Glättung 1. Ordnung (bei konstantem, trendförmigem, saisonalem oder trendsaisonalen Verlauf) und 2. Ordnung (bei trendförmigem Verlauf), der gleitenden Mittelwerte oder der gewichteten gleitenden Mittelwerte (bei konstantem Verlauf) zum Einsatz. Die traditionellen Methoden versagen, wenn Prognosen auf Basis von Lebenszyklusdaten erstellt werden sollen. Die Notwendigkeit hierzu ergibt sich vor allem dann, wenn (noch) keine Vergangenheitsdaten vorliegen. Es werden Ansätze diskutiert, den Altgeräterückfluss mithilfe von Fuzzy-Logik zu prognostizieren (vgl. Marx-Gómez/Rautenstrauch (1999), S. 71ff.). Als Eingangsgrößen werden ursprüngliche Geräteverkaufsdaten, Verkaufszeitpunkte, Nutzungsintensitäten, Lebensdauern, Ausfallarten und Anreizsysteme zur Altgeräterückgabe gewählt. Die prognostizierte Anfallmenge stellt die Ausgangsgröße dar. Die Einflussfaktoren lassen sich *unscharf* beschreiben, daher kann ein regelbasiertes Fuzzy-System eingesetzt werden. Das Wissen ausgewählter Personengruppen (z. B. Recyclingexperten, Entwicklungsingenieure) hinsichtlich Einflussfaktoren und deren Auswirkungen wird in Zugehörigkeitsfunktionen

und einer Regelbasis modelliert. Durch eine Defuzzifizierung werden die Altgeräteanfallmengen als scharfe Ausgangsgrößen ermittelt⁸¹.

Auf Basis vorhandener Altgeräteprognosedaten (Lebenszyklen, Zeitreihen) wird der Altgeräteanfall prognostiziert. Das *Externe Prognosesystem* hält in diesem Zusammenhang die Funktionen des beschriebenen Fuzzy-Systems bereit. Nachdem die einzelnen Altgeräteanfallprognosen vorliegen, werden diese (entsprechend gewählter Gewichtungverhältnisse) zu einer übergreifenden Altgeräteanfallprognose konsolidiert (s. Abb. 5.8).

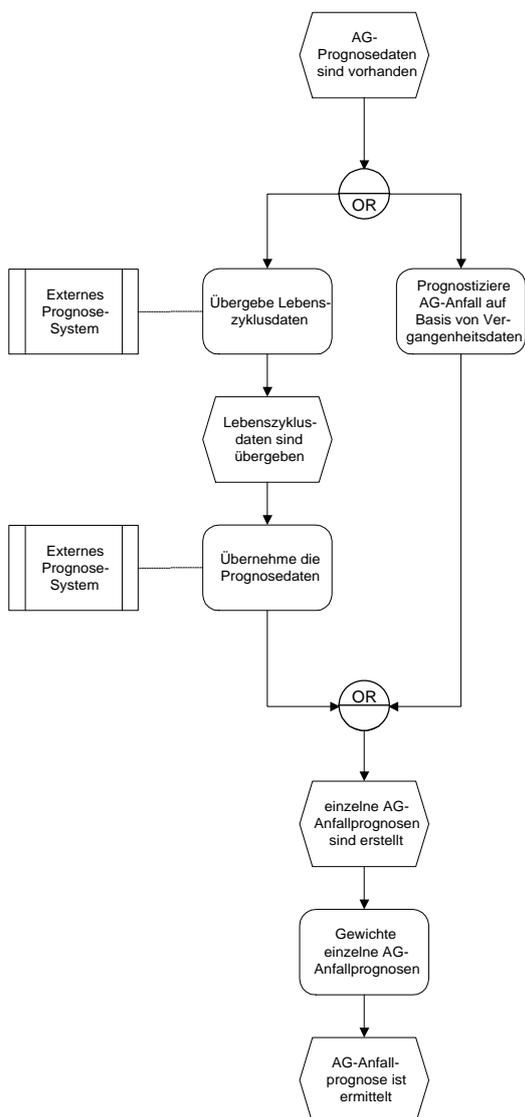


Abb. 5.8: Prozessmodell zur Altgeräteanfallprognose

⁸¹ Das theoretische Modell wurde anhand realer Produktdaten validiert (vgl. Marx-Gómez/Rautenstrauch (1999), S. 71).

$$x_a^{\text{Anfall}} = \alpha^{\text{Zeitreihe}} \cdot x_a^{\text{Anfall,Zeitreihe}} + (1 - \alpha^{\text{Zeitreihe}}) \cdot x_a^{\text{Anfall,Lebenszyklus}}$$

Der Gewichtungsfaktor $\alpha^{\text{Zeitreihe}} \in [0,1]$ gibt die Stärke an, mit der die (vorläufigen) Prognosedaten aus der Zeitreihe in die gültige Prognoseversion eingehen. Bei $\alpha^{\text{Zeitreihe}} = 1$ werden die Lebenszyklusdaten nicht berücksichtigt, bei $\alpha^{\text{Zeitreihe}} = 0$ bleiben die Prognosedaten aus der Zeitreihe unberücksichtigt. Der Gewichtungsfaktor $\alpha^{\text{Zeitreihe}}$ wird im Altgeräte-Materialstamm gepflegt.

5.2.5.3 Losgrößenplanung

Das Optimierungsproblem der Losgrößenplanung resultiert daraus, dass bestimmte Kosten (z. B. Lagerkosten) mit steigender Losgröße anwachsen, wohingegen andere Kosten (z. B. Rüstkosten) sinken (vgl. Kurbel (1999), S. 43f.)⁸². Die Bestimmung optimaler Losgrößen (z. B. mithilfe des Andler-Verfahrens), stellt ein klassisches Problem der Betriebswirtschaftslehre dar; einige neuere Verfahren (z. B. Stückperiodenausgleich, gleitende wirtschaftliche Losgröße) sind als Heuristiken entwickelt worden (vgl. Scheer (1998), S. 148). Neben den genannten Kostenabhängigkeiten werden der Losbildung die Erzielung von Lerneffekten und Potenziale zur Vereinfachung des Materialflusses unterstellt (vgl. Hesselbach/Westernhagen (1999), S. 156). Im Rahmen der Primärbedarfsplanung werden Demontageerzeugnisse von *Kunden-* bzw. *Lageraufträgen* zu Losen gebündelt. Durch die Losbildung auf Basis von Demontageerzeugnissen werden indirekt Altgeräte gebündelt, die

- einen ähnlichen Zustand aufweisen,
- ähnlich demontiert werden, da bestimmte Demontageprodukte erzeugt werden und daher
- einen ähnlichen bzw. gleichen Arbeitsablauf erfordern⁸³.

Die konventionellen Verfahren zur Losgrößenplanung können im Rahmen der DPS durch Gruppenbildung mit Clusteranalysen ergänzt 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. Je geringer die Werte der Distanzmaße, desto ähnlicher die Objekte (vgl.; Hesselbach/Westernhagen (1999), S. 153ff.; Kurbel/Kurmann (1998), S. 56). Da ähnliche

⁸² Ausführlich zu den verschiedenen Losgrößenverfahren vgl. Kurbel (1999), S. 125ff.; Rautenstrauch (1992); Scheer (1998), S. 148ff.

⁸³ In Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass evtl. auch sehr unterschiedliche Altgeräte ähnliche Demontage-Arbeitsgänge verursachen (vgl. Kurbel/Kurmann (1998), S. 55). Unter diesen Voraussetzungen muss sich der Ähnlichkeitsbegriff von optischen Merkmalen bzw. Funktionsmerkmalen lösen und über Demontageablaufähnlichkeiten definiert werden.

(aber verschiedene) Demontageerzeugnisse evtl. aus unterschiedlichen Altgeräten demontiert werden, ist dieses Verfahren zur Losbildung nur dann sinnvoll anwendbar, wenn ähnliche Demontageerzeugnisse aus ähnlichen Altgeräten demontiert werden.

Je homogener das Demontageprogramm ist, desto eher können Mechanisierungs- bzw. Automatisierungspotenziale genutzt werden (vgl. Seliger/Hentschel (1996), S. 43). Die Entscheidung, ob und wie Lose für Demontageerzeugnisse gebildet werden, hängt u. a. mit dem Vorliegen von Baugleichheiten zusammen. Mit zunehmender Anzahl von Baugleichheiten steigt die Wahrscheinlichkeit, dass ein Demontageprodukt aus verschiedenen Altgeräten erzeugt werden kann. Losbildung führt zum bestmöglichen Ergebnis, wenn keine Baugleichheiten vorliegen. Ein Ergebnis mittlerer Güte wird erreicht, wenn Baugleichheiten nur innerhalb einer homogenen Altgerätegruppe vorkommen (z. B. gleiche Motoren in funktionsgleichen Haushaltsgeräten). Schlechtere Ergebnisse sind zu erwarten, wenn Altgeräte aus sehr heterogenen Gruppen stammen (z. B. gleiche Motoren in funktionsverschiedenen Werkzeugmaschinen).

5.2.5.4 Vorlaufverschiebung

Nachdem Lose aus Demontageerzeugnissen gebildet wurden, kann die Vorlaufverschiebung durchgeführt werden. Es empfiehlt sich, obwohl die Mengenplanung im Vordergrund steht, mithilfe der Vorlaufverschiebung das Mengengerüst mit einem groben Zeitraster zu versehen (vgl. Kurbel (1999), S. 133f.). Die notwendige Vorlaufzeit ergibt sich im einfachsten Fall als Durchlaufzeit der höheren Produktionsstufe (vgl. Mertens (1997), S. 148). Durchlauf- bzw. Vorlaufzeit werden in der Regel in ganzen Periodeneinheiten angegeben (vgl. Scheer (1998), S. 145), daher wird das Mengengerüst nur mit einem sehr groben Zeitraster versehen (vgl. Kurbel (1999), S. 133f.).

Im Rahmen der Primärbedarfsplanung werden Primärbedarfe (Demontageerzeugnisse) verschoben, denen keine höhere Produktionsstufe übergeordnet ist. Im Gegensatz zu Demontageprodukten, zu deren Erzeugung ein jeweils ähnlicher Aufwand erforderlich sein wird, ist der Altgeräte-Demontageaufwand allein durch Kenntnis des Altgerätetyps nicht vorherzusehen, da Altgeräte entsprechend der Demontageerzeugnis-Bedarfssituation und des Altgerätezustands entweder mit dem Ziel des Wiedereinsatzes von Demontageerzeugnissen, der Verwertung oder Beseitigung demontiert werden. Entsprechend der Vorlaufzeit werden die Altgerätebedarfe in früheren Perioden erzeugt. Durch Orientierung der Vorlaufverschiebung an den Demontageerzeugnis-Bedarfsterminen sind die Altgeräte-Demontageaufträge auf jeweils spätest zulässige Termine ausgerichtet. Diese Rückwärts-terminierung entspricht einem Pull-Konzept (vgl. Scheer (1998), S. 148). Die einzelnen Altgeräte werden terminlich von den jeweils übergeordneten Demontageerzeugnissen

gezogen. Sollten Altgeräte in die Vergangenheit terminiert werden, können die Durchlaufzeiten der Demontageerzeugnisse z. B. über sog. Übergangszeitreduzierungs-faktoren (vgl. Scheer (1998), S. 148) reduziert werden. Anschließend wird eine Vorwärtsterminierung durchgeführt. Gegebenenfalls müssen mehrere Vorwärts- und Rückwärtsterminierungen durchgeführt werden, bis eine gültige Terminierung entsteht. Die Demontageerzeugnisse werden in Abhängigkeit vom jeweils notwendigen Aufwand unterschiedlich weit verschoben, daher wird die Vorlaufzeit als Terminierungsparameter im Materialstamm gepflegt.

5.2.5.5 Altgerätebedarfsermittlung

Nachdem die Vorlaufverschiebung abgeschlossen ist, wird mithilfe einer im Folgenden vorzustellenden Heuristik die zur Erzeugung des Primärbedarfs notwendige Menge von Altgeräten bestimmt. In diesem Zusammenhang wird über die Demontageerzeugnis-Struktur für jedes Demontageprodukt Art und Menge zur Erzeugung notwendiger Altgeräte ermittelt. Der Verwendungsnachweis stellt dabei die logische Beziehung zwischen einem Demontageerzeugnis und einem oder (bei Vorliegen von Baugleichheiten) mehreren direkt vorgelagerten Altgeräten bzw. Baugruppen her. Als wesentliche Informationsobjekte stellt der Verwendungsnachweis u. a.

- die *Demontagekoeffizienten* a_{ij} und
- die *Wiedereinsatzwahrscheinlichkeit* p_{ij}^{WE} bereit (s. Kapitel 5.2.4).

Im Hinblick auf heutige und zukünftige Produktionsstrategien (z. B. Plattformstrategie, Standardisierung nicht kundenwirksamer Teile) muss davon ausgegangen werden, dass verschiedene Produkte gleiche Komponenten beinhalten (vgl. Adam (1998), S. 59f.).

Im genannten Zusammenhang besteht das Problem darin, diejenige Art und Menge der Altgeräte zu bestimmen, deren Demontage zur deckungsbeitragsmaximalen Befriedigung eines gegebenen Demontageerzeugnis-Bedarfs führt. Algorithmen zur Sekundärbedarfsbe-rechnung kommen hier nicht zur Anwendung, da ein Demontageerzeugnis (beim Vorlie-gen von Baugleichheiten) in verschiedenen Altgeräten enthalten sein kann. Weiterhin können Altgeräte nicht unabhängig voneinander betrachtet werden, da ein Altgerät ver-schiedene Demontageerzeugnisse enthalten kann (s. Abb. 5.9).

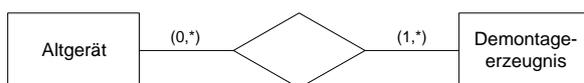
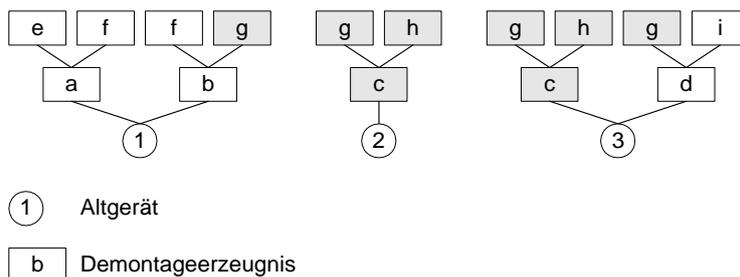


Abb. 5.9: ER-Diagramm zur Darstellung von Baugleichheiten

Gesucht ist die Art und Menge zu demontierender Altgeräte, auf deren Basis alle Demontageerzeugnis-Bedarfe erfüllt und maximale Gesamtdeckungsbeiträge erzielt werden können.

Nachfolgend wird ein in der Literatur vorgeschlagener Lösungsansatz beschrieben und diskutiert (vgl. Taleb/Gupta (1997)): Ausgangsbasis für die Anwendung des vorgeschlagenen Algorithmus sind Erzeugnisstrukturen der zu demontierenden Geräte. Diese können als Baum mit dem Altgerät als Wurzel und nicht weiter zu demontierenden Materialien als Blättern (s. Abb. 5.10) dargestellt werden.



Vgl. Taleb/Gupta (1997), S. 950

Abb. 5.10: Altgeräte-Erzeugnisstrukturen

Die Materialien *c*, *g* und *h* sind in mehreren Altgeräten enthalten. Ein hinsichtlich dieser Materialien bestehender Primärbedarf kann daher aus unterschiedlichen Zusammensetzungen der potenziellen Sekundärbedarfe (Altgeräte) 1, 2 und 3 befriedigt werden. Beschaffungs- und Demontagezeiten sowie Beschaffungs-, Entsorgungs- und Demontagekosten werden als bekannt vorausgesetzt. Weiterhin werden die Demontageerzeugnis-Bedarfe als bekannt angenommen.

Der Algorithmus bestimmt zunächst die notwendigen Altgeräte für Demontageerzeugnisse, die nur in einem Altgerät enthalten sind. Besteht Bedarf für ein Demontageerzeugnis, das nur in einem bestimmten Altgerät enthalten ist, muss dieses Altgerät zur Demontage vorgesehen werden. Anschließend werden Sekundärbedarfe für Materialien festgelegt, die in mehreren Geräten vorhanden sind. Dazu werden sequenziell diejenigen Altgeräte selektiert, die das beste Nutzen/Kosten-Verhältnis aufweisen. Der *Nutzen* bestimmt sich dabei als prozentuale Reduzierung aller (noch offenen) Demontageerzeugnis-Bedarfe. *Kosten* sind definiert als prozentuale Steigerung der Gesamtdemontagekosten des entsprechenden Altgeräts. Während des Auswahlprozesses werden Konten über Bedarfe fortgeschrieben, die mit den bisher ausgewählten Altgeräten gedeckt werden können. Wurde eine gültige Lösung gefunden, d. h. sind alle Bedarfe gedeckt, wird überprüft, ob die Anzahl zu demontierender Altgeräte verringert werden kann. Ist dies der Fall, wird die Anzahl derjenigen zu demontierenden Altgeräte verringert, die den Zielfunktionswert (Gesamtdemontagekosten) am meisten reduzieren.

- Der beschriebene Ansatz verfolgt implizit das Oberziel *Befriedigung aller Demontageerzeugnis-Bedarfe*; erst dann wird die explizite Zielfunktion *Minimierung der Demontagekosten* berücksichtigt.
- Die Lösung des Algorithmus stellt in der Regel, da sie heuristisch ermittelt wird, kein Optimum dar. Weiterhin werden keine Aussagen zur Güte des Ergebnisses, d. h. zur Entfernung vom Optimum gemacht.
- Die Gesamtdemontagekosten ergeben sich durch Addition spezifischer Altgerätedemontagekosten. Problematisch erscheint, dass die Altgerätedemontagekosten starr sind, d. h. sich nicht mit der Demontagetiefe eines Altgeräts verändern⁸⁴. Folgt man dem vorgestellten Ansatz, entstehen beim Demontieren von n ($n > 1$) Erzeugnissen aus einem Altgerät die gleichen Kosten (pro Demontageerzeugnis) wie bei der Demontage eines einzelnen Demontageerzeugnisses aus demselben Gerät. Diese Annahme führt dazu, dass der Algorithmus eher Lösungen mit (zu) vielen Altgeräten vorschlägt. Bei Zugrundelegung tatsächlicher Kosten könnte eine Lösung mit weniger Altgeräten günstiger sein. Weiterhin wird von diesem Vorgehensmodell nicht beachtet, dass durch Nachfrage nach mehr Altgeräten auch höhere Bestell-, Lager-, Transport-, Rüst- und Schadstoffentfrachtungskosten anfallen.
- Es wird eine vollständig bekannte und unelastische Nachfrage nach Demontageerzeugnissen unterstellt. Alle Materialien, die nicht geplant sind (nicht-planbare Demontageerzeugnisse), werden entsorgt.
- Ein Altgerät wird beschafft, wenn es ein ausreichendes Nutzen/Kosten-Verhältnis aufweist. Die beschafften Altgeräte werden vollständig demontiert. Der Algorithmus lässt dabei außer acht, dass potenzielle Demontageerzeugnisse evtl. nicht demontiert werden (weil z. B. eine übergeordnete Baugruppe verwertet wird). In diesem Zusammenhang müssen dann auch Kuppelproduktionseffekte und deren Einfluss auf die Gesamtdemontagekosten berücksichtigt werden.
- Der Algorithmus berücksichtigt nicht, dass manche Demontageerzeugnisse mit dem Ziel der *Verwertung*, andere mit dem Ziel des *Wiedereinsatzes* demontiert werden. Durch diese unterschiedliche Zielsetzung können durchaus verschiedene Kosten (je Demontageerzeugnis) entstehen, deren Einfluss auf das gesamte Nutzen/Kosten-Verhältnis zu berücksichtigen wäre.

⁸⁴ Die Demontagekosten ändern sich auch mit dem *Zustand* eines Altgeräts. Der Zustand kann (als externer Faktor) plausibel als Durchschnitt angegeben werden, wohingegen keine durchschnittliche *Demontagetiefe* angegeben werden kann, da diese gerade von der Anzahl zu beschaffender und zu demontierender Altgeräte abhängt.

- Wiedereinsatzwahrscheinlichkeiten werden nicht berücksichtigt. Implizit wird davon ausgegangen, dass alle (theoretisch) in einem Altgerät enthaltenen Demontageerzeugnisse vorhanden, demontierbar und wiedereinsetzbar sind.
- Wenn angenommen wird, dass es in der Regel (auf Grund zu erwartender Kuppelproduktionseffekte (s. Kapitel 4.5.2)) sinnvoller ist, eine gegebene Menge an Demontageerzeugnissen aus wenigen Altgeräten zu demontieren, da neben Senkung der oben genannten Kosten auch Durchlaufzeitverkürzungen eintreten, führt der vorgeschlagene Algorithmus nicht zu befriedigenden Ergebnissen. Vielmehr wird ein von der Altgerätezahlanzahl abhängiges, hohes Maß an Aktivitäten zur Verwertungsvorbereitung erzwungen. Dementsprechend kann nur ein relativ kleiner Teil als freie Kapazität für die Erfüllung weiterer Kunden-, Lager- oder Verwertungsaufträge aufgewendet werden (s. Abb. 5.11a). Werden unter sonst gleichen Bedingungen weniger Altgeräte eingeplant, verändert sich der Einfluss des Demontageerzeugnis-Bedarfs auf die Kapazitätsauslastung der Demontagefabrik (s. Abb. 5.11b). Die so entstandene freie Kapazität kann dazu genutzt werden, zusätzlich Kunden-, Lager- oder Verwertungsaufträge mit den höchsten Deckungsbeiträgen einzuplanen.

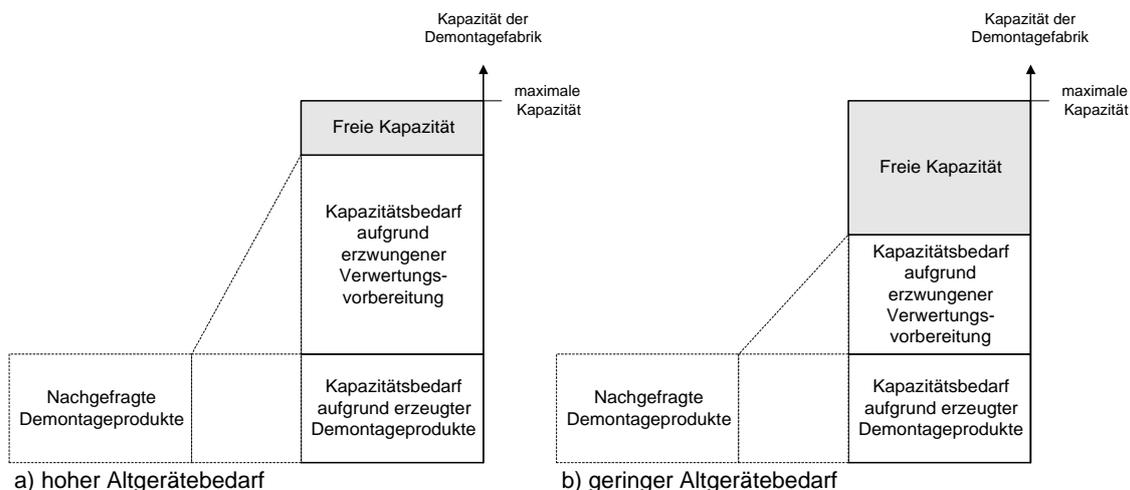


Abb. 5.11: Demontagefabrik-Kapazitätsverhältnisse bei Altgerätebedarfsänderung

Ausgehend von der Kritik an der vorgestellten Heuristik für die Belange des hier zu erarbeitenden DPS-Konzepts wird im Weiteren ein Ansatz beschrieben, der als Oberziel ebenfalls die *Befriedigung aller Demontageerzeugnis-Bedarfe* verfolgt. Diese sind durch die der DPS vorgelagerte Absatzplanung bereits auf Bedarfe mit ausreichendem Deckungsbeitrag eingegrenzt. Der zu entwickelnde Ansatz muss den folgenden Eigenschaften genügen:

1. Verfolgung der DPS-Ersatzziele.
2. Möglichst wenig ungenaue bzw. unbekannte Eingangsparameter.
3. Messbarkeit der Ergebnishüte.

4. Berücksichtigung, dass Demontagekosten vom Ausbeutungsgrad (Anzahl Demontageerzeugnisse je Altgerät) abhängen.
5. Berücksichtigung von Bestell-, Lager-, Transport-, Rüst- und Schadstoffentfrachtungskosten.
6. Berücksichtigung evtl. vorliegender Baugleichheiten.
7. Berücksichtigung nicht-planbarer Demontageerzeugnisse (Kuppelprodukte).
8. Möglichkeit zur Planung auf Basis flexibler Demontagetiefen (je nach Zustand bzw. Bedarf).
9. Berücksichtigung von Unterschieden hinsichtlich der Demontageziele *Verwertung* bzw. *Wiedereinsatz*.
10. Berücksichtigung von Wiedereinsatzwahrscheinlichkeiten.
11. Reduzierung der erzwungenen Verwertungsvorbereitung und damit Steigerung der freien Kapazitäten der Demontagefabrik (s. Abb. 5.11).

Eine wirkungsvolle Möglichkeit, den genannten Anforderungen zu entsprechen, ist die Einführung der Zielfunktion: *Minimierung des Altgerätebedarfs*. Das Ziel besteht somit darin, die minimale Menge an Altgeräten zu beschaffen, um ein gegebenes Auftragsprogramm zur Erzeugung von Demontageprodukten bzw. zur Verwertungsvorbereitung erfüllen zu können. 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 entsprechende Aufträge mit dem geringsten Aufwand erfüllt werden können.

Vordergründig betrachtet, widerspricht die Zielfunktion *Minimierung des Altgerätebedarfs* ökologischen Zielsetzungen, da im Rahmen der Primärbedarfsplanung versucht wird, die Anzahl anzunehmender Altgeräte zu minimieren. Betrachtet man dagegen den gesamten Planungszyklus und die Auswirkungen auf Kreislaufwirtschaft bzw. Produktlebenszyklus, ist zu erkennen, dass die Zielfunktion wirtschaftlichen und ökologischen Zielsetzungen folgt:

- Im Rahmen der weiteren Demontageplanung werden (auf Grund der Altgerätebedarfs-Minimierung) freie Kapazitäten entsprechend der Demontageerzeugnis-Bedarfsituation zur Demontage anderer Altgeräte genutzt. Trotz Einführung der Zielfunktion steht die Demontagefabrik-Gesamtkapazität der Altgerätedemontage zur Verfügung. Auf Basis der Zielfunktion wird lediglich eine wirtschaftlich vorteilhafte Altgeräteselektion getroffen, auf Grund derer Demontageerzeugnisse evtl. preisgünstiger angeboten werden können. Dies kann zu Anreizen führen, Demontageerzeugnisse verstärkt in der (Primär-)Produktion einzusetzen (s. Kapitel 2.1.2, 2.3.1). Dadurch kann die Nachfrage

nach Demontageerzeugnissen erhöht und die Altgerätedemontage insgesamt verstärkt werden.

- Die konsequente Verfolgung der genannten Zielfunktion hat neben Auswirkungen auf den Bereich der Demontageplanung u. a. auch Einfluss auf das Verhalten der Teilnehmer einer Kreislaufwirtschaft. Die zielgerichtete (bzw. aus Sicht der Demontagefabrik: *minimierte*) Nachfrage nach Altgeräten kann zu Konkurrenz um Altgeräte mit hohem Wiedereinsatzpotenzial führen. Gleichzeitig werden Altgeräte mit geringem Wiedereinsatzpotenzial weniger nachgefragt; deren Entsorgung muss im Rahmen der Produktverantwortung (s. Kapitel 2.1.3) evtl. teuer erkaufte werden. In diesem Zusammenhang könnte das Interesse der Produzenten bzw. Entsorger gesteigert werden
 - demontage- bzw. recyclinggerecht zu konstruieren (s. Kapitel 2.2.1),
 - relevante Informationen bereit zu stellen (s. Kapitel 2.2.2),
 - möglichst viele wiedereinsatzbare Komponenten zu verwenden,
 - effiziente Rückführsysteme (s. Kapitel 2.4.1, 2.4.2) zu installieren (z. B. um Altgerätelagerung an ungeeigneten Orten zu verhindern und so den Altgerätezustand zu erhalten),
 - bestehende Produktnutzenkonzepte (z. B. im Bereich der Kopierer) auch auf andere Bereiche (z. B. Haushaltsgroßgeräte) auszudehnen (s. Kapitel 2.3.2), um Produkte zu definierten Zeiten zurückerhalten und nach Demontage und Aufarbeitung wieder in eine Nutzung zurückführen zu können (vgl. Huber (2000c), S. 75).

Die Verfolgung des genannten Ziels erhöht die Wahrscheinlichkeit, ein gegebenes Demontageprogramm schnell abarbeiten und auf Grund eines geringeren Verwertungszwangs bzw. höherer freier Kapazitäten (s. Abb. 5.11b) weitere Aufträge einplanen zu können. Wird ein gegebenes Demontageprogramm aus der minimalen Anzahl an Altgeräten erzeugt, spiegelt dies wider, dass demontageerzeugnisspezifische Kosten in der Regel vom Demontagegrad eines Altgeräts abhängen. Die auf ein Demontageergebnis umgelegten Kosten sinken, wenn die Anzahl aus diesem Altgerät erzeugter Demontageerzeugnisse steigt. Der Grund hierfür ist in Bestell-, Lager-, Transport-, Rüst- und Schadstoffentfrachtungskosten sowie in Kuppelproduktionseffekten zu suchen. Die Annahme von Altgeräten kann zur Erzielung von Erlösen führen (s. Kapitel 2.1.2), daher können spezifische Demontageerzeugnis-Deckungsbeiträge mit zunehmender Altgerätemenge auch steigen. Die durchschnittlichen zusätzlichen Erlöse durch eine verbrauchsgesteuerte Planung von nicht-planbaren Demontageerzeugnissen schlägt sich im Rahmen der Absatzplanung in Deckungsbeiträgen nieder. Durch die Forderung nach Minimierung der Altgerätemengen werden die DPS-Ersatzziele verfolgt:

- *Niedrige Durchlaufzeiten* durch schnelle Auftragserfüllung.

- *Geringe Bestände* durch Senkung der Altgeräteannahmemenge bzw. Demontageerzeugnis-Ausbringungsmenge.
- *Hohe und gleichmäßige Kapazitätsauslastung* durch Reduzierung von z. B. Rüst- und Transportzeiten, deren Höhe von der Anzahl zu demontierender Altgeräte abhängt.
- *Hohe Termintreue und Lieferbereitschaft* durch das Oberziel des vorgestellten Ansatzes (*Befriedigung aller Demontageerzeugnis-Bedarfe*).

In diesem Ansatz stellt die Ermittlung der Altgerätebedarfsmengen ein Problem der linearen Optimierung dar. Da in ca. 85 % der gängigen PPS-Systeme keine Verfahren zur Lösung linearer Optimierungsprobleme implementiert sind (vgl. Fandel u. a. (1997))⁸⁵, und im Rahmen dieser Arbeit nur originäre (Kern-)Funktionen zu PPS-Systemen gerechnet werden (s. Kapitel 4.4.1), übernimmt ein externes System die Aufgaben der linearen Optimierung. Zur Lösung von Aufgaben der linearen Optimierung existiert leistungsfähige Standardsoftware (z. B. *CPLEX* bzw. *ILOG*, *XPRESS-MP*). Der im Folgenden zu erarbeitende Ansatz umfasst zwei Teile. Zunächst muss das theoretische Optimierungsproblem formuliert werden, anschließend wird ein Algorithmus zur Aufstellung des linearen Programms vorgestellt.

Zur Befriedigung des Primärbedarfs ist die Erzeugung bestimmter Demontageobjekte $j = 1, \dots, n$ nötig. Der Primärbedarf stellt die zu erzeugenden Mengen b_1, \dots, b_n dar. Die Demontageobjekte j befinden sich in unterschiedlichen Mengenverhältnissen a_{ij} in ihnen direkt vorgelagerten Demontageobjekten i , $i \in J$. Die Höhe der jeweiligen Wiedereinsatzwahrscheinlichkeiten p_{ij}^{WE} des Demontageobjekts j ist von dem bzw. den direkt vorgelagerten Demontageobjekt(en) $i = 1, \dots, m$ abhängig. y_j gibt die Erzeugungsmenge (für Demontageerzeugnisse) bzw. Beschaffungsmenge (für Altgeräte) an, die notwendig ist, um den Primärbedarf (b_1, \dots, b_n) zu befriedigen. Eine zusätzlich eingeführte Variable w_j erlaubt die Unterscheidung von Altgeräten und Demontageerzeugnissen in der Zielfunktion.

Für w_j gilt: $w_j = 1 \quad \forall j \in A,$
 $w_j = 0 \quad \text{sonst.}$

$$a_{1j}p_{1j}^{WE}(y_1 - b_1) + a_{2j}p_{2j}^{WE}(y_2 - b_2) + \dots + a_{mj}p_{mj}^{WE}(y_m - b_m)$$

ist die Gesamtmenge, die vom Demontageobjekt j erzeugt werden kann. Diese Menge muss den Bedarf b_j decken, daher ist zu fordern, dass die Nebenbedingungen

⁸⁵ Etwa 15 % von ca. 210 untersuchten PPS-Systemen verfügen über integrierte Verfahren der linearen Optimierung (vgl. Fandel u. a. (1997)). Diese kommen vor allem in den Bereichen Kapazitätsgrobplanung (vgl. Fandel u. a. (1997), S. 136) und Reihenfolgeplanung (vgl. Fandel u. a. (1997), S. 381) zum Einsatz.

$$y_j \geq b_j, \quad \forall j = 1, \dots, n$$

und

$$\sum_{i=1}^m a_{ij} p_{ij}^{WE} (y_i - b_i) \geq y_j, \quad \forall j = 1, \dots, n$$

eingehalten werden. Jedes n -Tupel $(w_1 y_1, w_2 y_2, \dots, w_n y_n)$, das diese Forderungen erfüllt, stellt eine *zulässige* Lösung dar.

Die resultierende Menge an Altgeräten ergibt sich zu

$$z = \sum_{j=1}^n w_j y_j$$

welche unter Einhaltung der Nebenbedingungen zu minimieren ist:

$$z = \sum_{j=1}^n w_j y_j \rightarrow \min$$

Eine zulässige Lösung, die bezüglich aller zulässigen Lösungen der Zielfunktion z einen minimalen Wert erreicht, stellt eine *optimale* Lösung dar.

Das Ergebnis der linearen Optimierung stellt (im mathematischen Sinne) keine optimale Lösung des Problems dar, da auf die Forderung nach Ganzzahligkeit verzichtet wurde. Der exakten Lösung gemischt-ganzzahliger Optimierungsprobleme mit Hilfe von Standardsoftware sind enge Grenzen gesetzt (vgl. Stadtler (1998), S. 188). Wird eine ganzzahlige Optimierung angestrebt, treten bei größeren Problemstellungen meist rechentechnische Schwierigkeiten auf. Gleichzeitig ist der maximale Fehler, der durch Runden auf die nächsthöhere ganze Zahl auftritt, in der Regel für die betriebliche Praxis vernachlässigbar. Der maximale Fehler ist kleiner als die Anzahl der unterschiedlichen zu beschaffenden Altgeräte.

Nach der Darstellung des theoretischen Optimierungsproblems wird ein Algorithmus zur Aufstellung des linearen Programms vorgestellt (s. Abb. 5.12). Zuerst werden für jedes Demontageobjekt die relevanten Nebenbedingungen aufgestellt, dabei wird die Entscheidungsvariable w_j für Demontageerzeugnisse auf $w_j = 0$ und für Altgeräte auf $w_j = 1$ gesetzt. Nachdem alle Demontageobjekte berücksichtigt wurden, kann die Zielfunktion aufgestellt werden.

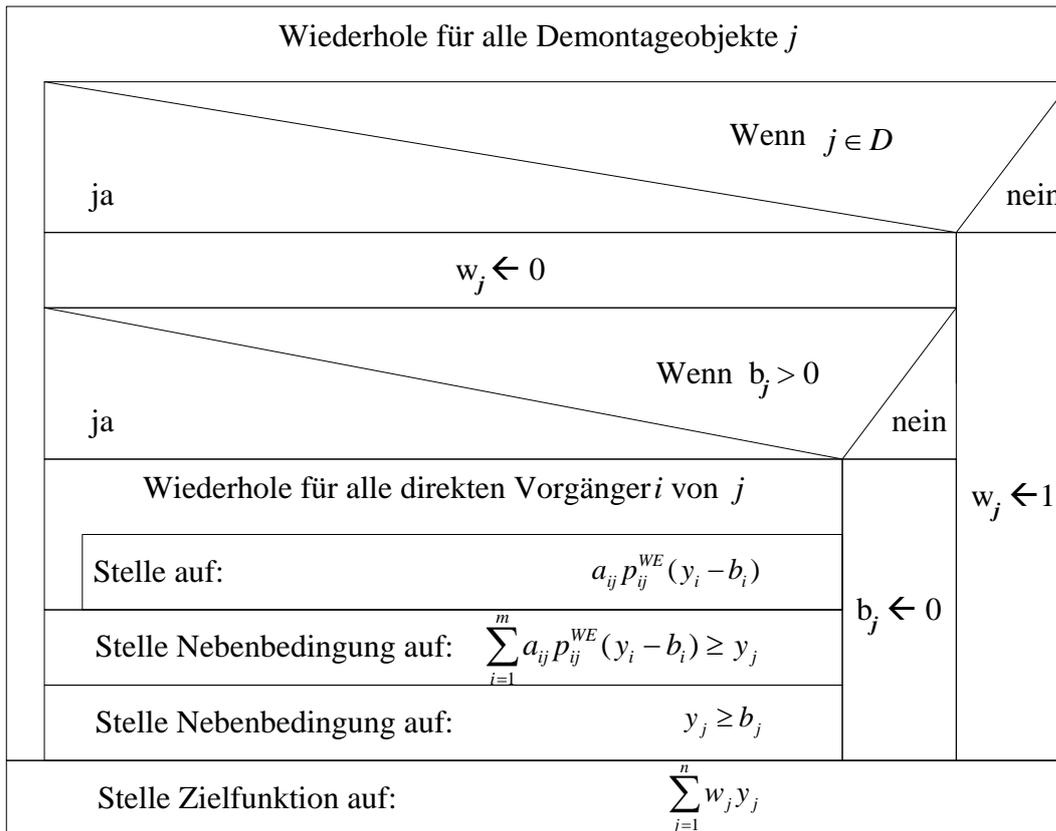


Abb. 5.12: Algorithmus zur Aufstellung des linearen Programms

Das lineare Programm wird einem externen Optimierungssystem übergeben (s. Abb. 5.13). Die Ergebnisse werden nach der Optimierung an das DPS-System übertragen. Auf Basis dieser Ergebnisse wird der Altgerätebedarf erstellt.

Insgesamt ist der hier vorgestellte Ansatz zur Ermittlung des Altgerätebedarfs als Heuristik zu betrachten, auch wenn er sich eines optimierenden Verfahrens bedient. Zum einen wird auf die Forderung nach Ganzzahligkeit verzichtet, zum anderen steht die Zielfunktion *Minimierung des Altgerätebedarfs* nur in einem vermuteten Zusammenhang mit den monetären Zielsetzungen der DPS. Kosten und Erlöse werden im Rahmen dieses Ansatzes implizit (durch Verfolgung der DPS-Ersatzziele) berücksichtigt.

Die konsequente Verfolgung des DPS-Ersatzziels *hohe Termintreue und Lieferbereitschaft* erfordert, dass im Fall von Unterkapazitäten und evtl. notwendiger Umdisposition zielgerichtet Kundenaufträge identifiziert werden können, um diese entsprechend des DPS-Ersatzziels erst nach Lageraufträgen umzudisponieren. Da ein Altgerät möglicherweise zur Erzeugung von Demontageprodukten aus Kunden- und Lageraufträgen verwendet wird, kann ein bestimmter Altgerätebedarf nicht immer eindeutig einem Kunden- bzw. Lagerauftrag zugeordnet werden.

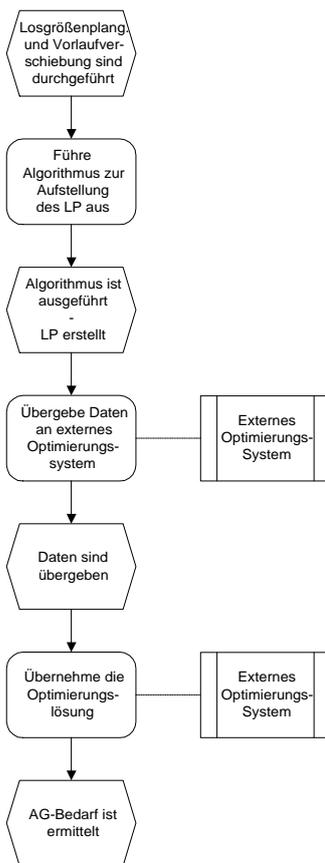


Abb. 5.13: Prozessmodell zur Altgerätebedarfsermittlung

Altgerätebedarfe sind in *kunden-* und *lagerauftragsinduziert* zu unterscheiden. Vom ermittelten gesamten Altgerätebedarf $x_a^{kundeninduziert,lagerinduziert}$ (kunden- und lagerauftragsinduziert) wird der kundenauftragsinduzierte Altgerätebedarf $x_a^{kundeninduziert}$ abgezogen. Der aufgezeigte Algorithmus zur Ermittlung der Altgerätemengen wird nur für kundenauftragsinduzierte Demontageerzeugnis-Bedarfe durchgeführt. Der verbleibende, flexible Altgerätebedarf

$$x_a^{flexibel} = x_a^{kundeninduziert,lagerinduziert} - x_a^{kundeninduziert}$$

gibt an, welche Altgerätedemontagen in andere Perioden verschoben werden könnten, ohne dass die Gefahr besteht, Kundenaufträge nicht einhalten zu können.

