

Semimanuelle Demontage von Elektro(nik)-Kleingeräten

M. Spitzbart, F. Schneider,
S. Salhofer, A. Stengeli, T. Luger

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

22/2008

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Bestellmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

Semimanuelle Demontage von Elektro(nik)-Kleingeräten

DI Markus Spitzbart, Ing. Tibor Bogner,
Ing. Ioan Revnic, Thomas Gruber
KERP Research Elektronik & Umwelt GmbH

Mathias Neitsch, Ulrike Kabosch
ARGE RUSZ - ARGE Reparatur- u. Servicezentren GmbH

DI Felicitas Schneider, ao. Univ.Prof. DI Dr. Stefan Salhofer
Universität f. Bodenkultur Wien, Inst. f. Abfallwirtschaft

Anton Stengeli, Isabelle Nagl, DI Markus Piringner
D.R.Z – Demontage- u. Recycling-Zentrum Wien

Ing. Tobias Luger
TU Braunschweig, Inst. f. Werkzeugmaschinen u.
Fertigungstechnik

Wien, Juni 2008

Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus der Programmlinie FABRIK DER ZUKUNFT. Sie wurde im Jahr 2000 vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie im Rahmen des Impulsprogramms Nachhaltig Wirtschaften als mehrjährige Forschungs- und Technologieinitiative gestartet. Mit der Programmlinie FABRIK DER ZUKUNFT sollen durch Forschung und Technologieentwicklung innovative Technologiesprünge mit hohem Marktpotential initiiert und realisiert werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements und der großen Kooperationsbereitschaft der beteiligten Forschungseinrichtungen und Betriebe konnten bereits richtungsweisende und auch international anerkannte Ergebnisse erzielt werden. Die Qualität der erarbeiteten Ergebnisse liegt über den hohen Erwartungen und ist eine gute Grundlage für erfolgreiche Umsetzungsstrategien. Anfragen bezüglich internationaler Kooperationen bestätigen die in FABRIK DER ZUKUNFT verfolgte Strategie.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist es, die Projektergebnisse – seien es Grundlagenarbeiten, Konzepte oder Technologieentwicklungen – erfolgreich umzusetzen und zu verbreiten. Dies soll nach Möglichkeit durch konkrete Demonstrationsprojekte unterstützt werden. Deshalb ist es auch ein spezielles Anliegen die aktuellen Ergebnisse der interessierten Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen, was durch die Homepage www.FABRIKderZukunft.at und die Schriftenreihe gewährleistet wird.

Dipl. Ing. Michael Paula
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassungen	6
1.1	Kurzfassung deutsch	6
1.2	Kurzfassung englisch.....	10
2	Einleitung.....	14
2.1	Behandelte Fragestellungen	14
2.2	Das Demontage- und Recyclingzentrum Wien	15
3	Ziele und Inhalte des Projektes	16
3.1	Projektziele.....	16
3.2	Umgesetzte Projekteinhalte	17
4	Stand der Technik	19
4.1	Forschungsstand zum Thema Demontageplanung.....	19
4.2	Beschreibung der Vorarbeiten zum Projekt	21
5	Vorgehensweise und Methodik	23
5.1	Ist-Analyse & Datenerhebung.....	24
5.1.1	Dokumentation und Interpretation der Demontageabläufe.....	24
5.1.2	Datenerfassung.....	24
5.1.3	Ist-Analyse aus sozialpädagogischer Sicht.....	25
5.2	Vorbereitungsarbeiten für die Simulation.....	25
5.2.1	Analyse und Charakterisierung des Geräteinputs ins D.R.Z	25
5.2.2	Erhebung von Simulationsparametern	27
5.2.3	Szenariendefinition	28
5.3	Simulation der Szenarien	29
5.4	Ausarbeitung Arbeitsplatzlayout.....	30
5.5	Auswertung der Ergebnisse und Interpretation.....	31
5.6	Praktische Umsetzung der Projektergebnisse	31
5.7	Diffusion der Projektergebnisse.....	31
6	Projektergebnisse.....	32
6.1	Analyseergebnisse	32
6.1.1	Aktuelle Demontageabläufe im D.R.Z	32
6.1.2	Personalentwicklungskonzept des D.R.Z	35
6.1.3	Abgeleitete Anforderungen/Verbesserungspotentiale	37
6.2	Ergebnisse aus der Inputanalyse.....	39
6.3	Beurteilungskriterien	39
6.4	Definierte Szenarien.....	41
6.4.1	Szenario 1: Basisszenario	41
6.4.2	Szenario 2: Vorselektion.....	44
6.4.3	Szenario 3: Liniendemontage.....	46

6.4.4	Zusammenfassung der wichtigsten Szenarienparameter.....	50
6.5	Simulationsergebnisse.....	50
6.5.1	Ergebnisse nach Szenarien	51
6.5.2	Ergebnisse im Vergleich	55
6.5.3	Reihung der Szenarien hinsichtlich der Effizienzkriterien.....	58
6.6	Beurteilung der Szenarien hinsichtlich Qualität und Transplacement.....	59
6.6.1	Differenzierung der einzelnen Szenarien hinsichtlich der Qualitäts-kriterien..	59
6.6.2	Differenzierung der einzelnen Szenarien hinsichtlich der Transplacement-kriterien.....	62
6.6.3	Vergleich und Reihung der Szenarien hinsichtlich der Qualitäts- und Transplacementkriterien.....	64
6.7	Gesamtreihung der Szenarien.....	67
7	Interpretation und Umsetzung der Projektergebnisse.....	68
7.1	Verbesserung der Demontageperformance durch Änderung des Gesamtlayouts und der Demontageabläufe.....	68
7.2	Verbesserung des Arbeitsplatzlayouts	70
8	Praktische Umsetzung.....	72
8.1	Aufgabenstellung	72
8.2	Beschreibung von Layout und Optimierungsmaßnahmen	73
8.2.1	Ausgangssituation	73
8.2.2	Vorgenommene Veränderungen.....	74
8.2.3	Beschreibung des veränderten Layouts.....	75
8.3	Ergebnisse aus dem Testbetrieb.....	77
8.3.1	Allgemeine Verbesserungen	77
8.3.2	Erhöhung der Demontageleistung und bessere Flexibilität	78
8.3.3	Sichern der Demontagequalität auf hohem Niveau	79
8.3.4	Auswirkungen aus Sicht der Personalentwicklung	81
8.4	Schlussfolgerungen.....	82
9	Detailangaben in Bezug auf die Ziele der Programmlinie.....	83
10	Ausblick/Empfehlungen	84
11	Literaturverzeichnis	86
11.1	Quellenverzeichnis.....	86
11.2	Weiterführende Literatur.....	89
12	Abbildungsverzeichnis	90
13	Tabellenverzeichnis.....	91

Abkürzungsverzeichnis

ABF	Institut für Abfallwirtschaft, Universität für Bodenkultur Wien
AMS	Arbeitsmarktservice
bmb+f	Bundesministerium für Bildung und Forschung Deutschland
DD:hh:mm:ss.ssss	Zeitangabe in Tagen, Stunden, Minuten und Sekunden
D.R.Z	Demontage- und Recyclingzentrum
EAG	Elektro(nik)altgerät
EAG-VO	Elektroaltgeräte-Verordnung
IWF	Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik
KERP	Kompetenzzentrum für Elektronik und Umwelt
KMU	kleine und mittlere Unternehmen
MTTR	mittlere Ausfalls- bzw. Instandsetzungsdauer (mean time to repair)
PPS-Systeme	Produktionsplanung und -steuerung
SiDDatAS	Simulation Disassembly Data Administration Software
SSE	Schadstoffentfrachtung
TAK	Transitarbeitskraft
t/MA	Tonne pro Mitarbeiter
WSF	Wertstofffraktionierung
XML	Extensible Markup Language (Datenformat)

Glossar

Elektro(nik)-Kleingeräte	Geräte der Sammelkategorie „Kleingeräte“ gemäß EAG-VO
eM-Plant	Software zur ereignisorientierten Materialflusssimulation der Firma UGS, Tecnomatix
Outplacement	Vermittlung von Transitarbeitskräften in den 1. Arbeitsmarkt
ProdTect	Software-Tool, das die Hersteller komplexer, technischer Produkte bei der Realisierung einer umweltgerechten Produktentwicklung unterstützt. (www.prodtect.com)
Schadstoffentfrachtung	zerstörungsfreier Ausbau aller schadstoffhaltiger Bauteile
SiDDatAS	Simulation Disassembly Data Administration Software - Schnittstellensoftware zur Nutzung von Produktanalyse-daten aus ProdTect in der Materialflusssimulation eM-Plant
sozialwirtschaftlicher Betrieb	Betrieb, dessen primärer Unternehmenszweck in der Integration und Vermittlung langzeitbeschäftigungsloser Menschen in den 1. Arbeitsmarkt
Transitarbeitskraft	Person mit einem befristeten Beschäftigungsverhältnis in einem sozialwirtschaftlichen Betrieb
Transplacement	Zeitraum von der Aufnahme des Beschäftigungsverhältnisses in einem sozialwirtschaftlichen Betrieb bis zum Outplacement
TrashDesignManufaktur	Abteilung des D.R.Z, in welcher aus EAG-Bauteilen Designerstücke produziert werden (www.trashdesign.at)
WEEE-Richtlinie	EG-Richtlinie 2002/96/EG zur Reduktion der zunehmenden Menge an Elektronikschrott aus nicht mehr benutzten Elektro- und Elektronikgeräten
Wertstofffraktionierung	Sortierung der demontierten Teile in entsprechende Metall- und Metall-Mischfraktionen

1 Kurzfassungen

1.1 Kurzfassung deutsch

Mit Inkrafttreten der WEEE-Richtlinie und der darauf basierenden nationalen Umsetzungen wurde die Grundlage für die Weiterentwicklung von einer Quellen-Senken-Bewirtschaftung hin zu einer Kreislaufwirtschaft gelegt. Die Regelungen haben aber auch einen zusätzlichen Wettbewerbsdruck gebracht. Dies hat in der letzten Zeit dazu geführt, dass in der EAG-Behandlung derzeit nicht die vom Gesetzgeber eingeforderte Qualität bei der Schadstoffentfrachtung im Mittelpunkt steht, sondern eine zu Lasten der Qualität, der Umwelt und der Arbeitssicherheit gehende Praxis der Kostenminimierung.

Manuelle Demontagebetriebe gelangen zunehmend unter Druck und haben Schwierigkeiten, sich gegen die mechanische Aufbereitung zu behaupten. Auf der anderen Seite sind die mechanischen Aufbereitungssysteme hinsichtlich einer Reihe von Aspekten nicht optimal ausgelegt. Um eine gesicherte Schadstoffentfrachtung durchzuführen, wäre es für viele Gerätearten notwendig, diese vor einer mechanischen Aufbereitung manuell von schadstoffhaltigen Bauteilen zu befreien.

Ziel des Projektes „Semimanuelle Demontage von Elektro(nik)-Kleingeräten“ war es, über die Charakterisierung des Geräteinputs hinsichtlich Zusammensetzung und Demontageeigenschaften sowie mithilfe von Demontagesimulationen, Optimierungen im Layout und in den Arbeitsabläufen zu identifizieren, zu bewerten und in Form eines Probebetriebs zu testen. Es sollte damit erreicht werden, dass

- die Effizienz im Demontagefluss signifikant gesteigert werden kann (Demotagedurchsatzleistung pro Mitarbeiter und Zeiteinheit),
- die Qualität bei der Schadstoffentfrachtung (zerstörungsfreier Ausbau aller schadstoffhaltigen Bauteile) sowie bei der Fraktionierung der Wertstofffraktionen noch weiter erhöht und auf hohem Niveau, unabhängig vom Mitarbeitermix, sichergestellt werden kann,
- besser als bisher auf eine fluktuierende Personalverfügbarkeit und stark schwankende Qualifikation der beschäftigten Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen reagiert werden kann und
- die Sicherheit, das Qualifizierungsniveau und die individuelle Mitarbeiterzufriedenheit der beschäftigten Arbeiter erhöht werden kann.

Das Projekt bestand in einem ersten Schritt aus einer Analyse der aktuellen Demontageabläufe im sozialwirtschaftlichen Betrieb D.R.Z – Demontage- und Recyclingzentrum Wien (siehe Abb. 1-1).

In einem weiteren Schritt wurde der Geräteinput des D.R.Z untersucht. Anhand einer Stichprobe von 500 Geräten wurde die Zusammensetzung des Inputs nach Gerätearten ermittelt. Für jene 18 Gerätearten, die 80% der Gesamtmasse (PC, Drucker, Radio, Telefone, etc.) repräsentierten, wurde eine durchschnittliche Materialzusammensetzung pro Geräteart bestimmt.



Abb. 1-1: Ausgangsdemontagelayout des D.R.Z (Basisszenario)

Anhand von Demontageversuchen wurden für diese Gerätearten weitere Eckdaten wie Demontagedauer, optimale Zerlegetiefe, Demontagekosten und erzielbare Fraktionserlöse ermittelt und mithilfe der Software ProdText in ein softwarebasiertes Produktmodell überführt. Die Gesamtheit dieser Produktmodelle bildete einen Teil der Datenbasis für die nachfolgende Simulation.

Auf Basis der Analyse wurden Szenarien ausgearbeitet, welche hinsichtlich Effizienz, Qualität und betreuungsrelevanter Faktoren eine Verbesserung gegenüber der Ausgangssituation versprochen. Folgende Aspekte, welche in Tab. 1-1 abgebildet sind, spielten im Zuge der Szenarienbildung eine Rolle.

Betrachtungsebene	Herangezogene Beurteilungskriterien
Effizienz	<ul style="list-style-type: none"> - Durchsatzmenge (Masse an demontierten Fraktionen) - Materialerlös pro Mitarbeiter - Demontagekosten
Qualität	<ul style="list-style-type: none"> - Qualität der Schadstoffentfrachtung - Qualität in der Wertstofffraktionierung
Betreuungsqualität und Transplacement	<ul style="list-style-type: none"> - Differenzierungsgrad an unterschiedlichen Demontagetätigkeiten/Aufstiegsmöglichkeiten - Flexibilität hinsichtlich der Möglichkeit, einzelne Arbeiter für die Betreuung abzuziehen - Arbeitsplatzsicherheit

Tab. 1-1: Kriterien zur Bewertung der Szenarien

Diese Aspekte bildeten auch die Kriterien, anhand derer die Szenarien auf Basis der Simulationsergebnisse im Hinblick auf ihre Verbesserungspotentiale beurteilt wurden. Im gegenständlichen Projekt spielten auch die betreuungsrelevanten Faktoren eine besondere Rolle. Der zentrale Auftrag des D.R.Z als sozialwirtschaftlicher Betrieb besteht in der Vermittlung ehemals langzeitbeschäftigungsloser Personen in den 1. Arbeitsmarkt in Form eines befristeten Beschäftigungsverhältnisses. Neben der praktischen Arbeit in den operativen Abteilungen des D.R.Z werden die sogenannten Transitarbeitskräfte während ihres „Transplacement“-Jahres sozialpädagogisch betreut, erhalten Schulungen und

Praktika und es wird mit ihnen eine Karriereplanung erstellt. Die Demontageabläufe dürfen daher durch schwankende Personalverfügbarkeiten nicht beeinträchtigt werden.