Existieren Baugleichheiten, hat ein bestimmter Demontageerzeugnis-Bedarf aus Kunden- und Lageraufträgen evtl. einen kleineren Altgerätebedarf zur Folge, als zwei Demontageerzeugnis-Bedarfe für getrennt kalkulierte Kunden- bzw. Lageraufträge, da die entsprechenden Baugleichheiten aus dem jeweils anderen Bedarf im zweiten Fall nicht in die Berechnung einbezogen werden können. Für den Altgerätebedarf im Fall von Baugleichheiten gilt daher

$$x_a^{\text{kundeninduziert,lagerinduziert}} \leq x_a^{\text{kundeninduziert}} + x_a^{\text{lagerinduziert}}, \quad \text{und damit } x_a^{\text{flexibel}} \leq x_a^{\text{lagerinduziert}}.$$

Liegen keine Baugleichheiten vor, gibt es keine Interdependenzen zwischen kunden- und lagerauftragsinduzierten Altgerätebedarfen. Daher gilt

$$x_a^{\text{kundeninduziert,lagerinduziert}} = x_a^{\text{kundeninduziert}} + x_a^{\text{lagerinduziert}}, \quad \text{und damit } x_a^{\text{flexibel}} = x_a^{\text{lagerinduziert}}.$$

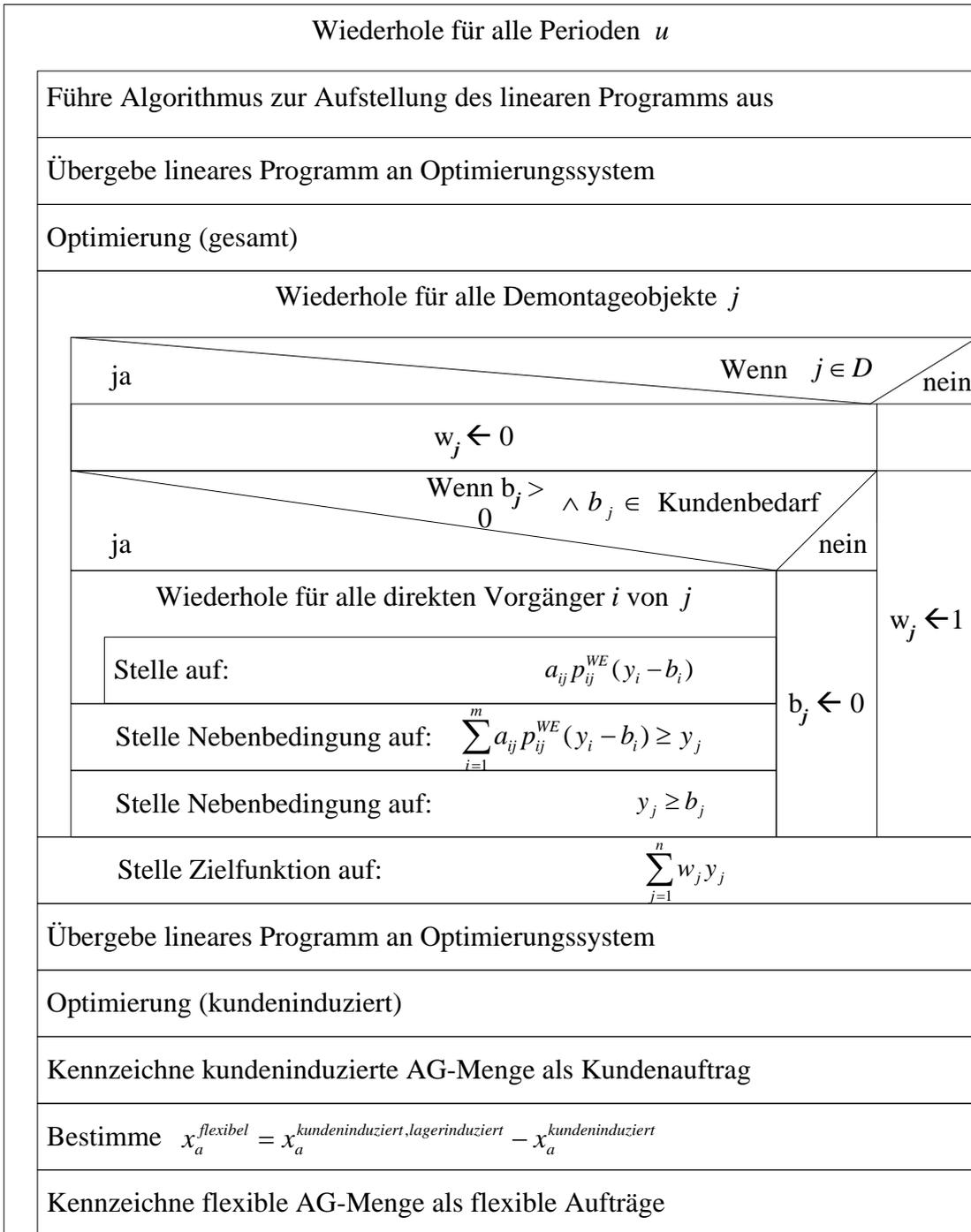


Abb. 5.14: Algorithmus zur Bestimmung kundeninduzierter und flexibler Demontageaufträge

Die wesentlichen Bestandteile der Altgerätebedarfsplanung sind die Aufstellung des linearen Programms, die Durchführung der Optimierung und die Bestimmung der flexiblen Aufträge. Ein Struktogramm (s. Abb. 5.14) stellt die Teilfunktionen zusammenfassend dar.

5.2.5.6 Konsolidierung

Das Ziel der Altgerätekonsolidierung besteht darin, Altgerätebedarf und -anfall so zusammenzufassen, dass

- Aufträge zur Verwertungs- bzw. Wiedereinsatzvorbereitung (Kundenaufträge und flexible Aufträge) eindeutig zugeordnet werden können (s. Abb. 5.15) und
- Altgeräte aus Aufträgen zur Verwertungsvorbereitung effizient genutzt werden.

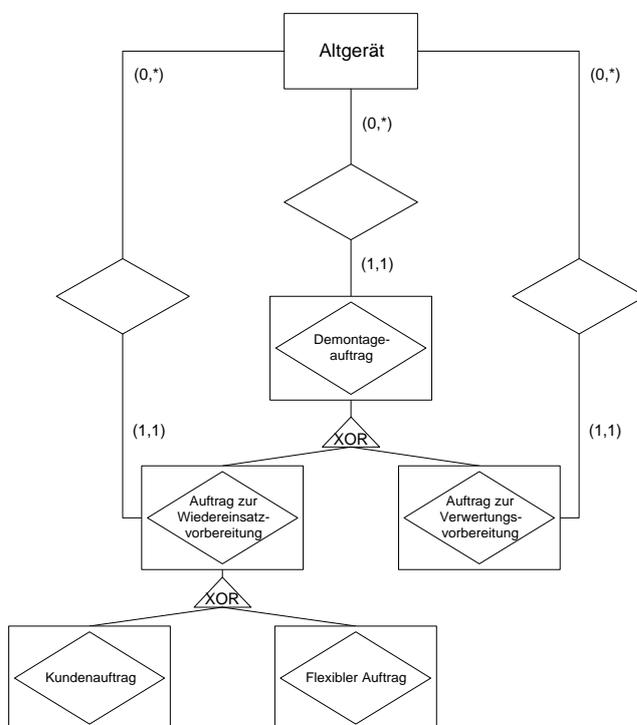


Abb. 5.15: ER-Diagramm zur Unterscheidung von Aufträgen zur Wiedereinsatz- bzw. Verwertungsvorbereitung

Ein aus DPS-Ersatzzielen ableitbares Unterziel besteht darin, die Menge zusätzlich zu beschaffender Altgeräte zu minimieren (s. Kapitel 5.2.5.5). Der Altgeräteanfall (verwertungsauftragsinduziert) und der Altgerätebedarf (demontageauftragsinduziert) werden miteinander abgeglichen. Aus Verwertungsmengen werden, soweit Bedarf besteht, Demontagemengen. Altgeräte aus Verwertungsaufträgen werden dann effizient genutzt, wenn kein Altgerät verwertet wird (d. h. für die Demontage nicht zur Verfügung steht), durch das die zusätzliche Beschaffung eines anderen Altgeräts hätte vermieden werden können.

Die resultierende Altgeräte-Verwertungsmenge $x_a^{Verwertung}$ bestimmt sich zu:

$$x_a^{Verwertung} = x_a^{Anfall} - (x_a^{kundeninduziert} + x_a^{flexibel})$$

In der vorläufigen Altgeräteprognose werden Altgerätemengen nach *Verwertung* und *kunden- bzw. lagerauftragsinduzierter Demontage* zusammengefasst (s. Tab. 5.2).

Altgeräte-Nr.	Verwertungsmenge	Demontagemenge	
		kundenauftrags-induziert	Lagerauftrags-induziert
1	$x_1^{Verwertung}$	$x_1^{kundeninduziert}$	$x_1^{flexibel}$
2	$x_2^{Verwertung}$	$x_2^{kundeninduziert}$	$x_2^{flexibel}$
...
n	$x_n^{Verwertung}$	$x_n^{kundeninduziert}$	$x_n^{flexibel}$

Tab. 5.2: Unterscheidung von Verwertungs- und Demontagemengen

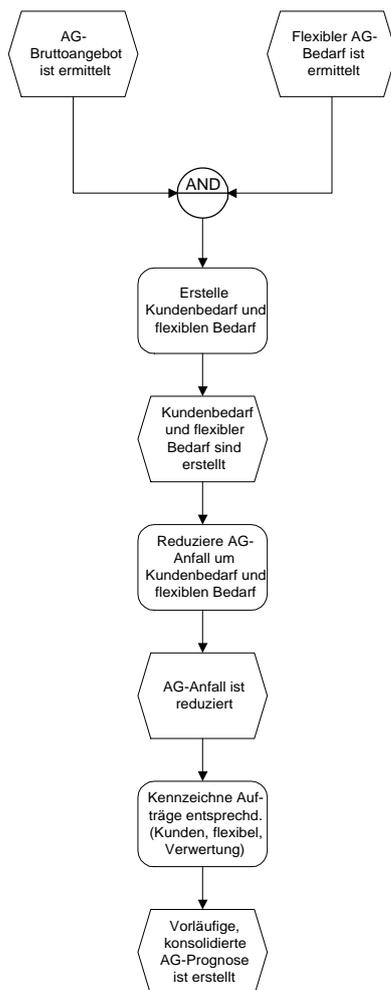


Abb. 5.16: Prozessmodell zur Konsolidierung

In Abb. 5.16 ist das Prozessmodell zur Erstellung der konsolidierten Altgeräteprognose dargestellt.

5.2.5.7 Kapazitätsgrobplanung

„Kapazität ist das Leistungsvermögen einer Produktiveinheit oder eines Arbeitssystems – beliebiger Art, Größe und Struktur – in einem Zeitabschnitt“ (Zäpfel (1996), S. 74). Sie stellt dabei nicht nur Arbeitsleistung (Leistungsangebot von Personen oder Betriebsmitteln) zur Verfügung, sondern z. B. auch Schadstoffaufnahme Potenzial. Der Kapazitätsbedarf wird auf Basis zur Verwertungs- bzw. Wiedereinsatzvorbereitung bestimmter Altgeräterearten und -mengen determiniert und gibt Arten und Mengen in einem Zeitraum notwendiger Kapazitäten an, um definierte Arbeitsaufgaben leisten zu können.

Im Rahmen der Primärbedarfsplanung erfolgt eine grobe Kapazitätsplanung. Kapazitätsbedarfe werden daher ebenfalls grob bestimmt. Verwertungs- bzw. wiedereinsatzinduzierte Kapazitätsbedarfe werden kumuliert und verschiedenen Kapazitätsarten zugeordnet. Die Kapazitätsbedarfe werden ermittelt, indem Altgeräte verschiedenen Clustern zugeordnet werden⁸⁶ (vgl. Hesselbach/Westernhagen (1999), S. 153ff.; Kurbel/Kurmann (1998), S. 56)⁸⁷. Cluster werden nach der Maßgabe gebildet, intern möglichst homogene und extern heterogene Arbeitsabläufe zu erreichen. Ein bestimmtes zu demontierendes Altgerät mit übereinstimmenden Merkmalsausprägungen hinsichtlich z. B. Altgerätetyp und Behandlungsart wird stets einem bestimmten Cluster zugeordnet (s. Abb. 5.17)⁸⁸.

Im Rahmen der Kapazitätsbedarfsplanung dient das Merkmal *Behandlungsart*, mit den Ausprägungen *Altgerät zur Verwertungs-* bzw. *Wiedereinsatzvorbereitung*, der Bestimmung von Kapazitätsarten und -mengen.

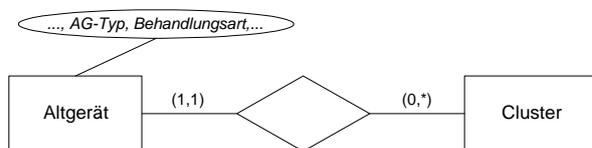


Abb. 5.17: ER-Diagramm zu Altgeräten und Clustern

⁸⁶ Zur Beschreibung des Clusterverfahrens s. Kapitel 5.2.5.3.

⁸⁷ Im referenzierten Beitrag definieren sich die Altgeräteähnlichkeiten über fünf verschiedene Konstruktions- und sieben Materialzusammensetzungs-Merkmale (vgl. Kurbel/Kurmann (1998), S. 57). Implizit wird hierbei unterstellt, dass eine hohe Korrelation zwischen den benannten Merkmalen und den Demontagearbeitsgängen vorliegt. Vor Implementierung eines solchen Modells sollte die unterstellte Korrelation (evtl. auch empirisch) geprüft und gegebenenfalls angepasst werden.

⁸⁸ Diese Aussage erstreckt sich auf den Bereich der *langfristigen Planung*. Im Rahmen der langfristigen Planung werden alle typgleichen Altgeräte mit der gleichen Behandlungsart demselben Cluster zugeordnet. Die Zuordnung ist *scharf* (s. Abb. 5.17). Nach Anlieferung der Altgeräte (*kurzfristige Planung*) werden typgleiche Altgeräte hinsichtlich ihrer Zustände unterschieden.

Durch die Verwendung von Clustern in der Kapazitätsermittlung kann das *Repräsentativverfahren* (vgl. Hackstein (1989), S. 103) angewendet werden. Beim Repräsentativverfahren wird für jedes Cluster ein typisches Produkt (*Repräsentativprodukt*) ausgewählt. Das ausgewählte Produkt kann auch ein Pseudoprodukt sein, das einem (z. B. durchschnittlichen) Clustervertreter entspricht (s. Abb. 5.18).

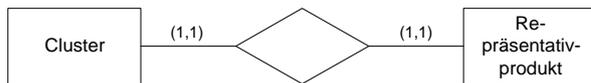


Abb. 5.18: ER-Diagramm zu Clustern und Repräsentativprodukten

Aus Arbeitsplänen der repräsentativen Produkte werden die Bedarfe einzelner Kapazitätsarten

$$x_k, \quad x_k \geq 0, \quad k = 1, 2, \dots, n$$

abgeleitet. Durch Multiplikation mit der Menge einem Cluster zugeordneter Altgeräte kann der durch ein n -Tupel (x_1, x_2, \dots, x_n) darstellbare, periodisierte Kapazitätsbedarf ermittelt werden. Nachdem der clusterspezifische Kapazitätsbedarf bestimmt ist, kann der kapazitätsartenspezifische Bedarf ermittelt werden (s. Abb. 5.19).

Die bisherige Planung erfolgte ohne Berücksichtigung des Kapazitätsangebots. Die Kapazitätsabstimmung wird durch kapazitätsartenspezifische Gegenüberstellung von Bedarf und Angebot eingeleitet. Diese Gegenüberstellung kann z. B. auf Basis

- aller eingeplanten Aufträge (Verwertung und Wiedereinsatz),
- ausschließlich kundeninduzierter Aufträge zur Wiedereinsatzvorbereitung,
- ausschließlich lagerinduzierter Aufträge zur Wiedereinsatzvorbereitung bzw.
- ausschließlich verwertungsinduzierter Demontageaufträge erfolgen.

Im Zusammenhang mit der DPS-Ersatzzielverfolgung können z. B. gezielt verwertungsinduzierte *vor* lager- *vor* kundeninduzierten Demontageaufträgen umgeplant werden.

Im Weiteren sollen Maßnahmen, mit denen der Kapazitätsbedarf abgestimmt werden kann, als Kapazitätsabgleich bezeichnet werden. Der Begriff Kapazitätsanpassung bezeichnet Maßnahmen, die einer Abstimmung des Kapazitätsangebots dienen (s. Abb. 5.20). Ziel der Kapazitätsabstimmung ist die dauernde Deckung zwischen Kapazitätsbedarf und -angebot (vgl. REFA (1985b), S. 192).

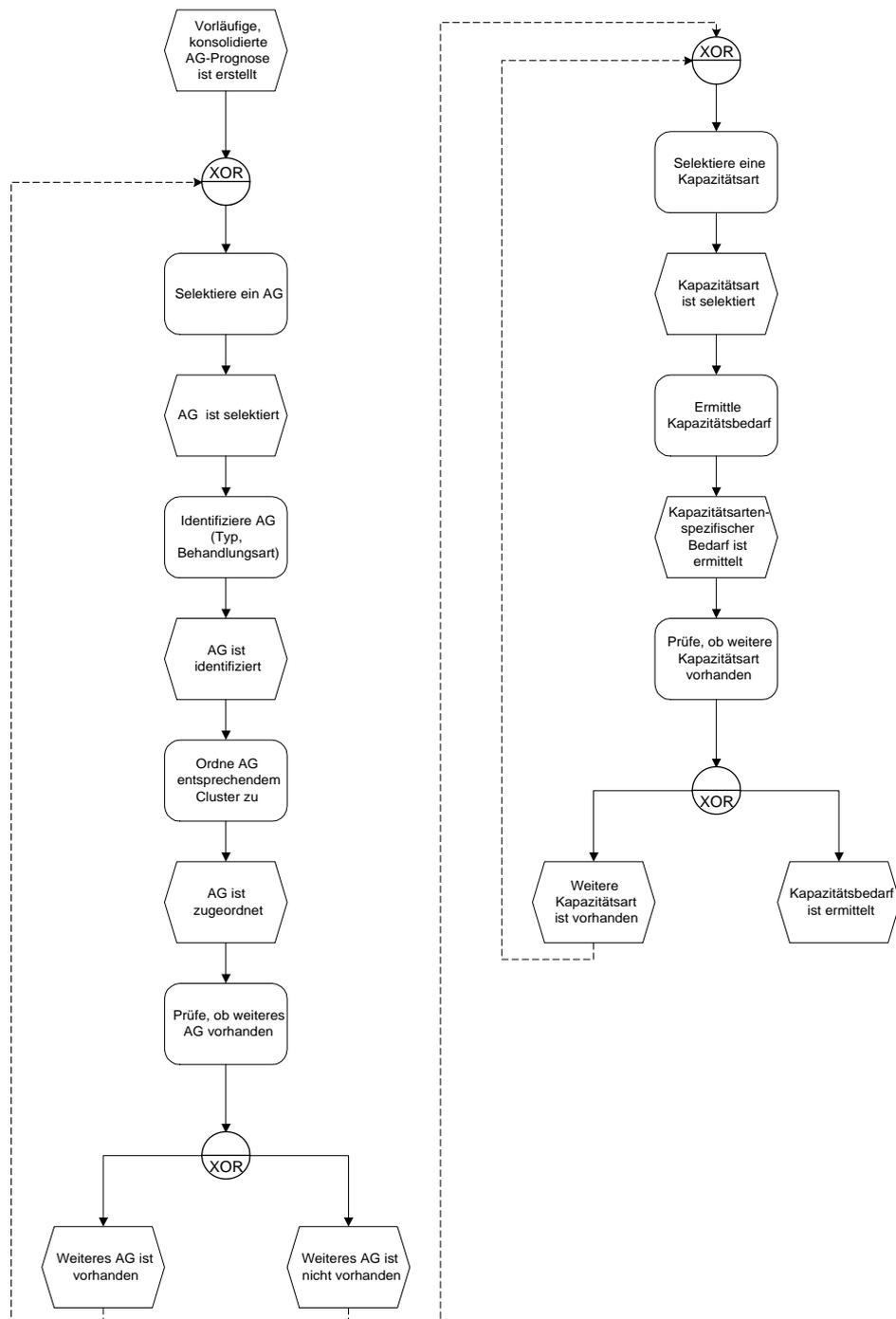
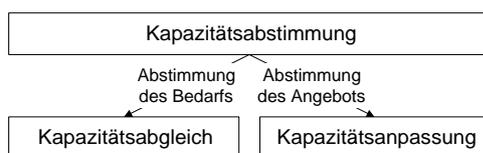


Abb. 5.19: Prozessmodell zur Kapazitätsbedarfsermittlung



Vgl. REFA (1985b), S. 192

Abb. 5.20: Kapazitätsabstimmung

Sollte sich eine Überdeckung ($x_k^{Bedarf} > x_k^{Angebot}$) ergeben, werden Anpassungen notwendig (s. Abb. 3.12- Fall 2). Im Rahmen der Kapazitätsabstimmung kann

- der Kapazitätsbedarf reduziert (z. B. durch Verschiebung von Aufträgen zur Verwertungsvorbereitung in eine andere Periode) oder
- das Kapazitätsangebot erhöht werden (z. B. durch Überstunden).

Liegt eine Unterdeckung vor ($x_k^{Bedarf} < x_k^{Angebot}$), kann

- der Kapazitätsbedarf erhöht (z. B. durch Einplanung von Aufträgen aus dem anonymen Beschaffungsmarkt (s. Kapitel 4.5.2)) oder
- das Kapazitätsangebot reduziert werden (z. B. durch Überstundenabbau).

Ist eine Periodenkapazität endgültig nicht auszulasten, ergibt sich Fall 3 der Abb. 3.12. Ergebnis der Kapazitätsgrobplanung ist ein kapazitiv validiertes Demontage- bzw. Verwertungsprogramm.

5.2.5.8 Erzeugungsgesteuerte Disposition

Mit Erstellung der kapazitiv validierten Altgeräteprognose ist die geplante Leistung der Demontagefabrik beschrieben. Die Ausbringung der Demontagefabrik resultiert aus der bisher beschriebenen zielgerichteten Erzeugung geplanter Demontageprodukte und zusätzlich aus dem Anfall nicht-planbarer Demontageerzeugnisse und Restmüll (s. Kapitel 5.2.3). Nicht-planbare Demontageerzeugnisse und Restmüll werden erzeugungsgesteuert⁸⁹ prognostiziert. Analog zur *verbrauchsgesteuerten* Planung von z. B. C-Teilen im Rahmen konventioneller PPS-Konzepte wird die erzeugungsgesteuerte Planung auf Basis von Vergangenheitsdaten durchgeführt. Grundsätzlich können Verfahren unterschieden werden, die auf Basis des Lagerbestands (z. B. Bestellpunktdisposition) oder in definierten Zeitabständen (z. B. stochastische Disposition) ausgelöst werden.

Im Rahmen der Demontageplanung bietet sich die stochastische Disposition an, die in regelmäßigen Zeitabständen durchgeführt wird. Die Orientierung an Lagerbeständen ist im Zusammenhang mit der Demontageplanung wenig sinnvoll, da das Ziel des Dispositionsverfahrens nicht darin besteht, die Materialbereitstellung zu unterstützen, sondern den Anfall an Demontageerzeugnissen bzw. Restmüll zu prognostizieren. Zur Durchführung der stochastischen Disposition muss neben der Festlegung eines Zeitraums, in dem Ver-

⁸⁹ In der PPS-Terminologie wird die auf Vergangenheitsdaten beruhende Prognose von Materialien mit *verbrauchsgesteuerter* Disposition bezeichnet. Da *nicht-planbare* Demontageerzeugnisse und Restmüll nicht verbraucht, sondern erzeugt werden, wird im Folgenden von *erzeugungsgesteuert* gesprochen.

gangenhaftwerte berücksichtigt werden, ein geeignetes Prognoseverfahren (s. Kapitel 5.2.5.2) ausgewählt werden (vgl. Fandel u. a. (1997), S. 181f.).

5.3 Bedarfsplanung

5.3.1 Einführung

Die Bedarfsplanung als Funktionsgruppe konventioneller PPS-Systeme umfasst alle Planungsaktivitäten, die auf eine möglichst kostengünstige und termingerechte Materialbereitstellung zur Deckung des Primärbedarfs gerichtet sind (vgl. Glaser u. a. (1992), S. 45)⁹⁰. Programme zur Bedarfsermittlung über Stücklisten sind Vorläufer heutiger PPS-Systeme (vgl. Kurbel (1999), S. 130).

Ziel der Bedarfsplanung ist die kostenminimale Sicherstellung der Materialverfügbarkeit hinsichtlich Ort, Zeit und Menge. In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass einerseits durch niedrige Bestände geringe Lagerhaltungs- und Kapitalbindungskosten erreicht werden, andererseits die Bestände hinreichend groß sind, damit bestellmengen- bzw. losgrößenabhängige Kosten die geringen Lagerhaltungs- und Kapitalbindungskosten nicht kompensieren (vgl. Rautenstrauch (1999), S. 59). Die teilperiodengenaue, z. T. taggenaue (vgl. Scheer (1998), S. 96) Ermittlung benötigter Sekundärbedarfe stellt die zentrale Aufgabe der Bedarfsplanung dar (vgl. Kurbel (1999), S. 120). Im Zusammenhang mit der Sekundärbedarfsermittlung müssen vorhandene Lagerbestände, evtl. Reservierungen und notwendige Vorlaufzeiten (z. B. zur Beschaffung) berücksichtigt werden (vgl. Kurbel (1999), S. 120ff.). Grundsätzlich kann die Sekundärbedarfsermittlung in verbrauchs- und bedarfsgesteuert unterschieden werden, dabei kommen in der Regel verbrauchsgesteuerte Verfahren für unabhängigen Bedarf (d. h. für Produkte, deren Bedarf sich nicht aus dem anderer Erzeugnisse ableiten lässt) und bedarfsgesteuerte Verfahren für abhängigen Bedarf zur Anwendung (vgl. Zäpfel (1996), S. 160f.). Teilweise kann es auch bei abhängigem Bedarf sinnvoll sein, verbrauchsgesteuert zu disponieren. Verbrauchsgesteuerte Dispositionsverfahren werden bevorzugt für C-Teile (d. h. für Materialien, die bei hohen Stückzahlen einen geringen Wertanteil am Gesamtbedarf aufweisen) eingesetzt, hochwertige Materialien (A- bzw. B-Teile) werden hingegen eher bedarfsgesteuert disponiert (vgl. Kurbel (1999), S. 121ff.; Zäpfel (1996), S. 161ff.). Bei der Wahl des Dispositionsverfahrens ist zu berücksichtigen, dass die Kosten der Bedarfsplanung in angemessenem Verhältnis zum Sekundärbedarfswert stehen. Im Rahmen der bedarfsgesteuerten Disposition wird der Bedarf eines Teils gemäß der Stückliste aus den Bedarfen der über-

⁹⁰ Der engen PPS-Definition dieser Arbeit folgend (s. Kapitel 4.4.1), beinhaltet die Bedarfsplanung weder Beschaffungs- noch Lagerverwaltungsfunktionen, die der Bedarfsplanung in der Literatur z. T. zugeordnet werden (vgl. z. B. Tempelmeier (1995), S. 6ff.).

geordneten Teile ermittelt. Hierzu wurden verschiedene Verfahren (z. B. Gozintograph-Verfahren) entwickelt (vgl. Kopsidis (1989), S. 46ff.). Ergebnis der Bedarfsplanung sind Fertigungs- bzw. Beschaffungsaufträge (vgl. Kurbel (1999), S. 143).

Bei analog zur konventionellen PPS ablaufenden Planungsstufen der DPS müssten im Rahmen der DPS-Bedarfsplanung Funktionen wie Brutto-/Nettorechnung, Vorlaufverschiebung und insbesondere die Bestimmung des Altgerätebedarfs stattfinden. Bedingt durch die Sondersituation der Demontagefabrik (Service- und Produzentenleistung) werden einige der konventionell zur Bedarfsplanung gehörenden Funktionen bereits in der Primärbedarfsplanung ausgeführt. Dazu gehört auch die Altgerätebedarfsplanung; ohne deren vorgezogene Abarbeitung hätten die Aufgaben der Primärbedarfsplanung nicht erfüllt werden können (s. Kapitel 5.2.1). Durch die vorzeitige Ermittlung des Sekundärbedarfs ist die Sekundärbedarfsplanung im Rahmen der Bedarfsplanung hinfällig (vgl. Zäpfel (1996), S. 123). Auszuführen bleiben die Aufgaben

- Losgrößenbestimmung und
- Bildung von Planaufträgen.

5.3.2 Prozessobjektmodell

Aus den Aufgaben der Bedarfsplanung kann das Prozessobjektmodell (s. Abb. 5.21) abgeleitet werden. Auf Basis des im Rahmen der Primärbedarfsplanung erstellten Periodenplans können Losgrößen gebildet werden. Losgrößen sind die Grundlage zur Aufstellung der Planaufträge.

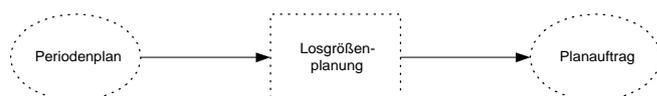


Abb. 5.21: Prozessobjektmodell zur Bedarfsplanung

5.3.3 Funktionen

5.3.3.1 Prozessmodell

Die Primärbedarfsplanung erzeugt ein kapazitiv und terminlich validiertes Altgeräte-Demontageprogramm. Auf Basis der ermittelten Altgerätemengen werden unter Beachtung losgrößenabhängiger und -fixer Kosten Lose gebildet (s. Abb. 5.22). Das Altgeräte-Demontageprogramm wird entsprechend der ermittelten Losgrößen in Planaufträge umgesetzt.

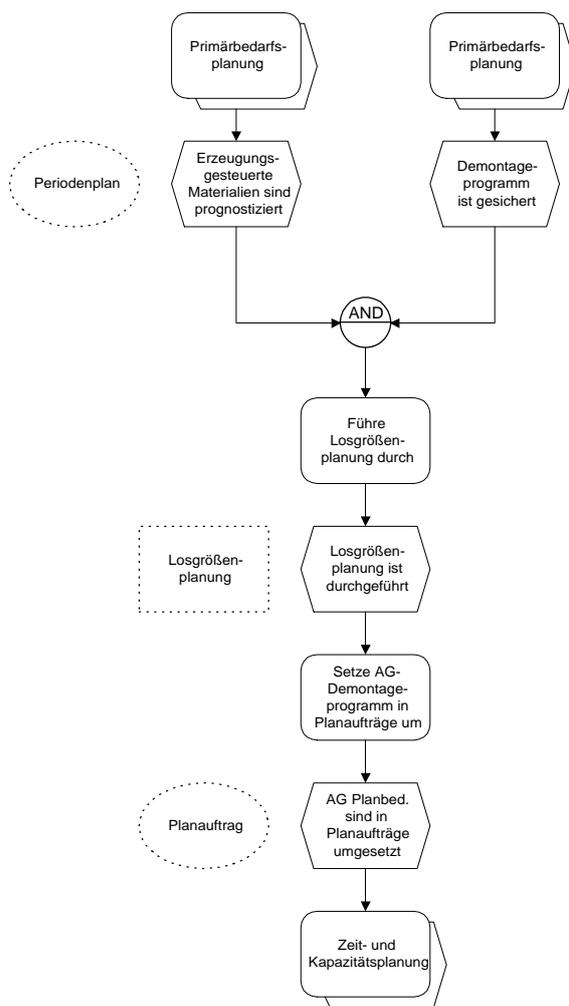


Abb. 5.22: Prozessmodell zur Bedarfsplanung

5.3.3.2 Losgrößenplanung und Bildung von Planaufträgen

Im Rahmen der Bedarfsplanung werden die Objekte (Altgeräte) von Demontageaufträgen zu Losen gebündelt⁹¹. Die von periodisierten Demontageergebnis-Bedarfen abgeleiteten Altgerätebedarfe (s. Kapitel 5.2.5.5) werden dabei zusammengefasst und in Planaufträge umgesetzt. Die Losgrößenplanung ist durch einen Zielkonflikt zwischen auflagenabhängigen Kosten (z. B. Rüstkosten) einerseits und Lagerhaltungs- bzw. Kapitalbindungskosten andererseits motiviert. Die optimale Losgröße hängt u. a. mit dem Nettobedarf der Perioden sowie auflagenfixen und -abhängigen Kosten zusammen. Lose werden ausschließlich aus *typgleichen* Altgeräten gebildet. Unter typgleichen Altgeräten werden Altgeräte verstanden, die sich hinsichtlich *Hersteller* und *Typ* gleichen.

⁹¹ Zu heuristischen und optimierenden Verfahren der Losgrößenbildung s. Kapitel 5.2.5.3.

In der Bedarfsplanung werden aus Losen Planaufträge gebildet, die in der Zeit- und Kapazitätsplanung zu Planauftragsnetzen erweitert werden.

5.4 Prädiktive Zeit- und Kapazitätsplanung

5.4.1 Einführung

Die durch die Vorlaufverschiebung mit einem groben Zeitraster versehenen Planaufträge stellen den Input der Funktionsgruppe *Zeit- und Kapazitätsplanung* dar. Aufgabe der Zeit- und Kapazitätsplanung ist die vorläufige Einplanung von Auftrags- und Arbeitsgangterminen unter Berücksichtigung der einschränkenden Wirkung von Kapazitätsgrenzen (vgl. Kurbel (1999), S. 143). Das Ziel besteht darin, Aufträge bzw. Arbeitsgänge so einzuplanen, dass entstehende Kosten (z. B. aus Kapitalbindung, Überstunden) und notwendige Umplanungen (z. B. Verlagerung von Aufträgen in ein andere Periode) minimiert werden. Ergebnis dieser Planungsstufe sind Termineckdaten, die im weiteren Verlauf zu detaillieren sind. Weiterhin wird, unter Berücksichtigung der Kapazitäten, eine Zuordnung der Aufträge zu Betriebsmitteln vorgenommen. Die Terminierung erfolgt auf Basis einzelner Arbeitsgänge und nicht, wie im Rahmen der Vorlaufverschiebung, als Einplanung pauschaler Durchlauf- bzw. Wiederbeschaffungszeiten. Den Funktionen *Durchlaufterminierung* und *Kapazitätsabstimmung* vorgelagert werden Planaufträge um spezifische Daten (z. B. Arbeitsplandaten) ergänzt und in Planauftragsnetze überführt. Die im Folgenden zu besprechende Zeit- und Kapazitätsplanung enthält eine sog. *Prädiktion* (Annahmen hinsichtlich Art, Menge und Zustand anfallender Altgeräte). Nach Anlieferung der Altgeräte sind die Attribute Art und Menge bekannt und der Altgerätezustand kann prognostiziert werden. In diesem Kapitel wird daher von der *prädiktiven* Zeit- und Kapazitätsplanung gesprochen, im nachfolgenden Kapitel 5.5 von der *reaktiven* Zeit- und Kapazitätsplanung.

Die Selektion auftragsspezifischer Daten aus Stücklisten und Arbeitsplänen hängt u. a. vom Zustand der Altgeräte und der Demontageergebnis-Bedarfssituation ab. Die Definition eines einzelnen Arbeitsplans bzw. einer Stückliste je Altgerätetyp ist nicht ausreichend, vielmehr muss eine Struktur vorgesehen werden, die eine Anpassung der Demontearbeitspläne bzw. -stücklisten hinsichtlich extern vorgegebener Anforderungen zulässt. Temporäre Demontearbeitspläne bzw. -stücklisten werden nach der Altgerätedemontage ungültig und bei Bedarf aus der Struktur neu erzeugt (vgl. Schneider/Stobitzer (1997), S. 112). Funktionen der Variantenkonfiguration ermöglichen den Umgang mit den gestiegenen Flexibilitätsanforderungen. Strukturstücklisten werden zu Maximalstücklisten und konventionelle Arbeitspläne zu Maximalarbeitsplänen erweitert. Mithilfe von Funktionen des Beziehungswissens wird die Auswahl von Komponenten und Arbeitsgängen

gesteuert. Altgerätezustand und Demontageerzeugnis-Bedarfssituation beeinflussen die entsprechende Auswahl von Komponenten (Materialien) aus der Maximalstückliste und von Arbeitsgängen aus dem Maximalarbeitsplan. Dabei müssen bei der Umsetzung von Planaufträgen in erweiterte Planauftragsnetze folgende Besonderheiten berücksichtigt werden:

- Nachgefragte und potenziell vorhandene Materialien stehen evtl. nicht zur Disposition, da ein anderer Bedarf, der über- oder untergeordnete Materialien betrifft, bereits eingeplant ist.
- Möglicherweise werden nicht nachgefragte Materialien bei der Demontage erzeugt.
- Redundante Arbeitsgänge werden nicht aus dem Maximalarbeitsplan übernommen.

Sind bisher unbekannte Altgeräte zu demontieren, werden nur in Ausnahmefällen Stücklisten und Demontearbeitspläne vorliegen. Die Informationsversorgung kann u. a. mit der Bindung der Demontagefabrik an Hersteller bzw. Unternehmensnetzwerke zusammenhängen. Die Demontageplanung muss folglich auf Basis unvollständiger Daten durchgeführt werden können (z. B. mithilfe von Profilen). Analog zur Auftragsfertigung muss ein DPS-System Daten ähnlicher Aufträge bereitstellen und die Planung auf Basis dieser Daten ermöglichen. Nach dem Anfall der Altgeräte können fehlende Informationen mithilfe von Probedemontagen ergänzt werden.

Weiterhin sind die Aufgaben der Zeit- und Kapazitätsplanung um die Identifizierung und entsprechende Bestellanforderung (BANF) zusätzlich benötigter Altgeräte zu erweitern. Eine Bestellanforderung ist eine Aufforderung an den Einkauf, ein Material oder eine Dienstleistung in einer bestimmten Menge zu einem bestimmten Termin zu beschaffen. Die im Rahmen der Produzentenfunktion notwendige Beschaffung zusätzlicher Altgeräte wird den originären Funktionen der Zeit- und Kapazitätsplanung (Terminierung, Kapazitätsplanung) zeitlich nachgelagert durchgeführt, da erst zu einem späteren Zeitpunkt feststeht, welche Aufträge in der Planperiode eingeplant wurden. Auf Basis dieser eingeplanten Aufträge kann die notwendige Altgerätemenge ermittelt werden.

5.4.2 Prozessobjektmodell

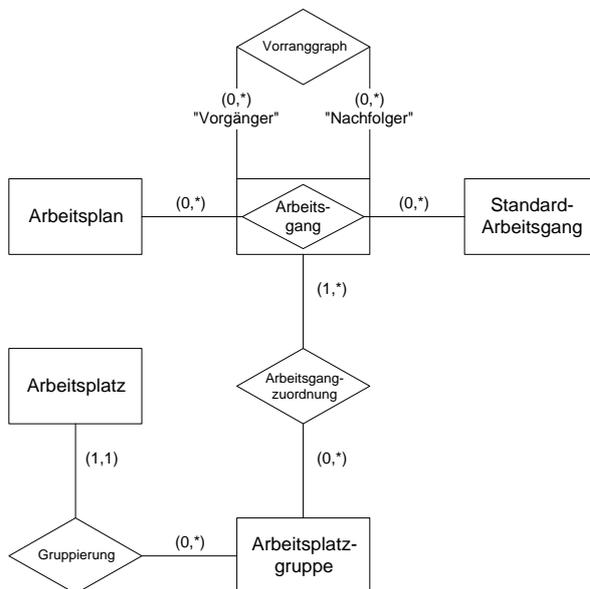
Auf Basis der Aufgaben der prädiktiven Zeit- und Kapazitätsplanung kann das Prozessobjektmodell (s. Abb. 5.23) erstellt werden. Planaufträge bilden zusammen mit den Einstellungen der Variantenkonfiguration die Grundlage zur Terminierung bzw. Kapazitätsplanung. Nach evtl. mehrmaligem Durchlaufen wird ein terminiertes und kapazitiv validiertes Plan-Demontageprogramm festgelegt. Entsprechend der zusätzlich benötigten Altgeräte werden Bestellanforderungen erzeugt.



Abb. 5.23: Prozessobjektmodell zur prädiktiven Zeit- und Kapazitätsplanung

5.4.3 Arbeitspläne

Ein Arbeitsplan fasst eine Folge von Verfahrensschritten zusammen, deren Ausführung zur Herstellung eines Teils erforderlich ist oder sein kann. In diesem Zusammenhang beinhalten Arbeitspläne Vorschriften (im Weiteren als Arbeitsgänge bezeichnet), nach denen Teile hergestellt werden (vgl. Kurbel (1999), S. 91). Ein Arbeitsplan besteht aus einem Netz von Arbeitsgängen (s. Abb. 5.24) und dient Aufträgen als Kopiervorlage (vgl. Rautenstrauch (1997a), S. 52).



Vgl. Scheer (1998), S. 216

Abb. 5.24: ER-Diagramm zu Arbeitsplänen, Arbeitsgängen und Arbeitsplätzen

Der Ausführungsort eines Arbeitsgangs (z. B. Betriebsmittel, Handarbeitsplatz) wird als Arbeitsplatz bezeichnet. Arbeitsplatzgruppen entstehen durch Zusammenfassung planerisch gleichartiger Arbeitsplätze. Ein Arbeitsgang kann mehreren Arbeitsplatzgruppen zugeordnet werden, außerdem können einer Arbeitsplatzgruppe mehrere Arbeitsgänge zugeordnet sein. Die wesentlichen Träger beschreibender Attribute sind *Arbeitsplan*, *Arbeitsplatzgruppe* und *Arbeitsgangzuordnung*. Der Entity-Typ *Arbeitsgang* besitzt lediglich eine Kopffunktion, während Attribute, die sich auf *Arbeitsgang* und zugehörige *Arbeitsplatzgruppe* beziehen, der *Arbeitsgangzuordnung* zugeordnet sind. Der Beziehungstyp *Arbeitsgangzuordnung* weist u. a. folgende Attribute auf (vgl. Scheer (1998), S. 223):

- *Arbeitsplannummer*
- *Arbeitsgangnummer*
- *Arbeitsplatzgruppennummer*
- *Rüstzeit*
- *Arbeitszeitvorgabe*
- *Übergangszeit*
- *Übergangszeitreduzierungsfaktor*
- *Überlappungsschlüssel*
- *Mindestvorlaufzeit*
- *Splittungsfaktor*
- *Splittungsschlüssel*

Auf Basis der Arbeitsplan- und Stücklistenauflösung kann ein Fertigungsplan erstellt werden. Der Fertigungsplan leitet sich aus der Komponentenzuordnung der Stückliste und der Arbeitsgang-, Werkzeug- und Betriebsmittelzuordnung des Arbeitsplans ab (vgl. Scheer (1998), S. 232).

Demontagearbeitspläne beinhalten Vorschriften, nach denen ein Altgerät oder eine Komponente demontiert werden kann. Im Gegensatz zur konventionellen Produktion können bei der Demontage (auf Grund unterschiedlicher Zustände) bei typgleichen Geräten Arbeitsvorgänge entfallen oder hinzukommen. Außerdem sind Durchführungszeiten der Arbeitsgänge mit großen Streuungen behaftet, Abweichungen von bis zu 130 % vom Mittelwert sind keine Seltenheit (vgl. Cordes/Struck (1994), S. 58). In der konventionellen Produktion erfordert jeder Arbeitsgang in der Regel ein oder mehrere Inputs und liefert genau einen Output⁹². Im Rahmen der Demontage ersetzen dagegen divergente die konventionellen, konvergente Strukturen. Divergente Strukturen führen in diesem Zusammenhang zu steigender Kompliziertheit: Ein bestimmter Ausgangszustand kann, in Abhängigkeit von bestimmten Einflussfaktoren (z. B. Zustand, Bedarf), zu mehreren im Vorhinein nicht determinierbaren Endzuständen führen. Ein Ansatz, um mit der Kompliziertheit umzugehen, besteht in der Adaption von Funktionen der Variantenkonfiguration (s. Kapitel 5.4.4.2).

Die Erstellung der Demontagearbeitspläne (z. B. aus erweiterten Recyclinggraphen, Recyclingerzeugnisstrukturen und Produktionsarbeitsplänen) erfolgt im Rahmen der Arbeitsvorbereitung (vgl. Nüttgens/Scheer (1993), S. 964ff.). Werden unterschiedliche Arbeitsgänge bei gleichen oder ähnlichen Produkten erforderlich, können Alternativarbeitspläne gepflegt werden. Während in der konventionellen Produktion Arbeitsplan-

⁹² Ausnahmen gibt es z. B. im Bereich der Prozessindustrie, dort kann es zu Kuppelproduktion kommen.

alternativen entsprechend der gewünschten Menge, der erforderlichen Qualität oder anhand von Zeitgesichtspunkten ausgewählt werden (vgl. Scheer (1998), S. 217), ist die Selektion im Bereich der Demontage vor allem von der gewählten *Behandlungsart* des Altgeräts (Wiedereinsatz-, Verwertungsvorbereitung) abhängig (s. Kapitel 3.2). Im Gegensatz zur Pflege verschiedener alternativer Arbeitspläne werden in *Maximalarbeitsplänen* sämtliche möglichen Arbeitsgänge, mit denen ein Altgerät oder eine Komponente demontiert werden kann, zusammengestellt. Zustand und Nachfragesituation bestimmen die Selektion eines Demontepfads aus einem Maximalarbeitsplan (vgl. Huber (2000c), S. 78).

Recyclingarbeitspläne enthalten verschiedene Arbeitsgangtypen (vgl. Steinhilper (1987), S. 48ff.), die im Rahmen der Demontage nicht alle relevant sind. Nachfolgende Tab. 5.3 verdeutlicht die verwendeten Arbeitsgangtypen in der Recyclingplanung und -steuerung (RPS bzw. PRPS) und der DPS.

<i>Arbeitsgangtyp</i>	<i>relevant in RPS/PRPS</i>	<i>relevant in DPS</i>
Prüf und Sortierarbeitsgänge	3	3
Demontagearbeitsgänge	3	3
Sammlungs- und Transportarbeitsgänge	3	3
Aufarbeitungsarbeitsgänge	3	
Aufbereitungsarbeitsgänge	3	

Tab. 5.3: Relevante Arbeitsgangtypen in der DPS

Demontagearbeitspläne können z. T. aus Produktionsarbeitsplänen abgeleitet werden. Wenn Fügearbeitsgänge und andere Arbeitsgänge unterschieden werden, lassen sich Informationen über die Verbindungen von Komponenten gewinnen. Die Zuordnung von Teilen und Verbindungen zu Fügearbeitsgängen ermöglicht die Aufstellung eines Recyclinggraphen (vgl. Kurbel/Schneider (1995), S. 80ff.). Recyclinggraphen sind bipartide Graphen, Knoten repräsentieren Teile bzw. Arbeitsgänge und Kanten stellen dar, welche Komponenten durch welche Verfahren miteinander verbunden sind (vgl. Rautenstrauch (1997b), S. 389). Die Reihenfolge der Arbeitsgänge in einem Demontagearbeitsplan hängt nicht nur von der Struktur des Recyclinggraphen ab, sondern u. a. auch von der Zugänglichkeit der Materialien. Die Zugänglichkeitsbeziehungen können in erweiterten Recyclinggraphen berücksichtigt werden. Die Zugänglichkeitsbeziehungen zwischen Komponenten werden durch gerichtete Kanten zwischen den Verbindungsknoten des Recyclinggraphen eingefügt. Erweiterte Recyclinggraphen bilden die Grundlage zur Erstellung von Demontagearbeitsplänen. Durch geeignete Traversierung können Arbeitspläne und Stücklisten aus erweiterten Recyclinggraphen erzeugt werden (vgl.

Schneider/Stobitzer (1997), S. 111f.). Die Verfügbarkeit dieser Informationen vorausgesetzt, könnten Demontearbeitspläne theoretisch vollautomatisch generiert werden; da die benötigten Informationen in der Regel nicht vollständig vorliegen, ist die Notwendigkeit manueller Eingriffe sehr wahrscheinlich (vgl. Kurbel u. a. (1996), S. 56ff.).

Generell müssen Arbeitspläne, die im Bereich des Recycling zum Einsatz kommen, eine größere Flexibilität hinsichtlich Arbeitsgangreihenfolge und -ausführung aufweisen als in konventioneller Produktionsumgebung. In der Regel ist ein großer Teil der Tätigkeiten manuell auszuführen (s. Kapitel 3.1), daher müssen die Abläufe nicht so starr wie in einer hochautomatisierten Produktion sein. Außerdem können typgleiche Altgeräte völlig unterschiedlich behandelt werden (vgl. Rautenstrauch (1994), S. 188). Unsichere Planungsdaten führen zu unsicheren Arbeitsgängen. In Demontearbeitsplänen müssen daher Ablaufalternativen vorgesehen werden können. In diesem Zusammenhang muss der während der Demontage entstehende Informationszuwachs verarbeitet werden. Bestimmte Entscheidungen hinsichtlich der Arbeitsgangausführung (z. B. „Entschrauben“ bzw. „Aufbohren“) können oft nur direkt bei Demontagedurchführung und nicht bereits im Rahmen der Demontageplanung getroffen werden. Detaillierte Vorgaben der Arbeitsgangausführung (z. B. „Entschrauben“ bzw. „Aufbohren“) sind daher evtl. durch generalisierte (z. B. „Lösen, bevorzugtes Verfahren: Entschrauben“) zu ersetzen. Diese Vorgehensweise trägt zur Robustheit der Steuerung bei. Da die Entscheidung für eines der alternativen Verfahren (z. B. Entschrauben bzw. Aufbohren) nicht bereits in der Planung, sondern erst bei der Durchführung getroffen wird, kann der entsprechende Arbeitsgang in der Planung keinem Arbeitsplatz zugeordnet werden. Der Arbeitsgang wird daher einer Arbeitsplatzgruppe zugeordnet; dieser sind dann die alternativen Arbeitsplätze (z. B. Entschraub- und Aufbohrarbeitsplatz) zugeordnet. Bedingt durch die Wahl eines der alternativen Verfahren kommt es zu unterschiedlichen Ausprägungen der *Arbeitsgangzuordnungs*-Attribute. Beispielsweise hängen die Rüst- und Ausführungszeit von der Verfahrenswahl ab, was durch die Angabe von Erwartungswerten berücksichtigt werden kann⁹³.

Eine der wesentlichen demontageinduzierten Anforderungen an einen Arbeitsplan besteht darin, unterschiedliche Altgerätezustände und die sich entsprechend ergebenden verschiedenen Demontepfade abzubilden. Der Lebenszyklus eines Geräts (bzw. der in einem Gerät enthaltenen Komponenten) besteht in der Regel aus einem deterministischen und einem stochastischen Teil. Während die *Entwicklungs-* und *Produktionsphasen* in der Regel gut nachzuvollziehen sind und bei typgleichen Geräten zumindest ähnlich verlaufen, sind die Phasen der *Nutzung* und der *Entsorgung* oft weder vorhersehbar noch nachvoll-

⁹³ Zum Beispiel: Arbeitszeitvorgabe = Wahrscheinlichkeit (Entschrauben) * Zeit (Entschrauben) + Wahrscheinlichkeit (Aufbohren) * Zeit (Aufbohren).

ziehbar⁹⁴. Typgleiche Geräte können sich hinsichtlich der Lebenszyklusphase *Nutzung* (abhängig z. B. von Nutzungsintensität und Wartung) völlig unterscheiden und dementsprechend bei der Demontage verschiedene Zustände aufweisen. Neben den Phasen vor der Entsorgung wird der Demontageablauf von *Wiedereinsatzmöglichkeit* (abhängig z. B. von der Nachfrage auf dem Markt für Demontageerzeugnisse) und *Behandlungsart* beeinflusst. In der Demontageplanung muss (entsprechend der gewählten Behandlungsart bzw. nachgefragten Demontageerzeugnisse) ein Demontepfad bestimmt werden. Falls der Auftrag nicht planmäßig ausführbar ist (z. B. auf Grund fehlender Teile oder unlösbarer Verbindungen), muss im Rahmen der *Demontagesteuerung* auf Basis des Maximalarbeitsplans ein alternativer Demontepfad abgeleitet werden können, der letztlich zu einem neuen bzw. geänderten Auftrag führt. Während sich der deterministische Teil des Gerätelebenszyklus weitestgehend an vorhandenen Produktionsdaten orientieren kann, ist der stochastische Teil auf Schätzungen und Prognosen (z. B. Altgerätezustand, Rücklauf von Altgeräten bzw. Nachfrage nach Demontageerzeugnissen) angewiesen.

Folgendes Beispiel veranschaulicht die möglichen Behandlungsalternativen eines Altgeräts: Ein Altgerät *A* enthält die Baugruppen *x*, *z* und das Bauteil *y* (s. Abb. 5.25). *A* kann zerlegt oder als Ganzes verwertet werden. Das Bauteil *y* kann als Demontageerzeugnis veräußert oder verwertet werden. Während die Baugruppe *z* nicht als Ganzes veräußert, sondern nur zerlegt oder verwertet werden kann, ist *x* zerlegbar oder als Ganzes verwertbar bzw. als Demontageerzeugnis veräußerbar. Die Bauteile *a*, *b* und *c* können entweder verwertet oder als Demontageerzeugnis veräußert werden, *d* muss verwertet werden⁹⁵.

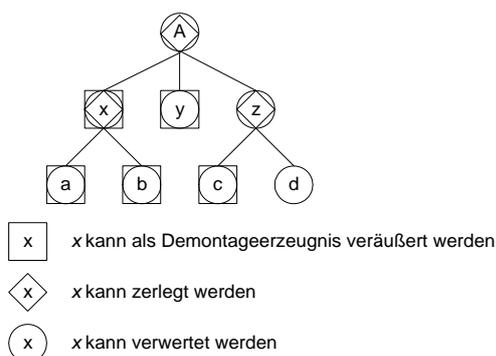


Abb. 5.25: Exemplarisch erweiterte Erzeugnisstruktur

⁹⁴ Im Rahmen einiger Leasingmodelle (z. B. bei Kopierern von *océ* oder *Xerox*) sind Nutzungsintensitäten und Gerätezustände bis zu einem gewissen Grad auch in der Nutzungs- bzw. Entsorgungsphase bekannt.

⁹⁵ Eine weiteres Symbol könnte verdeutlichen, dass eine Komponente beseitigt werden muss. Auf dieses Symbol wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet.

5.4.4 Funktionen

5.4.4.1 Prozessmodell

In der Zeit- und Kapazitätsplanung werden zunächst über Funktionen der Variantenkonfiguration Planaufträge gebildet, die in Planauftragsnetze überführt werden (s. Abb. 5.26).

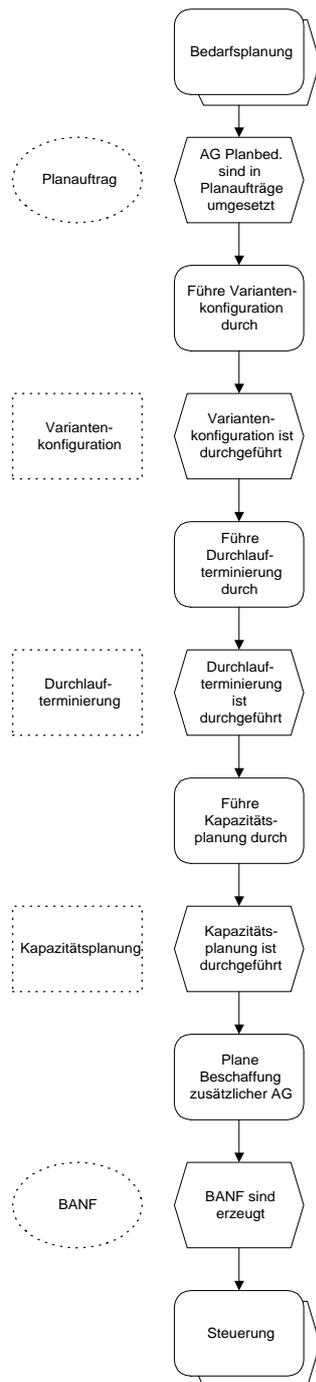


Abb. 5.26: Prozessmodell zur prädiktiven Zeit- und Kapazitätsplanung

Als Ergebnis der Terminierung sind für alle Aufträge frühestmögliche und spätestzulässige Anfangs- und Endtermine bestimmt. Die Terminierung wird ohne Berücksichtigung der vorhandenen Kapazitäten durchgeführt, daher erfolgt im Anschluss an die Terminierung eine Kapazitätsplanung. Sollte sich herausstellen, dass nicht tolerierbare Unterschiede zwischen Kapazitätsbedarf und -angebot bestehen, werden Abstimmungsmaßnahmen eingeleitet. Ergebnis der Zeit- und Kapazitätsplanung ist ein terminiertes und kapazitiv validiertes Demontageprogramm. Das Demontageprogramm kann nur erzeugt werden, wenn ergänzend zu anfallenden Altgeräten (*Serviceleistung*) evtl. notwendige zusätzliche Altgerätebedarfe beschafft werden. In diesem Zusammenhang müssen zusätzliche Altgerätebedarfe zunächst identifiziert und anschließend in Bestellanforderungen umgesetzt werden.

5.4.4.2 Variantenkonfiguration

Entsprechend des Altgerätezustands und der Demontageerzeugnis-Bedarfssituation werden typgleiche Altgeräte und Komponenten evtl. verschiedenartig demontiert. Die Demontage eines Altgeräts bzw. einer Komponente kann mit dem Ziel des *Wiedereinsatzes* (Produktrecycling) oder der *Verwertung* (Materialrecycling) stattfinden. Generell werden bei der Verfolgung unterschiedlicher Ziele verschiedene Stücklistenauflösungen angestrebt (vgl. Kaiser (1999), S. 620). Die Verschiedenartigkeit hinsichtlich der Demontagepfade kann sich z. B. über unterschiedliche Werkzeuge, Betriebsmittel, Arbeitsgänge und Vorgangsdauern ausdrücken. Die Alternativen müssen in Arbeitsplänen und Stücklisten gepflegt und abhängig von der Demontageerzeugnis-Bedarfssituation und dem durchschnittlichen Altgerätezustand in den Auftrag übernommen werden.

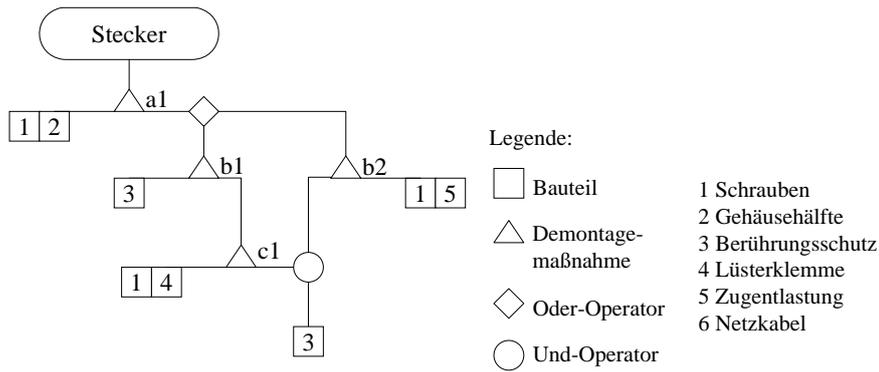
Im Rahmen konventioneller Variantenfertigung werden als Varianten unterschiedliche Ausführungen von End- oder Zwischenprodukten bezeichnet, die sich nur hinsichtlich einiger Positionen voneinander unterscheiden (vgl. Scheer (1998), S. 120). Bei der Demontage werden Varianten nicht am *Out-*, sondern am *Input* des Bearbeitungsprozesses festgemacht. Im Gegensatz zur konventionellen Variantenfertigung, in der z. B. unterschiedliche Kundenwünsche, Qualitätsanforderungen oder Produktionsmengen zur Variantenbildung führen, wird im Bereich der Demontage von Variantenbildung gesprochen, wenn *typgleiche* Altgeräte verschieden demontiert werden. Die Verwendung des Begriffs *Variantenkonfiguration* wird vor allem deshalb gewählt, da nachfolgend Funktionen der Variantenkonfiguration, die für den Produktionsbereich entwickelt wurden, im Bereich der Demontageplanung zur Anwendung kommen. Die Strukturbeziehungen von Varianten können statisch oder dynamisch sein. Bei statischer Repräsentierung sind alle möglichen Varianten in einer Datenbasis beschrieben. Bei dynamischer Repräsentierung wird eine bestimmte Variante erst erzeugt, wenn sie benötigt wird (vgl. Kurbel (1999),

S. 82). In der DPS wird mit dynamischer Repräsentierung gearbeitet, um die Abbildung einer hohen Variantenzahl zu ermöglichen.

Eine *Demontagevariante* ist ein auftragsspezifisches, temporäres Teile-Entity mit zugehöriger temporärer Stückliste und temporärem Arbeitsplan. Grundsätzlich besteht eine Variante aus Gleich- und Variantenteilen. Gleichteile werden immer erzeugt⁹⁶, Variantenteile nur bei bestimmten Demontagevarianten. Variantenteile und zugehörige Arbeitsgänge werden im Rahmen der Variantenkonfiguration bestimmt. Altgeräte, die in verschiedenen Varianten demontierbar sind, werden als *konfigurierbare Materialien* bezeichnet. Sämtliche Demontagevarianten eines Altgeräts werden über ein konfigurierbares Material abgebildet. Zu einem konfigurierten Material werden Maximalarbeitsplan und Maximalstückliste angelegt, die alle zur Demontage notwendigen Komponenten und Vorgänge enthalten. Ein konfigurierbares Material wird durch Merkmale beschrieben. Die wechselseitigen Abhängigkeiten zwischen Objekten (z. B. Merkmalen und Merkmalwerten) werden mithilfe von *Beziehungswissen* definiert. Das Beziehungswissen steuert die Auswahl der Stücklistenkomponenten und Arbeitsvorgänge aus Maximalstücklisten und Maximalarbeitsplänen.

- Eine *Maximalstückliste* enthält alle Komponenten, aus denen sich ein konfigurierbares Material zusammensetzt. In einer Maximalstückliste sind Gleichteile und Variantenteile abgebildet. Das Altgerät A in Abb. 5.25 kann entweder demontiert oder als Ganzes verwertet werden, daher hängt die Entstehung aller Komponenten von der gewählten Demontagevariante ab und die Erzeugnisstruktur enthält keine Gleichteile.
- Ein *Maximalarbeitsplan* enthält alle möglichen Arbeitsgänge, die notwendig sind, um eine bestimmte Variante zu demontieren. Der Maximalarbeitsplan kann Arbeitsgänge enthalten, die immer ausgeführt werden und solche, die nur bei bestimmten Varianten durchgeführt werden. Beispielhaft soll die Struktur systematisiert werden, die einem Maximalarbeitsplan zu Grunde liegt. Die Komponentenhierarchie und aus ihr resultierende Reihenfolgerestriktionen können in sog. Strukturbildern (s. Abb. 5.27) dargestellt werden (vgl. Gehrman (1986), S. 69ff.). Strukturbilder werden in der Literatur zur Ableitung von Demontagegraphen herangezogen (vgl. Rautenstrauch (1999), S. 68ff.; Spengler (1994), S. 27ff.).

⁹⁶ Vorausgesetzt, sie sind dem Altgerät nicht schon in einer früheren Phase des Lebenszyklus entnommen worden.



Vgl. Gehrman (1986), S. 70

Abb. 5.27: Exemplarisches Strukturbild eines elektrischen Steckers

Zur Abbildung der Strukturbeziehungen in Maximalarbeitsplänen ist es notwendig, verschiedene Demontageziele (z. B. Wiedereinsatz- und Verwertungsvorbereitung) berücksichtigen zu können. Entsprechend des Demontageziels sind an den Verbindungen der Demontageerzeugnisse evt. unterschiedliche Arbeitsgänge auszuführen. Dies kann in dem vorgestellten *statischen* Strukturbild nicht abgebildet werden. Im Folgenden wird daher eine *dynamische* Notation vorgestellt, die verschiedene Demontageziele abbilden kann und entsprechende Demontagarbeitsgänge berücksichtigt. Beispielhaft wird in Abb. 5.28 die Struktur systematisiert, die einem Maximalarbeitsplan der Baugruppe x (s. Abb. 5.25) zu Grunde liegt.

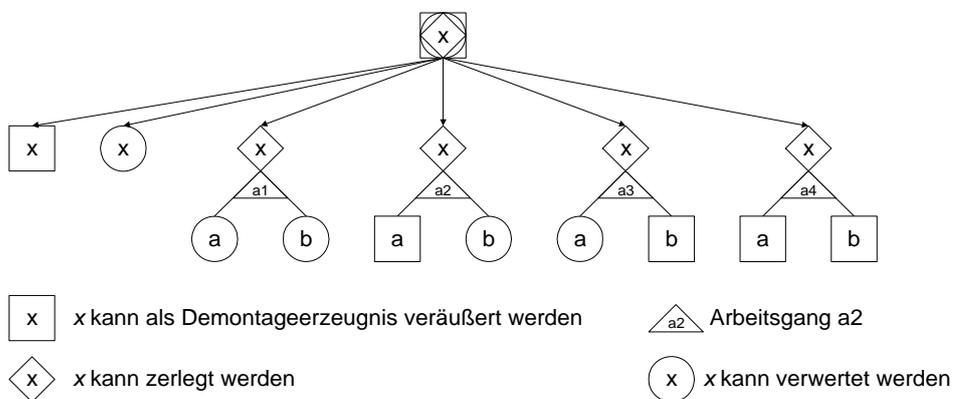


Abb. 5.28: Exemplarische dynamische Struktursystematik als Grundlage des Maximalarbeitsplans

Die Bewertung der Merkmale führt zu einer speziellen Konfiguration des Produkts (konfiguriertes Material). Strukturbeziehungen, die eine bestimmte Variante definieren, werden daher nicht ausschließlich durch Altgerätenummern, sondern erst zusammen mit bestimmten Merkmalsausprägungen definiert. Die Merkmale sind als Schlüsselattribute zu behandeln (vgl. Kurbel (1999), S. 89). Neben dem inhaltlichen Merkmalbezug können *Merkmaleigenschaften* unterscheiden werden:

- *Muss-/kann-Merkmal*
- *Ein-/mehrwertiges Merkmal*
- *Datenherkunft* (z. B. händische Eingabe, Herleitung über Beziehungswissen, Übernahme aus DPS-Daten)

Im Rahmen der prädiktiven Zeit- und Kapazitätsplanung sind die tatsächlich anfallenden Altgeräte noch nicht bekannt. Daher können Planvarianten nur auf Basis eines durchschnittlichen Altgerätezustands bestimmt werden. Nach dem Altgeräteeinfall wird der durchschnittliche Zustand (in der *reaktiven* Zeit- und Kapazitätsplanung) durch genauere Altgerätebeschreibungen ersetzt (s. Kapitel 5.5.3). Grundsätzlich können mithilfe des Beziehungswissens Abhängigkeiten zwischen Merkmalen und Ausprägungen dargestellt werden. In diesem Zusammenhang ist es erforderlich, Materialien zu identifizieren,

- die aus einem Altgerät demontiert werden müssen (z. B. auf Grund gesetzlicher Bestimmungen (s. Kapitel 2.1.3)) und
- deren Erzeugung sich gegenseitig ausschließt (z. B. Erzeugung einer Baugruppe und eines in dieser Baugruppe enthaltenen Bauteils).

Über Beziehungswissen wird gesteuert, dass nur zulässige Eigenschaftskombinationen ausgewählt werden. Im Rahmen der Variantenkonfiguration kann das Beziehungswissen z. B. die Auswahl der Komponenten und Arbeitsgänge steuern oder Feldwerte von Komponenten und Arbeitsgängen ändern (vgl. SAP (1997), S. 6/21ff.). Beziehungen zwischen Stücklisten, Arbeitsplänen, Merkmalen und Merkmalwerten werden über das Beziehungswissen abgebildet. Innerhalb unterschiedlicher *Beziehungsarten* (Vorbedingung, Auswahlbedingung und Aktion) der Entity-Typen werden Funktionen und Tabellen aufgerufen:

- Mithilfe der *Vorbedingungen* wird entschieden, ob ein Merkmal bewertet werden darf und ob die gewählte Bewertung zulässig ist.
- Über *Auswahlbedingungen* wird gesteuert, ob ein bestimmtes Merkmal bewertet werden muss. Zusätzlich werden auf Basis von Auswahlbedingungen Stücklistenkomponenten bzw. Arbeitsgänge selektiert, die in Aufträge zu übernehmen sind.
- *Aktionen* dienen der Herleitung von Merkmalwerten. Eine Aktion ist eine stets gültige deklarative Beziehungsart, d. h. Aktionen sind logisch erklärbar (z. B. wenn/dann-Beziehungen) und immer gültig. Auf Grund von Aktionen werden bestimmte Merkmalwerte ausgewählt oder es wird durch Wahl eines bestimmten Merkmalwerts oder durch die Merkmalsbewertung überhaupt eine bestimmte Aktion ausgeführt.

Auswahlbedingungen und Aktionen sind im Rahmen des Beziehungswissens so zu gestalten, dass überflüssige Arbeitsgänge bzw. Komponenten von der Übernahme ausge-

geschlossen werden. In diesem Zusammenhang sind zwei unterschiedliche Situationen zu beachten (vgl. Huber (2000c), S. 78):

- *Ausschluss durch Wahl des Demontagepfads:* Soll z. B. eine Komponente z , die einem potenziellen Demontageerzeugnis c übergeordnet ist (s. Abb. 5.25) als Ganzes verwendet werden, ist das potenzielle Demontageerzeugnis c nicht demontierbar. Entsprechende Arbeitsgänge und Komponenten sind daher nicht aus Maximalstücklisten bzw. -arbeitsplänen in Aufträge zu übernehmen.
- *Ausschluss durch Kuppelproduktionseffekte:* Wird eine Baugruppe zerlegt, entstehen mehrere Komponenten. In obigem Beispiel (s. Abb. 5.25) würden beim Zerlegen der Baugruppe z die beiden (nicht weiter zerlegbaren) Bauteile c und d entstehen. Selbst wenn das Ziel lediglich darauf gerichtet ist, eines der beiden Materialien zu vereinzeln, fallen beide Bauteile an. Einer der exklusiv alternativen Arbeitsgänge wird daher nicht aus dem Maximalarbeitsplan übernommen.

In der DPS steuert das Beziehungswissen die Auswahl derjenigen Arbeitsgänge bzw. Komponenten, die bezüglich der gewählten Demontagevariante notwendig sind. Entsprechend werden auf Grund von Kuppelproduktionseffekten entstehende, exklusiv alternative Arbeitsgänge nicht übernommen. Grundsätzlich kommt es bei Kuppelproduktion (als eigentliches Wesensmerkmal) auf verschiedenen Produktionsstufen zu divergenten Aufspaltungsprozessen. Aus technologischen Gründen fallen durch Bearbeitung eines Inputs zwangsläufig mehrere Spaltprodukte gleichzeitig an (vgl. Fandel (1981), S. 193f.; Riebel (1971), S. 733). Eine erweiterte Definition von Kuppelproduktion beschränkt sich nicht nur auf die Produktion, sondern schließt den gesamten Lebenszyklus eines Produkts ein. Besonderes Gewicht wird auf Reduktionsprozesse der Entsorgung gelegt. Kuppelproduktion liegt demzufolge vor, wenn „bei Erfüllung eines Systemzwecks wenigstens ein von diesem Systemzweck artverschiedener, beachteter Output unvermeidbar miterzeugt wird“ (Dyckhoff u. a. (1997), S. 1150). Die Entstehung eines Kuppelprodukts setzt im Rahmen dieser Definition

- die *Unvermeidbarkeit* der Entstehung und
- die *Nichtentsprechung* des Systemzwecks voraus.

In der Demontage ist die unvermeidbare Entstehung von Erzeugnissen offensichtlich; allerdings hängt das Vorliegen einer Entsprechung bzw. Nichtentsprechung des Systemzwecks von mehreren Faktoren (z. B. Demontageerzeugnis-Bedarf oder -zustand) ab. In der DPS werden Materialien in Haupt- und Kuppelprodukte unterschieden. Auf den Bereich der Demontage bezogen ist ein Kuppelprodukt ein aus technologischen Gründen zwanghaft entstehender Output, der aus einem Demontageprozess hervorgeht. Da ein

Kuppelprodukt nicht gleichzeitig Hauptprodukt sein kann, wird z. T. eine Entscheidung notwendig, um das Kuppelprodukt zu identifizieren. Die Entscheidung kann durch feste Regeln (z. B. im Rahmen des Beziehungswissens) unterstützt werden.

Die Merkmale einer Demontagevariante bestehen aus genau denjenigen Komponenten der Maximalstückliste, für die ein Bedarf besteht. Die bedingte Aufnahme der Merkmale wird über Auswahlbedingungen gesteuert. Die Einhaltung des Gültigkeitsintervalls wird über die Vorbedingungen gesteuert. Über Auswahlbedingungen und Aktionen (bzw. über durch sie aufgerufene Funktionen und Tabellen) werden auf Basis der Merkmale und Arbeitsgänge und Komponenten aus Maximalstücklisten bzw. -arbeitsplänen in Aufträge übernommen. Hinsichtlich einer Übernahmeentscheidung ist vor allem die aktuelle, spezifische Bedarfssituation relevant.

Zur Konfiguration wird ein Altgerätetyp ausgewählt (s. Abb. 5.29), der im Rahmen der Primärbedarfsplanung zur Demontage eingeplant wurde ($e_a > 0$). Danach werden die entsprechenden Merkmale des Altgeräts bewertet. Bei der Bewertung ist zu berücksichtigen, dass sich die Menge der zur Verfügung stehenden Demontageerzeugnisse auf einer niedrigeren Demontagestufe um die Menge der bereits eingeplanten, übergeordneten Komponenten verringert. Mithilfe von Aktionen wird der Wertebereich einer untergeordneten Komponente verringert. Die zulässigen Merkmalwerte sind durch die Anzahl der in einem Altgerät enthaltenen Demontageerzeugnisse a_{ad} abzüglich evtl. Mengen auf Grund bereits eingeplanter, übergeordneter Komponenten y_{ij} definiert. Damit ergibt sich der Wertebereich zu $[0, \dots, a_{ad} - \sum y_{ij}]$. Ist die in der Primärbedarfsplanung zur Erzeugung eingeplante Demontageerzeugnis-Menge e_d größer als die in dem Altgerät (noch) enthaltene Demontageerzeugnis-Menge $a_{ad} - \sum y_{ij}$, wird das Merkmal mit dieser verbleibenden Demontageerzeugnis-Menge $a_{ad} - \sum y_{ij}$ bewertet, sonst erfolgt die Bewertung auf Basis des Demontageerzeugnis-Bedarfs e_d . Nachdem die Bewertung eines Altgeräts erfolgt ist, werden die Demontageerzeugnis-Bedarfe um die geplant befriedigte Menge (Merkmalwert) reduziert. Hierbei muss beachtet werden, dass die geplant befriedigte Menge nicht der tatsächlich befriedigten Menge entspricht, da nicht alle Demontageerzeugnisse wiedereingesetzt werden können (s. Kapitel 4.5.1). In der *prädiktiven* Zeit- und Kapazitätsplanung erfolgt die Berechnung der zu reduzierenden Menge daher unter Berücksichtigung der in der Stückliste gepflegten Wiedereinsatzwahrscheinlichkeit p^{WE} . Nach der Reduktion des Demontageerzeugnis-Bedarfs wird die noch zur Demontage anstehende Altgerätemenge e_a um eine Einheit vermindert. Anschließend werden die (temporäre) Auftragsstückliste und der (temporäre) Auftragsarbeitsplan erzeugt. Die Konfiguration wird solange fortgesetzt, bis entweder alle Demontageerzeugnis-Bedarfe befriedigt sind oder keine weiteren Altgeräte zur Verfügung stehen.

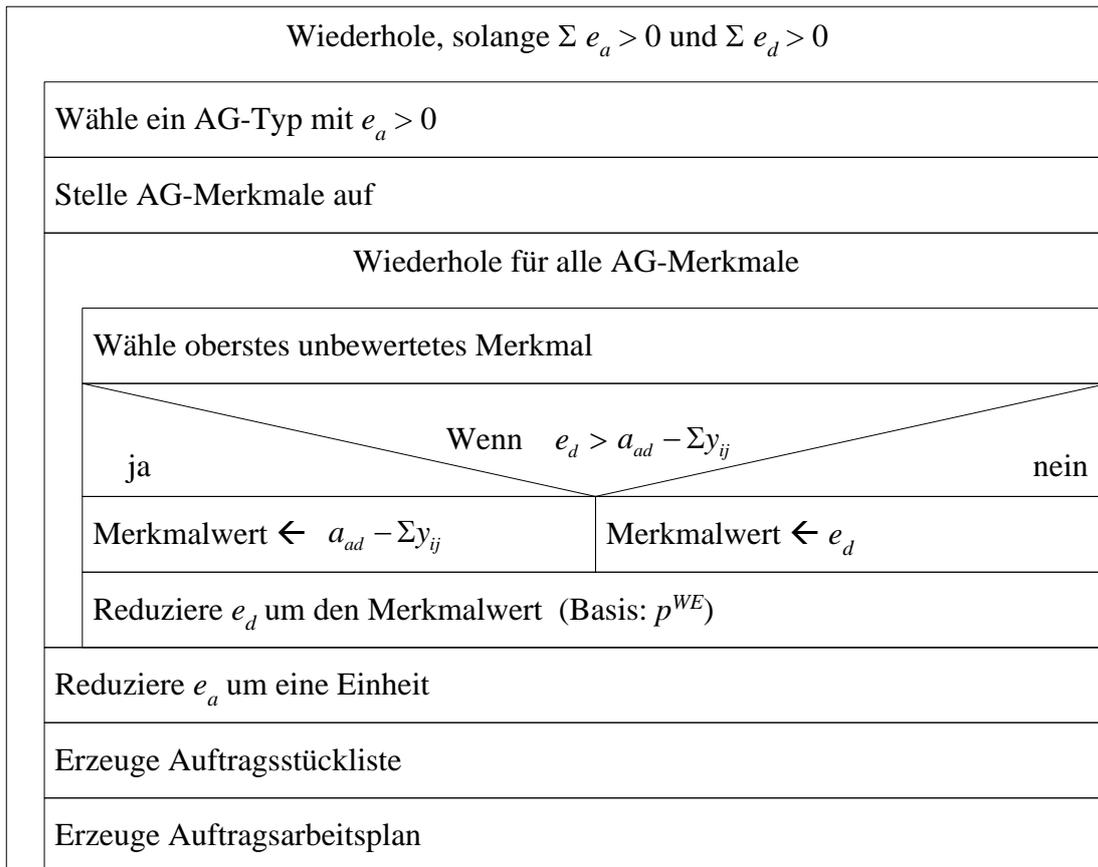


Abb. 5.29: Algorithmus zur prädiktiven Variantenkonfiguration

5.4.4.3 Durchlaufterminierung

Die Aufgabe der Durchlaufterminierung besteht darin, die Arbeitsgänge der Aufträge so einzuplanen, dass die vorgesehenen Bedarfstermine erreicht werden. Aus den geplanten Endterminen der Aufträge sind Starttermine aller relevanten Arbeitsgänge abzuleiten (vgl. Mertens (1997), S. 159). Mithilfe von in den Arbeitsplänen gespeicherten Informationen werden Arbeitsgänge und Betriebsmittel bestimmt. Weiterhin werden Kapazitätsbedarfsätze fortgeschrieben, dabei werden jedoch keine Kapazitätsgrenzen berücksichtigt. Im Folgenden werden Aufträge, Auftragsnetze sowie deren Zusammenhang erläutert und verschiedene Terminierungsverfahren beschrieben.

In der konventionellen Produktion werden im Bedarfsfall für jede in einer Erzeugnisstruktur enthaltene Komponente sowie für das Erzeugnis selbst Aufträge erzeugt. Aufträge sind hinsichtlich der Funktionsgruppen *Bedarfsplanung* und *Zeit- und Kapazitätsplanung* zu unterscheiden. Während die Bezeichnung *Auftrag* in der Bedarfsplanung aus kundenorientierter Sicht für ein Los bzw. eine Bestellung verwendet wird, versteht man im Rahmen der Zeit- und Kapazitätsplanung aus produktionsorientierter Sicht unter einem Auftrag die zugehörigen Arbeitsgänge, die um Prioritäten und Attribute für Ergebnisse der

Zeitplanung (z. B. frühestmöglicher Anfangs- bzw. Endtermin, spätestzulässiger Anfangs- bzw. Endtermin) ergänzt werden (vgl. Kurbel (1999), S. 162; Scheer (1998), S. 238). Im Wesentlichen entstehen Aufträge durch Verknüpfung auftragsunabhängiger Daten (z. B. Stückliste, Arbeitsplan, Arbeitsplatz) mit auftragsabhängigen Mengen- und Termindaten (vgl. Kurbel (1999), S. 162). Aus der Bedarfsplanung resultierende Planaufträge werden mithilfe der Variantenkonfiguration (s. Kapitel 5.4.4.2) um Arbeitsgänge (aus Maximalarbeitsplänen) und Komponenten (aus Maximalstücklisten) ergänzt.

Aus dem Arbeitsplan wird ein auftragsspezifischer Pfad ausgewählt und in den Auftrag kopiert. Aus der *netzartigen* Arbeitsgangstruktur in Arbeitsplänen wird eine sequenzielle Reihenfolge, eine *kettenartige* Arbeitsgangstruktur erzeugt (vgl. Rautenstrauch (1997a), S. 52). Auf Grund der dadurch eingeschränkten Freiheitsgrade sollte die Reihenfolgebildung erst so spät wie möglich erfolgen (vgl. Scheer (1998), S. 219).

Sämtliche einem Erzeugnis zugeordneten Aufträge sind entsprechend der in der Erzeugnisstruktur definierten Beziehung in einem Auftragsnetz miteinander verbunden (s. Abb. 5.30).

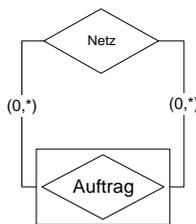


Abb. 5.30: ER-Diagramm zu Auftragsnetzen und Aufträgen

Sind Bedarfe für mehrere Aufträge im Rahmen der Losbildung zusammengefasst worden, bezieht sich das entsprechende Auftragsnetz auf mehrere Kunden- bzw. Lageraufträge (vgl. Scheer (1998), S. 242). In der DPS werden im Rahmen der *reaktiven* Zeit- und Kapazitätsplanung (s. Kapitel 5.5) *typspezifische* Wiedereinsatzwahrscheinlichkeiten p^{WE} durch *altgerätespezifische* Wiedereinsatzbarkeiten WE ersetzt. In diesem Zusammenhang werden individuelle Altgeräte betrachtet, die durch im Rahmen der Zustandsermittlung erhobene Merkmalwerte spezifiziert sind. Die Altgeräte werden daher in der Regel als Einzelstücke betrachtet, Altgeräte werden als gleich angesehen, wenn sie hinsichtlich Typ und Zustand übereinstimmen. Durch die demontageinduzierte Individualisierung der Altgeräte ergibt sich die Notwendigkeit, ein Auftragsnetz eindeutig einem Altgerät zuzuordnen.

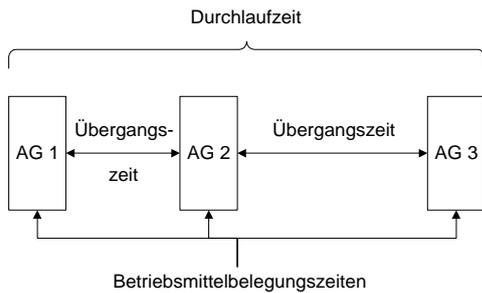
Die Identifizierung von Demontage-Planauftragsnetzen beginnt mit Materialien der obersten Dispositionsstufe (Altgeräten). Eine Dispositionsstufe ist die unterste Fertigungsstufe einer Komponente, auf der diese Komponente in irgendeiner Erzeugnisstruktur des

gesamten betrachteten Produktspektrums auftritt (vgl. Mertens (1997), S. 147). Die Fertigungsstufe bezieht sich dabei auf alle Bearbeitungsschritte zur Herstellung einer Komponente aus ihr untergeordneten Komponenten tieferer Fertigungsstufen. Da die Produktstruktur in der Demontage z. T. wieder aufgelöst wird, ist zu überlegen, ob eine umgekehrte Benennung der Dispositionsstufen sinnvoll ist. Die umgekehrte Benennung erscheint jedoch insofern problematisch, als dass sich die oberste Dispositionsstufe (letzte zu demontierende Komponente), abhängig von Zustand und Nachfragesituation verschieben kann. Damit befänden sich alle Demontageerzeugnisse eines Altgeräts hinsichtlich der Dispositionsstufen in einem dynamischen Zustand. Aus diesen Überlegungen heraus wird die konventionelle Logik auch im Rahmen der DPS beibehalten. Das Altgerät steht somit weiterhin auf der obersten Dispositionsstufe.

Im Anschluss an die Selektion eines Altgeräts werden zur Aufstellung des Demontage-Planauftragsnetzes fortlaufend alle direkten Vorgänger und Nachfolger identifiziert und markiert. Generell hängt die Bildung von Planauftragsnetzen von der Demontagevariante ab (s. Kapitel 5.4.4.2). Da der Zustand des einzelnen Altgeräts in der Planungsphase nicht bekannt ist, werden erwartete Aufträge auf Basis der Wiedereinsatzwahrscheinlichkeiten gebildet. Nach Aufstellung eines Netzes werden die Dispositionsstufenketten durchlaufen, bis ein bisher noch nicht eingeplantes Altgerät gefunden wird, das Ausgangspunkt für eine erneute Netzauflösung ist.

Über Verfahren der Netzplantechnik und der Durchlaufzeitverkürzung werden, als Output der Durchlaufterminierung, terminlich zulässige Planauftragsnetze mit jeweils frühesten Anfangs- bzw. spätesten Endzeitpunkten erzeugt. Die Durchlaufterminierung vernetzter Aufträge zielt auf die Ermittlung der Start- und Endtermine von Arbeitsgängen.

Die Terminierung erfolgt auf Basis von Plandurchlaufzeiten. Die Plandurchlaufzeit eines Auftrags errechnet sich aus der Summe der Belegungs- und Übergangszeiten (s. Abb. 5.31) seiner Arbeitsgänge (vgl. Scheer (1998), S. 238ff.). Die in Plandurchlaufzeiten enthaltenen Übergangszeiten schließen u. a. Wartezeiten ein. Mittels dieser für die Planwartezeit angesetzter pauschaler Erwartungswerte können durch gleichzeitiges Eintreffen mehrerer Aufträge an einer Kapazität entstehende Warteschlangen pauschal berücksichtigt werden. Die Plandurchlaufzeiten sind regelmäßig auf ihre Plausibilität hin zu überprüfen, da die Terminierungsgenauigkeit in hohem Maße von der Qualität der verschiedenen Plandurchlaufzeitbestandteile abhängt (vgl. Glaser (1991), S. 147).



Quelle: Scheer (1998), S. 240

Abb. 5.31: Komponenten der Plandurchlaufzeit eines Auftrags

Als Verfahren zur Durchlaufterminierung werden im Allgemeinen die Vorwärts-, Rückwärts-, und die doppelte Terminierung sowie die Mittelpunktsterminierung genannt (vgl. z. B. Rautenstrauch (1999), S. 60):

- Bei der *Vorwärtsterminierung* erfolgt die Auftragseinplanung ausgehend vom Starttermin des ersten Fertigungsauftrags der niedrigsten Dispositionsstufe. Sämtliche Arbeitsgänge des Auftragsnetzes werden in Richtung Zukunft geplant. Im Rahmen des progressiven Verfahrens der Vorwärtsterminierung werden alle Materialien so früh wie möglich gefertigt. Fertigerzeugnisse müssen daher evtl. gelagert werden, was entsprechende Kosten nach sich zieht (vgl. Mertens (1997), S. 159f.).
- Bei der *Rückwärtsterminierung* erfolgt die Auftragseinplanung vom spätesten Fertigstellungstermin aus. Mit dem letzten Arbeitsgang beginnend wird in Richtung Vergangenheit terminiert. Das retrograde Verfahren der Rückwärtsterminierung vermeidet den Nachteil des progressiven Verfahrens, muss allerdings mit einer höheren Unsicherheit hinsichtlich der Einhaltung des Endtermins umgehen (vgl. Mertens (1997), S. 160).
- Bei der *doppelten Terminierung* werden Aufträge vorwärts und rückwärts terminiert. Durch Vergleich beider Terminierungsdaten lassen sich Zeitpuffer ermitteln, innerhalb derer Arbeitsgänge verschoben werden können, ohne Start- bzw. Endtermine zu gefährden.
- Bei der *Mittelpunktsterminierung* wird ein Arbeitsgang auf dem Engpassbetriebsmittel eingeplant. Das entsprechend zugehörige Auftragsnetz wird um diesen Arbeitsgang angeordnet. Nachgelagerte Arbeitsgänge werden vorwärts und vorgelagerte Arbeitsgänge rückwärts terminiert.

Sollte die Terminierung ergeben, dass ein bestimmter Kunden- bzw. Lagerauftrag nicht eingehalten wird, da der frühestmögliche Endtermin hinter dem Bedarfstermin bzw. der spätestmögliche Anfangstermin bereits in der Vergangenheit liegt, kann die Durchlaufzeit

evtl. durch Maßnahmen der Durchlaufzeitverkürzung reduziert werden. Zu diesen Maßnahmen gehören

- die Übergangszeitreduktion,
- die Splittung von Aufträgen und
- die Überlappung von Arbeitsgängen⁹⁷.

Die Terminierung im Rahmen der Demontageplanung unterscheidet sich von der Terminierung in der Produktionsplanung vor allem durch die in der Regel geringere Stabilität des Planungsergebnisses. Durchlaufzeiten können sich verkürzen (z. B. wenn das entsprechende Demontageergebnis nicht vorhanden ist) oder verlängern (z. B. wenn Verbindungen korrodiert sind). Durch den hohen Anteil manueller Tätigkeiten im Rahmen der Demontage wird es evtl. weniger unterschiedliche Kapazitätsarten geben als in einem vergleichbaren Montagebetrieb. Entsprechend höher sind die potenziellen Freiheitsgrade bei der Umverteilung von Arbeitsgängen im Rahmen der Auftragsplittung.