Die Szenarien unterschieden sich gegenüber der Ausgangssituation durch unterschiedliche Layouts (Liniendemontage versus separate Demontagearbeitsplätze), durch Differenzierung und Aufteilung einzelner Arbeitsschritte auf mehrere Arbeitsplätze (Vorsortierung des Geräteinputs in Gerätegruppen, separate Arbeitsplätze zur Schadstoffentfrachtung sowie zur Zuordnung der demontierten Teile zu definierten Wertstofffraktionen). Weitere Differenzierungsmerkmale bestanden im Zu- und Abtransport der Geräte bzw. Outputfraktionen.

Entsprechend dieser Differenzierungsmerkmale wurden die zur Simulation ausgewählten 13 Szenarien sowie die in einem Basisszenario umgesetzte Ausgangssituation in ein simulationsfähiges Modell überführt. Mithilfe der ereignisorientierten Materialfluss-Simulationssoftware eM-Plant sowie mit der am IWF der TU Braunschweig entwickelten Schnittstellen- und Datenverwaltungssoftware SiDDatAS (Simulation Disassembly Data Administration Software) wurde für jedes Szenario der Demontagebetrieb von 6 Monaten simuliert sowie anhand quantitativer Ergebnisse wie Gerätedurchsatz, Demontagekosten und Verkaufserlösen miteinander verglichen. In Abb. 1-2 ist der Simulationsvorgang schematisch dargestellt.

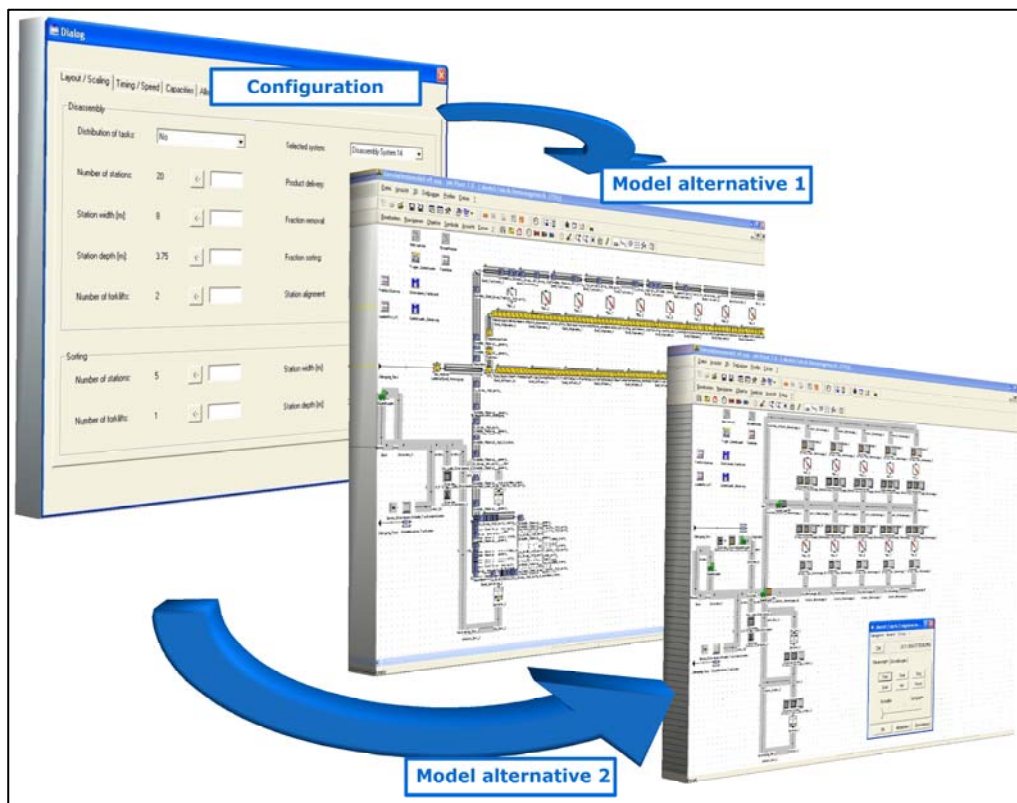


Abb. 1-2: Schematische Darstellung des Simulationsvorganges [Herrmann et al. 2005b]

Neben den Differenzierungen in der Demontageanordnung und der –abläufe wurden in der Simulation Parameter berücksichtigt, welche die Leistungs- und Lernfähigkeit der Demontearbeiter, Fehlzeiten und Personalfuktuation abbildeten. Anhand der Simulationsergebnisse sowie einer Beurteilung im Hinblick auf Qualität und der betreuungsrelevanten Faktoren wurden die Szenarien hinsichtlich dieser Kriterien gereiht.

In beiden Szenarien, welche in der Gesamtbewertung am besten abschnitten (Abb. 1-3), ist eine Vorsortierung vor der eigentlichen Demontage in mehrere Gerätegruppen vorgesehen. Neben der Selektion von Geräten für die Wiederverwendung (Reuse) werden die zu demontierenden Geräte in Gerätegruppen mit ähnlichen Demontageeigenschaften sortiert. Die Mitarbeiter demontieren dann nicht mehr alle Gerätearten, sondern nur mehr Geräte einer Gerätegruppe. Dies ergab deutliche Verbesserungen in der Effizienz, da die

Mitarbeiter weniger oft die Demontagewerkzeuge wechseln müssen und auch schneller eingeschult werden können (steilere Lernkurven).

Im in Abb. 1-3 links dargestellten Szenario wurde das bisherige Layout mit dezentralem Zu- und Abtransport beibehalten, wobei jeder Mitarbeiter auch weiterhin alle Demontageschritte durchführt. Im rechts skizzierten Szenario der Abb. 1-3 ist vorgesehen, dass Geräte, welche Leiterplatten enthalten, auf separaten Arbeitsplätzen am Ende der Demontagelinie von schadstoffhaltigen Bauteilen befreit werden.

Diese Vorsortierung brachte in der Simulation die besten Ergebnisse hinsichtlich Effizienzsteigerung und Kostenoptimierung. Damit könnte die wirtschaftliche Performance um 15-20% gegenüber der Ausgangssituation verbessert werden. Die anderen Szenarien, in denen u.a. die Einführung einer Liniendemontage für alle Gerätearten bzw. eine zentrale Wertstofffraktionierung am Ende der Demontagelinie vorgesehen war, brachte kaum Verbesserungen gegenüber der Ausgangssituation.

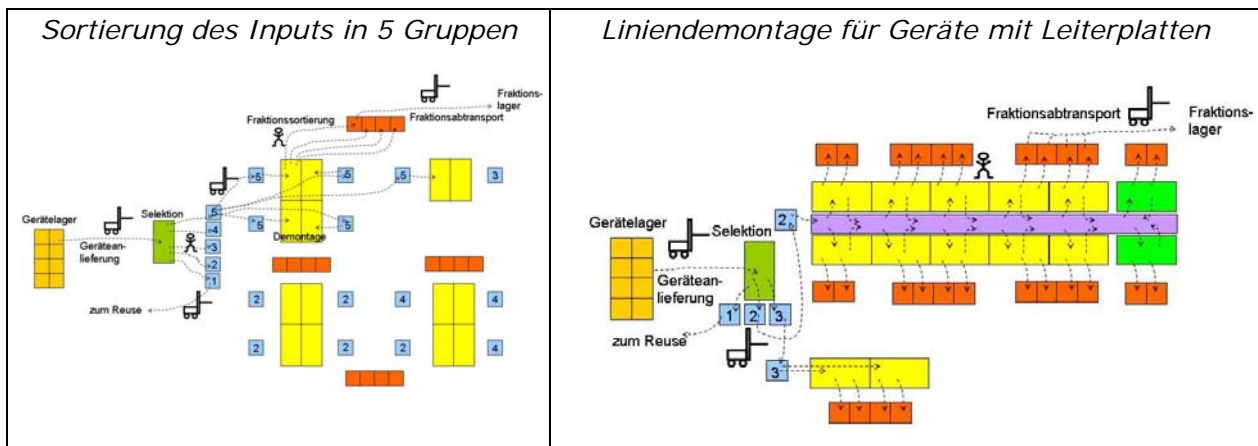


Abb. 1-3: Zielszenarien mit der besten Gesamtbewertung

Die Qualität der Schadstoffentfrachtung kann mit diesen Maßnahmen auf dem bisher schon hohen Niveau abgesichert werden. Im Hinblick auf die Betreuung der Transitarbeitskräfte bieten die beiden Szenarien mit der besten Gesamtbewertung den Vorteil, dass durch die Differenzierung der Demontagetätigkeiten die Mitarbeiter besser und gezielter eingeschult und während ihres „Transplacement“-Jahres von einfachen Demontagetätigkeiten zu anspruchsvolleren Tätigkeiten „aufsteigen“ können. Die Simulations- und Bewertungsergebnisse werden im Rahmen eines Probebetriebs im Zeitraum von Februar bis März 2008 evaluiert.

Mit dem Projekt konnte aufgezeigt werden, dass in der manuellen Demontage ein hohes Potential an Optimierungsmöglichkeiten noch nicht ausgeschöpft ist. Laut Abfallbehandlungspflichten-VO sind schadstoffhaltige Bauteile zerstörungsfrei auszubauen und so zu entfernen, dass Kontaminationen anderer Bauteile und der Umwelt ausgeschlossen werden. Da dies für viele schadstoffhaltigen Bauteile wie Quecksilberschalter u.a. nur auf manuelle Weise möglich ist, ist es im Sinne der Projektergebnisse sinnvoll und zielführend, die manuelle Demontage mithilfe von Forschungsarbeiten weiter zu optimieren, um deren Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten und zu fördern.

1.2 Kurzfassung englisch

The WEEE Directive and its implementation in EU Member States have provided a firm basis for a transition from source-sink economies to a true cycle economy. However, the regulation has also caused new forms of competitive pressure. In the recent past, this has given rise to a shift of focus from quality-conscious depollution required by legislators to a practice of cost minimization, adversely affecting quality, health and safety at work, and the environment.

Manual disassembly operations are increasingly coming under pressure, finding it difficult to compete with mechanized waste treatment. At the same time, mechanical treatment systems are found to be inadequately designed with regard to a number of aspects. To ensure appropriate depollution, many equipment categories should undergo partial manual disassembly prior to mechanized treatment in order to remove pollutant-containing parts.

The project entitled "Semi-manual disassembly of small WEEE" (waste electrical and electronic equipment) aimed to identify and assess improvement potentials in plant layout and workflow by characterizing WEEE input as to its composition and disassembly characteristics, and by conducting computer simulations of disassembly runs. The results are to be tested in a scheduled trial. The overall goals were:

- to significantly raise the workflow efficiency of disassembly (throughput rate per employee and unit of time);
- to further enhance and maintain the quality of depollution (non-destructive removal of all pollutant-containing parts) and to improve the separation of recyclable fractions – irrespective of a changing mix of employees;
- to better respond to a fluctuating availability of human resources and unpredictable differences in staff qualification;
- to enhance the safety, skill level and satisfaction of individual employees.

The first stage of the project consisted of an analysis of current disassembly routines, as followed at the social enterprise D.R.Z. – Vienna Disassembly and Recycling Center (see Figure 1).

The next stage involved an examination of the waste equipment input at the D.R.Z. Using a random sample of 500 devices, the input composition was categorized according to equipment types. 18 device types constituting 80% of the total mass (computers, printers, radio sets, telephones, etc.) were analyzed to identify the average material composition per device type.



Figure 1: Initial layout of disassembly at the D.R.Z. (basic scenario)

Disassembly experiments were then conducted to determine additional parameters for these device types, such as disassembly time, optimum dismantling degree, operational costs and the revenue from recyclable fractions. Following these analyses, the generated data was entered into the ProdTect software tool to create virtual product models. These models formed a part of the underlying data used for the subsequent simulation.

Drawing on these analyses, scenarios were developed that promised improvements over the initial situation in terms of efficiency, quality, and factors of relevance for workforce assistance and supervision. The perspectives outlined in Table 1 played a role in the development of said scenarios.

Level of focus	Assessment criteria
Efficiency	<ul style="list-style-type: none"> - throughput volume (mass of disassembled fractions) - material revenue per employee - disassembly cost
Quality	<ul style="list-style-type: none"> - quality of depollution - quality of recyclables separation
Guidance and job placement assistance	<ul style="list-style-type: none"> - level of differentiation between individual disassembly tasks/advancement opportunities - flexibility in assigning assistance and supervision duties to individual workers - health and safety at work

Table 1: Criteria for the evaluation of scenarios

These perspectives were transformed into criteria which were then used to assess the scenarios on the basis of simulation results, the focus being on the highest improvement potential. Throughout this particular project, the emphasis was also on factors of relevance for workforce assistance and supervision. Being a social enterprise, D.R.Z. primarily seeks to integrate formerly long-term unemployed individuals in the general labor market by providing temporary employment. In addition to gaining work experience through D.R.Z.'s operational activities, this 'transit workforce' benefits from various social training programs. During their 'transplacement year', employees attend courses, pursue internships and receive assistance in preparing career management profiles. A new

disassembly workflow design hence must not be affected by employee fluctuation and availability.

Compared to the initial situation, the new scenarios differed in terms of layout (disassembly line vs. cellular disassembly in workstations) and in their differentiation and distribution of individual operations over a number of work cells (presorting of WEEE input into device types, separate work areas for depollution, and the allocation of disassembled parts to predefined recyclable fractions). Additional differentiation was to occur in the physical supply of waste equipment and the transport of output fractions.

In line with these differentiation characteristics, simulation-ready models were created using 13 chosen scenarios and one basic scenario representing the initial situation. With the aid of eM-Plant, an event-driven material flow simulation software, and SiDDatAS (Simulation Disassembly Data Administration Software), an interface and data management software developed at the Institute of Machine Tools and Production of Braunschweig Technical University, the simulation of a six-month disassembly operation was conducted per each scenario. The quantitative results of each simulation, such as WEEE throughput, disassembly costs and sales revenues, were then compared. Figure 1 Figure 2 shows a schematic illustration of the simulation process.

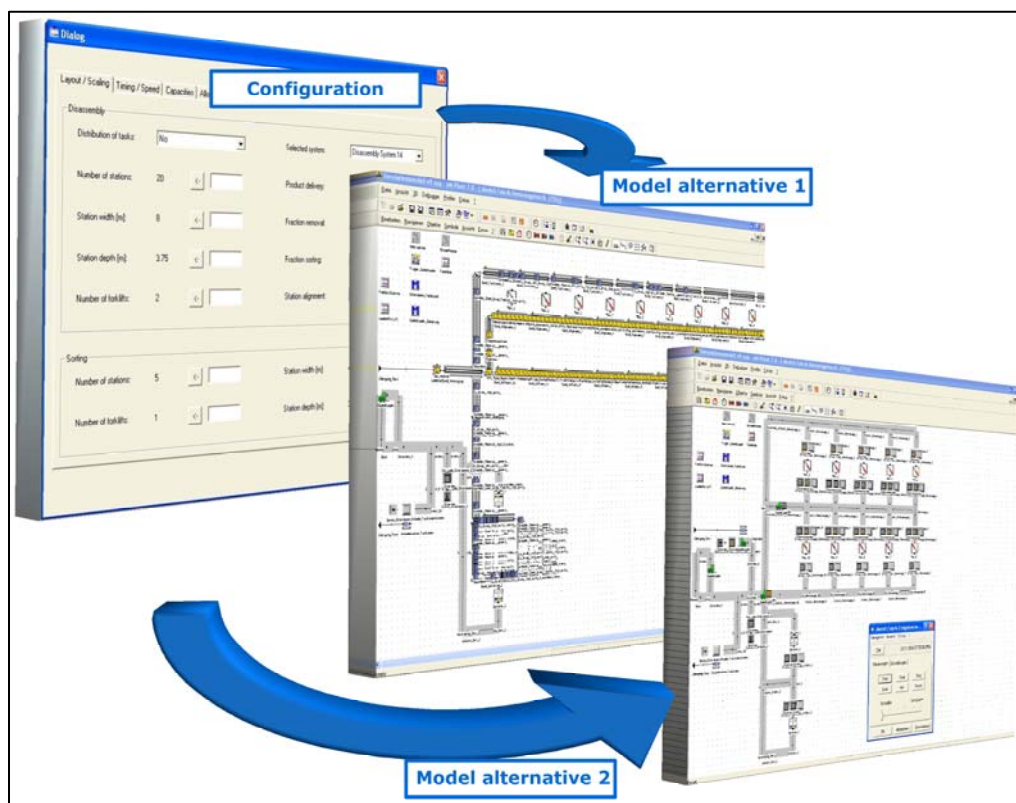


Figure 2: Schematic illustration of the simulation process [Herrmann et al. 2005b]

In addition to a differentiation with regard to disassembly layout and workflows, the simulations included parameters representing employee productivity and ability to learn, staff absence from work, and fluctuation. The scenarios were then ranked on the basis of simulation results and an evaluation of the quality of factors relevant for workforce assistance and supervision.

The two scenarios with the highest rankings (Figure 3) included a stage of presorting the input into different WEEE groups prior to its actual disassembly. In addition to salvaging equipment for reuse, WEEE designated for disassembly was sorted into groups with similar disassembly characteristics. As a result, rather than dismantling all types of equipment, employees would focus on one group only. This led to significant efficiency improvements,

the benefits being a limited number of tools per WEEE group and faster learning curves for newly employed workers.

The scenario on the left is based on the old layout of a decentralized supply of waste equipment and output transport, while each employee continues to perform all work steps. In Figure 3 the scenario on the right is designed in a way which provides for pollutant-containing parts to be removed from equipment with PCBs in separate work areas at the end of the disassembly line.

Input presorting rendered the best simulation results in terms of efficiency and cost optimization. Compared to the initial situation, this measure has a potential of improving the economic performance by 15 - 20%. All other scenarios, which among other features included a master disassembly line for all WEEE types or a central station for recyclables separation at the end of this line, brought no significant improvements over the initial situation.

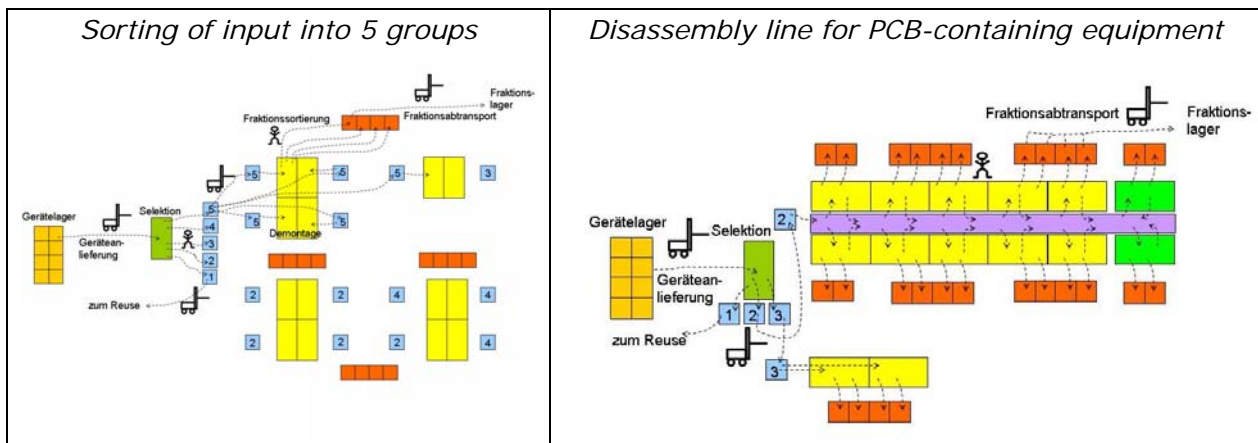


Figure 3: Best rated target scenarios

With these measures taken it is possible to maintain the currently achieved high quality level of depollution. With regard to transit workforce assistance and supervision, the two highest ranking scenarios proved beneficial by ensuring an improved and more focused training due to more differentiation in the disassembly tasks, and by enabling 'career advancement' from simple dismantling work to more complex duties during the 'transplacement year'. The simulation and assessment results will be evaluated in the course of a trial run scheduled for February and March 2008.

The project successfully demonstrated that manual disassembly processes still hold a great improvement potential which is yet to be fully exploited. In accordance with the Ordinance on Waste Treatment Obligations, pollutant-containing parts shall be removed in a non-destructive manner while preventing contamination of other components and the environment. Since with many such parts (e.g. mercury switches and other components) this can only be done manually, the project results suggest that conducting research to further enhance manual disassembly processes is meaningful and necessary in order to uphold and enhance their competitiveness.

2 Einleitung

2.1 Behandelte Fragestellungen

Elektro- und Elektronik-Altgeräte (EAG) sind die derzeit am schnellsten wachsende Fraktion des gesamten Abfallaufkommens: Sie wächst dreimal so schnell wie der Durchschnitt. Derzeit produziert jeder von uns rund 14 kg dieses Abfalls pro Jahr. Einerseits werden wir in immer mehr Bereichen durch elektrische und elektronische Geräte unterstützt, andererseits verursachen immer kürzer werdende Lebenszyklen vieler Geräte die immensen Abfallberge.

Viele sozialwirtschaftliche Betriebe haben in den vergangenen Jahren das Geschäftsfeld der Behandlung, Wieder- und Weiterverwendung von EAG für sich entdeckt und erfolgreich aufgebaut. Als für die Sozialwirtschaft besonders interessanter Bereich hat sich die Demontage von Elektro(nik)-Kleingeräten herauskristallisiert, da für die Schadstoffentfrachtung von Kleingeräten trotz großer Fortschritte in der mechanischen EAG-Behandlung auch weiterhin manuelle Arbeitsschritte notwendig sind, für die die Sozialwirtschaft besonders geeignet ist.

Die vom Gesetzgeber im Jahr 2005 getroffenen Regelungen, die die getrennte Erfassung und Verwertung von EAG in ganz Österreich vorschreiben und regeln, eröffnen zusätzliche Möglichkeiten für sozialwirtschaftliche Betriebe; diese Regelungen führen jedoch gleichzeitig auch zu einem zusätzlichen Wettbewerbsdruck. Dies hat in der letzten Zeit dazu geführt, dass in der EAG-Behandlung derzeit nicht die vom Gesetzgeber eingeforderte Qualität bei der Schadstoffentfrachtung im Mittelpunkt steht, sondern eine zu Lasten der Qualität, der Umwelt und der Arbeitssicherheit gehende Praxis der Kostenminimierung.

Ein Beispiel dafür gibt die nachfolgende Abb. 2-1, die einen Leiterplatten-Bauteil mit einer eingeschweißten Knopfzellenbatterie darstellt. Bauteile wie diese können nur manuell durch Arbeitskräfte, die darauf gezielt eingeschult wurden, erkannt und ausgebaut werden.

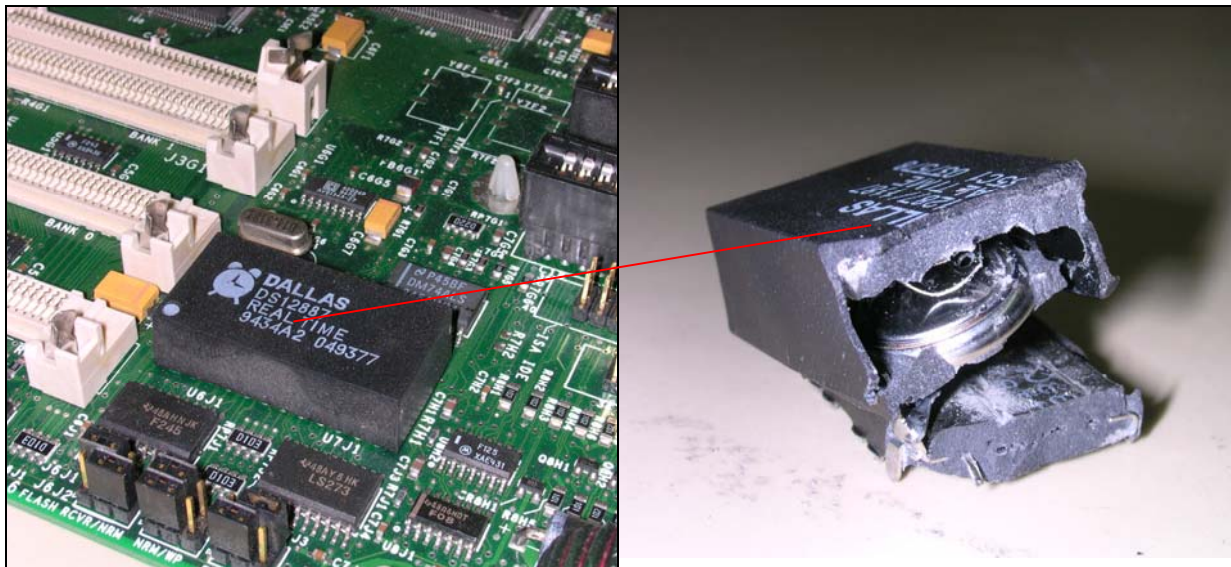


Abb. 2-1: Leiterplatten-Bauteil mit eingeschweißter Knopfzellenbatterie

Zudem geht die EAG-Behandlung zusehends in eine sehr eindimensionale Richtung, eine rein auf stofflicher Verwertung ausgerichtete Behandlungsschiene. Die Sozialwirtschaft mit ihrem zentralen Auftrag, von Arbeitslosigkeit betroffene Personen in den Arbeitsprozess zurückzuführen, verfolgt dabei einen ganzheitlicheren Ansatz. Von sozialwirtschaftlichen Betrieben übernommene und behandelte EAG werden nicht nur für die stoffliche Verwertung vorbereitet. Vielmehr haben Aktivitäten, die der Wieder- und Weiterverwendung dienen, in der Regel einen auch in der praktischen Umsetzung prioritären Stellenwert. In vielen sozialwirtschaftlichen Unternehmen werden wieder

verwendbare Geräte ausselektiert bzw. Geräte in Bezug auf wieder verwendbare Komponenten – wie in der KFZ-Branche schon seit langem üblich – ausgeschlachtet und als gebrauchte Bauteile vermarktet. Einige sozialwirtschaftliche Betriebe gehen auch im Bereich des Produktrecyclings neue innovative Wege, in dem sie aus Gerätekomponenten hochwertige Recycling-Produkte wie nachfolgend abgebildeten Stehtisch, Schmuck bzw. andere Accessoires herstellen (Abb. 2-2).

Um diesen gesamtheitlichen Ansatz effektiv und effizient umsetzen zu können, braucht es einerseits Konzepte, die den Aspekt der Vermarktung von Second-Hand-Geräten sowie die Reparatur innovativ bearbeiten. Das vom Verband Wiener Volksbildung/ Projekt D.R.Z durchgeführte FdZ-Projekt „Ökosozialer EAG-Kreislauf“ [Spitzbart et al. 2007] ist ein Beispiel dafür, die von der ARGE Abfallvermeidung im Rahmen von Fabrik der Zukunft bearbeitete Idee des „RepaMobils“ stellt einen anderen Ansatz für das gleiche Anliegen dar.



Auf der anderen Seite ist es aber auch notwendig, die in der manuellen Demontage eingesetzte Technologie insgesamt zu verbessern, um mit den – aufgrund der in der Sozialwirtschaft üblichen befristeten Beschäftigungsverhältnissen (temporäre Arbeitskräfte) – eine auf Dauer hohe Qualität in der Schadstoffentfrachtung sicherstellen zu können.

Abb. 2-2: Von der TrashDesignManufaktur des D.R.Z produzierter Stehtisch

Weiters tragen technologische Innovationen bei der Demontage von Elektro(nik)-Kleingeräten entscheidend dazu bei, dass die Sozialwirtschaft in diesem Bereich effizienter wird und damit wettbewerbsfähig bleibt. Die Verbesserung der manuellen Demontage von Elektro(nik)-Kleingeräten durch Optimierung des Demontagelayouts, welche den Inhalt des gegenständlichen Projektes darstellt, ist somit auch eine wirksame Strategie gegen Tendenzen, die EAG-Behandlung dem rein technisch-mechanischen Diktat zu unterwerfen bzw. ins Ausland zu verlagern.

2.2 Das Demontage- und Recyclingzentrum Wien

Im Mittelpunkt der im Rahmen des Projektes umgesetzten Projektinhalte stand die Abteilung des D.R.Z - Demontage- und Recycling-Zentrum Wien, in welcher Geräte der Sammelkategorie Kleingeräte schadstoffentfrachtet und demontiert werden.

Das D.R.Z ist ein sozialökonomischer Betrieb innerhalb des Verbandes Wiener Volksbildung, gefördert aus Mitteln des AMS Wien und des Bundessozialamtes für Menschen mit Behinderungen, der sich der Demontage von Elektro- und Elektronikaltgeräten (EAG) widmet. Das Unternehmen wurde im Zeitraum von Jänner bis Juni 2003 aufgebaut und im Juli 2003 in Betrieb genommen. Die Basis, auf der sich die gesamte Arbeit des D.R.Z gründet, ist die soziale Dimension der Nachhaltigkeit.