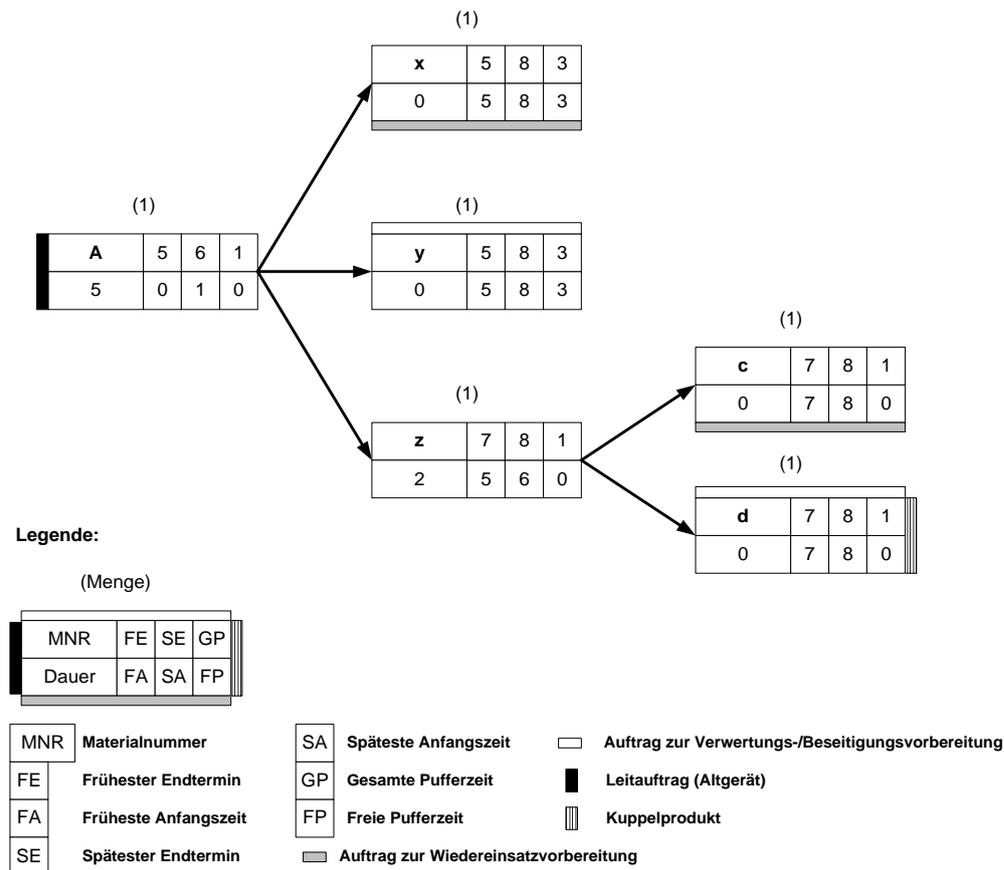


Abb. 5.32: Netzplan zu einem exemplarischen Planauftragsnetz

⁹⁷ Ausführlich zu den verschiedenen Methoden und deren Vor- und Nachteilen vgl. Glaser u. a. (1991), S. 152ff.; Kurbel (1999), S. 149ff.; Mertens (1997), S. 162ff.

In Abb. 5.32 ist beispielhaft ein Netzplan zu einem Planauftragsnetz dargestellt⁹⁸. Der Netzplan bezieht sich auf das ergänzte Erzeugnisstrukturbeispiel aus Abb. 5.25. Die Demontageerzeugnisse x und c werden je einmal zum Zeitpunkt SE (Kunden-/Lagerauftrag) = 8 nachgefragt. Die restlichen Komponenten stehen zur Verwertung oder Beseitigung an, bzw. müssen demontiert werden, um nachgefragte Demontageprodukte erzeugen zu können (Baugruppe z). Als Ergebnis der Terminierung sind für alle Aufträge frühestmögliche und spätestzulässige Anfangs- und Endtermine bestimmt.

Im Rahmen der Terminierung wird ein dem *Systemzweck entsprechendes* Demontageerzeugnis dann zum Kuppelprodukt, wenn ein anderes Demontageerzeugnis diesem gegenüber eine höhere Stellung einnimmt. Als Demontageerzeugnis mit der höheren Stellung wird im Rahmen der Terminierung das Demontageerzeugnis mit der höchsten Vorgangsdauer definiert. Das Demontageerzeugnis mit der höheren Stellung wird dann als *Leitprodukt* bezeichnet⁹⁹. Anhand des Netzplans in Abb. 5.32 soll dies an einem Beispiel aufgezeigt werden: Für die nicht-zerstörende Vereinzelung der Bauteile c und d werden 2 Zeiteinheiten (ZE) benötigt, bei zerstörender Demontage ist nur 1 ZE notwendig. Die Anwendung der zerstörenden bzw. nicht-zerstörenden Demontage hängt in diesem Beispiel ausschließlich von der Demontageerzeugnis-Nachfragesituation ab. Da nur Bauteil c nachgefragt wird, ergibt sich als Vorgangsdauer von c 2 ZE (Leitprodukt), für d ergibt sich 1 ZE (Kuppelprodukt). Die Vorgangsdauer zur Demontage von z (2 ZE) wird daher vom Leitprodukt c determiniert.

Die Abbildung von Kuppelprodukten im Rahmen des Netzplans geschieht der Vollständigkeit halber. Kuppelprodukte werden in der Termin- und Kapazitätsplanung nicht berücksichtigt, da Kuppelprodukte weder Zeit noch Kapazitäten verbrauchen¹⁰⁰. Die Vorgangsdauer von Kuppelprodukten wird auf 0 gesetzt, die anderen Zeitplanungsattribute werden vom Leitprodukt übernommen. Im Rahmen der Demontage kommen als Kuppelprodukte sowohl Demontageerzeugnisse als auch Restmüll in Betracht. Während nicht-planbare Demontageerzeugnisse ausschließlich als Kuppelprodukte anfallen (s. Kapitel 5.2.3), muss bei planbaren Demontageerzeugnissen hinsichtlich Nachfragesituation und Aufwand unterschieden werden.

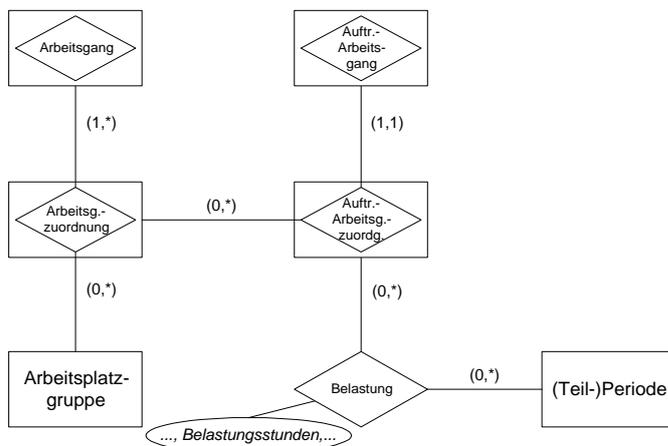
⁹⁸ Zur Art der Netzplandarstellung vgl. Scheer (1998), S. 242.

⁹⁹ Ein Koprodukt (wirtschaftlich ebenbürtiges, erwünschtes Kuppelprodukt) wird als Leitprodukt bezeichnet, wenn es hinsichtlich produktionsplanerischer Gegebenheiten eine führende Stellung einnimmt (vgl. Riebel (1955), S. 131).

¹⁰⁰ Kuppelprodukte verbrauchen evtl. Transportzeit, diese wird aus Vereinfachungsgründen pauschal in den Durchlaufzeiten der Leitprodukte berücksichtigt.

5.4.4.4 Kapazitätsplanung

Im Rahmen der Kapazitätsplanung erfolgt die Gegenüberstellung von Kapazitätsangebot und -bedarf. Gegebenenfalls wird eine *Kapazitätsabstimmung* durchgeführt (s. Abb. 5.20). Ein Ziel der Kapazitätsplanung besteht darin, Über- bzw. Unterauslastungen frühzeitig zu erkennen und entsprechende Maßnahmen zur Kapazitätsabstimmung abzuleiten. Input der Kapazitätsabstimmung sind zum einen Kapazitätsrestriktionen und Strukturdaten (z. B. Arbeitspläne), zum anderen Planungsgrößen aus der Durchlaufterminierung (z. B. terminlich zulässige Planauftragsnetze, früheste Anfangs- bzw. späteste Endzeitpunkte). Aufgabe der Kapazitätsabstimmung ist die Anpassung von Kapazitätsangebot und -bedarf. Entsprechend validierte Aufträge bilden das periodisierte Demontageprogramm, den Periodenplan. Zunächst werden durch Zuordnung von Arbeitsgängen zu Kapazitätsgruppen auf Basis vorläufig terminierter Aufträge kapazitätsspezifische Belegungszeiten ermittelt. Die Kapazitätsbedarfssätze werden bereits während der Terminierung geschrieben (vgl. SAP (1998)). Die Kapazitätsbelastungen werden auf Basis des Entity-Typs *Auftrags-Arbeitsgangzuordnung* (s. Abb. 5.33) ermittelt und in dem Beziehungstyp *Belastung* dargestellt.



Vgl. Scheer (1998), S. 244

Abb. 5.33: ER-Diagramm zur Kapazitätsbelastung

Der in dieser Art bestimmte Kapazitätsbedarf wird je Arbeitsplatzgruppe und Teilperiode summiert und dem Kapazitätsangebot gegenübergestellt. Werden bestimmte Toleranzgrenzen überschritten, sind Maßnahmen des Kapazitätsabgleichs bzw. der Kapazitätsanpassung zu treffen (vgl. Glaser (1991), S. 180ff.; Kurbel (1999), S. 154ff.). Dazu gehören z. B. die Umterminierung einzelner Arbeitsgänge, Verlagerung von Arbeitsgängen auf Ausweichressourcen, Erhöhung bzw. Verringerung des Kapazitätsangebots (quantitative Anpassung), die Variierung der Betriebsmittel-Ausbringungsmengen (intensitätsmäßige Anpassung) oder die Veränderung der Lagerauftragsmengen (vgl. Rautenstrauch (1999), S. 60f.). Die Durchführung der Kapazitätsabstimmung wird auf Grund der hohen

Komplexität zumeist von Disponenten übernommen. PPS-Systeme bieten in der Regel keine Verfahren zur automatischen Abstimmung (vgl. Fandel u. a. (1997), S. 313ff.; Mertens (1997), S. 165; Kurbel (1999), S. 161). Die Kapazitätsabstimmung wird zumeist nur für ausgewählte Kapazitätseinheiten, die einen potenziellen Engpass darstellen, durchgeführt (vgl. Kurbel (1999), S. 155). Hilfsprozesskapazitäten (z. B. Transport, Umschlag, Entsorgung) werden im Rahmen der Kapazitätsabstimmung zumeist nicht explizit berücksichtigt. Implizit werden Hilfsprozesskapazitäten durch pauschale Übergangszeiten in die Kapazitätsplanung einbezogen (vgl. Gottschalk (1989), S. 389).

5.4.4.5 Beschaffungsplanung

Das periodisierte Demontageprogramm kann nur erzeugt werden, wenn ergänzend zu anfallenden Altgeräten (Serviceleistung der Demontagefabrik) evtl. notwendige zusätzliche Altgeräte beschafft werden (s. Kapitel 4.5.2). In diesem Zusammenhang müssen zusätzliche Altgerätebedarfe zunächst bestimmt und anschließend beschafft werden. Die Zuordnung der Funktion Beschaffungsplanung zur Funktionsgruppe *prädiktive* Zeit- und Kapazitätsplanung ist nicht unproblematisch, da die Beschaffungsplanung keine originär zur Zeit- oder Kapazitätsplanung gehörenden Aufgaben übernimmt. Diese Zuordnung erfolgt, um zu verdeutlichen, dass die Beschaffungsplanung ausschließlich im Rahmen der prädiktiven Zeit- und Kapazitätsplanung und nur für kommende Planungsperioden (nicht für die aktuelle) durchgeführt wird.

Nach Durchlaufterminierung und Kapazitätsplanung steht ein terminiertes und kapazitiv validiertes Demontageprogramm fest. Unter Zugrundelegung dieses Altgeräte-Demontageprogramms werden die zusätzlich (zu den anfallenden) notwendigen Altgeräte $x_a^{Beschaffung}$ bestimmt. Dazu wird der notwendige Gesamt-Altgerätebedarf $x_a^{DE-Erzeugung}$ um prognostiziert anfallende Altgeräte x_a^{Anfall} und den verfügbaren Lagerbestand x_a^{Lager} , der sich aus geplanten Zu- und Abgängen berechnet, vermindert:

$$x_a^{Beschaffung} = x_a^{DE-Erzeugung} - x_a^{Anfall} - x_a^{Lager}$$

Der notwendige Gesamt-Altgerätebedarf wird somit um die ATP-Menge reduziert. Die Gesamtbeschaffungsmenge über alle Altgeräte ergibt sich zu:

$$\sum_{a=1}^n x_a^{Beschaffung}$$

Die Gesamtaltgerätebedarfe werden unter Berücksichtigung von Beschaffungszeiten in Bestellanforderungen überführt (s. Abb. 5.34). Als Ausführungszeitpunkt der Beschaffungsplanung wird das Ereignis der Sicherung des Kapazitätsplanungsergebnisses gewählt.

Wiederhole für alle Auftragsnetze	
Wähle	Kopfmaterial des führenden Auftrags
Berechne	$x_a^{Beschaffung} = x_a^{DE-Erzeugung} - x_a^{Anfall} - x_a^{Lager}$
Terminiere	$x_a^{Beschaffung}$ unter Berücksichtigung der Beschaffungszeit
Erstelle	Bestellanforderung

Abb. 5.34: Algorithmus zur Beschaffungsplanung

5.5 Reaktive Zeit- und Kapazitätsplanung

5.5.1 Einführung

Die Funktionsgruppen Primärbedarfsplanung, Bedarfsplanung und *prädiktive* Zeit- und Kapazitätsplanung stellen die *langfristige* Demontageplanung dar. Die *reaktive* Zeit- und Kapazitätsplanung und die Funktionsgruppen der Steuerung stellen die *kurzfristige* Demontageplanung dar. *Reaktive* und *prädiktive* Zeit- und Kapazitätsplanung ähneln sich stark. Nachfolgend werden die Unterschiede beider Funktionsgruppen aufgezeigt.

In der *prädiktiven* Zeit- und Kapazitätsplanung sind die Altgeräteattribute *Art*, *Menge* und *Zustand* nicht bekannt und werden daher prognostiziert. Auf Basis der Prognosewerte werden Planauftragsnetze erstellt. Die Planauftragsnetze werden terminiert und im Rahmen der vorhandenen Kapazitäten eingeplant. Zur Beschaffung zusätzlich benötigter Altgeräte werden Bestellanforderungen erzeugt.

Stimmen die den Planauftragsnetzen zu Grunde liegenden *prognostizierten* Attribute weitgehend mit den *tatsächlichen* Attributen (die nach Altgeräteeinfall erhoben werden) überein, könnten die Änderungen im Prinzip durch einen *Net-Change*-Planungslauf berücksichtigt werden. In dem hier vorgestellten DPS-Konzept werden die Planauftragsnetze allerdings ausschließlich im Rahmen der *prädiktiven* Zeit- und Kapazitätsplanung eingesetzt: In der *prädiktiven* Zeit- und Kapazitätsplanung werden *typespezifische* Planauftragsnetze erzeugt und disponiert. Ein bestimmter Altgerätetyp wird immer gleich behandelt. In der *reaktiven* Zeit- und Kapazitätsplanung werden *altgerätespezifische* Demontageauftragsnetze disponiert. Alle Altgeräte werden durch eine Zustandsbestimmung *individualisiert*. Die Individualisierung bedingt eine erneute Durchführung der Zeit- und Kapazitätsplanung. Zum einen werden die Wiedereinsatzwahrscheinlichkeiten p^{WE} durch Wiedereinsatzbarkeiten *WE* ersetzt, zum anderen wird den Altgeräten ein komplexer Zustandsschlüssel zugewiesen, für den es in der *prädiktiven* Zeit- und Kapazitätsplanung

keine Entsprechung gibt. Erst auf Basis der Altgerätezustände können Demontageauftragsnetze erstellt und terminiert werden. Alle Altgeräte (auch Altgeräte gleichen Typs und Alters!) sind voneinander zu unterscheiden, um Demontageerzeugnis-Bedarfe und Prioritäten zuordnen zu können.

In der *reaktiven* Zeit- und Kapazitätsplanung werden Aufträge der aktuellen Periode eingeplant. Dazu wird der (hinsichtlich der Altgeräteattribute) verbesserte Informationsstand nach Altgeräteanfall berücksichtigt. In diesem Zusammenhang werden Demontageauftragsnetze aufgestellt, um Prioritäten erweitert, terminiert, im Rahmen der vorhandenen Kapazitäten eingeplant und für die Steuerung freigegeben. Eine Beschaffungsplanung findet nicht statt, da die Planung ausschließlich auf Basis physisch vorhandener Altgeräte durchgeführt wird. Falls sich (z. B. auf Grund von Altgerätezuständen oder -mengen) Über- bzw. Unterkapazitäten ergeben, muss das Demontageprogramm angepasst werden. Eine Anpassung kann z. B. erfolgen, indem Demontageaufträge zusätzlich in die Planungsperiode aufgenommen bzw. in eine zukünftige Planungsperiode verschoben werden oder sonstige Maßnahmen der Kapazitätsabstimmung (s. Kapitel 5.2.5.7 bzw. 5.4.4.4) zur Anwendung kommen.

5.5.2 Prozessobjektmodell

Basierend auf den Aufgaben der reaktiven Zeit- und Kapazitätsplanung kann das Prozessobjektmodell erstellt werden (s. Abb. 5.35). Analog zur prädiktiven Zeit- und Kapazitätsplanung bilden Planaufträge und Einstellungen der Variantenkonfiguration die Grundlage zur Terminierung bzw. Kapazitätsplanung. Die Planauftragsnetze werden unter Berücksichtigung der Wiedereinsetzbarkeiten (s. Kapitel 5.5.3) terminiert. Nach evtl. mehrmaligem Durchlaufen der Terminierung bzw. Kapazitätsplanung wird das terminierte und kapazitiv validierte Demontageprogramm zur Feinplanung freigegeben.



Abb. 5.35: Prozessobjektmodell zur reaktiven Zeit- und Kapazitätsplanung

5.5.3 Altgeräte-Zustandsbestimmung

Die Altgeräte-Zustandsbestimmung dient im Wesentlichen der Durchführung zweier interdependenter Funktionen:

- *Bestimmung der Altgeräte-Reihenfolge:* Durch die Zustandsbewertung können die einzelnen Altgeräte eines Typs in eine *Prioritätsreihenfolge* gebracht werden. Auf Ba-

sis dieser Reihenfolge können qualitativ hochwertigere Altgeräte vorrangig eingeplant werden; damit können Demontagekosten und -zeiten gesenkt und die Qualität der Demontageerzeugnisse erhöht werden.

- *Bestimmung der Altgeräte-Menge:* Mithilfe der altgerätespezifischen Zustandsbewertung werden den entsprechenden Demontageerzeugnissen Wiedereinsetzbarkeiten ($WE_{ij} \in [0,1]$, mit $i, j \in J$) zugewiesen. Die Wiedereinsetzbarkeiten ersetzen die bisher verwendeten Wiedereinsatzwahrscheinlichkeiten in den Auftragsstücklisten und dienen dazu, die zur Demontage eines gegebenen Demontageerzeugnis-Bedarfs notwendige Altgerätemenge zu minimieren.

Zur Durchführung dieser Funktionen müssen die Altgerätezustände beurteilt werden. Typgleiche Altgeräte zeichnen sich in der Regel durch erhebliche Unterschiede hinsichtlich bestimmter Eigenschaften (z. B. Funktionsfähigkeit, optischer Eindruck) aus (vgl. Bracke/Schnauber (1999), S. 19). Diese Eigenschaftsdifferenzen werden im Folgenden verwendet, um *typgleiche* Altgeräte unterscheiden und entsprechend behandeln zu können (Demontage mit dem Ziel des *Produkt-* oder des *Materialrecycling*). In diesem Zusammenhang

- müssen Merkmalwerte *schnell* und *einfach* (ohne Durchführung einer Demontage) erhoben werden können,
- muss die Altgeräte-Zustandsbeurteilung auf Basis *weniger* Merkmale erfolgen können,
- muss vom Altgerätezustand auf die Demontageerzeugnis-Zustände *geschlossen* werden können (s. Kapitel 4.5.2) und
- müssen *unscharfe* Merkmalwerte und *Expertenwissen* verarbeitbar sein.

Es ist nicht unproblematisch, von Altgerätezuständen auf Wiedereinsetzbarkeiten von Demontageerzeugnissen zu schließen. Da Wiedereinsetzbarkeiten gerade ein Entscheidungskriterium für die Demontage eines Altgeräts darstellen (z. B. hinsichtlich der Demontagetiefe), muss die Ermittlung der Wiedereinsetzbarkeiten vor einer Demontage stattfinden und z. T. ohne relevante Daten (z. B. Demontageerzeugnis-Zustände) durchgeführt werden. Die notwendigen Informationen liegen z. T. in Form von Expertenwissen (Erfahrungen der Recycling- und Demontageexperten) vor. Dieses Expertenwissen muss berücksichtigt werden können. Nicht zuletzt werden hohe Anforderungen an Stabilität und Fehlertoleranz sowie Benutzerfreundlichkeit und Effizienz gestellt. Durch Nutzung der Fuzzy-Logik können die genannten Anforderungen erfüllt werden (vgl. Kruse u. a. (1995), S. 2; Mayer u. a. (1993), S. 69f.). Fuzzy-Logik stellt als Theorie der unscharfen Mengen eine Erweiterung des konventionellen, binärlogischen Kalküls dar. Die Werte einer unscharfen Menge werden dieser über Zugehörigkeitsgrade (von *volle Zugehörigkeit* bis

keine Zugehörigkeit) zugeordnet (vgl. Bothe (1995), S. 3ff.)¹⁰¹. In Fuzzy-Systemen wird versucht, durch gezielten Einsatz imperfekter (impräziser, vager und unsicherer) Informationen einen Vorteil gegenüber anderen Systemen höherer Komplexität auszunutzen (vgl. Kruse u. a. (1995), S. 1).

Die Bestimmung der Wiedereinsetzbarkeiten für Demontageerzeugnisse erfolgt unter Zuhilfenahme eines wissensbasierten Fuzzy-Systems. In einer Regelbasis wird das Wissen von Recycling- und Demontageexperten bezüglich der Altgeräte- bzw. Demontageerzeugnis-Zustände in Form von sprachlich formulierten Zusammenhängen beschrieben. In einem Inferenz- und Defuzzifizierungsprozess werden auf Basis altgerätespezifischer Daten und Expertenwissen Wiedereinsetzbarkeiten von Demontageerzeugnissen bestimmt. Das Ergebnis des Verarbeitungsprozesses wird an das DPS-System übermittelt.

Nachfolgend wird die Bestimmung des Altgerätezustands und der Demontageerzeugnis-Wiedereinsetzbarkeiten auf Basis eines Fuzzy-Systems anhand eines Beispiels beschrieben.

Die Altgeräte-Zustandsbeurteilung kann nach der Altgeräteannahme (z. B. im Wareneingang) stattfinden. Zur Beurteilung werden bestimmte, typspezifische Merkmale eines Altgeräts bewertet. Die Merkmale müssen weitestgehend durch gegenseitige und hinsichtlich des Altgerätetyps gegebene Unabhängigkeit gekennzeichnet sein. In Tab. 5.4 ist für die 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]
Funktionstestergebnis	[0, ..., 10]
Ausfallursache	[keine, Wasserschaden, Heizungsschaden, ..., unbekannt]
Abweichung vom Originalgewicht	[keine, > 5%, ..., > 50%]
Optischer Eindruck	[0, ..., 10]

Tab. 5.4: Exemplarische Merkmale und Merkmalwerte für den Zustand eines Altgeräts

¹⁰¹ Den mathematisch-historischen Hintergrund der Fuzzy-Logik bilden Arbeiten über mehrwertige Logiken; das Konzept der Fuzzy-Menge wurde in den 60er Jahren von Zadeh vorgeschlagen (vgl. Zadeh (1965)).

Die Ausprägungen der erhobenen Merkmale (das Beurteilungsergebnis) werden durch einen altgerätespezifischen *Zustandsschlüssel* repräsentiert. Der Zustandsschlüssel hat die Form:

Merkmalwert_1.Merkmalwert_2. . . .Merkmalwert_n

Neben dem Zustandsschlüssel wird das Altgerät über weitere Attribute identifiziert. Die Altgeräteattribute könnten z. B. die folgenden Ausprägungen besitzen (s. Abb. 5.36):

Altgerät:	[
Art:	Waschmaschine
Typ:	xy
Wareneingangs-Nr.:	123456
Zustandsschlüssel:	1987.2.7.keine.>5%.9
]

Abb. 5.36: Altgeräteattribute mit exemplarischen Ausprägungen

Das Attribut Wareneingangs-Nr. dient zur eindeutigen Identifikation eines bestimmten Altgeräts. Art und Typ dienen u. a. zur Identifizierung der relevanten Regelbasis, Zugehörigkeitsfunktionen und Defuzzifizierungsstrategie. Im Zustandsschlüssel sind die Eingangsgrößen des Fuzzy-Systems zusammengefasst. Ein einzelner Merkmalwert des Zustandsschlüssels (z. B. 2 für das Merkmal *Nutzungsintensität*) stellt ein sog. *Faktum* dar. Dieses Faktum ist ein Eingangsgröße der Fuzzifizierung. Eine beispielhafte demontage-spezifische Struktur eines Fuzzy-Systems ist in Abb. 5.37 veranschaulicht.

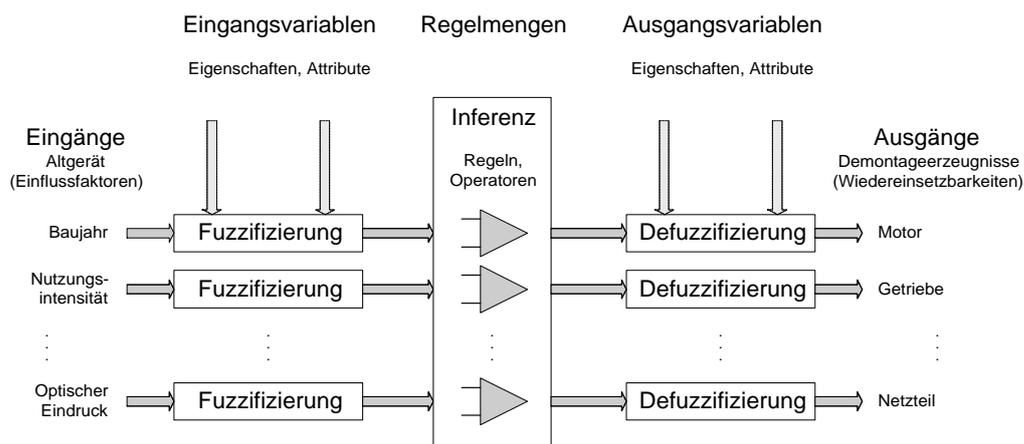


Abb. 5.37: Exemplarische demontagespezifische Struktur eines Fuzzy-Systems

Das Fuzzy-System verfügt über n Eingänge, deren Werte die Zustände der m Ausgänge bestimmen. Alle Eingangsgrößen (in den Zustandsschlüsseln hinterlegte altgerätespezifische Merkmalwerte) bilden die eingangsseitige Schnittstelle zur Außenwelt. Die

Eingangsgrößen werden über Zugehörigkeitsfunktionen auf Zugehörigkeitsgrade abgebildet, die im Intervall [0,1] liegen. Die Zugehörigkeitsfunktionen werden in der Entwurfsphase des Fuzzy-Systems mit ihren *Eigenschaften* (Wertebereich, Auflösung, Kurvenform) und *Attributen* (z. B. gering, mittel) spezifiziert. In Abb. 5.38 sind für die Merkmale *Nutzungsintensität* (NI) und *Optischer Eindruck* (OE) beispielhaft die Zugehörigkeitsfunktionen μ_{NI} bzw. μ_{OE} dargestellt.

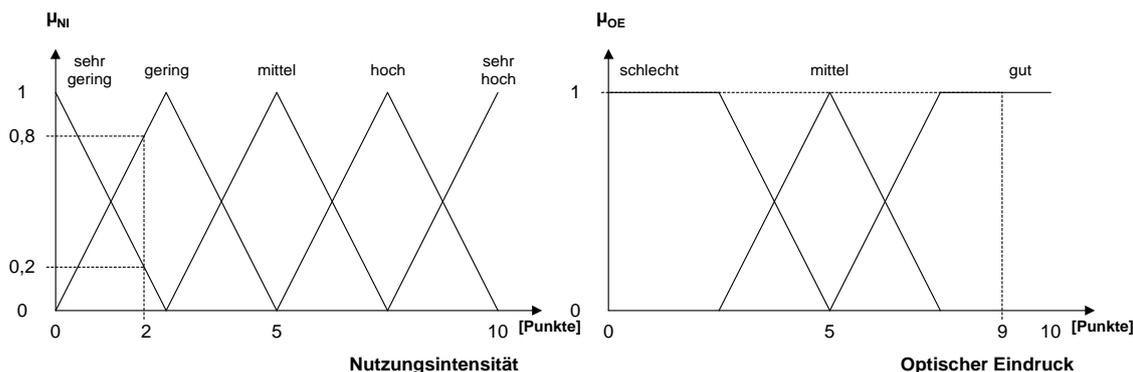


Abb. 5.38: Exemplarische Fuzzifizierung der Eingangsgrößen *Nutzungsintensität* und *optischer Eindruck*

Entsprechend des Werts der Eingangsgröße ergibt sich für jedes Attribut ein Zugehörigkeitsgrad zwischen 0 und 1. Bei der Fuzzifizierung wird eine scharfe Eingangsgröße in einen Vektor von Zugehörigkeitsgraden überführt. In dem Beispiel aus Abb. 5.38 ergeben sich die folgenden *n*-Tupel, wobei *n* die Anzahl der Attribute angibt:

$$\begin{array}{lcl}
 \text{Nutzungsintensität} = 2 & \xrightarrow{\text{Fuzzifizierung}} & \text{Nutzungsintensität}^* = (0,2; 0,8; 0; 0; 0) \\
 \text{Optischer Eindruck} = 9 & \xrightarrow{\text{Fuzzifizierung}} & \text{Optischer Eindruck}^* = (0; 0; 1)
 \end{array}$$

Das Wissen der Recycling- bzw. Demontageexperten wird in *Regelform* dargestellt. Die Zugehörigkeitsgrade bilden Eingangsgrößen für die Fuzzy-Inferenz, durch die eine Auswertung der Regeln erfolgt. Eine Fuzzy-Inferenz besteht aus einer oder mehreren Regeln, einem Faktum und einem sog. *Schluss*, der das Faktum unter Berücksichtigung der Implikationen ersetzt. Eine Implikation besteht aus einer WENN . . . DANN . . . -Regel (vgl. Kahlert/Frank (1993), S. 43). Der WENN . . . -Teil stellt die Bedingung (sog. *Prämisse*) dar, der DANN . . . -Teil die Schlussfolgerung (sog. *Konklusion*). Die Prämissen beinhalten entweder eine oder mehrere Klauseln mit den entsprechenden Konnektoren (z. B. UND), die Konklusionen unterstützen nur eine Klausel (s. Abb. 5.39).

In den dargestellten Regeln der exemplarischen Regelbasis sind bezüglich der *Nutzungsintensität* und des *optischen Eindrucks* diejenigen Regeln aufgenommen worden, die aktiv sind, d. h. deren Erfüllungsgrade > 0 sind.

<i>Regel 1</i>	<i>WENN</i> Nutzungsintensität „sehr gering“ <i>UND</i> Optischer_Eindruck „gut“ <i>DANN</i> WE_Motor „sehr hoch“
<i>Regel 2</i>	<i>WENN</i> Nutzungsintensität „gering“ <i>UND</i> Optischer_Eindruck „gut“) <i>DANN</i> WE_Motor „hoch“

Abb. 5.39: Ausschnitt aus einer exemplarischen Regelbasis

Sämtliche Regeln werden in der Regelbasis zusammengefasst, eine Zusammenfassung und Aufteilung kann nach beliebigen Kriterien erfolgen. Die Zahl der Regelbasen und die Anzahl der Regeln je Regelbasis ist nicht begrenzt. *WENN . . . DANN . . .*-Regeln weisen gegenüber anderen Repräsentationsformen (z. B. semantischen Netzen) u. a. folgende Vorteile auf (vgl. Mayer u. a. (1993), S. 73):

- *Erweiterbarkeit*: Neue Regeln lassen sich relativ unabhängig von anderen Regeln hinzufügen.
- *Modularität*: Jede Regel definiert eine kleine, relativ unabhängige Teilinformation.
- *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.

Die Auswertung jeder aktiven Regel liefert eine resultierende Fuzzy-Ausgangsmenge, indem der Erfüllungsgrad der Regel auf die entsprechende Zugehörigkeitsfunktion in der Schlussfolgerung übertragen wird. Sind die Prämissen wie in obigem Beispiel (s. Abb. 5.39) *UND*-verknüpft, müssen die Zugehörigkeitswerte über den *MIN* (Minimum)-Operator zum Erfüllungsgrad *H* der Regel verknüpft werden (vgl. Kahlert/Frank (1993), S. 88).

$$H_1 = \text{MIN} (\mu_{NI \text{ sehr gering}} (2); \mu_{OE \text{ gut}} (9)) = \text{MIN} (0,2; 1) = 0,2$$

$$H_2 = \text{MIN} (\mu_{NI \text{ gering}} (2); \mu_{OE \text{ gut}} (9)) = \text{MIN} (0,8; 1) = 0,8$$

Aus den Erfüllungsgraden ergeben sich die einzelnen Fuzzy-Ausgangsmengen der Konklusionen, die mit dem *MAX* (Maximum)-Operator zur resultierenden Fuzzy-Ausgangsmenge (für die Wiedereinsatzbarkeit des Motors) μ_M zusammengefasst werden (s. Abb. 5.40).

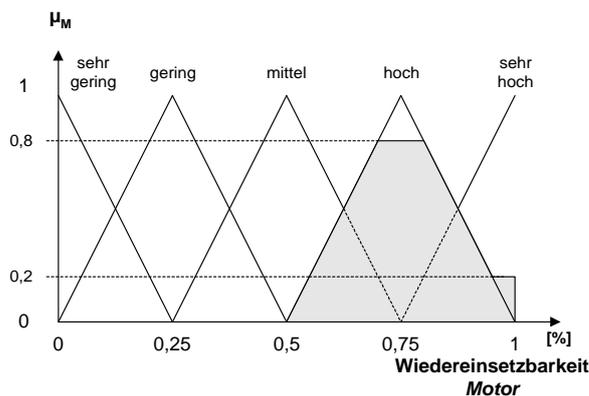


Abb. 5.40: Darstellung einer exemplarischen resultierenden Fuzzy-Ausgangsmenge

Auf die resultierende Fuzzy-Ausgangsmenge ist nun ein Defuzzifizierungsverfahren anzuwenden. Ähnlich den Eingangsgrößen werden auch für alle Ausgangsgrößen *Eigenschaften* (Wertebereich, Auflösung, Defuzzifizierungsmethode, Kurvenform) und *Attribute* (z. B. gering, mittel) mit ihren jeweiligen Zugehörigkeitsfunktionen spezifiziert. Resultat des Defuzzifizierungsverfahrens sind scharfe Ausgangsgrößen (s. Abb. 5.37). Im vorliegenden Anwendungsfall entsprechen die Ergebnisgrößen dem Grad der Wiedereinsetzbarkeit von Demontageerzeugnissen. Zur Defuzzifizierung wird zumeist die Fläche unter den Kurvenverläufen der resultierenden Fuzzy-Ausgangsmenge herangezogen (vgl. Bothe (1993), S. 12f.). In der Praxis haben sich verschiedene Methoden etabliert; die am häufigsten eingesetzte Methode ist die (*Flächen-*)*Schwerpunkt*methode (vgl. Kahlert/Frank (1993), S. 98; Mayer u. a. (1993), S. 81)¹⁰². Bei der Schwerpunktmethode wird der Flächenschwerpunkt der resultierenden Fuzzy-Ausgangsmenge μ_{res} gebildet und seine Abszisse als scharfe Ausgangsgröße f_{res} bestimmt. Üblicherweise wird die exakte Formel durch die approximierende Summe

$$f_{res} = \frac{\sum_{g=1}^n H_g \cdot f_g}{\sum_{g=1}^n H_g}$$

ersetzt. Hierbei gibt H_g den Erfüllungsgrad der Regel g und f_g der Flächenschwerpunkt der entsprechenden Zugehörigkeitsfunktion am Ausgang an; n repräsentiert die Anzahl aktiver Regeln. Die Weiterführung des Beispiels führt zur Berechnung von $f_{res} = 0,78$. Abb. 5.41

¹⁰² Andere Methoden sind z. B. die *Maximum-Methode*, die *Maximum-Mittel-Methode* und die *Akkumulationsmethode*. Diese Methoden weisen jedoch eine Reihe von Nachteilen auf (z. B. Betrachtung von nur einer aktiven Regel, Nichtbeachtung des Erfüllungsgrads, sprunghafte Ausgangsgrößenverläufe), sodass ihre Anwendung im vorliegenden Fall problematisch erscheint. Zu den Verfahren und den Vor- und Nachteilen vgl. z. B. Kahlert/Frank (1993), S. 89ff.

zeigt den Vorgang der Defuzzifizierung am Beispiel der Ausgangsgröße *Wiedereinsatzbarkeit Motor*.

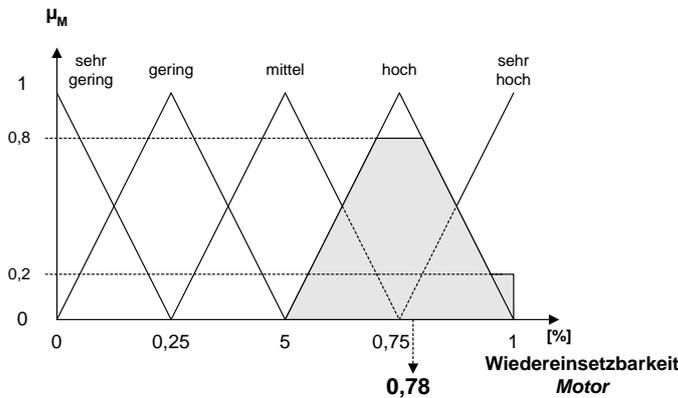


Abb. 5.41: Defuzzifizierung nach der Schwerpunktmethode

5.5.4 Funktionen

5.5.4.1 Prozessmodell

Analog zur prädiktiven Zeit- und Kapazitätsplanung wird zunächst die Variantenkonfiguration durchgeführt (s. Abb. 5.42). Im Rahmen der reaktiven Zeit- und Kapazitätsplanung werden dabei keine Wiedereinsatzwahrscheinlichkeiten p^{WE} , sondern altgerätespezifische Wiedereinsatzbarkeiten WE berücksichtigt. Die Wiedereinsatzwahrscheinlichkeiten werden im Rahmen eines externen Fuzzy-Systems ermittelt (s. Kapitel 5.5.3). In der Terminierung werden die Planaufträge in Demontageauftragsnetze überführt. Die frühestmöglichen und spätestzulässigen Anfangs- und Endtermine werden ohne Beachtung von Kapazitätsrestriktionen bestimmt. Im Anschluss an die Terminierung wird daher eine Kapazitätsplanung durchgeführt. Das terminierte und kapazitiv validierte Demontageprogramm wird im Rahmen der Auftragsfreigabe zur Feinplanung an die Demontagesteuerung übergeben.

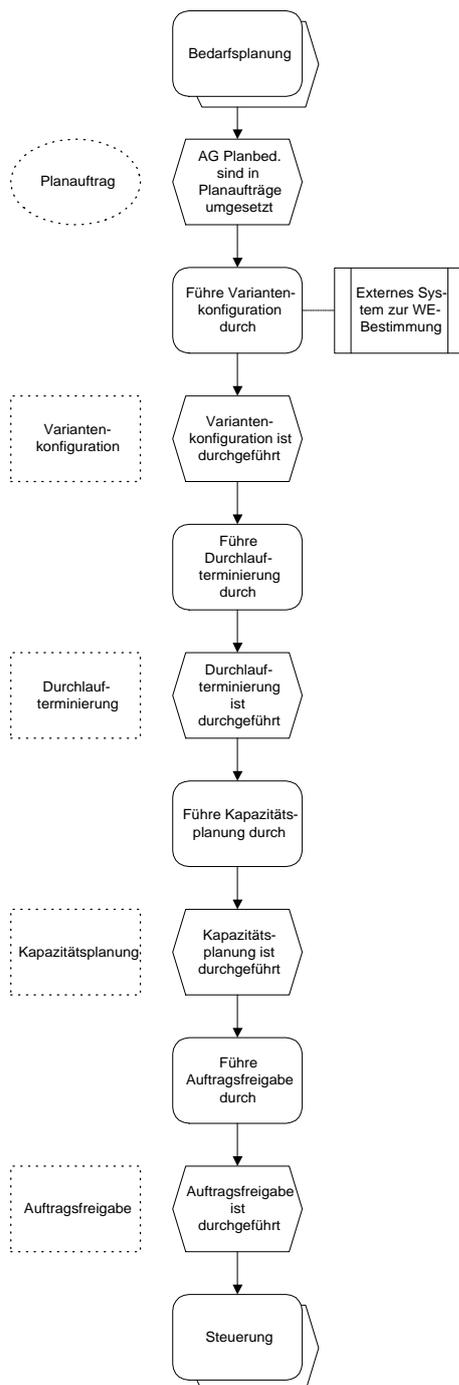


Abb. 5.42: Prozessmodell zur reaktiven Zeit- und Kapazitätsplanung

5.5.4.2 Variantenkonfiguration

Bei der Variantenkonfiguration im Rahmen der reaktiven Zeit- und Kapazitätsplanung muss die *Individualität* der Altgeräte berücksichtigt werden. Die Voraussetzung für eine individuelle Behandlung ist die eindeutige Zuordnung von Altgerät und Auftrag. Im Rahmen der Altgeräte-Zustandsbestimmung werden altgerätespezifische Zustandsschlüssel

vergeben. Ziel der Variantenkonfiguration ist die Einplanung derjenigen Altgeräte, die einen gegebenen Demontageerzeugnis-Bedarf kostenminimal befriedigen. Die Forderung nach minimalen Kosten wird durch die Forderung nach Auswahl der Altgeräte mit dem besten Zustandsschlüssel substituiert (s. Abb. 5.43). Dabei wird angenommen,

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

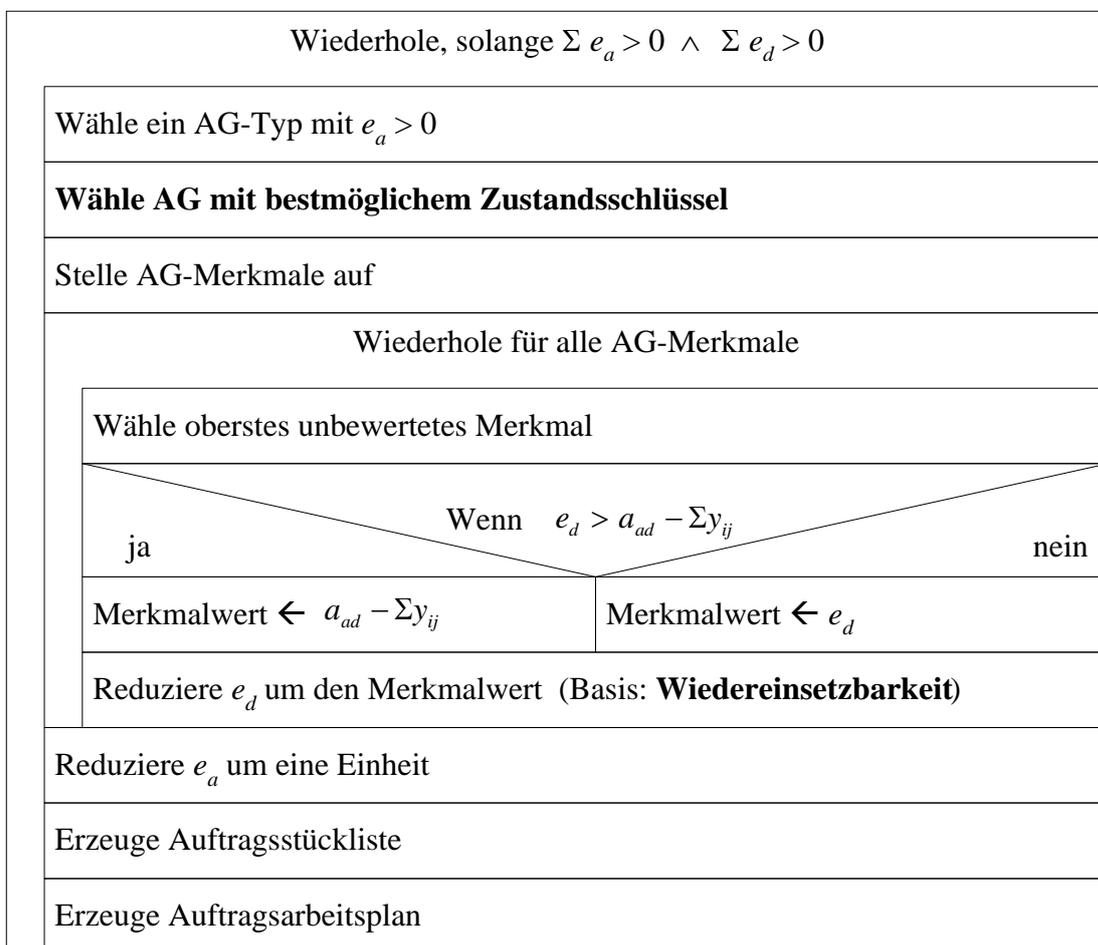


Abb. 5.43: Algorithmus zur reaktiven Variantenkonfiguration¹⁰³

Wird die Richtigkeit dieser Annahmen unterstellt,

- lassen sich Demontageerzeugnisse *schneller* vereinzeln,

¹⁰³ Die Änderungen hinsichtlich des Algorithmus zur *prädiktiven* Variantenkonfiguration (s. Abb. 5.29) sind hervorgehoben.