Das D.R.Z verfolgt dabei ein Konzept, in dem soziale, ökologische und volkswirtschaftliche Nachhaltigkeitsaspekte synergetisch miteinander verbunden werden:

- Ehemals Langzeitarbeitslose und Notstandsbezieher bekommen die Chance, durch die Demontagetätigkeit wieder einer geregelten Arbeit nachzugehen, erhalten parallel dazu intensive sozialpädagogische Betreuung und Weiterbildungsangebote, um am Ende ihres befristeten Beschäftigungsverhältnisses im D.R.Z wieder in den ersten Arbeitsmarkt vermittelt zu werden. Aus Transferleistungsbeziehern werden dadurch aktive Steuerzahler; die Arbeitslosenzahlen werden entlastet.
- Die ökologische Verantwortung, durch einen gesicherten manuellen Ausbau von Bauteilen mit potenziell gefährlichen Inhaltstoffen aus Elektro(nik)-Altgeräten die diffuse Verbreitung von Schadstoffen in der Umwelt zu vermeiden, stellt einen integrativen Bestandteil des Unternehmenskonzeptes dar.

- Im Mittelpunkt steht dabei die praktische Umsetzung eines Konzeptes, in der Arbeitsprozesse, die der Wieder- und Weiterverwendung von EAG dienen, mit solchen, in denen ein Optimum der darin enthaltenen Komponenten der stofflichen Verwertung zugeführt werden, synergetisch miteinander verbunden werden.

3 Ziele und Inhalte des Projektes

3.1 Projektziele

Ziel des vorliegenden Projektes war es, durch Optimierungen im Layout und in den Arbeitsabläufen zu erreichen, dass bei der manuellen Demontage von Elektro(nik)-Kleingeräten

- die Effizienz im Demontagefluss signifikant gesteigert werden kann (Demontage-Durchsatzleistung pro Mitarbeiter und Zeiteinheit),
- die Qualität bei der Schadstoffentfrachtung (zerstörungsfreier Ausbau aller schadstoffhaltiger Bauteile) sowie bei der Fraktionierung der Wertstofffraktionen noch weiter erhöht und auf hohem Niveau, unabhängig vom Mitarbeiter-Mix, sichergestellt werden kann,
- besser als bisher auf eine fluktuierende Personalverfügbarkeit und stark schwankende Qualifikation der beschäftigten Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen reagiert werden kann und
- die Sicherheit und individuelle Mitarbeiterzufriedenheit der beschäftigten Arbeiter erhöht werden kann.

Im Gegensatz zu vielen anderen Projekten, in denen erhöhter Einsatz technologischer Mittel zur Effizienzsteigerung mit Rationalisierungen und Abbau von Arbeitsplätzen verbunden ist, bestand im gegenständlichen Projekt die klare Zielsetzung, einen hohen Arbeitskräfteeinsatz beizubehalten, damit die Sozialwirtschaft ihren zentralen Auftrag, möglichst viele Personen zu beschäftigen und in den ersten Arbeitsmarkt zu vermitteln, auch in Zukunft nachkommen und ausbauen kann.

Das Projekt „Semimanuelle Demontage von Elektro(nik)-Kleingeräten“ sollte eine Prozessoptimierung im Bereich der manuellen Demontage ergeben, die in ihrem Grundprinzip in allen – an dem Geschäftsfeld Demontage interessierten - sozialwirtschaftlichen Betrieben eingesetzt werden kann.

Damit soll eine Standardisierung der von sozialwirtschaftlichen Betrieben eingesetzten Demontagetechnologie erreicht werden, die es dem Netzwerk, das diese sozialwirtschaftlichen Betriebe repräsentiert, ermöglicht,

- Qualitätsstandards für die Demontage von Elektro(nik)-Kleingeräten vorzugeben und den Betrieben, die das Geschäftsfeld neu einführen, einen besseren Support geben zu können,
- damit auch wirksamer als Verhandlungspartner, der diese sozialwirtschaftlichen Betriebe vertritt, gegenüber Systembetreibern und Shredder-Unternehmen auftreten zu können,
- und sich auf diese Weise als wichtiger Kooperationspartner positionieren zu können.

Das Projekt sollte auf diese Weise dazu beitragen, dass

- die Wettbewerbsfähigkeit sozialwirtschaftlicher Betriebe im Bereich EAG-Bewirtschaftung gestärkt wird und
- Arbeitsplätze auf lokaler und regionaler Ebene neu geschaffen und langfristig gesichert werden können.

3.2 Umgesetzte Projektinhalte

Die Inhalte des Projektes bestanden in

- der Analyse der bestehenden Praxis bei der manuellen Demontage von Elektro(nik)-Kleingeräten anhand des konkreten Beispiels im sozialwirtschaftlichen Betrieb Demontage- und Recyclingzentrum (D.R.Z),
- der Ausarbeitung von geeigneten Gesichtspunkten, anhand derer sowohl die Effizienz und Qualität der durchgeführten Demontage von EAG als auch die gegenseitige Beeinflussung des Einsatzes der Transitarbeitskräfte in der Demontageabteilung mit der Betreuungsarbeit der Personalentwicklungsabteilung des D.R.Z erfasst werden können,
- einer Erfassung und Erhebung des Geräteinputs im Hinblick auf seine Zusammensetzung und der Demontageeigenschaften der übernommenen Geräte,
- der Erarbeitung von optimierten Szenarien hinsichtlich der geschilderten Gesichtspunkte und deren Simulation mittels Software,
- der Ergebnisinterpretation sowie praktischen Umsetzung des Zielszenarios mit der besten Gesamtbewertung durch Änderung des Demontagelayouts sowie der betrieblichen Abläufe in der entsprechenden Abteilung des D.R.Z gemäß den Projektergebnissen.

Diese Projektinhalte wurden im Rahmen des Projektes mit folgenden Instrumenten und Optimierungsmaßnahmen realisiert:

Simulation:

Die angesprochenen Zielsetzungen

- Effizienzsteigerung,
- Qualitätsverbesserung und
- höhere Flexibilität

implizieren Maßnahmen, die sich in einigen Punkten widersprechen und daher gegeneinander ausbalanciert werden müssen, um zu einem optimalen Gesamtergebnis zu kommen.

Die vielen Variablen, die das Demontagegesamtergebnis beeinflussen, ergeben ein komplexes System, das mit gängigen Mitteln nicht hinreichend abgebildet und analysiert werden kann. Die unter 5.3 beschriebenen Softwaremodule ermöglichen diese Analyse. Auf diese Weise bekam die Sozialwirtschaft Zugang zu einem Tool, welches es ermöglicht, die Demontagetechnologie zu verbessern und zu optimieren, jedoch den - für die Sozialwirtschaft wichtigen - hohen Arbeitskräfteeinsatz beizubehalten und auf diese Weise Beschäftigung auf lokaler und regionaler Ebene zu schaffen.

Veränderung des Gesamtlayouts der Demontagehalle:

Durch die Veränderung des Gesamtlayouts der Demontagehalle kann vor allem die zur Verfügung stehende Gesamtfläche besser genutzt und eine Optimierung der Stellflächen erreicht werden: die Bereitstellung der zu demontierenden Geräte und den Abtransport der Wertstofffraktionen, in die die Geräte zerlegt wurden. Es wird dadurch möglich, mehr Manipulationsfläche für die interne Logistik zu schaffen, was wiederum die Voraussetzung zur Optimierung der logistischen Abläufe bildet.

Durch die Neugestaltung der Arbeitsplätze zueinander und eine stärkere Differenzierung der einzelnen Arbeitsplätze untereinander entstehen Potentiale hinsichtlich Prozessoptimierung, welche in der ursprünglichen Anordnung nur begrenzt gegeben war.

In die Gestaltung des Gesamtlayouts musste der Aspekt mit einfließen, dass immer wieder neue Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen eintreten bzw. erfahrene Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen, die erfolgreich aus dem befristeten Dienstverhältnis in ein Dauerarbeitsverhältnis im ersten Arbeitsmarkt vermittelt wurden, ausscheiden. Mit den

einzelnen Arbeitsschritten vertraute Arbeiter und Arbeiterinnen werden auch für die Einschulung neuer Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen herangezogen, was durch entsprechende Anordnung der Arbeitsplätze zueinander sichergestellt werden musste.

Optimierung der Arbeitsabläufe:

Ein Kernstück der Prozessoptimierung der manuellen Demontage von Elektro(nik)-Kleingeräten war die Optimierung der Arbeitsabläufe, welche auch die Kernelemente für die Definierung der Szenarien bildete, die mittels EDV simuliert wurden.

Die ursprüngliche Praxis, bei der jeder Arbeiter / jede Arbeiterin jedes anfallende Gerät komplett zerlegt und die ausgebauten Metallstücke selber den definierten Fraktionen zuordnet, bot nur beschränkte Möglichkeiten zur Optimierung und ließ kaum eine wirkliche Qualitätskontrolle zu.

Durch die Differenzierung der Demontearbeiten in unterschiedliche Arbeitsschritte und Zuordnung auf unterschiedliche Arbeitsplätze wurde es möglich, logistische Optimierungen vorzunehmen. Weiters konnte dadurch der gesamte Prozess auf Arbeitsschritte mit vergleichsweise geringer Anlernzeit herunter gebrochen werden. Auf diese Weise können nun Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen, auch wenn sie neu im Betrieb sind, nach relativ kurzer Zeit fachgerechte Demontearbeit leisten.

Ein weiterer Aspekt der Prozessoptimierung lag in der Berücksichtigung stark schwankender Personalverfügbarkeit, welche nicht selten sogar von einem Tag zum anderen sehr unterschiedlich sein kann. In sozialwirtschaftlichen Betrieben sind Personen beschäftigt, welche nach Jahren zum ersten Mal wieder einer geregelten Arbeit nachgehen. Ein wesentlicher Schritt der Reintegration besteht darin, diese Menschen wieder an Regelmäßigkeit, Pünktlichkeit u.ä. zu gewöhnen. Die im Vergleich zum ersten Arbeitsmarkt hohen und stark schwankenden Krankenstände sind unter anderem darauf zurückzuführen, dass sich viele zu Beginn ihres befristeten Beschäftigungsverhältnisses diesen Reintegrationsbemühungen auf diese Weise zu entziehen versuchen. Schwankungen in den verfügbaren Personalständen ergeben sich auch daraus, dass laufend Personen in sozialpädagogischer Betreuung stehen, sich in einem auswärtigen Praktikum befinden oder eine Qualifizierung absolvieren. Aus diesen Gründen braucht es in sozialwirtschaftlichen Demontagebetrieben Arbeitsabläufe, mittels derer flexibel ohne Umbauarbeiten schnell auf unterschiedliche Personalstände reagiert werden kann. Einerseits muss auch bei geringem Personalstand eine gesicherte Schadstoffentfrachtung garantiert werden, andererseits aber die Zusammensetzung der Wertstoffendfraktionen darauf abgestimmt werden. Bei hohem Personalstand werden mehr Reinfaktionen produziert, bei geringem Personalstand ist der Anteil an Mischfraktionen höher.

Gestaltung der Demontearbeitsplätze:

Durch eine überarbeitete Gestaltung der einzelnen Arbeitsplätze sollte eine höhere Demontageleistung erreicht werden, indem durch bessere Übersichtlichkeit und eine klar durchdachte Strukturierung des Arbeitsplatzes die Handgriffe bei der Schadstoffentfrachtung und Zerlegung vereinfacht und damit schneller durchführbar werden.

Die übersichtliche Anbringung von Zerlegeanleitungen und Hilfestellungen zum Erkennen schwer erkennbarer schadstoffhaltiger Bauteile erleichtert es Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen, die Demontearbeiten fachgerecht durchzuführen und die dafür notwendigen Informationen schnell zu finden. Damit wird die Qualität der Demontearbeiten, insbesondere der Schadstoffentfrachtung, verbessert.

Nicht zuletzt erhöht ein klar durchdachter Arbeitsplatz die Mitarbeiterzufriedenheit, führt über positive Motivierung zu besseren Arbeitsleistungen und trägt somit auch zu einer Verbesserung der Sicherheit am Arbeitsplatz bei.

4 Stand der Technik

4.1 Forschungsstand zum Thema Demontageplanung

Ansätze zur innerbetrieblichen Demontageplanung lassen sich nach vielfältigen Kriterien wie Planungsziel, Planungsgegenstand, Planungsdynamik, Planungshorizont etc. klassifizieren. Hinsichtlich des betrachteten Zeithorizonts ist zwischen Arbeiten zur operativen und Arbeiten zur strategischen Planung von Systemen zur Demontage von Elektro(nik)altprodukten zu differenzieren. Während Arbeiten zur operativen Planung Fragen der (kurzfristigen) Demontageprogrammplanung und Demontagesteuerung in einem gegebenen Demontagesystem behandeln, steht bei der strategischen Planung die optimale Neu- oder Umgestaltung und Auslegung von Demontagesystemen im Vordergrund.

Auf dem Gebiet der operativen Demontageplanung entwickeln Kurbel et al. [1999] ein Informationssystem zur Entscheidungsunterstützung für Entsorgungsunternehmen, das in Abhängigkeit von Demontagezeiten, Erlösen und Kosten für Fraktionen und Betriebsmittelkapazitäten den optimalen Demontagepfad und die Demontagetiefe bestimmt. Konzepte der Demontageprogrammplanung mit PPS-Systemen verfolgen Rautenstrauch [1999], Huber [2000], Huber & Marx-Gomez [2000] und Huber [2001]. In Anlehnung an die belastungsorientierte Auftragsfreigabe (BOA) betrachten Wiendahl et al. [1999a] sowie Wiendahl et al. [1999b] die Demontagesteuerung aus belastungsorientierter Sicht, während Lambert & Gupta [2002] einen Ansatz zur bedarfsgesteuerten Demontage durch optimale Demontagelose entwickeln. Um Kapazitätsrestriktionen abbilden zu können, lösen Lee et al. [2002] das Problem der Demontagesteuerung durch ein Model der ganzzahligen Programmierung, in dem verschiedene Kostenarten Berücksichtigung finden. Den schon früher häufig angewandten Ansatz der Planung von Demontageprozessen mit Hilfe von Petri-Netzen greifen Neuendorf et al. [2001] auf, um alternative Demontagesequenzen darstellen zu können. Gupta & Veerakamolmal [1999] nutzen Daten abgeschlossener Demontageprozesse, um auf Basis von Ähnlichkeiten der zu demontierenden Produkte und der in ihnen enthaltenen Baugruppen optimierte Demontagepläne zu generieren. Zwecks Maximierung des Auslastungsgrads nimmt Güngör [1999] durch Adressierung von Demontageaufgaben zu -stationen eine Auslastungsabstimmung von Demontagelinien vor.

Hinsichtlich der Verbesserung der strategischen Demontageplanung, hier Stand der Forschung, sind vor allem die Arbeiten im Rahmen des SFB 281 hervorzuheben. Außerdem sind die Ergebnisse des vom deutschen Bundesministerium für Bildung und Forschung (bmb+f) geförderten Projekts IREAK zur Konzeption und Gestaltung von Demontagesystemen zu beachten. Im Rahmen des vom bmb+f geförderten Forschungsvorhabens IREAK erfolgt eine Analyse innerbetrieblicher Demontagesysteme. Dabei werden neben der Demontagesystemgestaltung auch Aspekte der Informationsunterstützung sowie der Organisations- und Personalentwicklung betrachtet. Zur Demontagesystemgestaltung wird ein Modulbaukasten erstellt, der für die einzelnen Baukastenalternativen Parameter wie Durchsatz, Investitionen, Flächenbedarf und Produktivität empirisch bestimmt bzw. abschätzt. Die Demontage fokussiert auf Produktrecycling. Materialrecycling wird jedoch als Nebenoption nicht ausgeschlossen [Menrad et al. 1999; Hetzel 2000].

In [Baumgarten, Sommer-Dittrich 2000a] wurden Demontagefabrikkonzepte entwickelt, wobei mittels des Simulations-Softwaretools Taylor ED deren Plausibilität und Verhalten im dynamischen Zustand überprüft wird. Als weitere Zielsetzung wird die Integration der Demontage in Montageprozesse verfolgt. Zur Bewertung der dafür notwendigen logistischen Abläufe wird die Prozesskostenrechnung eingesetzt. Während der ursprüngliche Fokus auf Haushaltsgroßgeräten lag, sind aktuelle und zukünftige Untersuchungen auf weitere Elektro(nik)altprodukte wie IT-Geräte oder Unterhaltungselektronik ausgedehnt. Des Weiteren werden flexible Logistikmodule für Demontagefabriken entwickelt und Optionen für mobile Demontagefabriken analysiert. Vor dem Hintergrund einer Weiterentwicklung der Demontagefabrik zum Demontagepark

werden Betreiberkonzepte erarbeitet. Zur Integration von Demontage und Montage wird ein Internet-Portal zur kundenorientierten Demontagesteuerung entwickelt, welches auch e-Business Vorgänge ermöglichen soll [Baumgarten & Sommer-Dittrich 2000a; Baumgarten & Sommer-Dittrich 2000b; Sommer-Dittrich 2001]. Teilprojekt C2 verfolgt einen ganzheitlichen Ansatz zur rechnerunterstützten Demontageplanung und -steuerung. Basierend auf Produkt-, Markt- und Ressourcendaten erfolgt zunächst eine Demontagesequenzplanung, bevor in weiteren Schritten ein Prozessmodell erzeugt wird und die Dimensionierung und Strukturierung des Systems vorgenommen wird. Die Validierung des Demontagesystems erfolgt abschließend anhand eines automatisch generierten Simulationsmodells [Ciupek & Franke 2002; Ciupek & Franke 2003; Franke et al. 2003]. Die Umsetzung der Konzepte in eine Pilotanlage sowie die Entwicklung spezieller Demontagewerkzeuge beschreiben Seliger und Uhlmann [Seliger et al. 2000; Uhlmann et al. 2000; Seliger et al. 2002]. Einen Überblick über die Planung und den Betrieb von Demontagesystemen liefert Perlewitz [1999] in seiner Betrachtung der wirtschaftlichen Demontagetiefe, der Prozessplanung und der Kapazitätsplanung zur Programm- und Auftragsdemontage.

Mit Hilfe des Software-Tools Arena simulieren Limaye & Caudill [1999] Demontagesysteme und ihre innerbetriebliche Logistik. Um die Wirtschaftlichkeit alternativer Layoutvarianten und Prozessänderungen bewerten zu können, ist ein Aktivitätskostenmodell hinterlegt. Anhand der Simulation eines Zerlegebetriebs wird das Modell für drei alternative Szenarien am Praxisbeispiel validiert.

Im Zusammenhang mit der Demontageplanung für Elektro(nik)altgeräte sind noch Arbeiten zu nennen, die Spezialbereiche fokussieren. So konzipieren Kötter & Eckerth [1999] sowie Eckerth [2001] ein flexibel automatisiertes Demontagesystem für Bildschirmgeräte inklusive eines internen Logistikkonzepts. Hauser [2000] simuliert eine Demontagelinie für Fernseher und Monitore unter Berücksichtigung unterschiedlicher Demontagetiefen. Einen Maßnahmenkatalog zur Gestaltung der logistischen Prozesse in der Demontage mit Gestaltungsempfehlungen zu Fördermitteln und Arbeitsplatzgestaltung entwickeln Fraunhofer IML [2000] und Moukabary & Nickel [2000]. Die Planung von Demontagesystemen unter dem Aspekt der Ergonomie und Arbeitssicherheit analysieren Ahrend et al. [1999], indem sie 21 Arbeitsschritte zur Demontageprozessplanung aufstellen.

Neben den o.a. Ansätzen, die sich ausschließlich auf die Demontage beschränken bzw. diese als Produzent von Demontageerzeugnissen für die Montage verstehen, betrachten zahlreiche Forschungsvorhaben die Demontage als integralen Bestandteil eines Life Cycle Managements für Elektro(nik)altgeräte. Exemplarisch sind hier die Arbeiten von Feldmann zum Integrated Product Policy (IPP) zu nennen [Feldmann 2002; Feldmann & Melzer 2002; Feldmann & Melzer 2003], in denen die Reduzierung der Demontagezeiten und -kosten einen Zielaspekt darstellt, sowie die Betrachtung von Veerakamolmal, der parallel zur Demontageplanung mit Losgrößen- und Reihenfolgenplanung Aspekte des Design for Recycling adressiert [Veerakamolmal 1999].

Im Gegensatz zu diesen Ansätzen soll das im Rahmen dieses Projektes angewandte Verfahren eine umfassende betriebswirtschaftliche Bewertung aller relevanten Kosten- und Erlösgrößen ermöglichen. Weiterhin sollen Unsicherheiten in Bezug auf die analytisch ermittelten Demontagezeiten in Form von stochastischen Verteilungen genauso wie Einflüsse von Lernkurveneffekten auf die Demontagezeiten durch die mehrfache Demontage von gleichen und ähnlichen Geräten berücksichtigt werden.

4.2 Beschreibung der Vorarbeiten zum Projekt

Schaffung der Voraussetzungen zur Bildung eines Wiederverwendungskreislaufes für Elektro(nik)altgeräte [Spitzbart et al. 2007]

Die Optimierungen, die im Rahmen des vorliegenden Projektes erarbeitet wurden, bauten auf Erkenntnissen eines Projektes zum Thema Wiederverwendung von Elektro(nik)-Altgeräten mit dem Titel „Ökosozialer EAG-Kreislauf“ auf. Das damals umgesetzte Arbeitspaket zur Optimierung der Selektion wieder verwendbarer Geräte bildete den Ausgangspunkt zur Neugestaltung des Gesamtlayouts zur Verbesserung der Demontageleistungen insgesamt, welches den Inhalt des gegenständlichen Projektes bildete.

- Laufzeit: 01/2006 bis 06/2006
- Auftraggeber: BMVIT (A), Förderprogramm: Nachhaltig Wirtschaften, Programmlinie „Fabrik der Zukunft“

Gestaltung und Lenkung von Stoffstrom-Netzwerken zum Recycling komplexer Verbundprodukte

Im Rahmen des Projektes wurden Methoden zur betrieblichen Planung von Demontagesystemen und überbetrieblichen Gestaltung von Recyclingnetzwerken entwickelt, prototypisch umgesetzt und anhand von Fallstudien validiert. Mit der Entwicklung eines Softwareprototyps steht ein Werkzeug zur Verfügung, mit dessen Hilfe eine simulationsbasierte Bewertung von Demontagesystemen möglich ist.

- Laufzeit: 01/2001 bis 08/2005
- Auftraggeber: DFG (D), Normalverfahren

Stoffstrombasiertes Supply Chain Management in der Elektronikindustrie zur Schließung von Materialkreisläufen

Ausgangssituation des Projektes bildeten fehlende Informationen über Zusammensetzung und Inhalte von Elektro(nik)geräten sowie Anforderungen an wieder aufgearbeitete Bauteile und Materialien. Das Projekt zielte auf die Entwicklung methodischer Ansätze zur überbetrieblichen Planung und Steuerung von Stoffströmen ab. Es wurde eine Aufbau- und Ablauforganisation zur Ersatzteilversorgung mit strategischen und operativen Planungs- und Steuerungsmethoden entwickelt.

- Laufzeit: 01/2001 bis 12/2003
- Auftraggeber: BMBF (D), Förderschwerpunkt „Betriebliche Instrumente für nachhaltiges Wirtschaften“

Steuerung der manuellen Endfertigung

Inhalt des Projektes war die Erarbeitung von Methoden, die es ermöglichen, die Zerlegetiefe für verschiedene Geräte und Baugruppen abhängig von den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen so zu steuern, dass eine größtmögliche Wertschöpfung erreicht wird. Die Demontagetiefe beinhaltet dabei die Information, welche Komponenten eines Gerätes und in welchem Umfang diese demontiert werden.

- Laufzeit: 06/1997 bis 07/1998
- Auftraggeber: DBU Deutsche Bundesstiftung Umwelt (D)

Untersuchungen zur Effizienzsteigerung der Demontage

In diesem Projekt wurden Möglichkeiten zur Effizienzsteigerung der Demontage untersucht. Schwerpunkt lag hier in der Bewältigung der großen Typen- und Variantenvielfalt durch das Schaffen „demontageähnlicher“ Gerätegruppen. Im Rahmen des Projektes wurde eine Merkmalsbasis für elektr(on)ische Produkte entwickelt, sowie clusteranalytische Verfahren zur Gruppenbildung untersucht und in ein rechnerunterstütztes Werkzeug implementiert. Die exemplarische Anwendung der Methodik auf das Produktspektrum von Demontageunternehmen (KMU) konnte positive Effekte erzielen. Zur Verifizierung wurden umfangreiche Simulationsstudien zu Demontageabläufen durchgeführt.

- Laufzeit: 01/1996 bis 12/1998
- Auftraggeber: VolkswagenStiftung (D)

Geschäftsprozesse und Netzwerkmanagement in der erweiterten Supply Chain zum Schließen von Produktkreisläufen

Im Projekt werden im Verbund aus zwei Forschungsinstituten und fünf Unternehmen, welche von zwei IT-Partnern unterstützt werden, innovative Konzepte zum Schließen von Produktkreisläufen entwickelt. Ziel des Projektes ist es, durch Weiterentwicklungen in den Bereichen Netzwerkmanagement, Geschäftsprozessmanagement und IT-Management die Rückführung, Aufarbeitung und Wiederverwendung von komplexen technischen Produkten wirtschaftlich darstellbar umzusetzen.

- Laufzeit: 01/2007 bis 12/2009
- Förderträger: BMBF (D), Rahmenprogramm "Forschung für Nachhaltigkeit"

5 Vorgehensweise und Methodik

Die in Kapitel 3.2 erläuterten Projektinhalte wurden gemäß Abb. 5-1 umgesetzt:

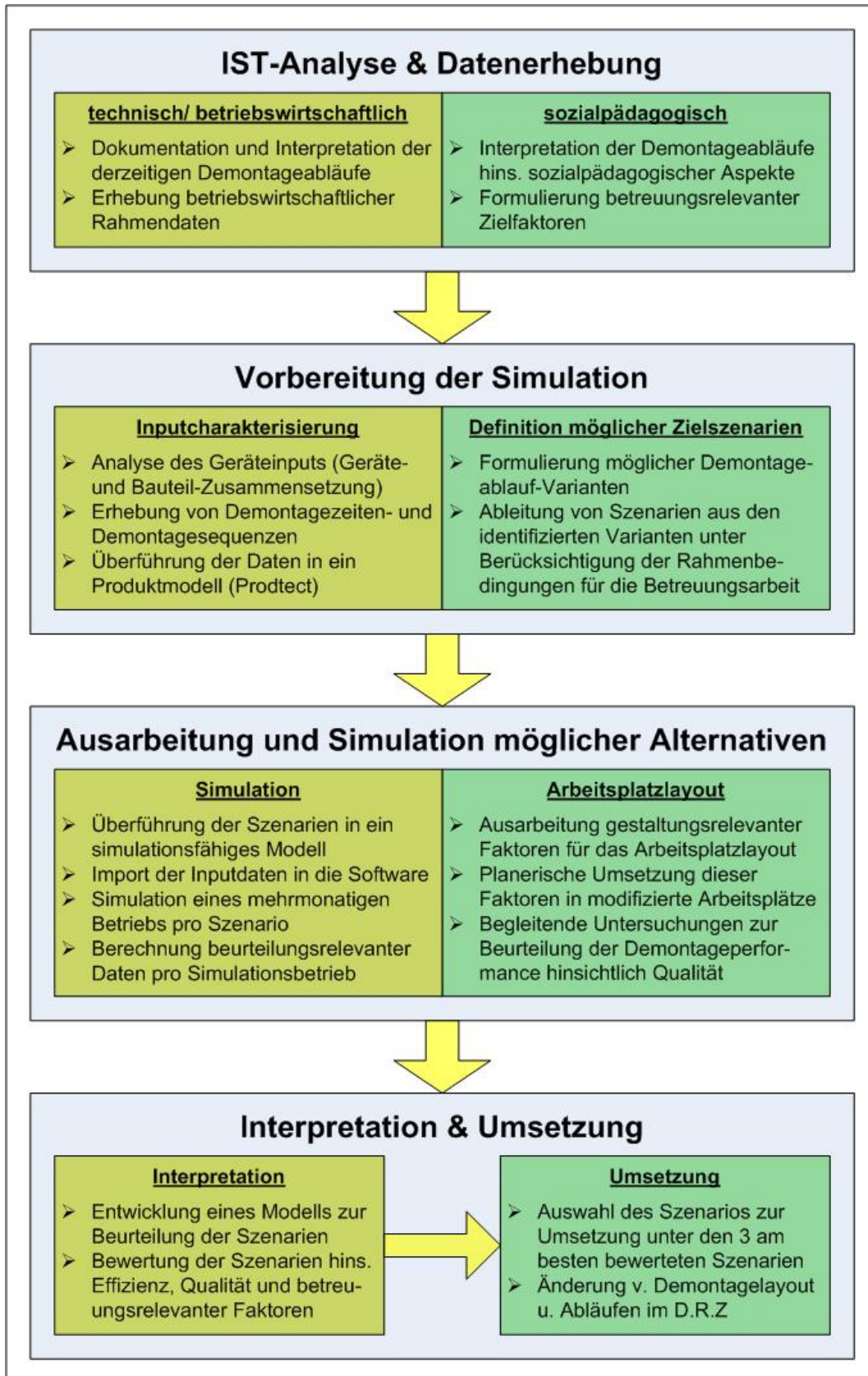


Abb. 5-1: Vorgehensweise zur Umsetzung der Projektinhalte

5.1 Ist-Analyse & Datenerhebung

5.1.1 Dokumentation und Interpretation der Demontageabläufe

Der erste Schritt bestand in einer Bestandsaufnahme der ursprünglichen Arbeitsabläufe in der Abteilung zur Demontage von Kleingeräten im D.R.Z. In Form einer Fotodokumentation (siehe Kapitel 6.1.1) wurden die einzelnen Arbeitsschritte, beginnend von der Entladung der LKWs mit den zu demontierenden Geräten bis hin zum Abtransport der demontierten Fraktionen erfasst.