- 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.

5.5.4.3 Durchlaufterminierung

Die Durchlaufterminierung der reaktiven Zeit- und Kapazitätsplanung verläuft analog zur Durchlaufterminierung der prädiktiven Zeit- und Kapazitätsplanung.

5.5.4.4 Kapazitätsplanung

Der Altgerätezustand ist im Allgemeinen durch Modifikation, Beanspruchung und Funktion (s. Kapitel 4.5.1) charakterisiert. Im Rahmen der Altgeräte-Zustandsbestimmung (s. Kapitel 5.5.3) wird der Zustand durch individuelle Merkmale (z. B. Baujahr, Nutzungsintensität, Ausfallursache) operationalisiert. Der Zustandsschlüssel wird als zusätzliches Feld im Auftrag mitgeführt (s. Abb. 5.44).



Abb. 5.44: ER-Diagramm zur Ergänzung der Auftragsattribute

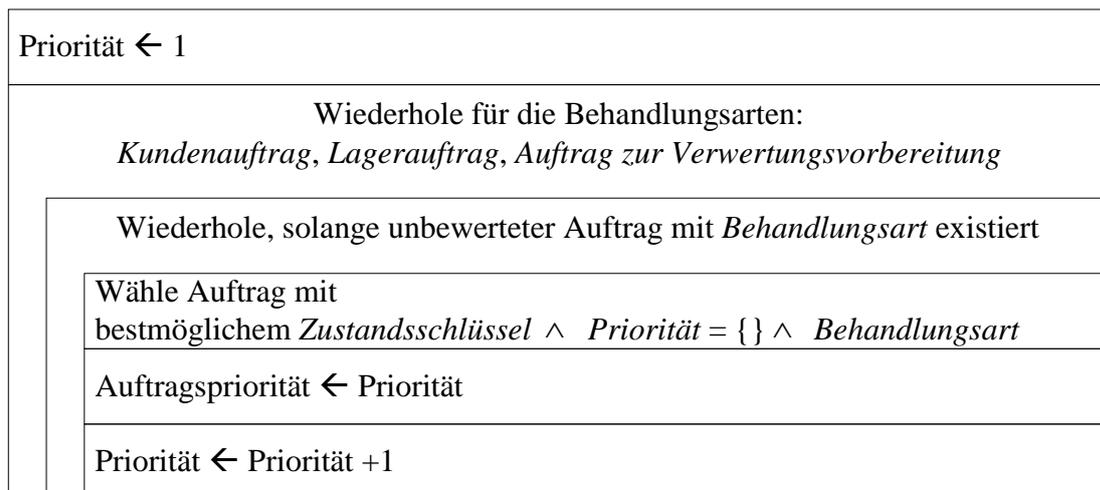


Abb. 5.45: Algorithmus zur Bildung von Auftragsprioritäten

In der Kapazitätsplanung können die Aufträge entsprechend ihrer Priorität umgeplant werden. Die Priorität eines Auftrags ergibt sich aus dem *Zustandsschlüssel* in Verbindung

mit dem Merkmal *Behandlungsart*. Beispielsweise könnte der Abb. 5.45 dargestellte Algorithmus zur Bildung von Auftragsprioritäten eingeführt werden.

5.5.4.5 Auftragsfreigabe

Die *Auftragsfreigabe* stellt das Bindeglied zwischen Planungs- und Realisierungsphase dar (vgl. Scheer (1998), S. 275). Die zentral freigegebene Aufträge werden zur Feinplanung an die dezentrale Demontagesteuerung übergeben. Die Auftragsfreigabe wird daher zur Demontageplanung gerechnet. Ähnlich wie die Einordnung der Beschaffungsplanung in die prädiktiven Zeit- und Kapazitätsplanung ist die Zuordnung der Auftragsfreigabe zur reaktiven Zeit- und Kapazitätsplanung nicht unproblematisch. Diese Zuordnung erfolgt, um zu verdeutlichen, dass die Auftragsfreigabe ausschließlich im Rahmen der reaktiven Zeit- und Kapazitätsplanung und nur für die aktuelle Planungsperiode durchgeführt wird.

Zentrale Aufgabe der Auftragsfreigabe ist die Bestimmung der in einer Planungsperiode auszuführenden Aufträge und deren Überstellung an die Feinsteuerung (vgl. Scheer (1998), S. 284). Weiterhin muss die Verfügbarkeit benötigter Materialien und Ressourcen sichergestellt werden (vgl. Wiendahl (1987), S. 158ff.). Bei Durchführung der Auftragsfreigabe werden alle Aufträge, deren Starttermin in die Planungsperiode fällt, auf ihre Freigabemöglichkeit (z. B. Prüfung der Altgeräte-Verfügbarkeit) untersucht und entsprechend der Prioritäten sortiert. Sind Materialien und Kapazitäten eines Auftrags verfügbar, werden sie reserviert. Der Auftrag erhält den Status *freigegeben*. Die Auftragsfreigabe beinhaltet keine Freigabe zur *Durchführung* der Demontage, sondern die Freigabe zur *Planung* der Aufträge durch die Demontagesteuerung.

Bezüglich des Freigabealgorithmus kann zwischen *statischer* und *dynamischer* Auftragsfreigabe unterschieden werden (vgl. Scheer (1998), S. 286):

- Die Auftragsfreigabe wird als *statisch* bezeichnet, wenn sie auf Basis einer Verfügbarkeitsprüfung durchgeführt wird, die den aktuell physisch vorhandenen Materialbestand zur Grundlage hat.
- Als *dynamisch* wird eine Auftragsfreigabe bezeichnet, wenn sie auf Basis einer Verfügbarkeitsprüfung durchgeführt wird, die einen dispositiven Materialbestand (z. B. geplante Materialzugänge aus Beschaffungsaufträgen und den aktuell physisch vorhandenen Materialbestand) zur Grundlage hat.

Während in der konventionellen Produktion beide Verfahren zum Einsatz kommen und die dynamische Auftragsfreigabe oftmals als das fortschrittlichere Verfahren genannt wird (vgl. Kurbel (1999), S. 167), kommt im Rahmen der Demontageplanung nur die *statische*

Auftragsfreigabe zur Anwendung. Eine *dynamische* Auftragsfreigabe würde eine Feinplanung der auf Basis von Wiedereinsatzwahrscheinlichkeit p_{ij}^{WE} terminierten Auftragsnetze bedeuten. In die Feinplanung werden jedoch nur Auftragsnetze aus der Zeit- und Kapazitätsplanung übernommen, die auf Basis der Zustände physisch vorliegender Altgeräte erstellt wurden (s. Kapitel 5.5). Durch diese Vorgehensweise können Unsicherheiten im Rahmen der Demontagesteuerung reduziert werden.

5.6 Steuerung

5.6.1 Einführung

Mit Beginn der Produktionssteuerung ist die Planungsphase beendet und die Realisierungsphase wird eingeleitet. Die Produktionssteuerung wird nach der Produktionsplanung ausgeführt. Die Schwächen vorausgehender Funktionsgruppen (s. Kapitel 4.4.2) fließen in die Steuerung ein. Zur Berücksichtigung der Ersatzziele werden im Rahmen der Steuerung in erster Linie *Prioritätsregelverfahren* eingesetzt (vgl. Rautenstrauch (1999), S. 61f.). *Optimierende* Verfahren sind auf Grund multikriterieller Zielfunktionen und Berücksichtigung stochastischer Einflüsse in der Regel nicht anwendbar (vgl. Tuma u. a. (1999), S. 15).

Im Anschluss an die Zeit- und Kapazitätsplanung liegt ein terminlich und kapazitiv validierter Grobplan vor, der noch keine definitive bzw. bindende Vorgabe für den Fertigungsbereich darstellt. Verbindliche Vorgaben entstehen erst, wenn die für die aktuelle Planungsperiode feingeplanten Aufträge *freigegeben* werden (vgl. Kurbel (1999), S. 165; Scheer (1998), S. 274).

Die Steuerung umfasst die Funktionsgruppen

- *Feinsteuerung* und
- *Betriebsdatenerfassung* (s. Kapitel 4.4.1).

In der Steuerung findet ein rollierender, iterativer, teilweise simultaner Prozess statt (vgl. Tuma/Franke (1999), S. 23), dessen einzelne Funktionen als Elemente eines vermaschten Regelkreises interpretiert werden können (vgl. Scheer (1998), S. 283). Grundsätzlich werden im Rahmen der Steuerung die gleichen Datenstrukturen verwendet wie in vorgelagerten Stufen der Planung. In diesem Zusammenhang besteht die Aufgabe der Steuerung darin, Daten (z. B. Zeitangaben, Betriebsmittelzuordnungen) zu verfeinern bzw. zu aktualisieren. Beispielsweise werden Ecktermine aus der Terminierung (frühester Start- und spätester Endtermin) im Rahmen der Feinplanung durch genaue Start- und Endtermine ersetzt.

Oftmals sind zentralistische PPS-Systeme nicht geeignet, Aufgaben der Produktionssteuerung zu unterstützen (vgl. Kurbel (1999), S. 173). Insbesondere für mittelständische Betriebe sind Steuerungsfunktionen, die auf dem MRP II-Konzept basieren, in der Regel zu inflexibel (vgl. Adam (1992), S. 12). Umständliche Handhabung und geringen Flexibilität bei Reaktionen auf Störungen (z. B. kurzfristige Planänderungen) stellen Ursachen für diese Inflexibilität dar (vgl. Rautenstrauch/Turowski (1998), S. 147). Dies hat z. T. zu einer systemtechnischen und konzeptionellen Loslösung der Steuerung von der PPS geführt. *Elektronische Leitstände* wurden als dezentrale, dedizierte Systeme entwickelt, um die Aufgaben der Produktionssteuerung abbilden zu können (vgl. Kurbel (1999), S. 173). Die Art der dezentralen Steuerung hängt u. a. vom Betriebstyp der Demontagefabrik ab (vgl. Huber (2000c), S. 78).

Neben dem Trend zur flexiblen Produktion lässt sich in letzter Zeit eine Verschiebung innerhalb des Zielkalküls betrieblicher Entscheidungen feststellen: Außer einer stärkeren Bedeutung kundenorientierter Ziele (z. B. Liefertreue, Lieferqualität) zeigt sich eine zunehmende Relevanz umweltorientierter Zielvorstellungen (vgl. Tuma u. a. (1999), S. 9). Im Zusammenhang mit dieser Entwicklung wurde die on-demand-Orientierung der Demontagefabrik erarbeitet (s. Kapitel 5.1).

Die Demontage stellt hohe Flexibilitätsanforderungen an die Steuerung (vgl. Schneider/Stobitzer (1997), S. 110; Wiendahl/Bürkner (1998), S. 597). Diese ergeben sich u. a. durch die hohe Störanfälligkeit des Demontageprozesses (vgl. Gupta/Veerakamolmal (1999), S. 141). Die duale Leistungssituation der Demontagefabrik ist in der Steuerung, insbesondere im Rahmen eines theoretische Entscheidungsmodells der Demontagesteuerung, zu berücksichtigen. Weitere demontagespezifische Besonderheiten bzw. Anpassungen (Prioritätsregelverfahren, Störungsmanagement und Anforderungen an die BDE) werden im Zusammenhang mit der Diskussion einzelner Funktionsgruppen vorgestellt.

Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt in der Erstellung eines Konzepts für die *Demontageplanung*. Die Ausgestaltung der *Demontagesteuerung* hängt von der individuellen Organisationsform der betrachteten Unternehmung ab. Aspekte der Steuerung werden deshalb in einem theoretischen Modell betrachtet. Insbesondere werden demontageinduzierte Rückkopplungen von der Steuerung zur Planung dargestellt.

5.6.2 Entscheidungsmodell

Im Folgenden wird das theoretische Entscheidungsmodell der Produktionssteuerung vorgestellt und hinsichtlich der Demontagesteuerung exemplarisch spezifiziert. Das Entscheidungsmodell der Steuerung umfasst die Festlegung

- der *Zielvorstellungen*,
- der *Entscheidungsvariablen* bzw. des *Entscheidungsraums* sowie
- der *Rahmenparameter* (vgl. Schweitzer (1990), S. 37ff.).

Aus geeigneter Operationalisierung von Zielsetzungen lassen sich Zielfunktionen ableiten. Durch Verknüpfung von Zielfunktionen mit entsprechenden Entscheidungskriterien können Zielvorstellungen gebildet werden. Hinsichtlich der Entscheidungskriterien können Extremierung (Maximierung bzw. Minimierung), Satisfizierung und Fixierung unterschieden werden (vgl. Kosiol (1968), S. 249). Die Menge aller Zielvorstellungen bildet das Zielsystem. Betriebswirtschaftliche Zielsetzungen im Rahmen der Produktionssteuerung betreffen insbesondere die Kundenorientierung, die hohe Flexibilitätsanforderungen impliziert (vgl. Tuma/Franke (1999), S. 25). Im Zusammenhang mit der Demontagesteuerung muss die Zielsetzung der Kundenorientierung differenziert betrachtet werden. Bedingt durch die duale Leistungssituation der Demontagefabrik (s. Kapitel 3.1) wird Kundenorientierung unterteilt in

- Kundenorientierung hinsichtlich *Produzentenleistung* (Erzeugung von Demontageerzeugnissen) und
- Kundenorientierung hinsichtlich *Serviceleistung* (Abnahme und anschließende Verwertungsvorbereitung von Altgeräten).

Die Zielsetzungen der Kundenorientierung sind eng verknüpft mit der Forderung nach Effizienz der Demontageleistung. Die Demontageleistung wird als effizient bezeichnet, wenn Altgeräte, die im Rahmen der Serviceleistung anfallen, optimal zur Befriedigung von Demontageerzeugnis-Bedarfen (Produzentenleistung) genutzt werden (s. Kapitel 5.2.1). Die Zielsetzung der Kundenorientierung betrifft die bereits (s. Kapitel 4.2) benannten Marktziele *niedrige Durchlaufzeiten* und *hohe Termintreue und Lieferbereitschaft*. Als weitere Zielsetzungen können die Betriebsziele *geringe Bestände* und *hohe und gleichmäßige Kapazitätsauslastung* genannt werden (vgl. Tuma/Franke (1999), S. 24). Generell sind, wie auch im Rahmen der Planung, demontagespezifische Zielfunktionen und -vorstellungen aufzustellen. In konventionellen Produktionsbetrieben ist in den letzten Jahren zunehmend die Zielsetzung *geringe Bestände* gegenüber der Zielsetzung *hohe und gleichmäßige Kapazitätsauslastung* in den Vordergrund gerückt (vgl. z. B. Kurbel (1999),

S. 21f.). Auf Grund evtl. geringerer Kapitalbindungskosten¹⁰⁴ im Rahmen der Demontage (vgl. Wiendahl/Bürkner (1999), S. 592) kann es dazu kommen, dass sich die Zielgewichtung erneut verschiebt, und die Zielsetzung *hohe und gleichmäßige Kapazitätsauslastung* wieder mit im Vordergrund steht. Entsprechend demontagespezifisch getroffener Differenzierung bezüglich der Zielsetzung *Kundenorientierung* können zwei Zielfunktionen aufgestellt werden, für deren Zielvorstellung nachfolgend je ein Beispiel gegeben wird:

- Hinsichtlich nachgefragter *Produzentenleistung*: Minimierung der *quadratischen* Abweichung zwischen gewünschtem und realisiertem Fertigstellungstermin.
- Hinsichtlich nachgefragter *Serviceleistung*: Minimierung der *einfachen* Abweichung zwischen gewünschtem und realisiertem Fertigstellungstermin.

Der zweite Fall wird (gegenüber dem erstgenannten Fall) weniger stark gewichtet, da Altgeräte zwischengelagert werden können, ohne kundenwirksame Bereiche (z. B. Termintreue) zu berühren. Dass die Verwertungsvorbereitung von Altgeräten (Serviceleistung) überhaupt eine kundenorientierte Zielsetzung darstellt, ist mit der Ursache-Wirkungs-Kette zwischen Nichtleistung der Verwertungsvorbereitung und geringerer Altgeräte-Aannahmepotenziale zu begründen: Werden Altgeräte, die zur Verwertungsvorbereitung anstehen, nicht demontiert, sondern eingelagert, kann es dazu kommen, dass sich die Annahmefähigkeit verschlechtert. Eine schlechtere Altgeräte-Aannahmefähigkeit kann dem Ziel der Kundenorientierung entgegenstehen.

Zentrale Aufgabe der Entscheidungsträger auf Funktionsebene der Demontagesteuerung ist die zeitliche Zuordnung von Aufträgen bzw. Arbeitsgängen zu Betriebsmitteln. Hierdurch werden verschiedene Entscheidungen notwendig, die sich zu folgenden Entscheidungsvariablen zusammenfassen lassen (vgl. Tuma/Franke (1999), S. 27):

- *Auftragsselektion*: Gibt an, ob ein bestimmter Auftrag in der betrachteten Planungsperiode freigegeben wird.
- *Kapazitätsnutzung*: Gibt an, ob, mit welcher Intensität und zu welchen Zeiten ein Betriebsmittel aktiviert wird.
- *Einlastung*: Gibt die zeitliche Zuordnung von Aufträgen bzw. Arbeitsgängen zu einem Betriebsmittel an.

Durch Zuordnung von Werten zu Entscheidungsvariablen und deren Verknüpfung ergibt sich ein Planungsergebnis. Die Zuordnung unterliegt Restriktionen, ohne deren Beachtung sich ein unzulässiges Planungsergebnis ergeben kann. Unter Zugrundelegung folgender

¹⁰⁴ Zur Ermittlung der Kapitalbindungskosten s. Kapitel 4.2.

Restriktionen kann der Entscheidungsraum definiert werden (vgl. Tuma/Franke (1999), S. 28f.):

- *Zeit- bzw. betriebsmittelbezogen*: Betrifft die Deaktivierung bzw. intensitätsmäßige Beschränkung von Betriebsmitteln.
- *Auftrags- bzw. arbeitsgangbezogen*: Betrifft die Gewährleistung der Auftragsabarbeitung bzw. Einhaltung von Reihenfolgen.
- *Technologiebezogen*: Betrifft die Zuordnung von Arbeitsgängen zu Betriebsmitteln inkl. entsprechender Intensitäten.
- *Kapazitätsbezogen*: Betrifft kapazitive Restriktionen von Betriebsmitteln und Ressourcen.

Bezüglich technologischer Restriktionen ist zu beachten, dass sich im Gegensatz zur deterministischen, konventionellen Produktion auf Grund unvorhersehbarer Altgerätezustände und der sich dadurch evtl. ergebenden Undurchführbarkeit eines Arbeitsganges (z. B. Entschrauben einer Verbindung) auf einem bestimmten Betriebsmittel die Notwendigkeit ergeben kann, entsprechend der Art der Undurchführbarkeit (z. B. korrodiert), Arbeitsgänge auf einem alternativen aber nachrangigen Betriebsmittel (z. B. Schneidstation) auszuführen. Im Rahmen der Demontagesteuerung muss somit zwischen hinsichtlich ihrer Funktion gleichrangigen (z. B. Entschrauben oder *Aufbohren*) und nachrangigen (z. B. Entschrauben oder *Aufschneiden*) alternativen Arbeitsgängen unterschieden werden. Hinsichtlich kapazitätsbezogener Restriktionen sind demontagespezifische Kapazitäten (z. B. Schadstoffaufnahme Potenzial) zu berücksichtigen.

Zur Ableitung des Entscheidungsmodells der Produktionssteuerung ist neben der Festlegung von Zielvorstellungen, der Bestimmung der Entscheidungsvariablen bzw. des Entscheidungsraums eine Spezifikation der Rahmenparameter erforderlich. Dazu gehören u. a. Fertigstellungstermine und Durchlaufzeiten. Im Rahmen der Demontagesteuerung ist zu berücksichtigen, dass Kunden- und Lageraufträge zur Wiedereinsatzvorbereitung bzw. Aufträge zur Verwertungsvorbereitung unterschiedliche Prioritäten bezüglich der Fertigstellungstermineinhaltung aufweisen. Weiterhin muss beachtet werden, dass Durchlaufzeiten auf Grund demontagespezifischer Unsicherheiten potenziell Schwankungen unterliegen (s. Kapitel 4.5.1).

5.6.3 Demontageleitstand

Die Feinsteuerung in der Demontage ist stochastischen Einflussgrößen ausgesetzt, die in konventionelle (z. B. Personal- und Maschinenausfall) und demontagespezifische (z. B. technische Undurchführbarkeit eines geplanten Arbeitsgangs) Einflussgrößen unterteilt werden können. Zentralistische PPS-Systeme sind oftmals nicht geeignet, Aufgaben der

Feinsteuerung zu unterstützen (s. Kapitel 5.6.1). Bedingt durch Komplexität und Unsicherheit des Demontageprozesses (s. Kapitel 4.5) sind zahlreiche Funktionen nur durch dezentrale Instanzen auf der Basis des vor Ort verfügbaren Wissens zu bewältigen (vgl. Corsten/Reiss (1991), S. 625). Aus diesem Grund wird im Folgenden eine dezentrale Fertigungssteuerung vorgestellt, die auf dem Konzept der elektronischen Leitstände¹⁰⁵ basiert.

Demontageleitstände werden als dezentrale Einheiten bezeichnet, wenn mit einem Leitstand ein Bereich in gewissem Rahmen autonom geplant werden kann (vgl. Rautenstrauch/Turowski (1998), S. 158)¹⁰⁶. Während die zentrale Demontageplanung auf Werksebene (z. B. Demontagefabrik) angesiedelt ist, basiert die dezentrale Demontagesteuerung auf Bereichsebene (z. B. Demontageinsel). Hierdurch wird eine organisatorische Trennung von Planung und Steuerung vorgenommen. Durch die Trennung wird eine Segmentierung des Auftragsbestands auf mehrere Bereiche induziert, die zu einer Komplexitätsreduktion gegenüber dem Gesamtproblem führt (vgl. Scheer (1998), S. 309; Wiendahl et al. (1999), S. 721; Zäpfel (1996), S. 230). Leitstände stellen Bindeglieder zwischen Planung und Durchführung des Produktionsablaufs dar. Ziel ihres Einsatzes ist die Verbesserung von Wirtschaftlichkeit, Flexibilität und Transparenz des Fertigungsablaufs unter Beachtung der PPS-Ersatzziele (vgl. Fandel u. a. (1997), S. 517f.).

Ein Demontageleitstand stellt eine eigenständige konzeptionelle Entwicklung dar, die sich an die Auftragsfreigabe des (zentralen) DPS-Systems anschließt. Ausgangspunkt sind daher die vom zentralen PPS-System freigegebenen Aufträge mit frühesten Start- und spätesten Endterminen. Die Auftragsfreigabe beinhaltet nicht die Freigabe entsprechender Aufträge zur *Durchführung* der Demontage, sondern die Freigabe zur *Planung* der Aufträge durch den Leitstand (s. Kapitel 5.5.4.5). Die Auftragsdaten werden vom Leitstand übernommen, der die Arbeitsgänge innerhalb der entsprechenden Zeitspanne autonom Kapazitäten zuordnet und terminiert. Entsprechende Pufferzeiten dienen dem Leitstand zur eigenständigen Disposition. Dabei werden Algorithmen eingesetzt, die den Disponenten hinsichtlich Steuerungssituation und Störungsbewältigung unterstützen, aber nicht ersetzen. Die Kombination aus Datenaktualität, Algorithmenunterstützung und menschlichem Erfahrungswissen kann als Vorteil der Leitstandsorganisation gesehen werden (vgl. Scheer (1998), S. 310). Zentrale Aufgaben eines Leitstands sind

¹⁰⁵ In der Literatur wird z. T. zwischen *elektronischen* und *technischen* Leitständen unterschieden. Während bei elektronischen Leitständen dispositive Funktionen im Vordergrund stehen, zeichnen sich technische Leitstände (sog. *Leitsysteme*) durch Funktionen der Prozesssteuerung und -überwachung automatisierter Fertigungssysteme aus (vgl. z. B. Zäpfel (1996), S. 242).

¹⁰⁶ Leitstände können als *Komponenten* von PPS-Systemen aufgefasst werden. Durch das Leitstandskonzept wird prinzipiell die Erweiterung eines PPS-Systems zu einem *verteilten PPS-System* vollzogen (vgl. Rautenstrauch/Turowski (1998), S. 158).

- die Betriebsmittelbelegungsplanung,
- die Kapazitätsdisposition,
- die Auftragssteuerung und
- die Fertigungsüberwachung (vgl. Kurbel (1999), S. 233; Zäpfel (1996), S. 229).

Zusätzliche Aufgaben sind u. a.

- die Verfügbarkeitsprüfung,
- die Erstellung von Statistiken und Auswertungen sowie
- die Auftrags-/Arbeitsgangrückmeldung an die Planung (vgl. Hoff/Liebrand (1990), S. 283ff.; Kurbel (1999), S. 249).

Im Folgenden werden die Planungsschritte des Demontageleitstandskonzepts beschrieben. Die Planungsschritte sind an einen idealtypischen Planungsvorgang angelehnt (vgl. Rautenstrauch/Turowski (1998), S. 151) und werden um demontagespezifische Aspekte erweitert:

- Nach Freigabe der durch den Leitstand feinzuplanenden Aufträge durch das zentralistische DPS-System werden die auszuführenden Arbeitsgänge eingeplant (feinterminiert).
- Im nächsten Schritt erfolgt die Freigabe zur *Durchführung* bestimmter Demontagearbeitsgänge.
- Kommt es zu Störungen während des Demontageablaufs, werden diese von der BDE an den Demontageleitstand rückgemeldet. Daraufhin können betroffene Arbeitsgänge (z. B. zeitlich oder auf alternative Betriebsmittel) umgeplant werden.
- Nach der Fertigmeldung werden die ausgeführten Arbeitsgänge an das zentrale DPS-System zurückgegeben und aus der elektronischen Plantafel entfernt.

Der Datenfluss zwischen Demontageleitstand und DPS-System ist in Abb. 5.46 dargestellt.



Abb. 5.46: Datenfluss zwischen Demontageleitstand und DPS-System¹⁰⁷

Den hohen Flexibilitätsanforderungen der Demontage kann am besten durch eine Leitstandsorganisation entsprochen werden, bei der das zentrale DPS-System lediglich Grob-

¹⁰⁷ Diese Darstellung basiert auf einem PPS-spezifischen Grundmodell (vgl. Rautenstrauch/Turowski (1998), S. 151).

termine bereitstellt und die Leitstände autonom agieren. Insofern besteht die Aufgabe des DPS-Systems darin, Eckdaten zu übergeben und Rückmeldungen über den Status von Aufträgen entgegenzunehmen und zu verarbeiten. Die Leitstände steuern die Durchführung des Demontageprozesses im Rahmen des durch die Planung definierten Zeitraums. In der Demontage muss hinsichtlich der Leitstandskonzeption beachtet werden, dass Bereiche, denen jeweils ein Leitstand zugeordnet ist, in der Regel nicht voneinander isoliert sind, sondern, über Auftragsnetze verbunden, hohe Interdependenzen aufweisen können (z. B. kann sich ein Terminverzug in einem Bereich auf den Arbeitsvorrat in anderen Leitstandsbereichen auswirken). Entsprechend der Demontageanforderungen erscheint eine zweistufige Leitstandsorganisation sinnvoll, bei der ein hierarchisch übergeordneter Leitstand Koordinationsfunktionen hinsichtlich der dezentralen Planung bzw. Informationsversorgung wahrnimmt. Insbesondere besteht die Aufgabe des Koordinationsleitstands in der Ermittlung von Störungsauswirkungen zwischen verschiedenen Leitstandsbereichen (vgl. Scheer (1998), S. 310).

5.6.4 Funktionsgruppen

5.6.4.1 Feinsteuerung

Nach der Freigabe werden die Aufträge Arbeitsplätzen zur Weiterverarbeitung übergeben. Die Weiterverarbeitung findet in der *Feinsteuerung* statt. Die Grobpläne aus der Planung werden konkretisiert, sodass exakte Start- und Endtermine für Arbeitsgänge determiniert bzw. den einzelnen Arbeitsgängen konkrete Betriebsmittel zugeordnet werden (vgl. Kurbel (1999), S. 167). In diesem Zusammenhang werden über Algorithmen (automatisch) oder über Disponenten (interaktiv) Arbeitsgangsequenzen gebildet. Eine Sequenz umfasst eine Folge ähnlicher Arbeitsgänge, die ohne Rüstunterbrechung abgearbeitet werden können (vgl. Scheer (1998), S. 306). Nach Abschluss der Feinsteuerung findet eine Freigabe auf Arbeitsgangebene statt, diese Arbeitsgangfreigabe ist *statisch*, da die zu Grunde liegende Verfügbarkeitsprüfung auf das physische, zeit- und ortsgerechte Vorhandensein ausgerichtet ist (vgl. Scheer (1998), S. 282). Durch die Arbeitsgangfreigabe werden Betriebsmittel bzw. Materialien fest gebunden, d. h. entsprechende Zuordnungen erhalten, z. B. den Status *in Bearbeitung*. Ergebnis der Feinsteuerung ist die Aufstellung detaillierter Ablaufpläne der Arbeitsgänge und Belegungs- sowie Zuordnungspläne der Betriebsmittel (vgl. Scheer (1998), S. 307). Die Feinplanung wird als *statisch* bezeichnet, falls vor der Planung alle relevanten Aufträge bekannt sind und keine weiteren Aufträge eingeplant werden. Eine *dynamische* Feinplanung liegt vor, wenn die Planung bei neu hinzukommenden Aufträgen angepasst wird (vgl. Rosenberg u. a. (1993), S. 6).

Im Bereich der Betriebsmittelbelegungsplanung sind zahlreiche Modelle und Methoden entwickelt worden, dennoch haben optimierende Verfahren bisher kaum Eingang in konventionelle PPS-Systeme gefunden. In der Regel kommen Prioritätsregelverfahren zum Einsatz, die sich an PPS-Ersatzzielen orientieren und diese in unterschiedlichem Maße unterstützen. Arbeitsgänge werden auf Basis von Prioritätsregelverfahren zu neuen Einheiten (Sequenzen) gebündelt. Gängige Prioritätsregeln sind u. a. die

- Selektion des Auftrags mit der *kürzesten Bearbeitungszeit*,
- Selektion des Auftrags mit der *höchsten Priorität*,
- Selektion des Auftrags mit den *geringsten Umrüstkosten* und
- die *Kombination* von Prioritätsregeln (vgl. z. B. Fandel u. a. (1997), S. 374ff.; Kurbel (1999), S. 169f.).

Demontagespezifische Relevanz besitzen z. B. die Prioritätsregeln *höchste Priorität* und *geringste Umrüstkosten*:

- Unter Beachtung der *Marktziele* (s. Kapitel 4.2), bietet es sich an, Kunden-, Lager- bzw. Verwertungsaufträge unterschiedlich zu priorisieren und eine entsprechende Einplanung vorzunehmen. Dadurch kann eine kundenorientierte Demontageleistung unterstützt werden¹⁰⁸.
- Kennzeichen der in dieser Arbeit untersuchten Demontagefabrik ist die Heterogenität des Altgerätespektrums (s. Kapitel 3.3.2). Abhängig von der vorliegenden Heterogenitätsbreite bietet es sich an, Aufträge hinsichtlich einer Reduktion von Umrüstkosten einzuplanen. Dies wird insbesondere dann relevant, wenn Rüstvorgänge zeitaufwendig sind und einen signifikanten Teil der Kapazitäten binden (vgl. Kurbel (1999), S. 171f.). Die in der Bedarfsplanung durchgeführte Losbildung auf Auftrags-ebene ist problematisch, da z. B. Umrüstvorgänge nicht auftrags-, sondern arbeitsgangspezifisch anfallen können. Die erneute Losbildung (Bildung von Sequenzen) auf Feinsteuerungsebene ist daher ein konsequenter Schritt (vgl. Scheer (1998), S. 302).

Neben der Betriebsmittelbelegungsplanung und Arbeitsgangfreigabe sind im Rahmen der Feinsteuerung evtl. auftretende Störungen zu bewältigen. „Störungen sind Ereignisse, die unerwartet eintreten und eine Unterbrechung oder zumindest Verzögerung der Aufgabendurchführung zur Folge haben können ...“ (Zäpfel (1996), S. 237)¹⁰⁹. Generell sind Abweichungen von Soll- und Istdaten auf Störungen zurückzuführen. Störungen im Rahmen der Steuerung betreffen in erster Linie die Bereitstellung bzw. Verfügbarkeit von Pro-

¹⁰⁸ Ein Beispiel für eine entsprechende Prioritätsregel wurde in Kapitel 5.5.4.4 gegeben.

¹⁰⁹ Zu einer umfassende Literaturanalyse zum produktionsorientierten Störungsmanagement vgl. Patig (1999).

duktionsfaktoren (vgl. Tuma/Franke (1999), S. 24). Eine demontagespezifisch angepasste Klassifikation von Störungen ist im Folgenden angegeben (vgl. z. B. Zäpfel (1996), S. 237f.):

- *Dispositionbedingte Störung*: Beeinträchtigung im Demontageablauf bedingt durch fehlerhafte Informationen oder kurzfristig neue Tatbestände (z. B. fehlende Arbeitspläne, Auftragsstornierungen).
- *Personalbedingte Störung*: Beeinträchtigung im Demontageablauf bedingt durch ausführende Arbeitskräfte (z. B. Personalausfall).
- *Betriebsmittelbedingte Störung*: Beeinträchtigung im Demontageablauf bedingt durch unerwartet eintretende Ereignisse an Betriebsmitteln (z. B. Maschinenausfall).
- *Materialbedingte Störung*: Beeinträchtigung im Demontageablauf bedingt durch (quantitativ oder qualitativ) mangelhafte Materialbereitstellung (z. B. Altgeräte-Minder Mengen, schlechter Altgerätezustand).

Während hinsichtlich der ersten drei Störungsarten bei entsprechend der Betriebstypologie ähnlichen, konventionellen Produktionsbetrieben vergleichbare Störungsbilder und Sicherungsmaßnahmen unterstellt werden können, sind materialbedingte Störungen differenziert zu betrachten: Quantitativ ungenügende Materialien können im Rahmen der Steuerung in der Regel ausgeschlossen werden, da eine dynamische Auftragsfreigabe nicht stattfindet, qualitativ ungenügende Materialien werden dagegen oftmals Störungen verursachen. Bezüglich der Demontageplanung wird als Materialqualität die Beschaffenheit eines Altgeräts bzw. einer aus einem Altgerät demontierten Komponente bezüglich der Eignung, im Rahmen der Arbeitvorbereitung festgelegte Erfordernisse zu erfüllen, definiert. Die *festgelegten Erfordernisse* beziehen sich auf die Anzahl unter Berücksichtigung von Wiedereinsatzwahrscheinlichkeiten bzw. Wiedereinsetzbarkeiten in einer Altgerätestückliste enthaltenen Demontageerzeugnisse.

Die Aufgabe des Störungsmanagements besteht darin (vgl. z. B. Wildemann (1995), S. 41ff.)

- Störungen zu verhindern (*Störungsabwehr*) bzw.
- mit bereits aufgetretenen Störungen umzugehen (*Störungsbewältigung*).

Während die Störungsabwehr *präventive* Maßnahmen umfasst (z. B. Intensivierung vorbeugender Instandhaltung), kann die Störungsbewältigung in die kombinierbaren Strategien

- *Antizipation*,
- *Ignoranz* und
- *Reaktion* unterteilt werden (vgl. Wildemann (1995), S. 85ff.).

Im Zusammenhang mit der Diskussion demontagespezifischer Besonderheiten werden im Folgenden die Strategien *Antizipation* und *Reaktion* untersucht, da Maßnahmen der *Störungsabwehr* eher allgemeingültigen, d. h. betriebstypologieunabhängigen Charakter haben (z. B. Verbesserungen der Instandhaltung, Personalqualifizierung oder Lieferantenauswahl) und die Strategie der *Ignoranz* gerade in der Nichtbeachtung von Abweichungen der Ist- von Sollwerten besteht.

Im Rahmen des vorgestellten DPS-Konzepts wird implizit davon ausgegangen, dass sich das Auftreten von Störungen nicht verhindern lässt. Insbesondere lassen sich solche Störungen nicht verhindern, die auf Grund unbekannter Altgerätezustände entstehen (z. B. Unlösbarkeit einer Verbindung, Nichtvorhandensein eines Demontageerzeugnisses). In diesem Zusammenhang wird die Strategie der Antizipation verfolgt: Durch *Wiedereinsatzwahrscheinlichkeiten* bzw. *Wiedereinsatzbarkeiten* wurde auf der Funktionsebene der Planung das Vorliegen qualitativ ungenügender Materialien antizipiert ((vgl. Huber/Marx-Gómez (2000a)). Die Berücksichtigung der *Wiedereinsatzwahrscheinlichkeiten* bzw. *Wiedereinsatzbarkeiten* führt zur Bildung von Reserven, die Möglichkeiten zur Absorption störungsbedingter Schwankungen darstellen. Eine lokal auftretende, (qualitative) materialbedingte Störung muss daher nicht zwangsläufig zu materialspezifischen Sicherungsmaßnahmen (z. B. Einplanung weiterer Altgeräte zur Demontage) führen, da global betrachtet evtl. die gewünschte Menge an Demontageprodukten erzeugt werden kann. Gleichwohl sind dispositive Anpassungen (z. B. Ableitung alternativer Arbeitsgänge, Umplanung der Betriebsmittelbelegung) vorzunehmen, die z. B. aus nicht zerstörungsfrei demontierbaren Teilen oder unlösbaren Verbindungen resultieren. Ziel ist, im Störungsfall eine Anpassung unter Beibehaltung der gewählten Demontagestrategie und unter Berücksichtigung bereits durchgeführter Prozessschritte zu erreichen (vgl. Schneider/Stobitzer (1997), S. 110). Entsprechende Planänderungen werden dem *reaktiven* Störungsmanagement zugerechnet. Der Initialplan kann hinsichtlich einzelner oder aller Werte geändert werden. Die vor dem Störungszeitpunkt liegenden Werte bleiben unverändert (vgl. REFA (1985c), S. 422). Werden einzelne Werte geändert, wird von *Umplanung* gesprochen; Ziel dabei ist, den Initialplan weitestgehend zu erhalten. Verfahren der Umplanung sind z. B. Mengenänderungen, Splitten oder Losteilung. Für Umplanungen im Rahmen des Störungsmanagements haben sich manuelle Planungstechniken durchgesetzt. Integritäts- bzw. Nebenbedingungen (z. B. Kapazitätsrestriktionen, Ecktermine) werden durch Leitstandsfunktionen gesichert (vgl. Rautenstrauch/Turowski (1998), S. 164). Falls ein Arbeitsgang nicht in der vorgesehenen Art ausgeführt werden kann, muss unterschied-

den werden, ob eine Durchführung unmöglich ist (z. B. wenn ein zu einzelndes Demontageerzeugnis nicht vorhanden ist) oder ob alternative Vorgehensweisen gewählt werden können. Im Fall der Undurchführbarkeit muss der Arbeitsgang mit seinen Nachfolgern ausgeplant werden; evtl. wird der gesamte Auftrag umterminiert und wieder eingeplant. Bei alternativen Vorgehensweisen kann eine Umplanung auf Durchführungsebene (z. B. Lösen einer Verbindung durch Aufbohren statt Entschrauben) geschehen, ohne dass hierzu Umplanungen im Demontageleitstand notwendig sind. Umplanungen könnten in diesem Rahmen z. B. nötig werden, wenn das alternative Betriebsmittel einen Engpass darstellt. In der Regel kann jedoch davon ausgegangen werden, dass Alternativbetriebsmittel keine Engpassbetriebsmittel sind. In diesem Zusammenhang kann es sinnvoll sein, eine nicht zu hohe Detaillierung auf Arbeitsgangebene anzustreben (s. Kapitel 5.4.3). Tatsächlich (d. h. global) entstehende Demontageerzeugnis-Minderungen können über die BDE an die Planung kommuniziert und mit einem höheren Prioritätsstatus erneut eingeplant werden. Globale Demontageerzeugnis-Minderungen sind ein Indiz für eine mangelhafte Festlegung der *Wiedereinsetzbarkeiten*, in diesem Fall muss die Regelbasis des Fuzzy-Systems aktualisiert werden.

Aus den genannten Marktzielen bezüglich *Kundenorientierung* und zu erwartenden Störungen im Demontageablauf resultiert die Forderung nach einer *dynamischen* Feinplanung. Werden Aufträge (z. B. bei Undurchführbarkeit von Arbeitsgängen) ausgeplant, dient es dem kundenorientierten Ziel *hohe Termintreue und Lieferbereitschaft*, wenn das entsprechend neu disponierte Auftragsnetz in der aktuellen Planungsperiode wieder neu eingeplant werden kann.

5.6.4.2 Betriebsdatenerfassung

Die Aufgabe der *Betriebsdatenerfassung* besteht darin, den Fertigungsfortschritt hinsichtlich Mengen und Terminen zu kontrollieren, dazu werden Betriebsdaten gesammelt, gespeichert sowie damit zusammenhängende Verarbeitungsfunktionen, die der Korrektur, Aufbereitung oder Weitergabe dienen, ausgeführt (vgl. Roschmann (1990), S. 168f.). Die Aufnahme und Verarbeitung von Istdaten aus dem Betrieb ist zur Erstellung realistischer Pläne, Aktualisierung und für korrigierende Maßnahmen im Rahmen der Durchführung unabdingbar (vgl. Kurbel (1999), S. 287). Das Ziel der BDE besteht darin, über Stör- und Fertigmeldungen einen Regelkreis aufzubauen, der kontinuierlich Soll- und Istdaten miteinander abgleicht und gegebenenfalls korrigierend auf den Produktionsprozess einwirkt (vgl. Höck (1998), S. 27). Wenn Soll- und Istdaten abgeglichen werden, erweitern sich die Aufgaben von einer reinen *Betriebsdatenerfassung* zur *Betriebsdatenverarbeitung* (vgl. Scheer (1998), S. 342). Als Betriebsdaten werden in diesem Zusammenhang

- *auftragsbezogene* (z. B. Produktionsmengen),
- *maschinenbezogene* (z. B. Unterbrechungszeiten),
- *mitarbeiterbezogene* (z. B. Anwesenheitszeiten),
- *materialbezogene* (z. B. Zu- und Abgänge von Materialien an den Produktionsstellen) und
- *qualitätsbezogene* (z. B. Prüf- und Messwerte) Daten bezeichnet (vgl. z. B. Corsten/Reiss (1991), S. 624; Kurbel (1999), S. 289; Scheer (1998), S. 343f.).

Durch Überprüfung des Fertigungsfortschritts und entsprechende Rückkopplungen wird gewährleistet, dass Störungen (s. Kapitel 5.6.4.1) und notwendige Datenaktualisierungen im Rahmen der gesamten Demontageplanung bzw. -steuerung berücksichtigt werden können. Neben auftrags- bzw. materialbezogener Aktualisierung (z. B. auf Grund fertigmeldeter Kundenaufträge, verbrauchter Materialien) müssen demontagespezifische Daten verarbeitet werden. Generell können im Rahmen des vorgestellten DPS-Konzepts folgende Senken (Datengruppen) identifiziert werden:

- *Erwartungswerte* (z. B. Wiedereinsatzwahrscheinlichkeiten, Terminierungsparameter, clusterspezifische Kapazitätsbedarfe, arbeitsgangspezifische Kapazitätsbelastungen)
- *Vergangenheitswerte* (z. B. Altgeräteeinfalldaten, erzeugungsgesteuerte Materialien)
- *Regelbasen* (z. B. Regelbasis des Altgerätezustands)
- *Verfahrensauswahl* (z. B. Prioritätsregelverfahren, Prognosemethoden)
- *Auftrags-/Dispositionsdaten* (z. B. offene Kundenaufträge, Auftragsprioritäten, Umplanung)
- *Bestandsdaten* (z. B. verfügbare Lagerbestände)
- *Strukturdaten* (z. B. Demontageerzeugnis-Strukturen, Demontagearbeitspläne)

Die Rückkopplung von Istdaten der Demontagesteuerung in Bereiche der Planung oder Steuerung kann hinsichtlich Art und Weise der Betriebsdatenübermittlung bzw. -verarbeitung unterschieden werden. Grundsätzlich sollen Rückmeldungen bezüglich Genauigkeit und Geschwindigkeit den Anforderungen der jeweiligen Planungs- oder Steuerungsaufgabe entsprechen. Teilweise werden BDE-Daten unmittelbar übertragen und verarbeitet (z. B. bei Störungen im Demontageablauf), teilweise werden BDE-Daten gesammelt und erst zu einem späteren Zeitpunkt übermittelt und verarbeitet (vgl. Kurbel (1999), S. 297f.). In diesem Zusammenhang muss unterschieden werden, ob es sich um eine *automatisch* ausführbare Übermittlung bzw. Verarbeitung handelt (z. B. Fortschreibung und Aktualisierung von Wiedereinsatzwahrscheinlichkeiten, Bestandsdaten) oder *manuelle* bzw. interaktive Vorgänge notwendig sind (z. B. Anpassung von Regelbasen, Verfahrensauswahl).

6 Fallstudie

6.1 Einführung

6.1.1 Untersuchungsziel

Das Ziel der folgenden Fallstudie besteht darin, zu untersuchen, welche Anpassungen notwendig sind, um das in Kapitel 5 vorgestellte DPS-Konzept in einer betriebswirtschaftlichen Standardsoftware zur Produktionsplanung und -steuerung abzubilden. Grundsätzlich lassen sich folgende theoretische Anpassungsmöglichkeiten unterscheiden (s. Kapitel 5.1):

- Erweiterung,
- Modifikation und
- Ergänzung.

Am Markt werden mehrere hundert PPS-Systeme angeboten (vgl. Fandel u. a. (1997), S. 13). Eine umfangreiche Studie zu den Leistungsmerkmalen von 210 PPS-Systemen wird in Fandel u. a. (1997) vorgestellt. Diese Marktstudie stellt u. a. potenzielle Anwendungsbranchen und -gebiete der untersuchten PPS-Systeme dar. Die Systeme lassen sich in *Stand-Alone*- und in *betriebswirtschaftliche Standardsoftware integriert* unterscheiden. Neben traditionellen Bereichen des PPS-Einsatzes haben sich einige Systemhersteller auf Spezialbereiche konzentriert. Während 85 % der PPS-Systeme im Bereich *Maschinenbau* einsetzbar sind, werden PPS-Systeme für die Bereiche *Tiernahrung*, *Fertighausbau*, *Bäckereien* nur von jeweils einem Hersteller angeboten. Auffallend ist, dass keine Lösung für den Bereich des *Remanufacturing* oder speziell für den Bereich der *Demontage* existiert.

Für die folgende Fallstudie wurde die betriebswirtschaftliche Standardsoftware SAP R/3 gewählt¹¹⁰. SAP R/3 enthält ein PPS-System. Ausschlaggebend für die Auswahl dieses Systems waren u. a. folgende Gründe:

- Das vorgestellte DPS-Konzept basiert auf einer stark kundenorientierten Sichtweise. Kunden können einerseits Service-, andererseits Produzentenleistungen nachfragen. Anforderungen, die über DPS hinaus an ein Planungssystem für eine Demontagefabrik gestellt werden (z. B. Finanzplanung, Controlling, Personalplanung), sind mit denen eines konventionellen, produzierenden Unternehmens vergleichbar. In diesem Zusammenhang erscheint es sinnvoll, DPS-Funktionen als in ein System zur unter-

¹¹⁰ Die folgenden Ausführungen basieren im Wesentlichen auf Erkenntnissen, die durch Untersuchung des Softwaresystems SAP R/3 (in der Version 4.0b) unter Zuhilfenahme der SAP-Dokumentation (SAP (1998)) gewonnen wurden.

nehmensweiten Planung integriert zu betrachten. Konfigurierbare Standard-Informationssysteme, die Informationen und informationsbasierte Prozesse sowohl innerhalb der Hauptfunktionsbereiche eines Unternehmens als auch über Bereiche hinweg abbilden und teilweise oder ganz automatisieren, werden als *Enterprise Resource Planning-Systeme* (ERP-Systeme) bezeichnet. In diesem Zusammenhang bieten ERP-Systeme in der Regel Referenzmodelle oder Prozessschablonen, die auf die Abbildung von best practices abzielen (vgl. z. B. Kumar/Hillegersberg (2000), S. 23). SAP R/3 stellt ein solches ERP-System dar. SAP R/3 gilt als das umfassendste und am weitesten fortgeschrittene ERP-System (vgl. Kurbel (1999), S. 326).

- SAP R/3 in der Version 4.0b steht an der Fakultät für Informatik der Universität Magdeburg zur Verfügung. Die Systemverfügbarkeit ist keine hinreichende, durchaus aber eine notwendige Voraussetzung zur Durchführung einer qualifizierten Fallstudie.
- Im Gegensatz zum Einsatz anderer ERP-Systeme konnte die Attraktivität des SAP R/3-Einsatzes für kleine Unternehmen gesteigert werden. Dies ist u. a. auf die Kooperation von SAP mit Microsoft bzw. der Verfügbarkeit von Windows NT als Server-Plattform zurückzuführen (vgl. Kurbel (1999), S. 326). SAP R/3 eignet sich für Betriebe geringerer Größe als andere ERP-Systeme (z. B. *Baan IV*) vergleichbarer Funktionalität (vgl. Fandel u. a. (1997), S. 68ff.)¹¹¹.
- Das DPS-Konzept stellt hohe Funktionsanforderungen, die z. T. über die originären Funktionen eines PPS-Systems hinausgehen. Mit einigen Ausnahmen (z. B. Altgeräte-Anfallprognose), deckt SAP R/3 durch die breite Funktionalität nahezu alle DPS-Funktionen ab. Im Einzelfall sind Funktionsanpassungen erforderlich.
- Sollte die Demontageleistung vom Hersteller selbst oder einem beauftragten Unternehmen durchgeführt werden (s. Kapitel 3.4), ließe sich die Montagefabrik als *Werk* innerhalb des unternehmensweit eingesetzten Systems SAP R/3 abbilden. Auf demontagerelevante Daten (z. B. Materialstämme, Konstruktionszeichnungen) könnte dann innerhalb eines Systems zugegriffen werden. Durch die einmalige Datenhaltung können Redundanzen und Inkonsistenzen vermieden sowie die Komplexität reduziert werden. Einen weiteren Grund zur Auswahl von SAP R/3 stellt daher der hohe Verbreitungsgrad in Verbindung mit den dezentralen, systemtechnischen Konfigurationsmöglichkeiten dar. SAP R/3 ist Weltmarktführer bei ERP-Systemen (vgl. Knolmayer u. a. (2000), S. 3). Ein Konfigurationsbeispiel, das die besprochene, mögliche Ko-

¹¹¹ Die weltweit kleinste SAP R/3-Installation wird von der Firma *Ist IT-Services* eingesetzt. Zwei Anwender arbeiten mit dem am 01.01.2000 live geschalteten System (vgl. o. V. (2000), S. 10).

operation zwischen Hersteller und Demontagefabrik verdeutlicht, ist in Abb. 6.1 dargestellt:

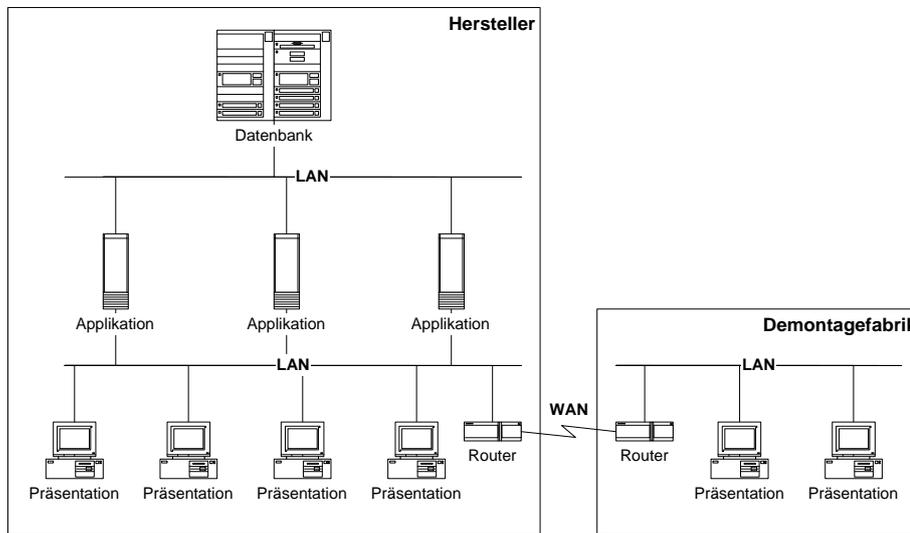


Abb. 6.1: Exemplarische SAP R/3-Konfiguration

6.1.2 Untersuchungsumfang und -methode

Der Schwerpunkt des dargestellten DPS-Konzepts liegt auf der Funktionsebene der Demontageplanung, deren Funktionsgruppen und Funktionen detailliert beschrieben wurden (s. Kapitel 5.2 bis 5.5). Die Funktionsebene der Steuerung wurde im Rahmen eines theoretischen Entscheidungsmodells behandelt (s. Kapitel 5.6), da konkrete Ausgestaltungen der Demontagetsteuerung von individuellen Organisationsformen der Demontagefabriken abhängen. Die Untersuchungen der folgenden Fallstudie konzentrieren sich daher auf die Demontageplanung.

Analog zu den Darstellungen im Rahmen des DPS-Konzepts werden im Folgenden diejenigen Funktionsgruppen und Funktionen beschrieben, bei denen demontageinduzierte Anpassungen notwendig sind. Zu jeder untersuchten Funktion werden notwendige *systemspezifische* Anpassungsarten aufgezeigt. Folgende systemspezifischen Anpassungsarten können unterschieden werden:

- *Customizing*: Customizing bezeichnet das Durchführen von Einstellungen, die sowohl bei Systemeinführung als auch im produktiven Betrieb vorgenommen werden. Das Customizing ist z. T. obligatorisch (z. B. Einstellung von Mandanten, Buchungskreisen) und z. T. optional (z. B. Einstellungen zur Lieferantenbeurteilung). Im Rahmen des Customizing werden in der Regel keine Standardanpassungen vorgenommen. Customizing wird daher nur als *Anpassung* bezeichnet, wenn es zu einer Abweichung von im Standard vorgesehenen Ablaufalternativen kommt. Wenn Customizing zu einer An-

passung des SAP R/3-Standards führt, liegt eine *Modifikation* vor, da *vorhandene* Funktionalitäten angepasst werden.

- *Programmanpassungen*: Programmanpassungen können über sog. *User-Exits* oder interne Programmänderung erfolgen. User-Exits sind vorgedachte Anpassungsmöglichkeiten des SAP R/3-Standards. Anforderungen, die nicht als Standard ausgeprägt sind, werden als leere Modifikationshülse vorgedacht und können mit spezifischer Logik ausgestaltet (programmiert) werden. User-Exits stellen somit Zeitpunkte in einem SAP R/3-Programm dar, zu dem ein weiteres Programm aufgerufen werden kann. Im Rahmen von User-Exits kann auf Programmteile und Datenobjekte des Standards zugegriffen werden. Die Programmierung über User-Exits ist eine Form der *Ergänzung*, da Funktionen hinzugefügt werden. Interne Änderungen an SAP R/3-Programmen können *Erweiterungen* (z. B. Hinzufügen von Attributen in Datenstrukturen), *Modifikationen* (z. B. Ablaufänderungen) oder *Ergänzungen* (z. B. Hinzufügen neuer Funktionen) darstellen.
- *Add-Ons*: Durch den Einsatz von Add-Ons können Funktionen ausgeführt werden, die nicht im SAP R/3-Standard enthalten sind (z. B. lineare Programmierung). Add-Ons sind über definierte Schnittstellen mit SAP R/3 verbunden. Der Einsatz von Add-Ons führt zur *Funktionsergänzung*.

Eine zusammenfassende Gegenüberstellung von systemspezifischen und theoretischen Anpassungsarten ist in Tab. 6.1 dargestellt.

	<i>keine Anpassung</i>	<i>Erweiterung</i>	<i>Modifikation</i>	<i>Ergänzung</i>
Customizing	3		3	
Programmanpassung		3	3	3
Add-On				3

Tab. 6.1: Systemspezifische und theoretische Anpassungsarten

Hinsichtlich systemspezifischer Anpassungsarten wird oftmals unterstellt, dass die Entwicklungskomplexität von Customizing geringer einzuschätzen ist als die der Programmierung. Insbesondere sind diesem Zusammenhang Schnittstellendefinitionen zu beachten, die einen hohen Einfluss auf die Entwicklungskomplexität haben können (vgl. z. B. Buxmann/König (1997), S. 335). Des Weiteren ist der Pflegeaufwand bei Releasewechsellern oder dem Einspielen von Patches zu beachten. Während die Funktionalität von Customizing-Einstellungen in der Regel von Releasewechsellern oder Patches nicht beein-

flusst wird, ist z. B. für User-Exit-Programme jeweils zu überprüfen, ob diese weiterhin zum Standard passen.

6.1.3 Produktionsplanung in SAP R/3

Die ganzheitliche Betrachtung der Geschäftstätigkeit von Unternehmen, die u. a. mit der Orientierung auf Geschäftsprozesse zusammenhängt, bedeutet für die betriebliche Informationsverarbeitung, dass Anwendungssysteme zur Unterstützung einzelner Funktionsbereiche immer weniger für sich allein stehen können (vgl. Kurbel (1999), S. 324). Ein ERP-System enthält Werkzeuge zur Unterstützung von Prozessen, die sowohl innerhalb einzelner als auch zwischen Funktionsbereichen ablaufen. Eine Vielzahl betriebswirtschaftlicher Funktionsbereiche wird in SAP R/3 durch *Module* (z. B. Produktionsplanung und -steuerung, Controlling, Materialwirtschaft, Vertrieb) abgedeckt. Die Module können in die drei *Gruppen* Logistik, Rechnungswesen und Personal eingeteilt werden.

Der Funktionsbereich Produktionsplanung und -steuerung ist in SAP R/3 der Gruppe *Logistik* zugeordnet. Viele Funktionen der PPS werden durch das Modul *Production Planning* (PP) abgedeckt. Stammdaten und Aufträge werden z. T. in anderen Modulen angelegt bzw. bereit gehalten. Zur Produktionsplanung und -steuerung sind neben dem Einsatz des Moduls PP, die Module für Materialwirtschaft *Materials Management* (MM) und Vertrieb *Sales and Distribution* (SD) erforderlich. Außerdem können Schnittstellen zu weiteren Modulen, z. B. zum *Controlling* (CO) oder zur Personalwirtschaft *Human Resources* (HR) genutzt werden.

Im Grundsatz folgt die Produktionsplanung und -steuerung in SAP R/3 der MRP II-Philosophie. Der konventionelle MRP II-Ansatz wird durch einige Funktionen (z. B. Variantenkonfiguration) ergänzt; außerdem stehen weitere Planungs- und Steuerungskonzepte zur Verfügung (vgl. Kurbel (1999), S. 331). Nachfolgend werden die SAP R/3-Funktionsgruppen der Produktionsplanung und -steuerung näher erläutert.

*Absatz- und Produktionsgrobplanung (SOP)*¹¹²

Die Absatz- und Produktionsgrobplanung bietet die Möglichkeit, absatz- bzw. produktionsspezifische Daten aus unterschiedlichen internen und externen Quellen zu sammeln, z. B. durch

- manuelle Eingabe der Absatzmengen,
- maschinelle Prognose der Absatzmengen (auf Basis von Vergangenheitsdaten),

¹¹² Sales and Operations Planning.

- Übernahme der Absatzmengen aus der Ergebnisplanung (Modul: CO),
- Übernahme der Absatzmengen aus dem Vertriebsinformationssystem (Modul: SD) oder
- Übernahme aus einem externen System.

Liegt ein Absatzplan vor, kann im nächsten Schritt der Produktionsgrobplan erstellt werden (vgl. Keller (1997), S. 306ff.). Durch Berücksichtigung vorhandener Lagerbestände wird die Nettobedarfsmenge bestimmt. Ziel der Produktionsgrobplanung ist, Auswirkungen geplanter Absatz- bzw. Produktionsmengen auf Kapazitäten langfristig abzusehen (vgl. Lebefromm (1997), S. 80). Dabei können Produktionsmengen manuell eingegeben oder aus dem Absatzplan übernommen werden.

Produktionsplanung (MP)¹¹³

Nachdem der Absatz- bzw. Produktionsgrobplan fertig gestellt ist, werden die Mengen in die Produktionsplanung übernommen. Bei Übergabe der Produktionsmengen an die Produktionsplanung werden Vorplanungsbedarfe erzeugt (vgl. Lebefromm (1997), S. 87). In der Produktionsplanung werden Primärbedarfsmengen und -termine festgelegt. Hierbei kann zwischen Plan- und Kundenprimärbedarfen unterschieden werden. Planprimärbedarfe werden aus der Absatz- und Produktionsgrobplanung übernommen; Kundenprimärbedarfe resultieren aus Kundenaufträgen (vgl. Kurbel (1999), S. 332f.).

Materialbedarfsplanung (MRP)¹¹⁴

In der Materialbedarfsplanung erfolgt die Berechnung der für die Produktion benötigten Sekundärbedarfsmengen. Entsprechend der Dispositionsart werden Materialien *verbrauchs-* bzw. *bedarfsgesteuert* geplant und evtl. zu Losen zusammengefasst. Ziel der Bedarfsplanung ist die Sicherstellung der Materialverfügbarkeit zu minimalen Kosten. Bei Übergabe der Produktionsmengen an die Materialbedarfsplanung werden *Planbedarfe* erzeugt. Planbedarfe werden zunächst in *Planaufträge* umgesetzt und nachfolgend in *Bestellanforderungen* oder *Fertigungsaufträge* überführt (vgl. Lebefromm (1997), S. 87), die grob terminiert werden (vgl. Kurbel (1999), S. 333).

Kapazitätsplanung (CRP)¹¹⁵

Die Kapazitätsplanung umfasst die Funktionen Kapazitätsauswertung, Kapazitätsabgleich und Durchlaufterminierung. Die Kapazitätsplanung ist in allen Funktionsgruppen (SOP,

¹¹³ Master Planning.

¹¹⁴ Material Requirements Planning.

¹¹⁵ Capacity Requirements Planning.

PM, MRP) durchführbar. Im Rahmen von Kapazitätsauswertung und -abgleich werden Kapazitätsbelastungen analysiert und Über- bzw. Unterauslastungen ausgeglichen. Ausgehend von groben Eckterminen, die in der Materialbedarfsplanung gesetzt werden, ermittelt die Durchlaufterminierung Start- und Endtermine der Fertigungsaufträge. Im Rahmen der Terminierung sind evtl. Maßnahmen der Durchlaufzeitverkürzung zu ergreifen (vgl. Kurbel (1999), S. 333f.).

6.2 Demontageplanung in SAP R/3

Die grundsätzliche Problematik der Abbildung des vorgestellten DPS-Konzepts in SAP R/3 resultiert aus Unsicherheiten bzw. Störanfälligkeiten (s. Kapitel 4.5.1) und der Komplexität der Demontageplanung (s. Kapitel 4.5.2). Demgegenüber stehen Determiniertheit der konventionellen PPS und allgemeine Schwächen der MRP II-Philosophie (s. Kapitel 4.4.2). Ansatzpunkte zu einer möglichen Abbildung des DPS-Konzeptes in SAP R/3 ergeben sich zum einen aus dem DPS-Konzept selbst, zum anderen aus dem Funktionsumfang der Standardsoftware SAP R/3:

- *Ansatzpunkte auf Basis des DPS-Konzepts:* Im Rahmen des DPS-Konzepts werden unscharfe und unsichere Daten der Demontageplanung mithilfe von z. B. Erwartungsgrößen, Wahrscheinlichkeiten und Prognosen in quasi-deterministische Daten überführt. Eine robuste Planung und ein leistungsfähiges Störungsmanagement vermindern Störungen bzw. senken deren Auswirkungen. Dem Ansatz des Sukzessivplanungskonzepts folgend wird die Demontageplanung in einzelne (sukzessiv auszuführende) Planungsstufen zerlegt, um die Komplexität zu verringern. Entsprechend werden Anpassungen gegenüber konventionellen PPS-Konzepten durchgeführt. Bedingt durch die duale Leistungssituation der Demontagefabrik (s. Kapitel 3.1) hat sich die Reihenfolge einiger Funktionen bzw. Funktionsgruppen verändert (s. Kapitel 5).
- *Ansatzpunkte auf Basis der Standardsoftware SAP R/3:* Die Produktionsplanung und -steuerung in SAP R/3 bietet einen gegenüber dem konventionellen MRP II-Konzept ausgedehnteren Funktionsumfang: SAP R/3 umfasst neben erweiterten Datenstrukturen und umfangreicheren Planungsverfahren Funktionen eines ERP-Systems. In diesem Zusammenhang werden für Aufgaben der DPS u. a. die Funktion der Variantenkfiguration, die Anbindung von Fremdsystemen und die Integrationsmöglichkeit DPS-spezifischer Programmbausteine genutzt. Bezüglich der Reihenfolgeänderung bieten einige SAP R/3-Funktionen hohe Flexibilität; so kann z. B. die Kapazitätsplanung in verschiedenen Planungsstufen ausgeführt werden.



Abb. 6.2: Gegenüberstellung von PPS- und DPS-Konzept

Im Folgenden werden die Funktionsgruppen (graue Flächen), Funktionen (lange weiße Balken) und Teilfunktionen (kurze weiße Balken) des SAP R/3-spezifischen PPS-Kon-

zepts und des in dieser Arbeit entwickelten DPS-Konzepts gegenübergestellt (s. Abb. 6.2). Können Standardfunktionalitäten des PPS-Systems hinsichtlich einer bestimmten DPS-Funktion weitestgehend genutzt werden und entspricht der Ausführungsort der DPS-Funktion der entsprechenden PPS-Funktion, stehen sich PPS- und DPS-Funktion gegenüber. Fehlt einer DPS-Funktion in der Abbildung ein PPS-Äquivalent auf gleicher Ebene, entsprechen sich die Ausführungsorte der PPS- und DPS-Funktionen nicht oder das PPS-Konzept bietet kein Äquivalent. Die dargestellten Funktionen des DPS-Konzepts stellen (eingeordnet in die SAP R/3-spezifischen Funktionsgruppen) gleichzeitig den prinzipiellen Aufbau der folgenden Kapitel dar.

6.2.1 Absatz- und Produktionsgrobplanung

6.2.1.1 Altgeräteanfallprognose

Im Gegensatz zur konventionellen Produktionsplanung muss im Rahmen der Demontageplanung eine duale Leistungssituation berücksichtigt werden (s. Kapitel 3.1). Das Ziel der Anfallprognose besteht darin, zukünftig anfallende Altgerätemengen zu prognostizieren. *Zielgerichtet* bestellte Altgeräte werden nicht zu den *anfallenden* Altgerätemengen gerechnet, da die anfallenden Altgeräterückflüsse durch ihre weitgehende Unbeeinflussbarkeit charakterisiert sind. Unter Zugrundelegung der Prognosedaten werden die weiteren sukzessiven Planungsfunktionen des DPS-Systems ausgeführt. Die Genauigkeit dieser Planungsstufe hat erheblichen Einfluss auf die Güte der gesamten Planung.

In SAP R/3 wird die Prognose in Form eines Planungstableaus dargestellt. Dieses Planungstableau stellt u. a. die Grundlage für die Konsolidierung (s. Kapitel 5.2.5.6) und Kapazitätsgrobplanung (s. Kapitel 5.2.5.7) dar. Zur Vorhersage der Altgeräte-Anfallmenge werden zunächst zwei unabhängige Prognosen erstellt, die auf unterschiedlichen Datenstrukturen basieren (s. Kapitel 5.2.5.2). Zum einen wird mithilfe eines Fuzzy-Systems auf Basis von Lebenszyklusdaten eine Prognose erstellt, zum anderen werden auf Basis von Vergangenheitsdaten (Zeitreihen) Rückflussmengen prognostiziert. Beide Vorhersagen werden mithilfe eines Gewichtungsfaktors in eine Prognose überführt.

In einem externen Fuzzy-System (z. B. *DataEngine*, *Fuzzy Tool Box*) werden Lebenszyklusdaten von Altgeräten als Einflussgrößen modelliert. Die Altgeräterückflussmenge stellt die Ausgangsgröße des Fuzzy-Systems dar. Nachdem die Rückflussmengen für alle relevanten Altgeräte und die zu prognostizierenden Perioden bestimmt wurden, müssen die Daten an SAP R/3 übergeben werden. Senke der erzeugten Rückflussdaten ist ein SOP-Planungstableau. Zwischen dem eingesetzten Fuzzy-System und SAP R/3 existiert keine standardisierte Datenschnittstelle, daher werden die Daten mittels des *Batch-Input-Ver-*

fahrens importiert. Das Batch-Input-Verfahren bezeichnet die Batchausführung von Dialogprogrammen mit maschinell erzeugten Eingabedaten (vgl. Mende (1998), S. 295). Das Batch-Input-Verfahren ist eine relativ sichere Möglichkeit zur Datenübernahme, da die normalen Dialogtransaktionen von SAP R/3 genutzt werden. Somit unterliegt die Dateneingabe im Rahmen des Batch-Input den gleichen Prüfungs- und Kontrollfunktionen wie die manuelle Dateneingabe. Das Batch-Input-Verfahren besteht aus zwei Teilen:

1. *Datenübernahme und Mappenerzeugung*: Ein Programm liest externe Daten und spielt sie in eine Batch-Input-Mappe. Die Mappenstruktur muss der SAP R/3-Datenstruktur entsprechen. Datenübernahme und Mappenerzeugung bestehen aus Extraktion der Daten aus dem Fremdsystem (z. B. einem Texteditor) und Überführung in die SAP R/3-spezifische Datenstruktur. Neben z. B. Feldtyp, -länge und -reihenfolge ist zu beachten, dass SAP R/3-Programmnamen, -Dynpronummern¹¹⁶ und -Funktionscodes in den Mappen enthalten sind.
2. *Mappenverarbeitung*: Nach der Mappenerzeugung müssen die Daten eingespielt werden. Dafür wird die Mappenverarbeitung gestartet, die Einspielung kann sichtbar oder unsichtbar erfolgen.

Eingespielte Prognosewerte werden im Planungstableau dargestellt, dort können sie manuell nachkorrigiert werden. Im Gegensatz zur lebenszyklusbasierten Prognose sind die notwendigen Daten und Prognosemodelle für die zeitreihenbasierte Prognose in SAP R/3 enthalten. Analog zur konventionellen Absatzprognose liegen der vergangenheitsorientierten Anfallprognose Statistikdaten zu Grunde. Statistikdaten (bezüglich in der Vergangenheit angenommener Altgeräte) werden in einer *Informationsstruktur* fortgeschrieben. Eine Informationsstruktur definiert eine Gruppe von Feldern und dient dazu, Daten aus operativen Anwendungen zu sammeln. Eine Informationsstruktur setzt sich aus Zeitbezug (Periode), Merkmalen (z. B. Altgeräte-Materialnummer) und Kennzahlen (z. B. Wareneingangsmenge) zusammen. Entsprechend den zu Grunde liegenden Zeitreihenverläufen (z. B. konstant, trendförmig) und Prognosemodellen (z. B. gleitender Mittelwert, exponentielle Glättung 1. bzw. 2. Ordnung) wird eine Prognoseversion in einem Planungstableau erzeugt. Da in der hier relevanten SAP R/3-Standard-Informationsstruktur alle eingegangenen Altgeräte bezüglich der *Altgeräte-Materialnummer* kumuliert werden, ist es nicht möglich, die (unbeeinflussbar) anfallenden Altgerätemengen zu identifizieren. Hierzu bedarf es einer Anpassung der Standardfunktionalität: Die Statistikdaten bezüglich der *gesamten Wareneingangsmenge* müssen um die (ebenfalls in der Informationsstruktur enthaltene) *Wareneingangsmenge zur Bestellung* vermindert werden. Die rollierende

¹¹⁶ DYNamisches PROgramm: Besteht aus einem Bildschirmbild und der unterliegenden Ablauflogik.

Planung bezieht sich auf mehrere Perioden. Im Folgenden wird daher der Periodenindex u ergänzt, weiterhin wird bei der Anfallmenge die Bezeichnung *Zeitreihe* aufgenommen, damit Anfallmengen bezüglich Zeitreihe und Lebenszyklus unterschieden werden können:

$$x_{a,u}^{\text{Wareneingang,gesamt}} - x_{a,u}^{\text{Wareneingang,zurBestellung}} = x_{a,u}^{\text{Anfall,Zeitreihe}}$$

Nachdem beide (vorläufigen) Prognosen erstellt und in verschiedenen Prognoseversionen gespeichert wurden, müssen sie in eine gültige Prognose überführt werden. Dazu werden die beiden Prognosen entsprechend der Nutzerpräferenzen gewichtet (s. Kapitel 5.2.5.2).

$$x_{a,u}^{\text{Anfall}} = \alpha^{\text{Zeitreihe}} \cdot x_{a,u}^{\text{Anfall,Zeitreihe}} + (1 - \alpha^{\text{Zeitreihe}}) \cdot x_{a,u}^{\text{Anfall,Lebenszyklus}}$$

Ein Gewichtungsfaktor $\alpha^{\text{Zeitreihe}} \in [0,1]$ gibt die Stärke an, mit der die (vorläufigen) Prognosedaten aus der Zeitreihe in die gültige Prognoseversion eingehen. Der Gewichtungsfaktor wird im Altgeräte-Materialstamm gepflegt.

Im Rahmen von SAP R/3 können verschiedene Prognoseversionen zu einem Material angelegt werden, die auf unterschiedlichen Prognosemodellen oder Zeitreihen basieren. Im Standard ist es nicht möglich, zwei Versionen mithilfe eines formalen Zusammenhangs in eine Version zu überführen. Daher wird wiederum ein Programm aufgerufen, das die gültige Prognose erstellt. Hierzu werden die Werte aus beiden Prognoseversionen ausgelesen, entsprechend des dargestellten Zusammenhangs verarbeitet und in eine neue Prognoseversion überführt. Die angepasste Prognoseversion wird im Planungstableau gespeichert und mit dem Status „1“ gekennzeichnet, sodass sie die aktive Planungsversion darstellt.

6.2.1.2 Losgrößenplanung

Ziel der Losgrößenplanung ist, über Zusammenfassung gleicher Demontageerzeugnisse eine Bündelung gleichartiger Arbeitsabläufe zu erreichen und das betriebswirtschaftliche Optimum zwischen Demontage- und Lagerkosten zu finden (s. Kapitel 5.2.5.3). SAP R/3 stellt zur Planung von Losgrößen statische (z. B. exakte Losgröße), periodische (z. B. Monatslosgröße) und optimierende (z. B. Verfahren nach Groff) Losgrößenverfahren zur Verfügung. Bei statischen und periodischen Losgrößenverfahren werden durch Rüstvorgänge bzw. Lagerhaltung induzierte Kosten nicht explizit berücksichtigt. Das Losgrößenverfahren wird im Materialstamm durch Pflege des Felds *Dispositionslosgröße* determiniert. Weiterhin sind im Materialstamm zusätzliche Restriktionen anzugeben, die bei der Losgrößenberechnung beachtet werden (z. B. minimale oder maximale Losgröße).

In SAP R/3 wird die Losgrößenplanung im Rahmen der *Bedarfsplanung* für Sekundärbedarfe durchgeführt. Bedingt durch die duale Leistungssituation der Demontagefabrik findet die Losgrößenplanung in der DPS im Rahmen der *Primärbedarfsplanung* für Primärbedarfe (Demontageerzeugnisse) statt (s. Kapitel 5.2.5.3). Dadurch ergibt sich die Notwendigkeit zur Modifikation des Planungsablaufs.

Bei optimierenden Losgrößenverfahren erfolgt die Berechnung in SAP R/3 nach folgendem Prinzip (z. B. beim Stück-Perioden Ausgleich, bei der gleitenden wirtschaftlichen Losgröße, bei der dynamischen Planungsrechnung oder dem Verfahren nach Groff): Ausgangspunkt ist die erste aus der Primärbedarfsplanung ermittelte Bedarfsmenge. Diese Menge ist die Mindestlosgröße. Anschließend addiert SAP R/3 sukzessive Bedarfsmengen folgender Perioden, bis anhand des Kostenkriteriums das dem Verfahren zu Grunde liegende Kostenoptimum erreicht ist. Das Planungstableau der Demontagemengenplanung stellt die Grundlage zur Losgrößenplanung dar. Die Werte aus dem Planungstableau werden an die Losgrößenplanung übergeben. Die Losgrößen berechnen sich unter Einbeziehung der im Materialstamm gewählten Dispositionslosgröße und evtl. Restriktionen.

6.2.1.3 Vorlaufverschiebung

Nach Abschluss der Losgrößenplanung, können die zu Losen gebündelten Demontageerzeugnis-Mengen in Richtung Gegenwart verschoben werden. Entsprechend der Vorlaufzeit werden die Altgerätebedarfe in früheren Perioden erzeugt (s. Kapitel 5.2.5.4). Mithilfe der Vorlaufverschiebung wird ein Zeitraum zur Demotagedurchführung bzw. zur Erzeugung der entsprechenden Demontageprodukte einkalkuliert. Im Rahmen der Primärbedarfsplanung findet in diesem Zusammenhang nur eine grobe Terminierung statt. Die Vorlaufzeiten werden in Perioden angegeben.

In der konventionellen PPS findet die Vorlaufverschiebung in der Bedarfsplanung (im Zusammenhang mit der Stücklistenauflösung) statt. In SAP R/3 stellt die Vorlaufverschiebung eine Teilfunktion der Terminierung dar. Im Rahmen der Terminierung werden Ecktermine ermittelt, der Sekundärbedarfstermin der Komponente ergibt sich aus der Durchlaufzeit des bedarfsverursachenden Planauftrags. In der DPS werden keine abhängigen Bedarfe verschoben, sondern die Primärbedarfe selbst. Die Altgeräte werden indirekt mit verschoben. Die Vorlaufverschiebung muss modifiziert werden, sodass unabhängige Bedarfe (Demontageerzeugnisse) verschoben werden. Der Verschiebezeitraum ergibt sich nicht aus übergeordneten Aufträgen, sondern aus den zu verschiebenden Materialien selbst; die Vorlaufzeit wird daher als Terminierungsparameter im Materialstamm der Demontageerzeugnisse gepflegt. Im Rahmen der DPS-Vorlaufverschiebung werden die Werte des Planungstableaus (Demontageerzeugnisse) rückwärts verschoben. Sollten sie in

die Vergangenheit terminiert werden, schaltet SAP R/3 automatisch auf eine Vorwärts-terminierung um.

6.2.1.4 Altgerätebedarfsermittlung und Konsolidierung

Altgerätebedarfsermittlung und Konsolidierung werden in externen Systemen ausgeführt. Da zwischen beiden Funktionen keine Datenübergabe an SAP R/3 stattfindet, werden die Funktionen gemeinsam behandelt.

Ziel der Altgerätebedarfsermittlung ist die Bestimmung derjenigen Altgeräte, deren Demontage zur kostenminimalen Befriedigung eines gegebenen Demontageergebnis-Bedarfs führt (s. Kapitel 5.2.5.5). Nachdem die Altgeräte bestimmt sind, werden im Rahmen der flexiblen Altgerätebedarfsermittlung kunden- und lagerauftragsinduzierte Altgerätemengen unterschieden. Dies ermöglicht es, Kundenaufträge gegenüber Lageraufträgen vorzuziehen und damit der Forderung nach Kundenorientierung bzw. der Erfüllung des DPS-Ersatzziels *hohe Termintreue und Lieferbereitschaft* zu entsprechen.

Die Konsolidierung dient der Zusammenfassung von Altgeräteeinfall und -bedarf. Ziel der Konsolidierung ist zum einen die Differenzierung von Aufträgen zur Verwertungs- und Wiedereinsatzvorbereitung, zum anderen die effiziente Nutzung anfallender Altgeräte (s. Kapitel 5.2.5.6).

SAP R/3 enthält keine Funktionen zur Durchführung einer linearen Optimierung. Der Altgerätebedarf wird unter Zugrundelegung der gesamten Demontageergebnis-Bedarfe daher in einem externen Optimierungssystem bestimmt. Anschließend werden die flexiblen Altgerätebedarfe durch einen zweiten Optimierungslauf auf Basis des kundenauftragsinduzierten Demontageergebnis-Bedarfs bestimmt. Die Altgerätebedarfe werden entsprechend (flexibel bzw. kundeninduziert) gekennzeichnet.

Aus der Altgeräteeinfallprognose (s. Kapitel 5.2.5.2) werden die Anfallmengen übernommen. Im Gegensatz zu den flexiblen bzw. kundeninduzierten Aufträgen zur Wiedereinsatzvorbereitung resultieren aus den Anfallmengen zunächst Aufträge zu Verwertungs- bzw. Wiedereinsatzvorbereitung. Durch Abgleich mit den flexiblen bzw. kundenauftragsinduzierten Altgerätemengen werden diejenigen Altgerätemengen bestimmt, die zur Verwertungs- bzw. Wiedereinsatzvorbereitung anstehen (s. Kapitel 5.2.5.6). Zur Funktionsdurchführung benötigte Daten werden aus SAP R/3 ausgelesen. Im einzelnen müssen die folgenden Daten an das externe System übergeben werden:

Bedarfsdaten (Quelle: Absatz- und Produktionsgrobplanung – Planungstableau):

- Arten und Mengen nachgefragter Demontageergebnisse

- Arten und Mengen nachgefragter Demontageerzeugnisse aus Kundenaufträgen

Strukturdaten (Quelle: Verwendungsnachweise):

- Vorgänger/Nachfolger-Beziehungen
- Demontagekoeffizienten
- Wiedereinsatzwahrscheinlichkeiten

Bewegungsdaten (Quelle: Absatz- und Produktionsgrobplanung – Planungstableau):

- Prognostizierte Altgeräteanfallmenge

Der Algorithmus zur Altgerätebedarfsermittlung ist in Abb. 5.14 dargestellt. Die Altgerätebedarfsplanung liefert kundeninduzierte bzw. flexible Altgerätemengen an die Konsolidierung. Der Algorithmus zur Konsolidierung ist in Abb. 5.16 dargestellt. Als Ergebnis der Funktion Konsolidierung werden die Aufträge mit dem Merkmal

- *Verwertungsvorbereitung,*
- *Kundenauftrag zur Wiedereinsatzvorbereitung* bzw.
- *flexibler Auftrag zur Wiedereinsatzvorbereitung* an SAP R/3 übergeben.

6.2.1.5 Kapazitätsgrobplanung

Die Kapazitätsgrobplanung stellt ein Hilfsmittel zur Abschätzung der Realisierbarkeit des Demontageprogramms in Hinblick auf die dazu erforderlichen Kapazitäten dar. Ziel der Kapazitätsgrobplanung ist, durch frühzeitige Abstimmung von Kapazitätsangebot und -bedarf einer Über- bzw. Unterauslastung der Demontagefabrik vorzubeugen.

Im Rahmen des DPS-Konzepts werden die Altgeräte entsprechend Typ und Behandlungsart (Verwertungs- oder Wiedereinsatzvorbereitung) *Clustern* zugeordnet (s. Kapitel 5.2.5.7). Die Cluster werden in SAP R/3 von *Produktgruppen* repräsentiert. Diesen Produktgruppen sind die entsprechenden Arbeitsplatzkapazitäten zuzuordnen. Diese Zuordnung erfolgt in SAP R/3 über *Grobplanungsprofile*. Grobplanungsprofile werden für alle Produktgruppen gepflegt und bilden die Kapazitätsbeanspruchung durch eine Produktgruppe in einem Planungstableau ab. Im Planungstableau können die Demontagemengen den vorhandenen Kapazitätsangeboten und -auslastungen gegenübergestellt werden. Der Kapazitätsabgleich bietet die Möglichkeit zu prüfen, wie sich Änderungen am Demontageprogramm auf die Kapazitätssituation auswirken.

6.2.1.6 Erzeugungsgesteuerte Disposition

Neben *plangesteuerten* Demontageerzeugnissen fallen im Laufe des Demontageprozesses weitere Materialien an, deren geringer Wert bzw. geringe Nachfrage zu einer *erzeugungsgesteuerten* Prognose führt (s. Kapitel 5.2.5.8). Ziel dieser Planung ist die Prognose von Arten und Mengen z. B. als Kuppelprodukt anfallender geringwertiger Demontageerzeugnisse (z. B. Norm- und Kleinteile) bzw. Restmüll.

Analog zur *verbrauchsgesteuerten* Planung von z. B. C-Teilen im Rahmen konventioneller PPS wird die erzeugungsgesteuerte Planung auf Basis von Vergangenheitsdaten durchgeführt. Die relevanten Vergangenheitsdaten sind in SAP R/3 in Informationsstrukturen hinterlegt. SAP R/3 bietet in diesem Zusammenhang u. a. das Verfahren der *stochastischen Disposition*. Der relevante Vergangenheitszeitraum, der Abstand zwischen zwei Dispositionsläufen und das verwendete Prognoseverfahren können individuell im Materialstamm bestimmt werden. Wird die stochastische Disposition z. B. zu Beginn jeden Monats ausgeführt, liegt der planerische Erzeugungstermin der gesamten Materialmenge am ersten Arbeitstag eines Monats. Mithilfe einer Verteilungsfunktion können diese Mengen z. B. auf Wochen oder Tage der betrachteten Periode umgelegt werden. In SAP R/3 wird die aus der stochastischen Disposition resultierende Bestellmenge berechnet, indem der Prognosebedarf um den verfügbaren Lagerbestand und Materialzugänge vermindert wird. Im Rahmen der DPS dürfen Lagerbestände und Materialzugänge nicht vom Prognoseergebnis subtrahiert werden. Daher ist an dieser Stelle eine Anpassung des SAP R/3-Standards notwendig. Ergebnis der stochastischen Disposition in SAP R/3 sind Planaufträge, die entsprechend der Beschaffungsart in Fertigungs- bzw. Bestellaufträge umgesetzt werden. Im Gegensatz dazu besteht das Ziel der DPS-Funktion darin, eine bestandsmäßige Erfassung der prognostizierten Materialien vorzunehmen. Dieses Ziel kann durch entsprechendes Customizing im SAP R/3-Standard erreicht werden: Die im Rahmen der stochastischen Disposition erzeugten Aufträge können durch Zuordnung eines *Fertigungssteuerungsprofils* zum entsprechenden Material automatisch freigegeben werden. Das Fertigungssteuerungsprofil wird im Customizing definiert, die Zuordnung des Profils zum Auftrag erfolgt über den Materialstammsatz (Arbeitsvorbereitungsbild) des entsprechenden Materials. Nach der Sammelrückmeldung aller relevanten Aufträge kann, wiederum über die Pflege eines Fertigungssteuerungsprofils, die verfügbare Menge automatisch um die prognostizierte Materialmenge erhöht werden.