Diese wurden – ergänzt durch Vorortvisiten – in Projektteambesprechungen diskutiert und im Hinblick auf Stärken und Schwachstellen analysiert. Daraus ergaben sich auch schon erste Anhaltspunkte und Ideen zur möglichen Verbesserung des Layouts sowie der Arbeitsabläufe.

Von wesentlicher Bedeutung in dieser Projektphase war die Einbindung von Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen der Abteilung „Personalentwicklung des D.R.Z“, welche für die Betreuung der beschäftigten Transitarbeitskräfte sowie für deren Vermittlung in den ersten Arbeitsmarkt verantwortlich sind. Aus dem fachlichen Input dieser Projektteammitglieder ergaben sich wichtige Rahmenbedingungen für die Gestaltung von möglichen Zielszenarien.

Weiters wurden in dieser ersten Phase des Projektes auch Aspekte diskutiert und als Vorbedingungen für die Gestaltung der Szenarien formuliert, welche sich aus dem Gesamtauftrag sowie der Verflechtung der einzelnen Geschäftsfelder des D.R.Z untereinander ergaben. So wurde unter anderem festgelegt, dass die Möglichkeit, Geräte für die Wiederverwendung aus dem Input ausselektieren zu können, wesentlicher Bestandteil eines Zielkonzeptes sein muss.

5.1.2 Datenerfassung

Dieser Projektteil bestand in der Sammlung und Aufbereitung von betriebsrelevanten Daten und Informationen des D.R.Z, welche für die Ausformulierung der Szenarien sowie zur Charakterisierung der aktuellen Abläufe in der betreffenden Demontageabteilung von Bedeutung waren.

Es handelte sich dabei im Wesentlichen um Daten betreffend Demontagekosten und Umsätze, aber auch die pro Zeiteinheit durchgesetzten Mengen an Geräten. Die daraus produzierten Fraktionen wurden aus Betriebsaufzeichnungen des D.R.Z derart aufbereitet, dass sie für die Eingabe in die Simulations-Software geeignet waren. Ergänzt wurden diese Daten durch Informationen, welche das ursprüngliche Demontagelayout charakterisierten (Abstände zwischen den einzelnen Arbeitsplätzen, Wege und Zeiten für logistische Manipulationen etc.).

Neben diesen Daten waren auch Aufzeichnungen der Abteilung „Personalentwicklung“ von Bedeutung, welche herangezogen wurden, um die für die Simulation wichtigen Kennwerte betreffend Leistungsfaktoren und Fehlzeiten (siehe Kapitel 5.2.2) abzuleiten.

Wichtigen Input lieferten auch Daten und Informationen, welche im D.R.Z aus Vorprojekten verfügbar waren. So wurde bereits im Projekt „Ökosozialer EAG-Kreislauf“ [Spitzbart et al. 2007] die Zusammensetzung des Inputs des D.R.Z nach Gerätearten analysiert, anhand deren die Gerätearten ausgewählt wurden, welche im Rahmen eines Produktmodells (siehe Kapitel 5.2.1) analysiert wurden.

Weitere Informationen und Daten wurden aus Jahresberichten des D.R.Z [Spitzbart et al. 2006; Stengeli et al. 2007] und diversen Projektberichten [Gabriel 2004; Gabriel & Spitzbart 2005; Spitzbart et al. 2006b; D.R.Z 2006] abgeleitet und für die Simulation vorbereitet.

5.1.3 Ist-Analyse aus sozialpädagogischer Sicht

Im Zentrum der Ist-Analyse aus sozialpädagogischer Sicht standen die Ableitung betreuungsrelevanter Zielfaktoren als Basis zur Definierung der Rahmenbedingungen für die Formulierung der Zielszenarien sowie der nachfolgenden Beurteilung und gegenseitigen Bewertung der Szenarien hinsichtlich dieser Kriterien (siehe Tab. 6-2).

Basisdokument für diese Analyse bildete das Konzept der Personalentwicklung des D.R.Z [Kopitsch et al. 2005], welches in gemeinsamen Gesprächen zwischen Projektleitung und den sozialpädagogischen Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen im Hinblick auf die gegenständlichen Fragestellungen beleuchtet wurde.

Ergänzt wurden diese Aktivitäten durch gemeinsame Workshops zwischen Personalentwicklung und den betroffenen Transitarbeitskräften, um die im Hinblick auf Arbeitssicherheit, Mitarbeiterzufriedenheit und aus Sicht der Betroffenen relevanten Faktoren auch hinsichtlich Qualität und Effizienz zu erfassen.

5.2 Vorbereitungsarbeiten für die Simulation

5.2.1 Analyse und Charakterisierung des Geräteinputs ins D.R.Z

Die Analyse des Geräteinputs bestand in

- der Erhebung der durchschnittlichen Inputzusammensetzung nach Gerätearten,
- Zerlegestudien einer ausreichend großen Anzahl von Geräten, um den Input repräsentativ wiederzugeben,
- Erstellung von Produktmodellen dieser analysierten Geräte in ProdTect® und Erweiterung der nicht analysierten Gerätearten um ein „Geräte-Dummy“ (Erklärung siehe Unterkapitel „Abbildung der nicht analysierten Gerätearten“)

Erhebung der Inputzusammensetzung

Die Abschätzung der Inputzusammensetzung erfolgte anhand von Untersuchungen, welche im Rahmen des Vorprojektes „Ökosozialer EAG-Kreislauf“ [Spitzbart et al. 2007] durchgeführt worden waren.

Diese Untersuchungen hatten anhand eines repräsentativen Samples von ca. 500 Geräten ergeben, dass sich der Kleingeräte-Input des D.R.Z aus 110 unterschiedlichen Gerätearten zusammensetzt. Für etwa 80% des Masse-Inputs sind jedoch 20-25 Gerätearten verantwortlich.

Es wurden daher aus dem Gesamtinput an Kleingeräten 22 Geräte ausgewählt, welche in weiterer Folge in Form von Zerlegestudien analysiert wurden.

Durchführung der Zerlegestudien

Die Demontageanalyse und anschließende ProdTect®-Modellierung ausgewählter EAG-Kleingeräte diente der Datenermittlung für die Szenariensimulation. Die Daten umfassten einerseits Demontagegrunddaten wie Bauteildefinitionen, Verbindungen der Bauteile zueinander und Vorrangbeziehungen zwischen den Bauteilen hinsichtlich der Zerlegereihenfolge, sowie Materialdefinitionen und Massenwerte zu den einzelnen Materialien. Über die pro Outputfraktion erzielten Erlöse und die Eingabe spezifischer Kostenfaktoren wurden pro Geräteart die anfallenden Demontageskosten sowie die optimale Zerlegetiefe ermittelt. Die für das D.R.Z spezifischen Stundensätze sowie Outputfraktionen wurden separat erfasst und in ProdTect® hinterlegt.

In Abb. 5-2 ist das Ergebnis eines Zerlegevorgangs für einen Drucker beispielhaft dargestellt.

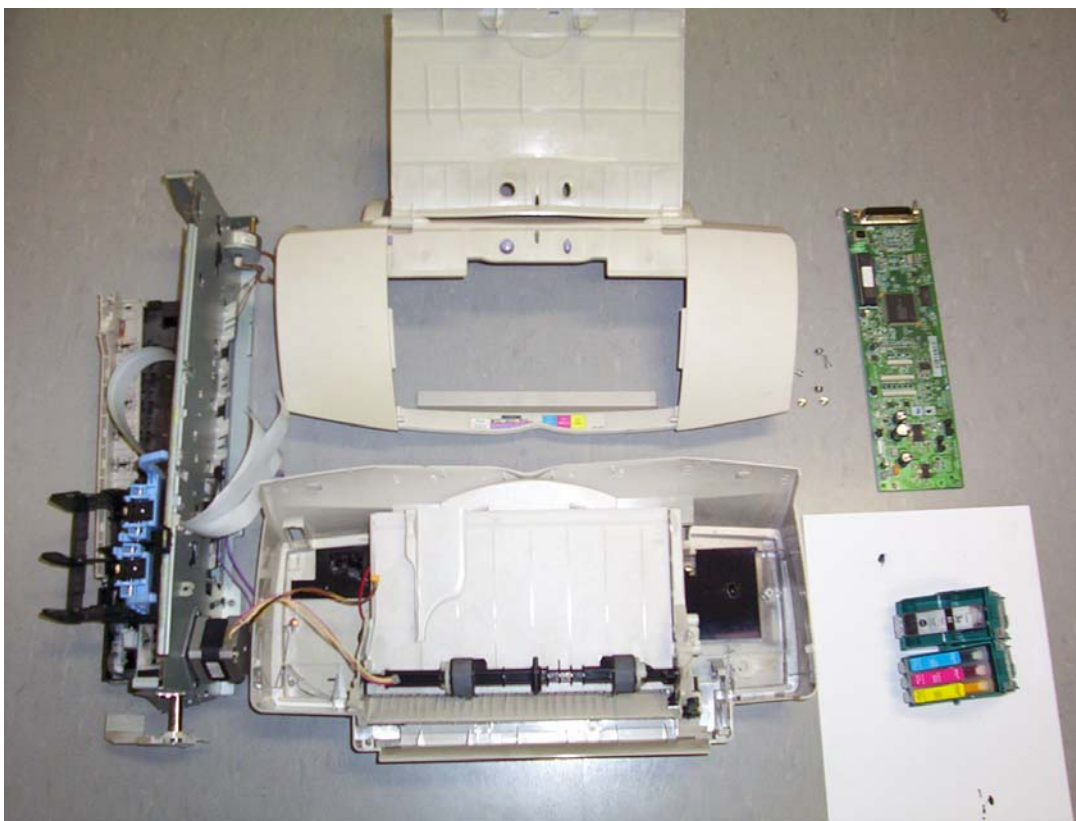


Abb. 5-2: Darstellung der Zerlegestudien am Beispiel Drucker

Die durchschnittliche Bauteil- und Materialzusammensetzung pro Geräteart wurde bestimmt, indem pro analysierter Geräteart eine Anzahl von 15-20 Geräten demontiert wurde und für die weiteren Auswertungen die daraus ermittelten durchschnittlichen Zusammensetzungen herangezogen wurden.

Erstellung der Produktmodelle

Die im Rahmen der Zerlegestudien erhobenen Bauteil- und Materialzusammensetzungen, Verbindungsarten und Vorrangbeziehungen pro Geräteart wurden in weiterer Folge in die ProdTect®-Software eingegeben. Mithilfe dieser Software wurden aus diesen und weiteren hinterlegten Stammdaten folgende, für die Simulation relevante Daten rechnerisch ermittelt (pro Geräteart):

- die Dauer der Demontage
- die Reihenfolge im Zerlegevorgang
- die optimale Demontagetiefe
- Recyclingquoten
- Verwertungskosten
- Erlöse aus dem Recycling

Abb. 5-3 gibt die Auswertung dieser - für die stoffliche Verwertung der Geräte – relevanten Daten schematisch wieder.

Die Dauer der Demontage pro Geräteart, welche in ProdTect® anhand der definierten Produktmodelle sowie hinterlegter Stammdaten berechnet wird, wurde im Rahmen des Projektes anhand zusätzlicher Erhebungen im D.R.Z weiter verifiziert und um Demontagedauern in der betrieblichen Praxis erweitert.

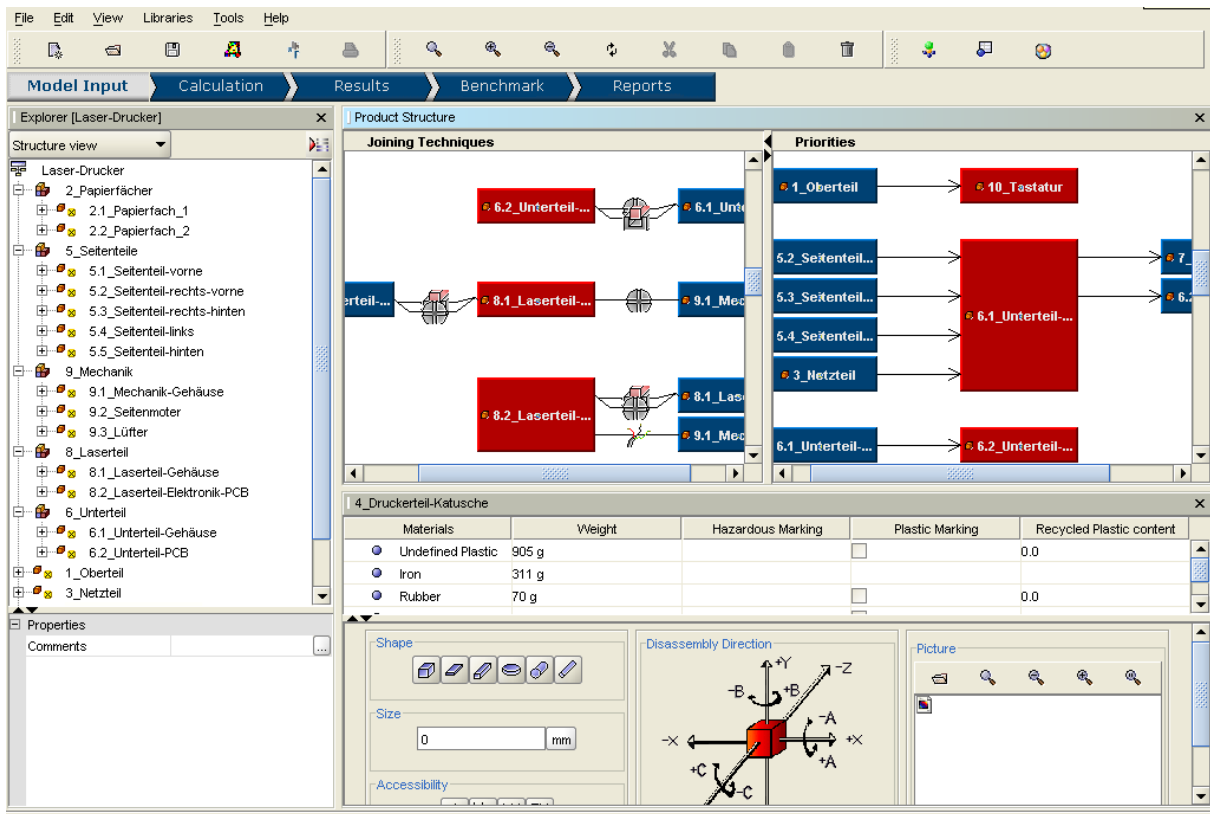


Abb. 5-3: Darstellung einer ProdTech®-Auswertung

Die pro Geräteart in ProdTech® eingegebenen Gerätedaten und Auswertungen wurden in datenbankspezifischen Dateien abgelegt und von der Simulationssoftware daraus direkt importiert.

Softwaremäßige Abbildung der nicht analysierten Gerätearten

Stellvertretend für jene Gerätearten, welche nicht im Rahmen von Zerlegestudien analysiert wurden (ca. 20% des Masseinputs), wurde

- auf Basis der Materialzusammensetzung, welche sich durch Rückrechnung aus der Gesamtfractionszusammensetzung und der sich für den analysierten Gerätemix ergebenden Fraktionszusammensetzung sowie
- anhand früher durchgeführter Recyclingstudien

ein virtuelles Gerät („Geräte-Dummy“) erstellt, welches die Bauteilzusammensetzung und Demontageeigenschaften des nicht analysierten Teils des Input widerspiegelt.

5.2.2 Erhebung von Simulationsparametern

Leistungsfaktor [Ohlendorf 2006]

Um die generelle Leistungsfähigkeit des Demontagepersonals berücksichtigen zu können, wird ein Leistungsfaktor L_g bei der Berechnung der Zeiten für die manuellen Demontageoperationen verwendet. Durch Multiplikation mit dem Leistungsfaktor werden die Zeiten für die Demontageoperationen manipuliert, um z.B. auch Demontagesysteme mit sozial Benachteiligten (Behinderten, Langzeitarbeitslosen) realitätsnah planen, modellieren, simulieren, bewerten und analysieren zu können. Standardmäßig ist dieser Faktor bei dem entwickelten Konzept mit dem Vorgabewert $L_g = 1,00$ belegt, wobei natürlich auch ein anderer Wert verwendet werden kann.

Berücksichtigung von Lernkurven [Ohlendorf 2006]

Lernkurvenmodelle nach [Ohlendorf 2006] erläutern die Abnahme des Fertigungsaufwands und der Bearbeitungszeiten in der industriellen Produktion mit zunehmender Anzahl an identischen oder ähnlichen gefertigten Produkten. Die Lernkurve beschreibt dabei einen Graph mit degressiv abfallendem Verlauf. Für die Berechnung der Lernkurve wurde der Lernkurvenverlauf von De Jong [zit. in Ohlendorf 2006] gewählt.

Der Lernkurvenverlauf nach De Jong wird durch so genannten Ablaufflinien beschrieben. Diese werden durch das Unreduzierbarkeitsmaß M charakterisiert. Demnach setzen sich Bearbeitungszeiten aus einem unreduzierbaren Anteil Mt_1 und einem reduzierbaren Anteil $(1-M)t_1$ zusammen. Die Berücksichtigung eines Unreduzierbarkeitsmaßes bei der manuellen Demontage ist unerlässlich, um den Verlauf der Lernkurve nicht gegen Null tendieren zu lassen, sondern die Zeiten für Demontageoperationen einem realitätsnahen Wert asymptotisch annähern zu können. Die Kombination bzw. Integration der Stanford-B-Kurve mit dem Konzept der Ablaufflinien der Lernkurve von De Jong liefert die Beziehung zur Berechnung der Bearbeitungszeiten für Demontageoperationen für das entwickelte Konzept. Zusätzlich wird die Formel um einen Ähnlichkeitsfaktor α erweitert, durch den der Einfluss der Anzahl nicht-identischer, sondern ähnlicher vorheriger Demontageoperationen j auf die Demontagezeit spezifiziert werden kann.

5.2.3 Szenariendefinition

Kernarbeit der vorbereitenden Arbeiten zur Durchführung der Demontagesimulation bestand in der Definierung möglicher Zielszenarien, welche sich aus der im Rahmen von Kapitel 5.1 abgeleiteten Rahmenbedingungen und Zielvorstellungen ergaben. Es wurden dabei Konkretisierungen über mögliche

- organisatorisch-technische Auslegungsalternativen,
- Alternativen der Kopplung der Bearbeitungsstationen und
- alternative Materialflusskonzepte

getroffen, wie in Abb. 5-4 dargestellt. Durch Kombination der verschiedenen Merkmalsausprägungen der Gestaltungsmerkmale des Materialflusses (einer jeweils zentral oder dezentral organisierten Altgeräteanlieferung, Fraktions-sortierung und Fraktionsabführung sowie einer einseitigen oder beidseitigen Anordnung der Demontearbeitsplätze) lassen sich 16 Basismodelle identifizieren.

Ebene	Kriterium	Ausprägung			
Organisatorisch-technische Auslegung	Arbeitsteilung	ohne	mit		
	Organisationsprinzip	Objektprinzip	Verrichtungsprinzip	Materialflussprinzip	Kombination
	Station	manuell	mechanisiert / automatisiert	Kombination (hybrid)	
Kopplung	räumlich	Einzelplatz	Linie	Ring	Fläche / Netz
	zeitlich	keine Kopplung	starr	entkoppelt	
Materialfluss	Materialzufluss	zentral	dezentral		
	Materialabtransport	zentral	dezentral		
	Sortierung / Lagerung	zentral	am Arbeitsplatz		

Abb. 5-4: Auslegungsalternativen zur Definierung der Zielszenarien [Westernhagen 2001]

Auf Basis dieser Merkmalsausprägungen wurde ein Ausgangsszenario, welches das ursprüngliche Demontagelayout des D.R.Z (siehe Abb. 6-11) charakterisiert, definiert und anhand der identifizierten Optimierungspotentiale und Zielvorstellungen 9 mögliche Zielszenarien definiert. In Kapitel 6.4 sind diese Szenarien sowohl verbal beschrieben als auch schematisch abgebildet (Abb. 6-12 bis Abb. 6-20).

5.3 Simulation der Szenarien

Ziel dieses Arbeitspakets war die Überführung der erarbeiteten Alternativszenarien in ein simulationsfähiges Modell sowie die Durchführung von Simulationsuntersuchungen anhand dieser Modelle auf Basis der definierten Produktdaten. Hierzu wurden die ereignisorientierte Materialflusssimulationssoftware eM-Plant sowie eine am IWF der TU Braunschweig entwickelte Schnittstellen- und Datenverwaltungssoftware SiDDatAS (Simulation Disassembly Data Administration Software) eingesetzt. Produktdaten aus Analysen durch die Software ProdTect® (Demontagesequenz, -zeiten, entstehende Fraktionen) wurden in die Schnittstellensoftware SiDDatAS importiert und für eine Verarbeitung in den Simulationsuntersuchungen verdichtet und aufbereitet. Die Produkte wurden zu Demontagelosen zusammengefasst und deren Mengenverteilungen festgelegt.

Zusätzlich wurden globale Rahmenbedingungen für die Simulationsstudien in der Software festgelegt. Hierunter fallen:

- Arbeitszeit- und –schichtmodell
- Einfluss von Unsicherheiten (stochastische Verteilungen) auf die Demontagezeiten
- Einfluss von Lernkurveneffekten auf die Demontagearbeitszeiten

Die getroffenen Einstellungen und die relevanten Produktdaten wurden für eine Verwendung in eM-Plant aus SiDDatAS exportiert.

Die Durchführung von Simulationsexperimenten zu verschiedenen Demontagesystemen in eM-Plant umfasste zwei Hauptschritte, nämlich

1. die **Modellkonfigurierung und -parametrisierung** und
2. die **Simulation** (im eigentlichen Sinne).

Zunächst wurden die Projektdaten aus SiDDatAS in die Simulationsoberfläche importiert. Es schloss sich die Konfiguration des Demontagesystems an, im Rahmen derer u.a. die Anzahl an Demontagearbeitsplätzen und die Basiskonfiguration des Demontagesystems, determiniert durch die Organisation der Altgeräteeinlieferung, des Fraktionsabtransports, der Sortierung (jeweils zentral oder dezentral) und die Art der Stationsanordnung (einseitig oder zweiseitig), festgelegt wurden. Bei Demontagesystemen mit einem zentralen Sortierbereich für die Materialfraktionen wurde zusätzlich die Anzahl an Sortierstationen angegeben sowie bei Systemkonfigurationen mit Gabelstaplern (d.h. bei dezentraler Anlieferung und/oder dezentralem Abtransport) deren Anzahl festgelegt.

Weitere Aspekte des Demontagesystems, die definiert wurden, sind:

- Zeitliche Abstimmung („Timing/Speed“): Festlegen der Aspekte mit zeitlichem Einfluss, wie den Geschwindigkeiten von Transportmitteln und Handlingzeiten
- Kapazitäten („Capacities“): Festlegen der Aspekte mit kapazitativem Einfluss, wie dem Fassungsvermögen von Transportmitteln und Transporthilfsmitteln/ Behältnissen, der Verwendung von so genannten Backup-Gitterboxen zur Vermeidung von Wartezeiten und dem Füllstand zur Auslösung von Aufträgen an die Gabelstapler zum Abholen/Austausch von Behältnissen
- Arbeitsteilung („Allocations“): Festlegen der Aspekte mit Einfluss auf die Arbeitsteilung/Spezialisierung, d.h. Zuordnung von Materialfraktionen zu (bestimmten) Demontagearbeitsplätzen

- Abmaße („Settings“): Festlegen der Aspekte mit Einfluss auf die Größendimension des Demontagesystems, nämlich der Abmaße und Abstände von Bereichen wie Demontage, Sortierung und Bereitstellung/Lager

Als Ergebnis sämtlicher Konfigurierungen und Parametrisierungen resultierte jeweils ein simulationsfähiges Demontagesystemmodell, das automatisch erzeugt wurde. Nach der Konfigurierung und Parametrisierung des Demontagesystemmodells in eM-Plant erfolgte die eigentliche Simulation. So wie die Daten vor der Simulation über die XML-Schnittstelle an die entsprechenden Modelle in eM-Plant übertragen wurden und in die Simulationsexperimente eingeflossen sind, wurden nach erfolgten Simulationsläufen die erzeugten Ergebnisse in die Projektdatei und nach SiDDatAS exportiert.

Für die Szenarien wurden z.T. mehrere Simulationsläufe durchgeführt, bei denen die einzelnen Bereiche des Demontagesystems (z.B. getrennte Demontagebereiche für verschiedene Produktgruppen) einzeln simuliert wurden. Der Einfluss der Vorsortierung von Produkten in verschiedene Gruppen (z.B. Vorsortierung in PCs und Rest) wurde in getrennten Simulationsläufen untersucht, in denen der Durchsatz einer Sortierstation für die unterschiedlichen Sortierungen ermittelt wurde, um abschätzen zu können, inwiefern die Sortierung den Engpass des Systems darstellt.

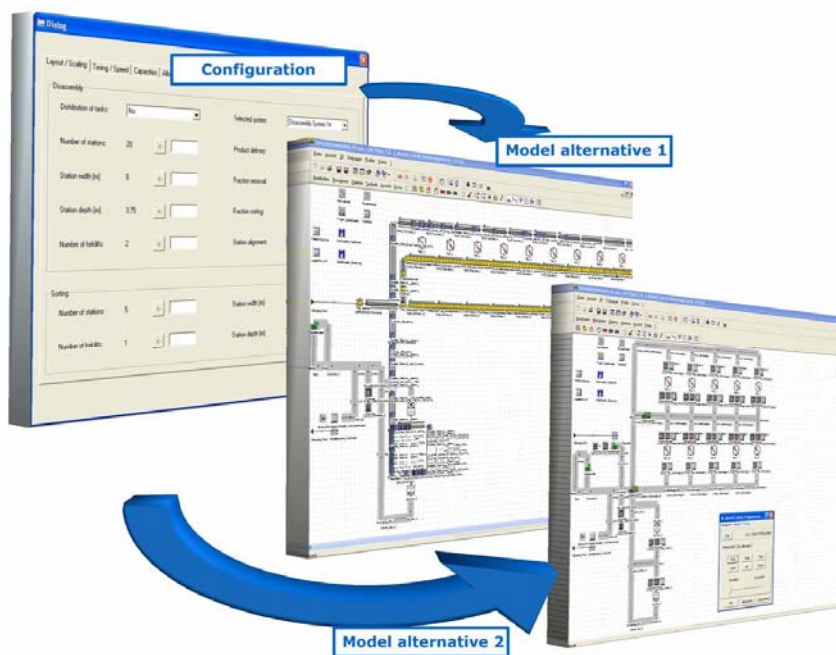


Abb. 5-5: Simulationsvorgehen [Herrmann et al. 2005b]

5.4 Ausarbeitung Arbeitsplatzlayout

Neben der optimaleren Gestaltung des Demontagegesamtlayouts sowie der Abläufe war die im Hinblick auf Arbeitssicherheit, Mitarbeiterzufriedenheit und Einschulung neuer Mitarbeiter optimale Gestaltung der einzelnen Arbeitsplätze ebenfalls Inhalt des gegenständlichen Projektes.

Die planerische Umsetzung erfolgte anhand eines Anforderungskataloges, welcher in Workshops mit den betroffenen Transitarbeitskräften gemeinsam erstellt wurde. Die praktische Umsetzung des modifizierten Arbeitsplatzlayouts erfolgte im Zuge der praktischen Umsetzung der Projektergebnisse im ersten Quartal 2008.

5.5 Auswertung der Ergebnisse und Interpretation

Die Ergebnisauswertung erfolgte in erster Linie auf Basis der Simulationsergebnisse. Mittels der Simulationsläufe wurden die Effizienzkriterien „durchgesetzte Masse an Fraktionen“, „Materialerlös pro Mitarbeiter“ und „Demontagegesamtkosten“ errechnet. Anhand dieser Kriterien wurden die simulierten Szenarien gegenübergestellt und miteinander verglichen (Kapitel 6.5). Auf Basis der absoluten Rechenwerte wurden prozentuelle Vergleichswerte gebildet, wobei das Ausgangsszenario auf 100% festgesetzt wurde und eine Verbesserung eines Szenarios hinsichtlich eines Effizienzkriteriums daher durch einen Wert >100% angezeigt wird und ein Wert <100% eine entsprechende Verschlechterung des jeweiligen Zielszenarios gegenüber der Ausgangssituation bedeutet.

In weiterer Folge wurden die Szenarien entsprechend dieser prozentuellen Ergebnisse gereiht und mittels einer Punktevergabe gewertet, wobei das Szenario mit den jeweils besten Ergebnissen 13 Punkte, das mit den schlechtesten Ergebnissen jeweils 1 Punkt bekam.

Die Szenarien wurden – in Form von gemeinsamen Gesprächen der Projektleitung mit den Projektmitarbeitern des D.R.Z – in ähnlicher Form hinsichtlich der Qualitäts- und Transplacement-Kriterien bewertet (siehe Kapitel 6.6). Ergebnis dieser Bewertungen waren Punkte für jedes Szenario in Bezug auf jedes dieser 3 Betrachtungsergebnisse, was in weiterer Folge – unter Einbeziehung der vorher festgelegten Gewichtung (Tab. 6-2) – eine Auswertung der Szenarien hinsichtlich aller Kriterien ergab. Daraus wurden die 3 Szenarien mit den besten Gesamtbewertungen ausgewählt und für eine praktische Umsetzung in Betracht gezogen.