6.2.2 Materialbedarfsplanung

6.2.2.1 Losgrößenplanung

Nachdem die Menge zu demontierender Altgeräte determiniert ist, kann eine Losgrößenberechnung stattfinden. Im Gegensatz zur Losgrößenplanung im Rahmen der Absatz- und Produktionsgrobplanung (s. Kapitel 6.2.1.2) werden hierbei keine Demontageerzeugnisse, sondern Altgeräte zu Losen gebündelt. Ziel der Losgrößenbildung ist wiederum, das betriebswirtschaftliche Optimum zwischen Demontage- und Lagerkosten zu finden.

Die Losgrößenberechnung läuft entsprechend des im Materialstamm festgelegten Losgrößenverfahrens ab. Auf Basis hinsichtlich Typ und Behandlungsart (Verwertungs- oder Wiedereinsatzvorbereitung) gleicher Altgeräte werden Lose gebildet. Die im Rahmen der Konsolidierung (s. Kapitel 6.2.1.4) erzeugten Aufträge erhalten das Attribut *Behandlungsart*. Die Funktion *Losgrößenplanung* in SAP R/3 muss dahingehend angepasst werden, dass sie das erweiterte Attribut Behandlungsart bei der Losbildung berücksichtigt. Da entsprechend notwendige Customizingeinstellungen in SAP R/3 nicht vorgesehen sind, ist das Losgrößenplanungsprogramm zu ergänzen. Als Ergebnis der Losgrößenberechnung stellt SAP R/3 die gebündelten, zu demontierenden Altgerätemengen dar, die (falls notwendig) manuell geändert werden können. Nach Beendigung der Losgrößenplanung erzeugt SAP R/3 automatisch Planaufträge auf Basis der gebildeten Lose.

6.2.3 Kapazitätsplanung

Im Rahmen dieser Fallstudie werden die DPS-Funktionen in die SAP R/3-Funktionsgruppen eingeordnet. Im Fall der *Kapazitätsplanung* ist dies (hinsichtlich der Begriffswahl) nicht ganz unproblematisch: Die SAP R/3-Funktionsgruppe Kapazitätsplanung (CRP) enthält eine DPS-Funktion gleichen Namens (s. Kapitel 6.2.3.3).

6.2.3.1 Variantenkonfiguration

Die SAP R/3-Variantenkonfiguration wird für die Fertigung komplexer Produkte genutzt, deren Variationsbreite so hoch ist, dass nicht für jede Variante eine eigene Stückliste und ein eigener Arbeitsplan angelegt werden soll. Mithilfe der Variantenkonfiguration werden aus Maximalstücklisten bzw. -arbeitsplänen relevante Komponenten bzw. Arbeitsgänge selektiert (s. Kapitel 5.4.4.2). Die Variantenkonfiguration stellt in diesem Zusammenhang eine notwendige Voraussetzung zur Erzeugung von Auftragsnetzen dar. Ziel der Variantenkonfiguration im Rahmen der DPS ist, Voraussetzungen zu schaffen, dass für verschiedene Altgeräte entsprechend ihrer Zustände und der Demontageerzeugnis-Be-

darfssituation Demontageaufträge erstellt werden können, ohne dass für jede mögliche Demontagevariante eine eigene Stückliste und ein eigener Arbeitsplan angelegt werden muss.

In SAP R/3 stellen *konfigurierbare Materialien* die Grundlage zur Variantenkonfiguration dar. Die Auswahl von Komponenten bzw. Arbeitsgängen findet auf Basis von Merkmalen und Merkmalwerten statt, die über Beziehungswissen mit anderen Objekten der Variantenkonfiguration (z. B. Maximalarbeitsplänen, -stücklisten, Aktionen, Bedingungen) verbunden sind. Die Merkmale werden in SAP R/3 einer bestimmten *Klasse* zugewiesen. Diese Klasse ist Träger der Eigenschaften, die ein konfiguriertes Material beschreiben. Die Klasse wird mit dem konfigurierbaren Material verbunden. Durch diese Verbindung werden die Merkmale der Klasse dem Material zugewiesen. Die Verbindung zwischen Klasse und konfigurierbarem Material wird über das *Konfigurationsprofil* angelegt. Im Konfigurationsprofil kann den konfigurierbaren Materialien Beziehungswissen zugeordnet werden. Zur Vorbereitung der Variantenkonfiguration werden zunächst Materialstamm, Maximalstückliste und -arbeitsplan angelegt. Anschließend werden Merkmale und Merkmalwerte definiert und in Klassen zusammengefasst. Durch Verbindung von Material und Klasse mithilfe eines Konfigurationsprofils und Zuordnung von Beziehungswissen ist die Vorbereitung zur Variantenkonfiguration abgeschlossen.

In der Planungsphase bewertet SAP R/3 die Merkmale konfigurierbarer Materialien im Kundenauftrag. In der Variantenkonfiguration wird auf Basis der Maximalstücklisten und des Beziehungswissens eine Auftragsstückliste generiert. Unter Einbeziehung der Auftragsstückliste, der Daten aus dem Maximalarbeitsplan und entsprechendem Beziehungswissen wird der Auftragsarbeitsplan generiert. Auftragsarbeitsplan und Auftragsstückliste bilden die Grundlage zur Erzeugung eines Auftragsnetzes.

Im Rahmen der DPS stellen Demontageerzeugnisse die zu bewertenden Merkmale dar. Die Bewertung hängt jedoch nicht, wie in SAP R/3 vorgesehen, von der Eingabe eines Kundenauftrags ab, sondern von den in der Absatz- und Produktionsgrobplanung prognostizierten Demontageerzeugnis-Bedarfen. Über eine Programmanpassung müssen die merkmalspezifischen Demontageerzeugnis-Bedarfe aus der Absatz- und Produktionsgrobplanung selektiert und entsprechend des zulässigen Wertebereichs (s. Kapitel 5.4.4.2) eingeplant werden. Die Menge zur Verfügung stehender Demontageerzeugnisse auf einer niedrigeren Demontagestufe reduziert sich um die Menge der bereits eingeplanten, übergeordneten Komponenten. In der Variantenkonfiguration von SAP R/3 ist es möglich, die einem Merkmal nachgelagerten Merkmale bzw. Merkmalwerte durch die vorherige Bewertung zu beeinflussen. Bei der Bewertung muss daher die Bewertungsreihenfolge beachtet werden: Die Bewertung beginnt bei Demontageerzeugnissen der obersten De-

montagestufe und endet bei denen der untersten Demontagestufe. Diese Abhängigkeiten werden im Beziehungswissen abgelegt. Nach der Bewertung eines Altgeräts erfolgt eine entsprechende Reduktion der vorhandenen Demontageerzeugnis-Bedarfe bzw. Altgerätemengen (s. Abb. 5.29), die ebenfalls mithilfe einer Programmanpassung ausgeführt wird. Im Rahmen der prädiktiven Zeit- und Kapazitätsplanung erfolgt die Reduktion unter Einbeziehung von Wiedereinsatzwahrscheinlichkeiten p^{WE} und Demontagekoeffizienten. In der *reaktiven* Zeit- und Kapazitätsplanung werden die Wiedereinsatzwahrscheinlichkeiten durch die in einem externen System ermittelten Wiedereinsatzbarkeiten (s. Kapitel 5.5.3) ersetzt (s. Abb. 5.43). Dazu werden die Wiedereinsatzbarkeiten vor dem Aufstellen der Planauftragsnetze aus einem externen Fuzzy-System in SAP R/3 importiert. Da zwischen dem eingesetzten System und SAP R/3 keine standardisierte Datenschnittstelle existiert, werden die Daten mithilfe des *Batch-Input*-Verfahrens importiert (s. Kapitel 6.2.1.1).

6.2.3.2 Durchlaufterminierung

Die Durchlaufterminierung ist Teil der SAP R/3-Funktionsgruppe Kapazitätsplanung (CRP), stellt jedoch eine eigenständige, abgegrenzte Funktion dar. Trotz Einbettung in die Funktionsgruppe Kapazitätsplanung (CRP) werden Kapazitätsgrenzen bei der Terminierung nicht beachtet. Das Ziel der Durchlaufterminierung besteht darin, Arbeitsgänge so zu disponieren, dass die geplanten Endtermine erreicht werden. Dazu ermittelt die Terminierung, ausgehend von groben Eckterminen aus der Materialbedarfsplanung, Start- und Endtermine sowie Zeitpuffer.

SAP R/3 bietet die Terminierungsverfahren Vorwärts-, Rückwärts- und Mittelpunktsterminierung. Dabei werden die Elemente *Vorgang* und *Anordnungsbeziehung* unterschieden. Vorgänge beschreiben die einzelnen Arbeitsgänge in einem Auftrag, Anordnungsbeziehungen legen fest, in welcher Reihenfolge die Vorgänge ausgeführt werden. SAP R/3 bildet die Anordnungsbeziehungen automatisch nach aufsteigenden Vorgangsnummern. Auf Basis der Anordnungsbeziehungen werden die Vorgänge ihrem Rang nach geordnet. Startvorgänge (Vorgänge ohne Vorgänger) haben den kleinsten Rang. Zielvorgänge (Vorgänge ohne Nachfolger) haben den höchsten Rang. Alle Nachfolger eines Vorgangs haben einen höheren Rang als der Vorgang selbst. Die Vorgänge werden entsprechend ihres Rangs terminiert.

Die Terminierung der Demontageplanung verläuft weitestgehend analog zur Terminierung der Produktionsplanung. Ein Unterschied besteht darin, dass Auftragsnetze im Rahmen der *reaktiven* Zeit- und Kapazitätsplanung eine zusätzliche Information mitführen, durch die sie einem bestimmten Altgerät zugeordnet werden können (s. Kapitel 5.5.3). Diese Infor-

mation besteht aus einem Schlüssel, der den Altgerätezustand (z. B. Baujahr, Nutzungsintensität, Ausfallursache) darstellt. Durch diese Zuordnung ist keine eindeutige Identifikation eines *bestimmten* Altgeräts möglich, jedoch eine eindeutige Identifikation eines Altgeräts *mit bestimmten Eigenschaften* (s. Abb. 5.44). Die Berücksichtigung des Altgerätezustands muss mithilfe einer entsprechenden Programmanpassung ermöglicht werden.

6.2.3.3 Kapazitätsplanung

In der Kapazitätsplanung erfolgt eine Gegenüberstellung von Kapazitätsangebot und -bedarf. Sollten sich untolerierbare Abweichungen ergeben, wird eine *Kapazitätsabstimmung* durchgeführt. Das Ziel der Kapazitätsplanung besteht darin, die Kapazitätssituation transparent zu machen und Informationen bereit zu stellen, auf deren Basis Abstimmungsmaßnahmen getroffen werden können.

Bereits während der Terminierung schreibt SAP R/3 Kapazitätsbedarfssätze fort. Die Kapazitätsbelastungen werden in dem Beziehungstyp *Belastung* dargestellt (s. Kapitel 5.4.4.4). Zur Durchführung der Kapazitätsabstimmung können in SAP R/3 grafische und tabellarische Plantafeln ausgewählt werden. In einer tabellarischen Plantafel sind die Kapazitätsangebote und -bedarfe in einem Periodenraster dargestellt. Die grafische Plantafel ermöglicht die Feinplanung der Kapazitätsbedarfe. Hierbei werden die Bedarfe zeitpunktgenau und in der Reihenfolge ihrer Bearbeitung auf einzelne Kapazitäten eingeplant. Entsprechend einer Über- oder Unterauslastung der Kapazitäten werden Maßnahmen des Kapazitätsabgleichs bzw. der Kapazitätsanpassung eingeleitet (s. Kapitel 5.4.4.4). Im Rahmen der Kapazitätsabstimmung sind die Prioritäten einzelner Aufträge zu beachten. Ein übliches Verfahren besteht darin, Aufträge entsprechend ihrer Priorität (z. B. Ersatzteil-, Kunden- und Chefaufträge) umzuplanen (vgl. Mertens (1997), S. 166). In der Demontageplanung werden die Prioritäten auf Basis der Attribute *Behandlungsart* und *Altgerätezustand* festgelegt (s. Kapitel 5.5.4.4).

6.2.3.4 Beschaffungsplanung

Die Beschaffungsplanung ist eine Funktion, mit der die Verfügbarkeit benötigter Materialien (Altgeräte) sichergestellt werden soll. Ziel der Beschaffungsplanung ist die termingerechte Bereitstellung derjenigen Altgeräte, die nicht bereits im Rahmen von Serviceleistungen anfallen. Die Funktion Beschaffungsplanung wird ausschließlich in der prädiktiven Zeit- und Kapazitätsplanung ausgeführt.

Nach Durchlaufterminierung und Kapazitätsplanung müssen zusätzlich zu beschaffende Altgerätemengen $x_a^{Beschaffung}$ ermittelt und in Bestellanforderungen umgesetzt werden (s. Kapitel 5.4.4.5). Mithilfe der Verfügbarkeitsprüfung werden die zusätzlich zu beschaffenden Altgerätemengen in SAP R/3 bestimmt. Im Customizing ist einstellbar, dass die Verfügbarkeitsprüfung beim Sichern des Kapazitätsplanungsergebnisses ausgeführt wird. Die Verfügbarkeitsprüfung findet automatisch statt und beinhaltet eine Prüfung gegen die ATP-Menge. Auf Basis der ermittelten Fehlmengen werden Bestellanforderungen für Altgeräte erstellt. Bestellzeitpunkte werden entsprechend der gepflegten Wiederbeschaffungszeiten determiniert. Die Wiederbeschaffungszeit setzt sich in SAP R/3 aus Einkaufsbearbeitungszeit, Planlieferzeit und Wareneingangsbearbeitungszeit zusammen. Im SAP R/3-Standard werden im Auftragsnetz nur *Komponenten* (Demontageerzeugnisse) auf ihre Verfügbarkeit geprüft, jedoch nicht die *zu demontierenden Materialien* (Altgeräte). Da Komponenten im Rahmen der Demontage entstehen und Altgeräte beschafft werden, muss die Verfügbarkeitsprüfung für Komponenten deaktiviert und für zu demontierende Materialien (Altgeräte) aktiviert werden. Komponenten, für die eine Verfügbarkeitsprüfung durchgeführt werden soll, müssen einer Prüfgruppe zugeordnet sein. Wird diese Zuordnung unterlassen, nehmen die entsprechenden Komponenten nicht an der Verfügbarkeitsprüfung teil. Zur Berücksichtigung von Altgeräten ist eine entsprechende Programmänderung nötig.

Die BANF-Erzeugung wird zumeist als periodisch im Hintergrund ablaufende Funktion in SAP R/3 eingeplant. Im Rahmen der Beschaffungsplanung werden die relevanten Bestellanforderungen im interaktiven Dialog (z. B. mithilfe der Sammelfreigabe) vom Benutzer freigegeben.

6.2.3.5 Auftragsfreigabe

Ziel der Auftragsfreigabe ist, die in der Planungsperiode eingeplanten Aufträge für die Feinplanung in der Demontagesteuerung freizugeben, unter der Voraussetzung, dass die entsprechenden Altgeräte verfügbar sind. Die Auftragsfreigabe ist eine Funktion der reaktiven Zeit- und Kapazitätsplanung und wird ausschließlich für die aktuelle Periode durchgeführt.

Mithilfe der *Sammelfreigabe* in SAP R/3 können die Aufträge, deren Starttermine in einen bestimmten Zeitraum fallen, freigegeben werden. Bevor die Aufträge freigegeben werden, wird die Verfügbarkeit der entsprechenden Materialien (Altgeräte) geprüft. Ein Auftrag wird zur Feinplanung freigegeben, wenn das zur Erfüllung des Demontageauftrags notwendige Altgerät physisch vorhanden ist und hinsichtlich seines Zustands bewertet wurde (s. Kapitel 5.5.4.5). In diesem Zusammenhang wird ein zusätzliches Attribut (Zustands-

schlüssel) auf Auftragskopfebene eingeführt (s. Kapitel 5.5.3). Die Verfügbarkeitsprüfung findet daher implizit über eine Selektion derjenigen Aufträge statt, in deren Kopf das Attribut Zustandsschlüssel gepflegt ist. Die Sammelfreigabe in SAP R/3 wird daher um das Selektionskriterium *Zustandsschlüssel* erweitert. Im Standard listet SAP R/3 alle Aufträge auf, die dem Selektionskriterium *Starttermin* entsprechen und die noch nicht freigegeben sind. Diese Liste muss, bevor sie am Bildschirm angezeigt wird, um diejenigen Aufträge reduziert werden, bei denen das Feld *Zustandsschlüssel* nicht gepflegt ist. Nach nochmaliger Bestätigung gibt SAP R/3 die Aufträge für die Feinplanung frei.

6.2.4 Zusammenfassung demontageinduzierter SAP R/3-Anpassungen

6.2.4.1 Datenstrukturen

Im Folgenden werden die Attribute zusammengefasst, die hinsichtlich Stamm-, Struktur- und Bewegungsdaten *erweitert* werden müssen (s. Abb. 6.3).

<i>Attribut</i>	<i>Funktionsgruppe(n)</i>	<i>Datenstruktur</i>
$\alpha^{Zeitreihe}$ (Gewichtungsfaktor)	Primärbedarfsplanung	Materialstamm
p^{WE} (Wiedereinsatzwahrscht.)	Primärbedarfsplanung prädiktive Zeit- und Kapazitätsplanung	Erzeugnisstruktur
WE (Wiedereinsetzbarkeit)	reaktive Zeit- und Kapazitätsplanung	Erzeugnisstruktur
Zustandsschlüssel	reaktive Zeit- und Kapazitätsplanung	Auftrag
Behandlungsart	Primärbedarfsplanung Zeit- und Kapazitätsplanung	Auftrag

Abb. 6.3: Demontageinduzierte SAP R/3-Datenstrukturerweiterungen

6.2.4.2 Funktionen

Nachfolgend werden die demontageinduzierten SAP R/3-Funktionsanpassungen zusammenfassend dargestellt (s. Abb. 6.4). Dazu wird Abb. 6.2 um systemspezifische und theoretische Anpassungsarten erweitert. Zu jeder Funktion mit demontageinduziertem Anpassungsbedarf werden die entsprechenden Anpassungsarten quantifiziert.

PPS-Konzept (Basis: SAP R/3) - Funktionen/Teilfunktionen -	DPS-Konzept - Funktionen/Teilfunktionen -	systemspezifische Anpassungsarten			theoretische Anpassungsarten		
		Cust.	Pr-A	A-O	Erw.	Mod.	Erg.
Absatz- und Produktionsmengenplanung	AG-Anfallprognose		2	1			3
	Absatz- und Demontagemengenplanung						
	Brutto-/Nettorechnung						
	Losgrößenplanung		1			1	
	Vorlaufverschiebung		1			1	
	AG-Bedarfsermittlung			1			1
	Konsolidierung						
Kapazitätsgrobplanung	Kapazitätsgrobplanung						
Kapazitätsangebot	Kapazitätsangebot						
Kapazitätsbedarf	Kapazitätsbedarf						
Kapazitätsabstimmung	Kapazitätsabstimmung						
SOP	Progn. erzeugungsgesteuerter Materialien	1	1			2	
Erstellung Produktionsprogramm	Primärbedarfsplanung						
MP							
Brutto-/Nettorechnung							
Losgrößenplanung	Losgrößenplanung		1				1
Stücklistenauflösung							
Vorlaufverschiebung							
MRP	Bedarfsplanung						
Variantenkonfiguration	Variantenkonfiguration		2			1	1
Durchlaufterminierung	Durchlaufterminierung						
Vorwärts-/Rückwärtsterminierung	Vorwärts-/Rückwärtsterminierung						
Durchlaufzeitverkürzung	Durchlaufzeitverkürzung						
Betriebsmittelbestimmung	Betriebsmittelbestimmung						
Kapazitätsplanung	Kapazitätsplanung						
Kapazitätsangebot	Kapazitätsangebot						
Kapazitätsbedarf	Kapazitätsbedarf						
Kapazitätsabstimmung	Kapazitätsabstimmung						
	Beschaffungsplanung		1			1	
	prädiktive Zeit- und Kapazitätsplg. (n Perioden)						
	Variantenkonfiguration		2	1		1	2
	Durchlaufterminierung		1			1	
	Vorwärts-/Rückwärtsterminierung						
	Durchlaufzeitverkürzung						
	Betriebsmittelbestimmung						
	Kapazitätsplanung						
	Kapazitätsangebot						
	Kapazitätsbedarf						
	Kapazitätsabstimmung						
	Auftragsfreigabe		1				1
CRP	reaktive Zeit- und Kapazitätsplg. (aktuelle Periode)						

Legende: Cust.: Customizing
Pr-A: Programmanpassung
A-O: Add-On
Erw.: Erweiterung
Mod.: Modifikation
Erg.: Ergänzung

Abb. 6.4: Demontageinduzierte SAP R/3-Funktionsanpassungen

Dabei müssen sich die Summen der systemspezifischen bzw. theoretischen Anpassungen entsprechen.

6.2.4.3 Integration

Neben funktions- und datenstruktur- sind *integrationsspezifische* Anpassungen zu beachten. In diesem Zusammenhang müssen Abhängigkeiten (z. B. hinsichtlich Ablaufreihenfolgen) von Funktionen und Funktionsgruppen des Funktionsbereichs Demontageplanung und -steuerung berücksichtigt werden. Betriebstypologie, Herstellerbezug (s. Kapitel 3.3.2) und überbetriebliche Organisationsform (s. Kapitel 3.4) beeinflussen die Konfiguration des DPS-Systems und notwendige Integrationsmaßnahmen. Ohne spezifische Maßnahmen zu beschreiben, die bestimmte Ausprägungen der Betriebstypologie, des Herstellerbezugs und der überbetrieblichen Organisationsform unterstellen, wird nachfolgend eine theoretische Beschreibung mit einigen Beispielen gegeben.

Grundsätzlich können Integrationen im Sinne des *Verbindens* und des *Vereinigens* unterschieden werden (vgl. Heinrich/Roithmayr (1995), S. 271). Mittels Vereinigungsintegration werden gleichartige Systembestandteile zusammengeführt, dies führt zu einer Komplexitätsreduktion des Systems. Durch die Verbindungsintegration entsteht ein System bisher unverbundener Elemente bzw. Subsysteme. Im Folgenden wird mit Integration stets die *Integration im Sinne des Verbindens* bezeichnet. Nach dem Integrationsgegenstand werden vor allem *Funktions-* und *Datenintegration* unterschieden (vgl. Rautenstrauch (1993), S. 24; Rosemann (1996), S. 157)¹¹⁷. Funktionsintegration bezeichnet die informationstechnische Verknüpfung von Funktionen; Datenintegration bezeichnet die logische Zusammenführung von Daten (vgl. Mertens (1997), S. 1). Im Zusammenhang mit der Funktionsintegration ist die *Ablaufreihenfolge* bzw. *-häufigkeit* zu beachten.

Im Rahmen des vorgestellten DPS-Konzepts sind Fälle zu unterscheiden, in denen zusätzliche Funktionen integriert werden oder sich der Ausführungsort konventioneller Funktionen ändert, diese in ein neues Umfeld (d. h. andere Vorgänger- oder Nachfolgerfunktion) integriert werden. Die Änderung des Ausführungsorts konventioneller Funktionen kann durch Integration neuer Funktionen induziert werden.

Hinsichtlich der Funktionsintegration ist besonders der *Automatisierungsgrad* zu beachten. Entsprechend des Automatisierungsgrads kann die voll- und teilautomatische Verkettung unterschieden werden (vgl. Mertens (1997), S. 5f.). Eine vollautomatische Verkettung liegt vor, wenn eine oder mehrere Funktionen durch ein Ereignis angestoßen und ohne Interaktion mit einem Benutzer ausgeführt werden. Bei der teilautomatischen Verkettung kommt es zur Interaktion zwischen System und Benutzer. Zu unterscheiden ist hierbei, wodurch eine Aktion ausgelöst wird. Ergreift z. B. ein Disponent die Initiative und führt

¹¹⁷ Des Weiteren werden u. a. Prozess-, Vorgangs-, Methoden- und Programmintegration genannt (vgl. z. B. Mertens (1997), S. 2ff.).

einen Kapazitätsabstimmung durch, wird von *Benutzersteuerung* gesprochen. Wird der Anstoß vom System gegeben, liegt eine aktionsorientierte Datenverarbeitung (AODV) vor; werden mehrere aufeinanderfolgende Funktionen gesteuert, wird von *Systemsteuerung* gesprochen. Die AODV kann in Workflow-Management-Systeme (WMS) übergehen: Die Abgrenzung zwischen AODV und WMS ist nicht unproblematisch, AODV bezieht sich eher auf Einzelmaßnahmen, WMS eher auf Prozesse (vgl. Mertens (1997), S. 14). Zwischen den Extremen Benutzer- bzw. Systemsteuerung können zahlreiche Mischformen auftreten.

In SAP R/3 erfolgt die Funktionsverkettung zumeist in *Mischform*. Funktionen werden z. T. als *Job* eingeplant¹¹⁸ und laufen zu definierten Zeiten oder Ereignissen im Hintergrund automatisch ab (z. B. BANF-*Erzeugung*). Ein Job bezeichnet eine definierte Kette von (Teil-)Funktionen, die durch Kontrollbefehle zeitlich nacheinander angestoßen werden. Andere Funktionen (z. B. die BANF-*Freigabe*) können *benutzergesteuert* erfolgen. Nachdem der Benutzer die (vom System automatisch erzeugten) relevanten Bestellanforderungen selektiert hat, kann er sie z. B. mithilfe der Sammelfreigabe freigeben. Die Beschaffungsplanung ist im Rahmen des DPS-Konzepts der Zeit- und Kapazitätsplanung zugeordnet. Dies bedeutet nicht, dass die Bestellanforderungen in der Zeit- und Kapazitätsplanung erzeugt werden, vielmehr basiert die BANF-*Erzeugung* (die z. B. täglich eingeplant wird) auf Daten, die erst nach Ausführung der Vorgängerfunktion (Kapazitätsplanung) vorhanden sind. Im Rahmen der Zeit- und Kapazitätsplanung werden die Bestellanforderungen freigegeben.

Analog zur BANF-*Erzeugung* werden Funktionen der prädiktiven und reaktiven Zeit- und Kapazitätsplanung (z. B. Variantenkonfiguration, Durchlaufterminierung) als periodisch auszuführende Jobs in SAP R/3 eingeplant. Die Zeit- und Kapazitätsplanung muss im Rahmen der rollierenden Planung für die folgenden Perioden $1, \dots, n$ und für die jeweils aktuelle Periode ausgeführt werden. Die z. T. unterschiedliche Funktionalität beider Planungsläufe muss im Rahmen der Funktionsanpassungen berücksichtigt werden. Benutzergesteuerte, interaktiv durchzuführende Funktionen (z. B. der Kapazitätsabgleich) können über den entsprechenden Menübefehl angestoßen werden.

Notwendige Integrationsmaßnahmen bestehen in diesem Zusammenhang z. B. aus der Definition und Reihenfolgesteuerung automatisch auszuführender Jobs sowie Erstellung von Handlungsanweisungen zum benutzergesteuerten Funktionsanstoß (z. B. über Menübefehle oder Eingabe von Transaktionscodes). Zur weitergehenden Automatisierung der Abläufe bietet sich der SAP Business Workflow an. Der SAP Business Workflow ermög-

¹¹⁸ Transaktionscode SM36/SM37. Eine Transaktion ist ein logisch abgeschlossener Vorgang in SAP R/3. Ein Transaktionscode benennt eine Transaktion.

licht die Integration betriebswirtschaftlicher Funktionen und stellt eine Ergänzung zur vorhandenen SAP R/3-Standardfunktionalität dar.

7 Schlussbetrachtung

7.1 Zusammenfassung

Gesellschaftlicher Wertewandel, rechtliche Rahmenbedingungen und zunehmende Wirtschaftlichkeit von Recyclingaktivitäten beschleunigen den Übergang von der Durchlauf- zur Kreislaufwirtschaft. Recycling wird mittel- bis langfristig neben der Eigenfertigung und dem Fremdbezug zu einer weiteren wesentlichen Materialquelle für die industrielle Produktion (vgl. Rautenstrauch (1997a), S. 192).

Das in dieser Arbeit vorgestellte DPS-Konzept ermöglicht durch systematische, markt-orientierte Planung und Steuerung eine Erhöhung der Wirtschaftlichkeit von Demontageprozessen und kann mittelbar zu einer Situationsverbesserung der Kreislaufwirtschaft beitragen. Ausgangspunkt für die Erarbeitung des DPS-Konzepts bilden Untersuchungen der Demontagefabrik-Betriebstypologie, der inner- und überbetrieblichen Organisation, genereller Herausforderungen der Demontage sowie der Beschaffungs- und Absatzmarktsituation. Der dieser Arbeit zu Grunde liegende Demontagefabriktyp ist gekennzeichnet durch das Vorliegen einer *dualen Leistungssituation* (Service- und Produzentenleistung), einer *dualen Kosten- und Erlössituation* (Kosten und Erlöse auf der Input- und Outputseite), hoher *Unsicherheit* (z. B. hinsichtlich der Altgeräteeinfallmengen) und *Komplexität* (z. B. hinsichtlich zusätzlicher Freiheitsgrade durch Altgerätebaugleichheiten) sowie einer *expliziten Marktorientierung*. Daraus lassen sich die Hauptanforderungen an das DPS-Konzept ableiten:

- Der Planungsprozess muss durch Demontageerzeugnisse getrieben werden.
- Altgeräte müssen bedarfsgesteuert beschafft werden.
- Unsicherheit und Komplexität müssen reduziert werden.

In auf Wirtschaftlichkeit ausgerichteten Demontagefabriken wird die Befriedigung kundenspezifischer Bedarfe in den Mittelpunkt gerückt. Die üblicherweise *push*-orientierte Fließdemontage verliert zu Gunsten der *pull*-orientierten *on-demand*-Demontage an Bedeutung. Auf Basis der Prozessähnlichkeiten von Produktion und Demontage sowie der Forderung nach geringem Aufwand für Implementierung und Einsatz potenzieller DPS-Systeme wurde in dieser Arbeit ein konventionelles PPS-Konzept (MRP II) entsprechend demontageinduzierter Anforderungen angepasst. Unscharfe und unsichere Daten werden mithilfe von z. B. Prognosen und Fuzzy-Analysen in quasi-deterministische Daten überführt. Eine robuste Planung und ein antizipatives Störungsmanagement vermindern bzw. senken Störungsauswirkungen. Dem Ansatz des Sukzessivplanungskonzepts folgend, wird die Demontageplanung in einzelne, sukzessiv auszuführende Planungsstufen zerlegt, um die Komplexität zu verringern. Funktionen werden z. T. ergänzt (z. B. Varianten-

konfiguration), modifiziert (z. B. Sekundärbedarfsplanung) oder bereits auf Konzeptebene in externe Systeme (Add-Ons) ausgelagert (z. B. Fuzzy-Analysen, lineare Optimierung). Neben der Anpassung von Funktionen und Funktionsgruppen werden Datenstrukturen demontagespezifisch erweitert.

Analog zu konventionellen PPS-Konzepten werden im Rahmen des vorgestellten DPS-Konzepts *Ersatzziele* verfolgt. Durch *niedrige Durchlaufzeiten, hohe Termintreue und Lieferbereitschaft, geringe Bestände* und eine *hohe und gleichmäßige Kapazitätsauslastung* wird ein positiver Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit vermutet. Weiterhin können die *Steigerung der Flexibilität* und die *explizite Marktorientierung* zu einer Verbesserung der Wirtschaftlichkeit beitragen.

In einer abschließend durchgeführten Fallstudie konnte das erarbeitete DPS-Konzept validiert werden. Der systemspezifisch notwendige Anpassungsbedarf wurde auf Basis einer betriebswirtschaftlichen Standardsoftware zur Produktionsplanung und -steuerung (SAP R/3) systematisiert und qualitativ evaluiert.

7.2 Ausblick

Produktrecycling wird bereits in einigen Wirtschaftsbereichen erfolgreich durchgeführt, dennoch stellt Materialrecycling die vorherrschende Recyclingkreislaufart dar. Insbesondere hohe demontageinduzierte Kosten und geringe Erlöse erschweren derzeit ein wirtschaftliches Produktrecycling. Die wachsende Nachfrage nach Demontageerzeugnissen (vgl. z. B. BVSE (1998), S. 22), der sinkende Kostendruck durch neue Gesetze und Verordnungen (insbesondere im Rahmen der Produzentenverantwortung) und eine steigende Wirtschaftlichkeit der Demontageprozesse durch Implementierung technischer (z. B. Mechanisierung, Automatisierung) und organisatorisch/dispositiver (z. B. DPS-Konzepte) Ansätze werden die Entwicklung der Kreislaufwirtschaft vorantreiben.

Weiterführender Forschungs- und Entwicklungsbedarf ergibt sich auf Gebieten verschiedener Disziplinen. Zunächst muss geprüft werden, ob der durch den Einsatz des entwickelten DPS-Konzepts erzielbare Nutzen so groß ist, dass entsprechende Anpassungs- bzw. Entwicklungskosten gerechtfertigt sind. In diesem Zusammenhang müssen geeignete Wirtschaftlichkeitsanalysen herangezogen werden. Die Durchführung von Wirtschaftlichkeitsanalysen für komplexe strategische Informationssysteme ist jedoch nicht unproblematisch (vgl. Taudes u. a. (1996), S. 178). Hindernisse können sich im Rahmen der Informationsbeschaffung und -aufbereitung sowie der Erfassung nicht direkt monetär bewertbarer Wirkungen ergeben (vgl. Horváth (1988), S. 2ff.).

Die theoretischen Voraussetzungen zur Demontageplanung und -steuerung wurden durch das in dieser Arbeit vorgestellte Konzept geschaffen, fortführend sollten die dargestellten Anpassungen und Entwicklungen systemtechnisch abgebildet werden. Dazu müssen betriebswirtschaftliche Standardsoftware zur Produktionsplanung und -steuerung angepasst, Fuzzy- und Leitstandsysteme sowie Systeme zur linearen Optimierung entwickelt bzw. parametrisiert werden. Weiterhin sind die Schnittstellen zwischen den einzelnen Systemen zu entwickeln.

Die konzeptionelle Weiterentwicklung der DPS könnte in vertikaler und horizontaler Richtung fortgeführt werden. Im Rahmen einer *vertikalen* Integration können Planungs- und Steuerungskonzepte und -systeme zur produktionsintegrierten Demontage erarbeitet werden (s. Abb. 7.1).

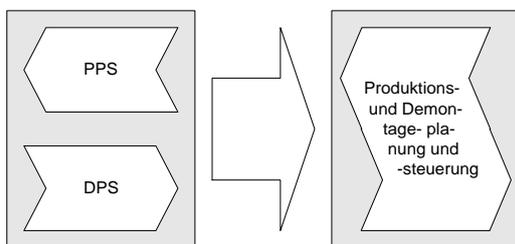


Abb. 7.1: Vertikale Integration: Weiterentwicklung zur *Produktions- und Demontageplanung und -steuerung*

Dabei sind die Grundformen Addition, Kombination und Implementierung zu unterscheiden (s. Kapitel 3.3.2). Insbesondere können sich durch die Integration Vorteile hinsichtlich Informationsversorgung, Logistik und Kapazitätsflexibilität ergeben. Allerdings erhöhen sich Aufgabenspektrum und Planungs- bzw. Steuerungsaufwand der Produktionslogistik, da die Prozesse Produktion und Demontage sowie deren Interdependenzen berücksichtigt werden müssen¹¹⁹.

Die Integration von Funktionen der Aufarbeitungs- sowie der Remontageplanung und -steuerung stehen im Zentrum der *horizontalen* Integration (s. Abb. 7.2).

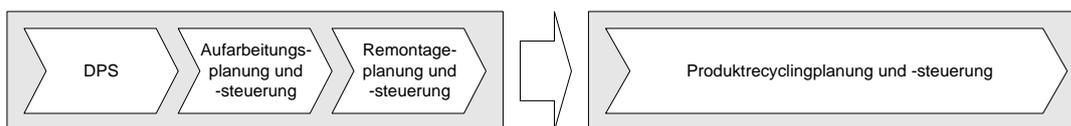


Abb. 7.2: Horizontale Integration: Weiterentwicklung zur *Produktrecyclingplanung und -steuerung*

¹¹⁹ Zur Organisation und Logistik recyclingorientierter Produktionssysteme vgl. Jahn (1998); zur Ausgestaltung eines Fachkonzepts zur Produktions- und Recyclingplanung und -steuerung vgl. Rautenstrauch (1997a).

Unter der Bezeichnung Aufarbeitungsplanung und -steuerung werden in diesem Zusammenhang die Funktionen Reinigen, Prüfen/Sortieren und Aufarbeiten/Erneuern zusammengefasst (s. Abb. 2.1). Durch die Integration der Aufarbeitungs- sowie der Remontageplanung und -steuerung wird die DPS zur *Produktrecyclingplanung und -steuerung* erweitert.

Ein weiterer Untersuchungsgegenstand ist die Betrachtung des Einflusses von Produktnutzenkonzepten (s. Kapitel 2.3.2) auf die DPS. Kennzeichen des in dieser Arbeit beschriebenen DPS-Konzepts ist vor allem die *Unsicherheit* bezüglich der Planungsdaten (z. B. Altgeräteanfallmengen, -zustände). Im Rahmen von Produktnutzenkonzepten sind Anfallzeitpunkte definiert oder definierbar, weiterhin ist eine höhere Sicherheit bei Bedarfsprognosen zu erwarten. Insgesamt kann es daher zu einer höheren Sicherheit hinsichtlich der Beschaffungs- und Absatzprognosen kommen. Daten aus der *Entwicklungs- und Produktionsphase* könnten über das Internet zur Verfügung gestellt werden. Mithilfe von Produktdatenspeichern oder Auskünften der Letztnutzer (s. Kapitel 2.4.1) lassen sich Daten aus der *Nutzungsphase* verfügbar machen. Die Bereitstellung relevanter Daten aus allen Phasen des Lebenszyklus kann zu einer weiteren Erhöhung der Planungsgenauigkeit führen.

Literaturverzeichnis

- Adam, D. (1992): Aufbau und Eignung klassischer PPS-Systeme. In: Adam, D. (1992), S. 9-25.
- Adam, D. (1993a): Ökologische Anforderungen an die Produktion. Umweltmanagement in der Produktion. In: Adam, D. (1993), S. 6-31.
- Adam, D. (1993b): Produktions-Management. 7. Aufl., Wiesbaden.
- Adam, D. (1998): Produktions-Management. 9. Aufl., Wiesbaden.
- Adam, D. (Hrsg.) (1992): Fertigungssteuerung: Grundlagen und Systeme. Wiesbaden.
- Adam, D. (Hrsg.) (1993): Umweltmanagement in der Produktion. SzU, Band 48, Wiesbaden.
- Affüpper, M.; Holberg, T. (1999): Elektronikschrottverwertung. EP, 17. Jg., Heft 1-2, S. 19-21.
- Ahlemeyer, H.; Königswieser, R. (Hrsg.) (1997): Komplexität managen. Wiesbaden.
- Aue-Uhlhausen, H.; Kühnle, H. (1988): Von ABS bis OPT: PPS-Methoden im Vergleich. In: AWF (1988), S. 177-230.
- AWF (Hrsg.) (1984): Flexible Fertigungsorganisation am Beispiel von Fertigungsinseln. Eschborn.
- AWF (Hrsg.) (1988): PPS 88. Eschborn.
- Barth, D.; Gerhardt, A.; Schmied, H. (1993): Integration der Demontage in das produktionstechnische System. ZwF, 88. Jg., Heft 3, S. 141-145.
- Baum, H.-G. (1993): Kernpunkte einer Kreislaufwirtschaft: Nicht nur Beseitigung, auch Wiedereinsatz von Abfall ist gefragt. Süddeutsche Zeitung vom 10.05.1993.
- Baumgarten, H. u. a. (Hrsg.) (1997): RKW-Handbuch: Logistik. Berlin.
- Baumgarten, H.; Frille, O. (1999): Netzwerke als Strategie zur Senkung der Transaktionskosten im Recycling. uwf, 7. Jg., Heft 3, S. 78-81.
- Baumgarten, H.; Ivisic, R.-A. (2000): Struktur und Potenziale des Absatzmarktes für Demontageprodukte Weißer Ware. uwf, 8. Jg., Heft 2, S. 63-67.
- Becker, J.; Rosemann, M. (1993): Logistik und CIM. Berlin u. a.
- Bellin, H.-W. (1997): Alternative Vermarktungskonzepte für Elektrowerkzeuge. In: Fleig, J.; Krause, U. (1997), S. 29-41.
- Bellin, H.-W. (1998): Neue Konzepte sind gefragt. F+H, 48. Jg., Heft 6, S. LS 9-LS 11.
- Binger, G.; Flemming, F.; Ya Fo, Y. (1998): Demontage in hybriden Arbeitssystemen. VDI-Z, 140. Jg., Heft 9, S. 66-69.
- Birnkrant, D.; Burmeister, M. (1993): Wege zur umweltschonenden Fabrik. VDI-Z, 135. Jg., Heft 8, S. 43.
- BMWi (Hrsg.) (1994): Standort Deutschland: Auftrag Zukunft. Bonn.
- Bönker, T.; Eckerth, G.; Schmidt, G. (1998): Innovative Recyclingfabrik mit Netzwerkstruktur zur Schaffung von Bauteilkreisläufen. ZAU, 11. Jg., Heft 2, S. 265-277.
- Bonny, C. (Hrsg.) (1992): Jahrbuch der Logistik. Düsseldorf.
- Bothe, H.-H. (1995): Fuzzy Logic. Berlin u. a.
- Bracke, S.; Schnauber, H. (1999): Produktrecycling bei Investitionsgütern des Maschinenbaus. EP, 17. Jg., Heft 4, S. 19-21.

- Brauer, H. (Hrsg.) (1996): Handbuch des Umweltschutzes und der Umweltschutztechnik. Berlin u. a.
- Brinkmann, T.; Ehrenstein, G.-W.; Steinhilper, R. (Hrsg.) (1994): Umwelt- und recyclinggerechte Produktentwicklung: Band 1, Teil 4. Augsburg.
- Brockhoff, K. (Hrsg.) (1981): Unternehmensplanung. Berlin u. a.
- Broschk, J.; Röhm, E. (1996): Demontage. In: Nickel, W. (1996), S. 103-119.
- Büchl, R. (1993): Kreislaufwirtschaft um jeden Preis. In: VDI (1993), S. 113-119.
- Bullinger, H.-J. (Hrsg.) (1997): Anforderungen an Methoden und Systeme für eine umweltorientierte Auftragsabwicklung: OPUS-Projektbericht. Universität Stuttgart. Stuttgart.
- Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) vom 15.03.1974. BGBl. I.
- Buxmann, P.; König, W. (1997): Empirische Ergebnisse zum Einsatz der betrieblichen Standardsoftware SAP R/3. Wirtschaftsinformatik, 39. Jg., Heft 4, S. 331-338.
- BVSE (Hrsg.) (1998): Elektronikschrottrecycling: Zahlen, Fakten und Verfahren. Bonn.
- Chen, P. P.-S. (1976): The Entity-Relationship Model: Toward a Unified View of Data. ACM Transactions on Database Systems, 1. Jg., Heft 1, S. 9-36.
- Cordes, J.; Struck, K. (1994): Wirtschaftliches Automobilrecycling durch flexibel verkettete Demontagestationen. Zwf, 89. Jg., Heft 1-2, S. 58-60.
- Corsten, H. (1996): Produktionswirtschaft: Einführung in das industrielle Produktionsmanagement. 6. Aufl., München u. a.
- Corsten, H. (Hrsg.) (1994): Handbuch Produktionsmanagement: Strategie - Führung - Technologie - Schnittstellen. Wiesbaden.
- Corsten, H.; Gössinger, R. (Hrsg.) (1998): Dezentrale Produktionsplanungs- und -steuerungs-Systeme. Stuttgart u. a.
- Corsten, H.; Köhler, R.; Müller-Merbach, H.; Schröder, H.-H. (Hrsg.) (1992): Kapazitätsmessung, Kapazitätsgestaltung, Kapazitätsoptimierung: Eine betriebswirtschaftliche Kernfrage. Stuttgart.
- Corsten, H.; Reiss, M. (1991): Recycling in PPS-Systemen. DBW, 51. Jg., Heft 5, S. 615-627.
- Cremers, A.; Greve, K. (Hrsg.) (2000): Umweltinformatik 2000: Umweltinformation für Planung, Politik und Öffentlichkeit: Band II. Marburg.
- DIN (Hrsg.) (1985): DIN 8580 – Fertigungsverfahren: Begriffe, Einteilung. Berlin.
- Dini, G.; Failli, F.; Santochi, M. (1998): A Disassembly planning software system for the optimization of recycling processes. In: Proceedings of the International Conference on Agile, Intelligent and Computer Integrated Manufacturing, 07.-09.10.1998, Troy, USA.
- Domschke, W.; Scholl, A.; Voß, S. (1997): Produktionsplanung: Ablauforganisatorische Aspekte. Berlin u. a.
- Drexl, A.; Fleischmann, B.; Günther, H.-O.; Stadler, H.; Tempelmeier, H. (1994): Konzeptionelle Grundlagen kapazitätsorientierter PPS-Systeme. ZfbF, 46. Jg., Heft 12, S. 1022-1045.
- Droste, L. (1997): Rücknahme und Wiederverwendung von Spraydosen. In: Fleig, J.; Krause, U. (1997), S. 42-57.

- Dutz, E. (1992): Abfallwirtschaftliche Strategien. In: Bonny, C. (1992), S. 160-163.
- Dutz, S. (1993): Wo bleibt der Öko-PC? c't, o. Jg., Heft 7, S. 54-55.
- Dyckhoff, H.; Jacobs, R. (1994): Organisation des Umweltschutzes in Industriebetrieben: Ergebnisse einer empirischen Untersuchung. ZfB, 64. Jg., Heft 6, S. 717-735.
- Dyckhoff, H.; Oenning, A.; Rüdiger, C. (1997): Grundlagen des Stoffstrommanagements bei Kuppelproduktion. ZfB, 67. Jg., Heft 11, S. 1139-1165.
- Dyckhoff, H.; Darmstädter, A.; Soukal, R. (1994): Recycling. In: Corsten, H. (1994), S. 1069-1085.
- Emmermann, M. (1996): Managementorientierte ganzheitliche Entsorgungslogistik. München.
- Engleiter, H.-J.; Corsten, H. (Hrsg.) (1982): Innovation und Technologietransfer: Gesamtwirtschaftliche und einzelwirtschaftliche Probleme. Berlin.
- Ewers, H.-J. (1998): Die Unzufriedenheit mit dem Kreislaufwirtschaftsgesetz wächst. Blick durch die Wirtschaft, Beilage der FAZ vom 01.07.1998.
- Ewers, H.-J. (Hrsg.) (1996): Entsorgungslogistik: Auswirkungen des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes auf logistische Entscheidungen. Göttingen.
- Fandel, G. (1981): Zur Berücksichtigung von Überschuss- und Vernichtungsmengen in der optimalen Programmplanung bei Kuppelproduktion. In: Brockhoff, K. (1981), S. 193-212.
- Fandel, G. (1991): Aktivitätsanalyse der Produktionsplanung und -steuerung. In: Kistner, K.-P.; Schmidt, R. (1991), S. 163–181.
- Fandel, G.; François, P.; Gubitz, K.-M. (1997): PPS- und integrierte betriebliche Softwaresysteme: Grundlagen, Methoden, Marktanalyse. 2. Aufl., Berlin u. a.
- Faulstich, M.; Urban, I.; Bilitewski, B. (Hrsg.) (1998): 3. Fachtagung – Thermische Abfallbehandlung. München.
- Feldmann, K.; Meedt, O. (1996): Demontage elektronischer Geräte unter Nutzung effizienter Werkzeuge und lebenszyklusübergreifender Produktdaten. IM, 12. Jg., Heft 2, S. 30-34.
- Feldmann, K.; Meedt, O.; Meerkamm, H.; Weber, J. (1995): Entwicklung einer Design-Disassembly-Verfahrenskette auf Basis einer recyclingrelevanten Produktkennzeichnung. In: Haasis, H.-D. u. a. (1995a), S. 123-136.
- Fleig, J. (1997): Nutzungsintensivierung und Lebensdauererlängerung als Herausforderung für Unternehmen. In: Fleig, J.; Krause, U. (1997), S. 19-28.
- Fleig, J.; Krause, U. (Hrsg.) (1997): Innovative Marktkonzepte für die Kreislaufwirtschaft: Industrielle Konzepte zur Nutzungsintensivierung und Lebensdauererlängerung von Produkten. Karlsruhe.
- Frille, O. (1998): Potentiale von Netzwerken in der Kreislaufwirtschaft. EP, 16. Jg., Heft 12, S. 16-20.
- Frost&Sullivan (Hrsg.) (1997a): Der europäische Markt für Elektronik-Recycling (Report 3285). Frankfurt.
- Frost&Sullivan (Hrsg.) (1997b): Ständig wachsender Bedarf an Recycling-Anlagen (Report 3395). Frankfurt.

- Gehrmann, F. (1986): Konstruktion und werterhaltendes Recycling niederwertiger technischer Gebrauchsgüter: Dargestellt am Beispiel Haushaltskleinmaschinen. Düsseldorf.
- Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) vom 12.02.1990. BGBl. I.
- Gesetz über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen (AbfG) vom 27.08.1986. BGBl. I.
- Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (KrW-/AbfG) vom 27.09.1994. BGBl. I.
- Gesetz zur Vermeidung, Verwertung und Beseitigung von Abfällen (GVVBAbf) vom 27.09.1994. BGBl. I.
- Glaser, H. (1991): Verfahren zur Fertigungssteuerung in alternativen PPS-Systemen: Eine kritische Analyse. In: Scheer, A.-W. (1991), S. 21-38.
- Glaser, H.; Geiger, W.; Rohde, V. (1992): PPS – Produktionsplanung und -steuerung: Grundlagen – Konzepte – Anwendungen. Wiesbaden.
- Gottschalk, E. (1989): Rechnergestützte Produktionsplanung und -steuerung. Berlin.
- Gotzel, Ch.; Weidling, J.; Heisig, G.; Inderfurth, K. (1999): Product Return and Recovery Concepts of Companies in Germany. Preprint Nr. 31, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Magdeburg. Magdeburg.
- Götzelmann, F. (1994): Rückstandskooperation. In: Corsten, H. (1994), S. 1103-1114.
- Gretsch, R. (1982): Aluminiumverwendung im Automobilbau und Recycling. Metall Wirtschaft, Wissenschaft, Technik, 36. Jg., Heft 6, S. 692-695.
- Grob, R. (1993): Auch Lean Production muß atmen. VDI-Z, 135. Jg., Heft 4, S. 75-77.
- 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, 01.-03.03.1999, Eindhoven, The Netherlands. S. 101-114.
- Guide, J.; Gupta, S.-M. (1999): A Queuing Network Model for a Remanufacturing Production System. In: Proceedings of Second International Working Seminar on Re-Use, 01.-03.03.1999, Eindhoven, The Netherlands. S. 115-128.
- Gungor, A.; Gupta, S.-M. (1998): Disassembly Planning for Products with Defective Parts in Product Recovery. Computers & Industrial Engineering, 35. Jg., Heft 1-2, S. 161-164.
- 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, 01.-03.03.1999, Eindhoven, The Netherlands. S. 141-150.
- Gutenberg, E. (1983): Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre: Die Produktion. 24. Aufl., Berlin.
- Haasis, H.-D. (1994): PPS-Systeme und betrieblicher Umweltschutz. ZwF, 89. Jg., Heft 3, S. 122-124.
- Haasis, H.-D. (1998): Umweltorientierte Produktionsplanung und -steuerung. In: Wildemann, H. (1998), S. 115-132.
- Haasis, H.-D.; Hilty, L. (Hrsg.) (1995): Umweltinformationssysteme in der Produktion. Marburg.

- Haasis, H.-D.; Hilty, L.; Hunscheid, J.; Kürzel, H.; Rautenstrauch, C. (Hrsg.) (1995a): Umweltinformationssysteme in der Produktion. Marburg.
- Haasis, H.-D.; Hilty, L.; Kürzel, H.; Rautenstrauch, C. (Hrsg.) (1995b): Betriebliche Umweltinformationssysteme (BUIS): Projekte und Perspektiven. Marburg.
- Hackstein, R. (1989): Produktionsplanung und -steuerung (PPS): Ein Handbuch für die Betriebspraxis. 2. Aufl., Düsseldorf.
- Hamman, P. (1988): Betriebswirtschaftliche Aspekte des Abfallproblems. DBW, 48. Jg., Heft 4, S. 465-476.
- Hansen, U.; Meyer, P. (1998): Auswirkungen der Kreislaufwirtschaft. F+H, 48. Jg., Heft 6, S. LS 5-LS 8.
- Hansmann, K.-W. (1994): Industrielles Management. München u. a.
- Hartmann, M.; Lehmann, F. (1993): Demontage: Grundlagen. VDI-Z, 135. Jg., Heft 1-2, S. 100-110.
- Hauff, V. (Hrsg.) (1987): Unsere Gemeinsame Zukunft: Der Brundtland-Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung. Greven.
- Heinen, E. (1991): Industriebetriebslehre als entscheidungsorientierte Unternehmensführung. In: Heinen, E. (1991), S. 1–71.
- Heinen, E. (Hrsg.) (1991): Industriebetriebslehre. 9. Aufl., Wiesbaden.
- Heinrich, L.; Roithmayr, F. (1995): Wirtschaftsinformatik-Lexikon. 5. Aufl., München, Wien.
- Hemmelskamp, J. (1997): Umweltpolitik und Innovation. ZfU, 20. Jg., Heft 4, S. 481-511.
- Hentschel, C. (1996): Beitrag zur Organisation von Demontagesystemen. Dissertation, Technische Universität Berlin. Berlin.
- Hesselbach, J.; Kühn, M. (1998): Survey of Processes at Disassembly Companies. In: Preprint on 1st FAC Workshop – Intelligent Assembly and Disassembly. Bled, Slovenia, S. 141-145.
- Hesselbach, J.; Westernhagen, K. v. (1999): Systematic Planning of Disassembly with Grouping and Simulation. In: Proceedings of Second International Working Seminar on Re-Use, 01.-03.03.1999, Eindhoven, The Netherlands. S. 151-156.
- Hieber, M. (1995): Umweltgerechte Netzwerke aufbauen. Industriebedarf, o. Jg., Heft 6-7, S. 296-299.
- Hieber, M.; Tober, H. (1995): Schnelle Demontage als Herausforderung. Industrieanzeiger, 117. Jg., Heft 31-32, S. 26-27.
- Hilty, L.; Jaeschke, A.; Page, B.; Schwabl, A. (Hrsg.) (1994): Informatik für den Umweltschutz: Band II. Marburg.
- Höck, M. (1998): Produktionsplanung und -steuerung einer flexiblen Fertigung: Ein prozessorientierter Ansatz. Wiesbaden.
- Hoff, H.; Liebrand, T. (1990): Elektronische Leitstände: Auswahl und Einführung elektronischer Leitstände, eine Marktstudie. FB/IE, 39. Jg., Heft 6, S. 280-287.
- Hoitsch, H.-J. (1985): Produktionswirtschaft. München.
- Hözlner, B. (1996): Innovationen und Produktbeispiele im Life Cycle Engineering. In: Berichtsband zum Fraunhofer IPA-Technologieforum: Innovationen beim Produktrecycling und Upcycling, 27.11.1996, Stuttgart, S. 149-184.

- Horváth, P. (1988): Wirtschaftlichkeit neuer Produktions- und Informationstechnologien. Stuttgart.
- Huber, A. (2000a): Demontage-Primärbedarfsplanung. Umwelt, 30. Jg., Heft 6, S. 56-59.
- Huber, A. (2000b): On-demand orientierte Demontageplanung auf Basis konventioneller PPS-Systeme. PPS-Management, 5. Jg., Heft 2, S. 24-28.
- Huber, A. (2000c): On-demand orientierte Demontageplanung. uwf, 8. Jg., Heft 3, S. 74-79.
- Huber, A. (2000d): Primärbedarfsplanung im Rahmen on-demand orientierter Demontageplanung. In: Cremers, A.; Greve, K. (2000), S. 503-516.
- Huber, A.; Marx-Gómez, J. (2000a): Ansatz zur Ermittlung der Wiedereinsetzbarkeiten von Demontageerzeugnissen im Rahmen reaktiver Demontageplanung. In: Cremers, A.; Greve, K. (2000), S. 531-542.
- Huber, A.; Marx-Gómez, J. (2000b): Disassembly Planning in Conventional PPC-Systems: Problems and Suggestions. In: Proceedings of the 11th International Conference of the Information Resources Management Association, 21.-24.05.2000, Anchorage, Alaska, USA. S. 1181-1184.
- Huber, A.; Marx-Gómez, J.; Rautenstrauch, C. (2001): Recycling and Disassembly Planning. In: Rautenstrauch, C.; Patig, (2001), S. 397-419.
- Imboden, H. (1998): Entwicklung einer integrierten PPS-Architektur für die Prozessindustrie. Bern u. a.
- Inderfurth, K. (1999): Neue Aufgaben und Lösungsansätze der Produktionsplanung bei Produktrecycling. Preprint Nr. 26, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Magdeburg. Magdeburg.
- Ivisic, R.; Frille, O.; Huber, A. (1999): Market Research for Disassembly Products for the Development of Logistical Concepts for the Distribution of Disassembly Products. In: R'99 Recovery, Recycling, Reintegration – Collected Papers of the R'99 World Congress, Volume III., 02.-05.02.1999, Geneva, Switzerland. S. 30-35.
- Jahn, C. (1998): Grundlagen zur Logistik und Organisation recyclingintegrierender Produktionssysteme. Stuttgart.
- Jahn, C. (1999): Produktion in der Kreislaufwirtschaft: Chancen durch recyclingintegrierende Fabriken. Umwelt, 29. Jg., Heft 5-6, S. 33-35.
- Jünemann, R.; Müller, R. (1992): Das Lebenszyklus-Konzept. In: Pfaff-Schley, H. u. a. (1992), S. 35-62.
- Kahlert, J.; Frank, H. (1993): Fuzzy-Logik und Fuzzy-Control. Braunschweig, Wiesbaden.
- Kaiser, H. (1999): Integration umweltschutzbezogener Funktionen und Daten in PPS-Systemen. In: Luczak, H.; Eversheim, W. (1999), S. 596–628.
- Kapitza, R. (1996): Gebrauchte mit neuem Stellenwert. Industrieanzeiger, 116. Jg., Heft 18, S. 88.
- KBA (Hrsg.) (1997): Statistische Mitteilungen des Kraftfahrt-Bundesamtes Reihe 3: Jahresergebnisse 1997. Flensburg.
- KBA (Hrsg.) (1998): Statistische Mitteilungen des Kraftfahrt-Bundesamtes Reihe 3: Jahresergebnisse 1998. Flensburg.

- KBA (Hrsg.) (1999): Statistische Mitteilungen des Kraftfahrt-Bundesamtes Reihe 1. Heft 6. Flensburg.
- Keimeier, S. (1994): Wiederverwendung: Ein alternatives Konzept zur Verwertung von Elektronikschrott. In: Otti (1994), S. 21-37.
- Keller, E. (Hrsg.) (1997): Abfallwirtschaft und Recycling. Essen.
- Keller, G.; Teufel, T. (1997): SAP R/3 prozeßorientiert anwenden: Iteratives Prozeß-Prototyping zur Bildung von Wertschöpfungsketten. 2. Aufl., Bonn u. a.
- Kern, W. (1982): Umweltschutz als Herausforderung an die Innovationskraft industrieller Unternehmungen. In: Engeleiter, H.-J.; Corsten, H. (1982), S. 121-138.
- Kernler, H. (1995): PPS der 3. Generation. 3. Aufl., Heidelberg.
- Kimms, A. (1989): Modelle der Losgrößenplanung und das MRP II-Konzept. WiSt, 26. Jg., S. 227-231.
- Kimms, A. (1998): Ablauforganisation bei Serienproduktion in Fließfertigungssystemen. ZfbF, 50. Jg., Heft 7-8, S. 641-655.
- Kistner, K.-P.; Schmidt, R. (Hrsg.) (1991): Unternehmensdynamik. Wiesbaden.
- Knolmayer, G.; Mertens, P.; Zeier, A. (2000): Supply Chain Management auf Basis von SAP-Systemen: Perspektiven der Auftragsabwicklung für Industriebetriebe. Berlin u. a.
- Koenenkamp, A. (1998): Studie 1: Weiterentwicklung des HDR 1995.
<http://www.muk.maschinenbau.th-darmstadt.de/schott/mv/projektsem/steven-/verfahr.htm>. 05.10.1998.
- Köller, H. v. (1997): Leitfaden Abfallrecht: Band 34. 5. Aufl., Berlin.
- König, M. (1991): Umweltschutz und Abfallwirtschaftspolitik in den 90er Jahren. In: Warnecke, H.-J. (1991), S. 11-35.
- Kopsidis, R. (1989): Materialwirtschaft. Münster.
- Kosiol, E. (1968): Einführung in die Betriebswirtschaftslehre. Wiesbaden.
- Kotler, P.; Armstrong, G. (1996): Principles of Marketing. Englewood Cliffs et al.
- Krallmann, H. (Hrsg.) (1990): CIM: Expertenwissen für die Praxis. München, Wien.
- Krause, D. (1994): Rechnergestützte Bewertungsmethoden zur recyclinggerechten Produktgestaltung. In: Otti (1994), S. 198-217.
- Kreikebaum, H. (1994): Umweltstrategien und ihre Umsetzung in Industrieunternehmungen. In: Corsten, H. (1994), S. 1036-1050.
- Kreis, H. (1998): Umweltgerechte Gestaltung von Produkten als ganzheitliche Aufgabe. In: Proceedings zum Symposium Synergien durch die integrierte Betrachtungsweise von Montage und Demontage, 07.10.1998, Stuttgart.
- Kriwet, A. (1995): Bewertungsmethodik für die recyclinggerechte Produktgestaltung. München, Wien.
- Kruse, R.; Gebhardt, J.; Klawonn, F. (1995): Fuzzy-Systeme. 2. Aufl., Stuttgart.
- Kumar, K.; Hillegersberg, J. v. (2000): ERP: Experiences and Evolution. Communications of the ACM, 43. Jg., Heft 4, S. 23-26.
- Küpper, H.-U.; Helber, S. (1995): Ablauforganisation in Produktion und Logistik. 2. Aufl., Stuttgart.
- Kurbel, K. (1988): PPS-System. In: Gabler Wirtschafts-Lexikon. 12. Aufl., S. 948-954.

- Kurbel, K. (1999): Produktionsplanung und -steuerung: Methodische Grundlagen von PPS-Systemen. 4. Aufl., München, Wien.
- Kurbel, K.; Kurmann, O. (1998): Ähnlichkeiten zwischen Altprodukten als Ausgangspunkt für die Demontageplanung. *uwf*, 6. Jg., Heft 4, S. 55-59.
- Kurbel, K.; Rautenstrauch, C. (1997): Integration des Produktrecycling in die Produktionsplanung und -steuerung. In: Weber, J. (1997), S. 299-320.
- Kurbel, K.; Schneider, B. (1995): Konzeption eines betrieblichen Recycling-Informationssystems auf der Basis von Produktionsdaten. In: Haasis, H.-D. u. a. (1995b), S. 79-91.
- Kurbel, K.; Schneider, B.; Zyadeh, H. (1996): Funktionen, Aufbau und Einsatzformen eines betrieblichen Recycling-Informationssystems. *IM*, 12. Jg., Heft 5, S. 55-60.
- Lebefromm, U. (1997): Produktionsmanagement: Einführung mit Beispielen aus SAP R/3. 3. Aufl., München, Wien.
- Linsmeier, K.-D. (1998): Elektronik-Recycling: Neueste Technologie – problematischer Abfall. *Spektrum der Wissenschaft*, o. Jg., Heft 1, S. 104-106.
- Luczak, H.; Eversheim, W. (Hrsg.) (1999): Produktionsplanung und -steuerung: Grundlagen, Gestaltung und Konzepte. 2. Aufl., Berlin u. a.
- Lund, R. (1998): Remanufacturing: An American resource. In: Proceedings of the 5th International Congress Environmentally Conscious Design and Manufacturing, 16.-17.06.1998, Rochester, USA.
- Mager, A.; Waltemath, A. (1997): Technologien und Strategien in der Entsorgungslogistik für Konsumrückstände. In: Baumgarten, H. u. a. (1997), S. 3-38.
- Mahr, H. (1998): Europaweites Recycling von IT-Produkten. In: *Berichtsband zum 15. Deutschen Logistik-Kongress*, Band 1, S. 457-482.
- Marx-Gómez, J. (1999): Entwicklung eines Rückflußsimulationsmodells am Beispiel von Kopiergeräten. In: *Proceedings zum 13. Symposium Simulationstechnik*. Weimar. S. 147-154.
- 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, Canada. S. 63-71.
- Mayer, A.; Mechler, B.; Schlindwein, A.; Wolke, R. (1993): *Fuzzy Logic*. Bonn u. a.
- Meffert, H.; Kirchgeorg, M. (1998): *Marktorientiertes Umweltmanagement*. Stuttgart.
- Mende, U. (1998): *Softwareentwicklung für R/3: Data Dictionary, ABAP/4, Schnittstellen*. Berlin, Heidelberg.
- Menrad, W.; Schlögl, M. (1999): Der ideale Verwertungsbetrieb. *UmweltMagazin*, 28. Jg., Heft 4, S. 42-43.
- Mertens, P. (1992a): MRP II: Ein Beitrag zur Kapazitätswirtschaft im Industriebetrieb. In: *Corsten, H. u. a. (1992)*, S. 28-33.
- Mertens, P. (1992b): MRP II: Möglichkeiten und Grenzen. In: *Berichtsband zu PPS im Wandel: Kundenorientierung und Wirtschaftlichkeit durch innovative PPS-Lösungen*. Gesellschaft für Management und Technologie. München, S. 7-35.
- Mertens, P. (1997): *Integrierte Informationsverarbeitung: Administrations- und Dispositionssysteme in der Industrie*. 11. Aufl., Wiesbaden.

- Mertins, K.; Neubauer, G. (1994): Steuerung. In: Spur, G. (1994), S. 164-197.
- Mierzowski, K. (1990): Wohin mit dem ausgedienten Computer? OM, 38. Jg., Heft 12, S. 18-19.
- Moser, F. (1996): Kreislaufwirtschaft und nachhaltige Entwicklung. In: Brauer, H. (1996), S. 1059-1153.
- Moukabary, G.; Röttchen, P. (1997): Kostenkorsett für den Kreislauf: Der Rückführ-Logistik kommt künftig eine wirtschaftliche Schlüsselrolle zu. Entsorga, 16. Jg., Heft 9, S. 34-42.
- Navin-Chandra, D. (1994): The Recovery Problem. Product Design, Journal of Engineering Design, 5. Jg., Heft 1, S. 65-86.
- Nickel, W. (Hrsg.) (1996): Recyclinghandbuch. Düsseldorf.
- Nickel, W.; Fleischer, G. (1996): Einführung. In: Nickel, W. (1996), S. 103-119.
- Nieschlag, R.; Dichtel, E.; Hörschgen, H. (1994): Marketing. 17. Aufl., Berlin.
- Nüttgens, M.; Scheer, A.-W. (1993): Integrierte Entsorgungssicherung als Bestandteil des betrieblichen Informationsmanagements in Industriebetrieben. ZfbF, 34. Jg., Heft 11, S. 959-972.
- o. V. (1995): Verkauf des Produktnutzens statt des Produkts. In: VDI-Nachrichten vom 20.10.1995, S. 27.
- o. V. (1997): Alte Teile bald hoch im Kurs: Noch eine Sparidee der Versicherer. ADAC Motorwelt, o. Jg., Heft 11, S. 96.
- o. V. (1998): Computerschrott im Abfalleimer. In: VDI-Nachrichten vom 13.03.1998, S. 15.
- o. V. (2000): Gemischtes Doppel spielt mit Mini-R/3. In: Computer Zeitung, Nr. 33 vom 17.08.2000, S. 10.
- Otti (Hrsg.) (1994): Elektronikschrottrecycling und -verwertung. Regensburg.
- Pape, D. (1990): Logistikgerechte PPS Systeme. Köln.
- Patig, S. (1999): Ansatzpunkte und Rechnerunterstützung des produktionsorientierten Störungsmanagements: Ergebnis einer Literaturanalyse. Preprint Nr. 6, Fakultät für Informatik, Universität Magdeburg. Magdeburg.
- Pawellek, G. (1992): Das Glücksspiel der Fertigungssteuerung. Logistik Heute, 14. Jg., Heft 5, S. 50-52.
- Peine, F.-J. (1994): Änderungen des Kreislaufwirtschaftsgesetzes gegenüber dem Abfallgesetz. In: Thomé-Kozmiensky, K.-J. (1994), S. 29-42.
- Perlewitz, H. (2000): Eco-Compatibility for Industrial Processes for the Production of Primary Goods. <http://www-mt.kf.tu-berlin.de>. 22.05.2000.
- Perlewitz, H.; Seliger, G.; Tomiyama, T.; Umeda, Y. (1999): Activities of Japanese Industry for Product Recycling. In: Proceedings of Second International Working Seminar on Re-Use, 01.-03.03.1999, Eindhoven, The Netherlands. S. 217-226.
- Pfaff-Schley, H.; Schimmelpfeng, L.; Wagner, M. (Hrsg.) (1992): EDV in der Abfallwirtschaft: Anwendungen in Unternehmen und Verwaltungen.
- Picot, A.; Dietl, H.; Franck, E. (1997): Organisation: Eine ökonomische Perspektive. Stuttgart.

- Rautenstrauch, C. (1992): Lösungsmethoden der Materialbedarfsplanung in PPS-Systemen. HMD, 29. Jg., Heft 186, S. 3–15.
- Rautenstrauch, C. (1993): Betriebliches Recycling: Eine Literaturanalyse. ZfB, 63. Jg., Heft 2, S. 87-104.
- Rautenstrauch, C. (1993): Integration Engineering: Konzeption, Entwicklung und Einsatz integrierter Softwaresysteme. Bonn u. a.
- Rautenstrauch, C. (1994): Integrating Information Systems for Production and Recycling. In: Hilty, L. u. a. (1994), S. 183-190.
- Rautenstrauch, C. (1997a): Fachkonzept für ein integriertes Produktions-, Recyclingplanungs- und Steuerungssystem (PRPS-System). Berlin, New York.
- Rautenstrauch, C. (1997b): Konzepte betrieblicher Umweltinformationssysteme für Produktion und Recycling. Wirtschaftsinformatik, 39. Jg., Heft 4, S. 385-393.
- Rautenstrauch, C. (1999): Betriebliche Umweltinformationssysteme. Berlin u. a.
- Rautenstrauch, C.; Patig, S. (Hrsg.) (2001): Environmental Information Systems in Industry and Public Administration. Hershey, London.
- Rautenstrauch, C.; Turowski, K. (1998): Leitstände zur dezentralen Produktionsplanung und -steuerung. In: Corsten, H.; Gössinger, R. (1998), S. 145-171.
- REFA (Hrsg.) (1985a): Methodenlehre der Planung und Steuerung: Band 1. 4. Aufl., München.
- REFA (Hrsg.) (1985b): Methodenlehre der Planung und Steuerung: Band 2. 4. Aufl., München.
- REFA (Hrsg.) (1985c): Methodenlehre der Planung und Steuerung: Band 3. 4. Aufl., München.
- Rehak, R. (1993): Green Marketing Awash in Third Wave. Advertising Age, USA, 22.09.1993.
- Reinhart, R.; Friess, D. (1995): Perspektiven automatisierter Demontagesysteme. Zwf, 90. Jg., Heft 6, S. 298-301.
- Riebel, P. (1955): Die Kuppelproduktion: Betriebs- und Marktprobleme. Köln, Opladen.
- Riebel, P. (1971): Zur Programmplanung bei Kuppelproduktion. ZfbF, 23. Jg., Heft 10-11-12, S. 733-775.
- Rinschede, A.; Wehking, K. H. (1991): Entsorgungslogistik I. Berlin.
- Rinschede, A.; Wehking, K.-H. (1995): Entsorgungslogistik III. Berlin.
- RKW (Hrsg.) (1987): PPS-Fachmann: Band 4 – Steuerung. Köln.
- Rommel, W.; Würdinger, E. (1998): Untersuchungsbedarf zu Fragen der Zumutbarkeit, Umweltverträglichkeit und technischen Machbarkeit gemäß Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz. AJ, 10. Jg., Heft 4, S. 37–41.
- Roschmann, K. (1990): Stand und Entwicklungstendenzen der Betriebsdatenerfassung im CIM-Konzept. In: Krallmann, H. (1990), S. 167-178.
- Rose, H.; Stengel, H. (1988): Kurzfristige Umdisposition in verschiedenen PPS-Ansätzen. CIM-Management, 4. Jg., Heft 6, S. 76-84.
- Rosemann, M. (1996): Komplexitätsmanagement in Prozeßmodellen: Methodenspezifische Gestaltungsempfehlungen für die Informationsmodellierung. Wiesbaden.

- Rosenberg, O.; Ziegler, H.; Holthaus, O. (1993): Verteilte Simulation dezentraler Werkstattfertigungssysteme. IM, 8. Jg., Heft 2, S. 6-13.
- Rötzel-Schwunk, I.; Rötzel, A. (1998): Praxiswissen Umwelttechnik: Umweltmanagement. Braunschweig, Wiesbaden.
- Rudolph, A. (1999): Altproduktentsorgung aus betriebswirtschaftlicher Sicht. Heidelberg.
- Rutkowsky, S. (1996): Produktrücknahme und Altproduktlogistik. In: Ewers, H.-J. (1996), S. 71-196.
- Sander, H.-P. (1977): Abfallwirtschaft aus der Sicht der Industrie. In: Keller, E. (1977), S. 50-55.
- SAP (Hrsg.) (1997): Funktionen im Detail: Integrierte Produktionsplanung und -steuerung. Walldorf.
- SAP (Hrsg.) (1998): R/3 Bibliothek. In: SAP R/3 40B IDES CD-ROM. Walldorf.
- Scheer, A.-W. (1998): Wirtschaftsinformatik. Berlin u. a.
- Scheer, A.-W. (Hrsg.) (1991): Fertigungssteuerung: Expertenwissen für die Praxis. München.
- Schenk, M. (2000a): Altautomobilrecycling in Deutschland: Status Quo und Ausblick. <http://www.arge-altauto.de>. 19.08.2000.
- Schenk, M. (2000b): Stand und Perspektiven der Produktionsplanung und -steuerung. http://www.tsa.de/ism/iff_pps.html. 12.05.2000.
- Schenk, M.; Glistau, E. (1996): Nutzung moderner Logistikkonzepte zur Modellierung und Fertigungssteuerung von Prozessen mit vorab nicht determinierten Bedarfs- und Leistungskenngrößen. Abschlußbericht an die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG). Institut für Arbeitswissenschaft, Fabrikautomatisierung und Fabrikbetrieb/Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung. Magdeburg.
- Schenk, M.; Opierzynski, R. (1997): Betriebliche Umweltinformationssysteme: Notwendigkeit und Anforderungen an deren Konzeption. EP, 15. Jg., Heft 1-2, S. 27-30.
- Scheuerer, A. (1995): Beiträge zur Steuerung des betrieblichen Recyclings unter besonderer Berücksichtigung eines Informationssystems zur Unterstützung von Demontageprozessen. Dissertation, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. Nürnberg.
- Schlageter, G.; Stucky, W. (1983): Datenbanksysteme: Konzepte und Modelle. 2. Aufl., Stuttgart.
- Schmid, P. (1995): Modernisieren und Überholen als Alternative zum Neukauf. Maschinenmarkt, 101. Jg., Heft 41, S. 58-63.
- Schneider, G.; Stobitzer, M. (1997): Erweiterte Recyclinggraphen als alternative PPS-Datenstruktur. ZwF, 92. Jg., Heft 3, S. 110-113.
- Schomburg, E. (1980): Entwicklung eines betriebstypologischen Instrumentariums zur systematischen Ermittlung der Anforderungen an EDV-gestützte Produktionsplanung und -steuerungssysteme im Maschinenbau. Dissertation, Universität Aachen. Aachen.
- Schomburg, E. (1987): Betriebsindividuelle Einflußgrößen für Gestaltung und Bewertung von PPS-Systemen. In: RKW (1987), S. S1.2/1-S1.2/48.

- Schotten, M.; Pillep, R. (1999): Ausblick. In: Luczak, H.; Eversheim, W. (1999), S. 757-760.
- Schröder, H.-H. (1990): Entwicklungsstand und -tendenzen bei Produktionsplanung und -steuerungssystemen: Eine kritische Bestandsaufnahme. IM, 5. Jg., Heft 4, S. 62-75.
- Schwarz, E. (1994): Unternehmensnetzwerke im Recyclingbereich. Wiesbaden.
- Schweitzer, M. (1990): Industriebetriebslehre. München.
- Seliger, G. (1997): Sensoren zur Prozeßführung und Zustandserkennung. In: Technische Universität Berlin (1997), S. 201-236.
- Seliger, G.; Hentschel, C. (1996): Fuzzy Clusterbildung von Altprodukten zur Planung und Steuerung von Demontagesystemen. IM, 12. Jg., Heft 2, S. 42-46.
- Seliger, G.; Kriwet, A. (1993): Demontage im Rahmen des Recycling. ZwF, 88. Jg., Heft 11, S. 529-532.
- Spengler, T. (1994): Industrielle Demontage- und Recyclingkonzepte. Berlin.
- Spitzenpfeil, T. (1990): Die vierte Dimension der Logistik: Systematik, Methodik und Aufgaben der Entsorgungslogistik. t&m, o. Jg., Heft 2, S. 21-24.
- Spur, G. (1997): Fertigungsverfahren der Demontage. Skriptum des Seminars für wissenschaftliche Normung in der Demontagetechnik, Technische Universität Berlin. Berlin.
- Spur, G. (Hrsg.) (1994): Handbuch der Fertigungstechnik: Fabrikbetrieb. München, Wien.
- Spur, G.; Helwig, H.-J. (1986): Einführung in die Montagetechnik. In: Spur, G.; Stöferle, T. (1986), S. 561-606.
- Spur, G.; Stöferle, T. (Hrsg.) (1986): Handbuch der Fertigungstechnik: Band 5. München, Wien.
- Stadtler, H. (1998): Hauptproduktionsprogrammplanung in einem kapazitätsorientierten PPS-System. In: Wildemann, H. (1998), S. 169-192.
- Stahel, W. (1997): Umweltverträgliche Produktkonzepte. uwf, 5. Jg., Heft 4, S. 4-10.
- Steinaecker, J. v.; Kaiser, H.; Pillep, R.; Schieferdecker, R. (1997): Anforderung an eine ökologieorientierte Produktionsplanung und -steuerung (PPS). In: Bullinger, H.-J. (1997), S. 77-128.
- Steinhilper, R. (1987): Produktrecycling im Maschinenbau. Dissertation, Technische Universität Stuttgart. Stuttgart.
- Steinhilper, R. (1993): Upcycling statt Downcycling: Veredeln ist besser als Verwerten. In: VDI-Nachrichten vom 06.08.1993, S. 12.
- Steinhilper, R. (1994): Umwelt und Recyclingorientierung im Entwicklungs- und Konstruktionsprozeß. In: Brinkmann, T. u. a. (1994), S. 1/1-6.3.5/4.
- Steinhilper, R.; Hudelmaier, U. (1993): Erfolgreiches Produktrecycling zur erneuten Verwendung oder Verwertung. Eschborn.
- Steven, M. (1992a): Produktion und Umweltschutz. Wiesbaden.
- Steven, M. (1992b): Umweltschutz im Produktionsbereich. WISU, 21. Jg., Heft 2, S. 105-111.
- Strebel, H. (1988a): Rückstände als Objekt einer integrierten Produktions- und Materialwirtschaft. Vortrag an der Technischen Universität Braunschweig am 30.5.1988.

- Strebel, H. (1988b): Rückstand und Rückstandsverwertung in der unternehmerischen Forschung und Entwicklung. DBW, 48. Jg., Heft 1, S. 97-106.
- Strebel, H. (1993): Recycling in einer umweltorientierten Marktwirtschaft. In: Adam, D. (1993), S. 33-56.
- Sydow, J. (1992): Strategische Netzwerke. Wiesbaden.
- Sydow, J.; Windeler, A. (1997): Komplexität und Reflexivität: Management interorganisationaler Netzwerke. In: Ahlemeyer, H.; Königswieser, R. (1997), S. 147–162.
- Taleb, K. N.; Gupta, S. M. (1997): Disassembly of Multiple Product Structures. Computers and Industrial Engineering, 32. Jg., Heft 4, S. 949-961.
- Taudes, A.; Cilek, P.; Natter, M. (1996): Ein Ansatz zur Optimierung von Geschäftsprozessen. In: Vossen, G.; Becker, J. (1996), S. 177-189.
- Technische Universität Berlin (Hrsg.) (1997): Sonderforschungsbereich 281: Demontagefabriken zur Rückgewinnung von Ressourcen in Produkt- und Materialkreisläufen: Finanzierungsantrag. Berlin.
- Tempelmeier, H. (1995): Material-Logistik: Grundlagen der Bedarfs- und Losgrößenplanung in PPS-Systemen. 3. Aufl., Berlin u. a.
- Teunter, R. (1999): Economic ordering quantities for stochastic inventory systems with reverse logistics. In: Proceedings of 6th International Seminar on Life Cycle Engineering. Kingston, Canada. S. 411-421.
- Teunter, R.; Inderfurth, K. (1998): The „right“ holding cost rates in average cost inventory models with reverse logistics. Preprint Nr. 28, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Magdeburg. Magdeburg.
- Thierry, M.; Salomon, M.; Nunen, J. v.; Wassenhove, L. v. (1993): Strategic Production and Operations Management Issues in Product Recovery Management. In: Management Report, Erasmus-Universität Rotterdam, Band 145.
- Thomé-Kozmiensky, K.-J. (Hrsg.) (1994): Kreislaufwirtschaft. Berlin.
- Tritsch, Ch. (1996): Flexible Demontage technischer Gebrauchsgüter. Dissertation, Universität Karlsruhe. Karlsruhe.
- Tuma, A.; Franke, S. (1999): Modell einer umweltschutzorientierten Produktionssteuerung. In: Tuma, A. u. a. (1999), S. 19-45.
- Tuma, A.; Franke, S.; Haasis, H.-D. (1999): Gestaltungsanforderungen an eine zukunftsorientierte Produktionssteuerung. In: Tuma, A. u. a. (1999), S. 9-17.
- Tuma, A.; Franke, S.; Haasis, H.-D. (Hrsg.) (1999): Innovation in der Produktionssteuerung. Marburg.
- UBA (Hrsg.) (2000a): Daten zur Umwelt – Umweltdaten Deutschland.
<http://www.umweltbundesamt.de/dzu/info.htm>. 21.08.2000.
- UBA (Hrsg.) (2000b): Umweltbewusstsein in Deutschland 2000.
<http://www.umweltbundesamt.de/neu/bewusst.htm>. 21.08.2000.
- VDI (Hrsg.) (1991): Recycling, eine Herausforderung für den Konstrukteur: VDI-Berichte 906. Düsseldorf.
- VDI (Hrsg.) (1993): Entsorgungslogistik in Fertigungsbetrieben. VDI-Berichte 1086. Düsseldorf.

- VDI (Hrsg.) (1993): Konstruieren recyclinggerechter technischer Produkte: Grundlagen und Gestaltungsregeln. VDI-Richtlinie 2243, Düsseldorf.
- Vetter, A. (1998): Abgrenzung von Verwertung und Beseitigung. In: Faulstich, M. u. a. (1998), S. 13–25.
- Vossen, G.; Becker, J. (Hrsg.) (1996): Geschäftsprozeßmodellierung und Workflow-Management: Modelle, Methoden, Werkzeuge. Bonn, Albany.
- Warnecke, G. (2000): Gestaltung von Sekundärproduktion. http://www.issi.uni-kl.de/pro/pro_nr/pro_090/kurzbe.htm. 02.06.2000.
- Warnecke, G.; Sigl, M. (1994): Recycling ist Produktion. VDI-Z, 136. Jg., Heft 1-2, S. 18-20.
- Warnecke, H.-J. (1995): Der Produktionsbetrieb 3: Betriebswirtschaft, Vertrieb, Recycling. 2. Aufl., Berlin u. a.
- Warnecke, H.-J. (Hrsg.) (1991): Umweltbewußt produzieren: Praxisorientierte Lösungen für ein Leitmotiv der 90er Jahre. Berlin u. a.
- Weber, J. (Hrsg.) (1997): Umweltmanagement. Stuttgart.
- Weber, R. (1991): Die Entwicklung recyclinggerechter Automobile. In: VDI (1991), S. 75-88.
- Werder, H.-K. v. (1996): Planung der Demontage elektrischer und elektronischer Altgeräte. Düsseldorf.
- Weule, H.; Schmälzle, A. (1999): Aufarbeitung in der Montageanlageindustrie: Erschließung vorhandener Wirtschaftspotentiale. Zwf, 94. Jg., Heft 6, S. 357-361.
- Wiendahl, H.-P. (1987): Belastungsorientierte Fertigungssteuerung: Grundlagen, Verfahrensaufbau, Realisierung. München, Wien.
- Wiendahl, H.-P.; Bürkner, S. (1998): On-Line Planning and Control in Disassembly. In: Proceedings of the CIRP International Seminar on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering, 01.-03.07.1998, 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, 01.-03.03.1999, Eindhoven, The Netherlands. S. 217-226.
- Wiendahl, H.-P.; Erdlenbruch, B. (1987): PPS-Systeme und betriebliche Ziele. In: RKW (1987), S. S1.3/1-S1.3/31.
- Wiendahl, H.-P.; Seliger, G.; Perlewitz, H.; Bürkner, S. (1999): A general approach to disassembly planning and control. Production Planning & Control, 10. Jg., Heft 8, S. 718-726.
- Wight, O. (1982): The Executive Guide to Successfull MRP II. Englewood Cliffs.
- Wildemann, H. (1995): Entstörmanagement als PPS-Funktion. 2. Aufl., München.
- Wildemann, H. (1997a): Koordination von Unternehmensnetzwerken. ZfB, 67. Jg., Heft 4, S. 417-439.
- Wildemann, H. (1997b): Trends in der Distributions- und Entsorgungslogistik. München.
- Wildemann, H. (1998): Entsorgungslogistik: Leitfaden zur Einführung und wirtschaftlichen Gestaltung von Entsorgungskreisläufen in Industrieunternehmen. München.

- Wildemann, H. (Hrsg.) (1998): Innovationen in der Produktionswirtschaft: Produkte, Prozesse, Planung und Steuerung. München.
- Zadeh, L. (1965): Fuzzy Sets. Information and Control, 8. Jg., S. 338-353.
- Zäpfel, G. (1989): Produktionswirtschaft: Operatives Produktionsmanagement. Berlin, New York.
- Zäpfel, G. (1992): Produktionswirtschaft: Operatives Produktionsmanagement. Berlin, New York.
- Zäpfel, G. (1996): Grundzüge des Produktions- und Logistikmanagements. Berlin, New York.
- Ziesler, M. (1987): Entsorgungslogistik: Ein Denkmodell für die Zukunft. Beschaffung Aktuell, o. Jg., Heft 11, S. 39-41.