Die Auswahl des Szenarios, welches im D.R.Z für eine praktische Umsetzung in Frage kommt, erfolgte anhand der Abwägungen der Realisierungsmöglichkeiten, welche für das D.R.Z zur Verfügung stehen.

5.6 Praktische Umsetzung der Projektergebnisse

Die praktische Umsetzung der Projektergebnisse war bis zur Fertigstellung des vorliegenden Endberichtes aufgrund der unter Kapitel 8 erläuterten Gründe nicht möglich und wird im ersten Quartal 2008 nachgeholt und auch durch einen Ergänzungsbericht dokumentiert.

5.7 Diffusion der Projektergebnisse

Die Verbreitung der Projektergebnisse in Österreich erfolgt über den Dachverband Repanet, in dem sich die sozialwirtschaftlichen Unternehmen in ganz Österreich, die im Bereich Reparatur, Wiederverwendung und Demontage von Elektro(nik)-Geräten tätig sind, zusammengeschlossen haben.

Es wurden dabei folgende Aktivitäten gesetzt

- Zur-Verfügung-Stellung von Informationen in elektronischen Mailings an die Mitglieder,
- Bericht bei den Netzwerk-Meetings und Veranstaltungen des Dachverbandes,
- Verbreitung über Internet auf der Website des Dachverbandes.

Weiters wurden die Projektergebnisse auf der R'07 World Congress „Recovery of Materials and Energy for Resource Efficiency“ in Form eines wissenschaftlichen Vortrags [Spitzbart et al. 2007a] präsentiert. Eine Aktivität im 2. Quartal 2008 wird die Präsentation der Projektergebnisse im Rahmen eines Forschungsberichts am Institut für Abfallwirtschaft der Universität für Bodenkultur sein.

6 Projektergebnisse

6.1 Analyseergebnisse

6.1.1 Aktuelle Demontageabläufe im D.R.Z

Die Kleingeräte, welche im D.R.Z. demontiert werden, werden von drei Wiener Mistplätzen bezogen. Bei der Abholung werden die Geräte mitsamt den Gitterboxen, in welchen auch die Sammlung stattfindet, mit Hilfe eines Palettenhubwagens in den D.R.Z-eigenen LKW verladen. Im Austausch werden leere Gitterboxen am Mistplatz aufgestellt. Es erfolgt eine gemeinsame Abholung der lose transportierten Groß- und der in Gitterboxen befindlichen Kleingeräte. Um für eine Wiederverwendung geeignete Geräte vor Beschädigungen zu schützen, wird die Ladung nach Ende des Ladevorganges gegen Verrutschen gesichert. Nach der Ankunft auf dem Gelände des D.R.Z, werden die Kleingeräte mitsamt der Gitterbox abgeladen (Abb. 6-1). Für das Abladen der Großgeräte stehen Holzpaletten zur Verfügung, welche für den weiteren Transport und die Lagerung der Geräte bis zur Demontage oder zum Wiederverkauf eingesetzt werden.



Abb. 6-1: Abladevorgang der Kleingeräte beim D.R.Z

Sämtliche Geräte, die im D.R.Z angeliefert werden, werden nach einer Eingangskontrolle als Transporteinheit (= Gitterbox bei den Kleingeräten, Holzpalette bei den Großgeräten) gewogen (Abb. 6-2, links) und in der Stoffbuchhaltung elektronisch erfasst. Im Anschluss werden die Gitterboxen mit den Kleingeräten in ein Zwischenlager gebracht (Abb. 6-2, rechts).



Abb. 6-2: Wiegung (links) und Zwischenlagerung (rechts) der Elektrokleingeräte

Ein Mitarbeiter selektiert im Zwischenlager jene Geräte aus den Gitterboxen heraus, welche sich nach Art, Alter, technischen Eigenschaften und Zustand für eine Instandsetzung und anschließende Wiederverwendung eignen bzw. auch tatsächlich

nachgefragt werden (Abb. 6-3, links). Die ausgesuchten Geräte werden auf einem eigenen Regal bis zur weiteren Behandlung gelagert (Abb. 6-3, rechts).

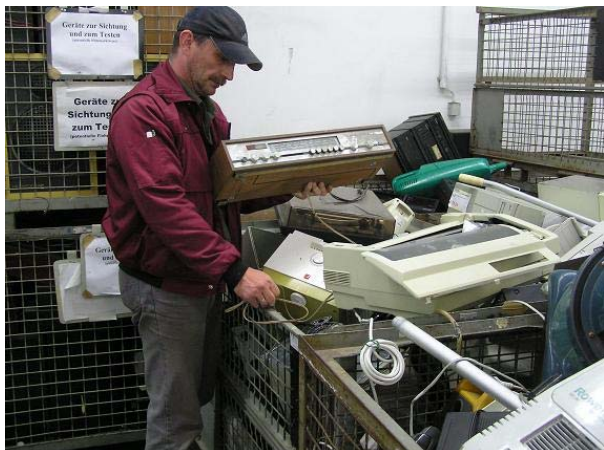


Abb. 6-3: Selektion der Geräte zur Wiederverwendung (links), Zwischenlagerung der selektierten Geräte (rechts)

Die restlichen Elektrokleingeräte bleiben im Zwischenlager und stehen für die Demontage bereit. Je nach Bedarf werden die Gitterboxen per Gabelstapler zu den einzelnen Arbeitsplätzen geliefert. Auf insgesamt 14 gleichartigen Demontageplätzen werden die Kleingeräte in alle erforderlichen Fraktionen zerlegt (siehe auch Tab. 6-1). Einen Überblick auf die Anordnung der Demontageplätze im D.R.Z gibt Abb. 6-4.



Abb. 6-4: Anordnung der derzeitigen Demontageplätze im D.R.Z

Jeder einzelne Arbeitsplatz verfügt über die notwendige Ausstattung, um alle anfallenden Elektrokleingeräte demontieren zu können. Kleinstückige Fraktionen werden zunächst direkt am Arbeitsplatz in entsprechend kleinen Behältern, größere Baugruppen direkt in Gitterboxen gesammelt. Mit Hilfe von Abbildungen werden als Wertstoff geltende Materialien oder schadstoffhaltige Baugruppen verdeutlicht. Neben Wertstoffen, die verkauft werden können, und Schad- und anderen Stoffen, für die Entsorgungsgebühr bezahlt werden muss, werden hier auch Bauteile demontiert, die innerhalb des D.R.Z für eigene Produktionen verwendet werden können (z.B. Tasten für die Herstellung von Schmuck). Zwei Beispiele für die Ausgestaltung der Arbeitsplätze im D.R.Z sind in Abb. 6-5 beigefügt.



Abb. 6-5: Ausgestaltung der Demontageplätze

Die im D.R.Z derzeit (Frühjahr 2007) demontierten und getrennt gesammelten Fraktionen, wie Wertstoffe, Schadstoffe bzw. schadstoffhaltigen Bauteile sind in Tab. 6-1 zusammengestellt. Die einzelnen Fraktionen werden in jeweils geeigneten, mit der jeweiligen Fraktionsbezeichnung deutlich beschrifteten Behältnissen in unmittelbarer Nähe zu den Demontageplätzen gesammelt und zwischengelagert bis das Behältnis vollständig befüllt ist (Abb. 6-6).

Wertstoffe	<ul style="list-style-type: none"> Fe-Schrott Mischschrott Weißware Aluminium Edelstahl Kupfer-PVC-Kabel Printplatten (EDV) E-Motoren EDV-Laufwerke Kupfer Prozessoren Kunststoffe
Schadstoffe bzw. schadstoffhaltige Bauteile	<ul style="list-style-type: none"> Bleiakkus Quecksilber Kondensatoren LCD
Sonstiges	Restmüll

Tab. 6-1: Getrennt gesammelte Fraktionen aus der Demontage



Abb. 6-6: Zwischenlagerung der einzelnen Fraktionen

Nach vollständiger Befüllung der Behälter werden die einzelnen Fraktionen in ihren Behältnissen gewogen und in die Stoffbuchhaltung eingetragen, wo die Daten elektronisch gespeichert werden. Anschließend erfolgt eine Umlagerung in größere Containereinheiten (Abb. 6-7, links), welche nach Bedarf vom jeweiligen Entsorger bzw. Abnehmer der Wertstoffe abgeholt werden (Abb. 6-7, rechts).



Abb. 6-7: Lagerung der Fraktionen (links) und Abtransport durch den Entsorger bzw. Abnehmer (rechts)

6.1.2 Personalentwicklungskonzept des D.R.Z

Zielgruppen und Ziele

Im Mittelpunkt der Arbeit des D.R.Z stehen die Reintegration, Qualifizierung und Vermittlung ehemaliger langzeitarbeitsloser Personen und Menschen mit Behinderungen. Zur Integration dieser Transitarbeitskräfte (TAK) existieren Fördervereinbarungen mit dem AMS-Wien und dem Bundessozialamt.

Übergeordnetes Ziel der Personalentwicklung im D.R.Z ist die Vermittlung der Transitarbeitskräfte (TAK) in ein reguläres Dienstverhältnis. Dieses Ziel wird in erster Linie durch Maßnahmen des Empowerment (Hilfe zur Selbsthilfe) verfolgt. Wichtige Punkte sind dabei:

- Unterstützung bei der Aufarbeitung eventuell vorhandener Vermittlungshemmnisse (z.B. Schulden, familiäre Probleme, etc.)
- Ausbau von allgemeinen Arbeitstugenden wie Verlässlichkeit, Teamfähigkeit, Belastbarkeit etc.
- Erarbeitung realistischer Job-Perspektiven
- Qualifizierung und Fortbildung (z.B. Staplerschein, Computer-Kenntnisse, etc.)
- Praktika im ersten Arbeitsmarkt

- Befähigung zur bzw. Unterstützung bei der eigenständigen Arbeitssuche (z.B. Jobsuche per Internet, Bewerbungsunterlagen, Vorstellungsgespräch)
- Erweiterung der sozialen Kompetenzen wie Verantwortung, Pünktlichkeit und gemeinsame Arbeit

Begleitend werden Kontakte zu Firmen geknüpft, um den Zugang zu Praktika und Arbeitsplätzen zu erleichtern. Ziel ist es auch, dass die TAK mit der Betreuung und ihrer eigenen Entwicklung im D.R.Z zufrieden sind.

Betreuungselemente und zeitlicher Verlauf des Transplacement-Jahres

Die Betreuungsarbeit des D.R.Z umfasst die 3 Bereiche „Arbeit in den operativen Abteilungen des D.R.Z“, „Sozialpädagogische Betreuung“ und „Outplacement“. Ziel dieser Betreuungsarbeit, welche in der nachfolgenden Abb. 6-8 dargestellt ist, ist die Vermittlung der beschäftigten Transitarbeitskräfte in den ersten Arbeitsmarkt.

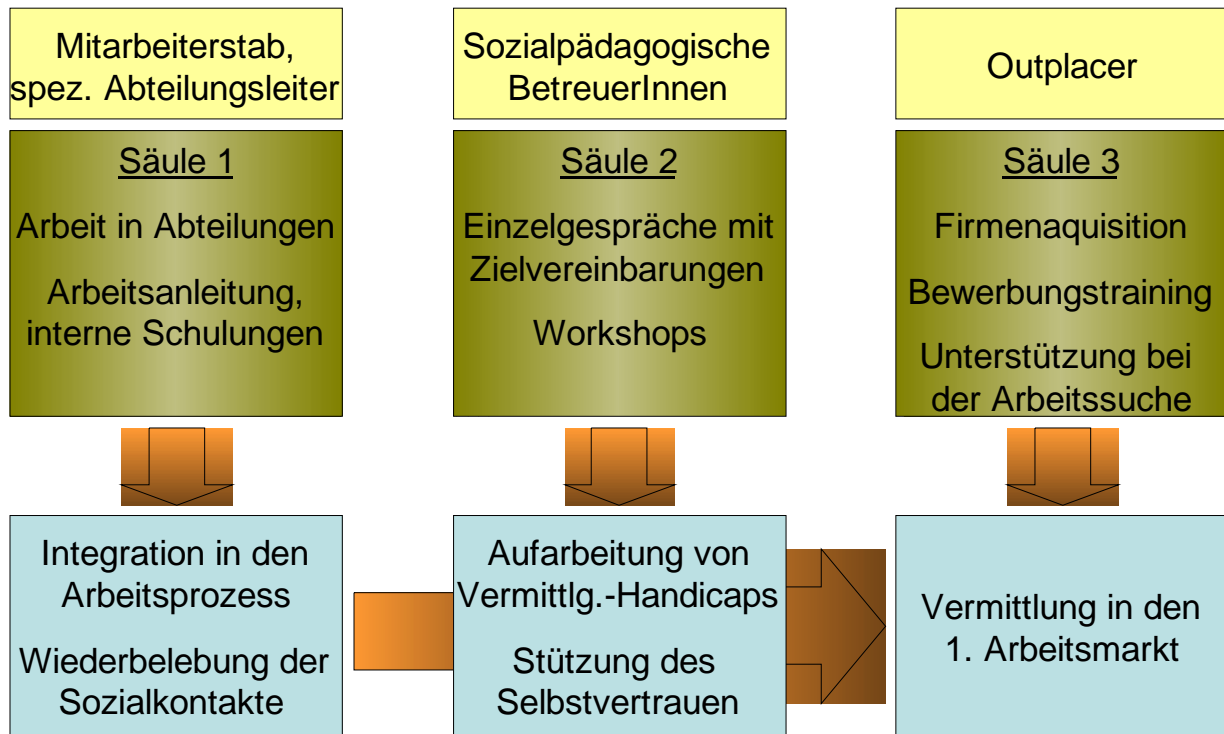


Abb. 6-8: Betreuungskonzept des D.R.Z [Kopitsch et al. 2005]

Tragender Akteur der Betreuungsarbeit ist eine Abteilung für Personalentwicklung, die das Recruiting von neuen Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen organisiert, sie während ihrer Zeit im D.R.Z sozialpädagogisch begleitet und ihnen Weiterbildungen und externe Praktika anbietet. Weiters ist sie für das Outplacement der sogenannten Transitarbeitskräfte (TAK), d.h. deren Vermittlung in unbefristete Arbeitsverhältnisse, verantwortlich.

In der täglichen Betreuungsarbeit verfolgen die Sozialpädagoginnen folgende Strategien, bei denen sie von der Geschäftsführung, dem technischen Mitarbeiterstab sowie von den Abteilungsleitern unterstützt werden:

- Einzelgespräche zur persönlichen Betreuung
- Begleitung in der Aufarbeitung der persönlichen Problemfelder
- Stärkung des Selbstwertgefühls und der sozialen Kompetenzen durch optimale Integrierung in die jeweilige Abteilung
- optimale Integrierung in die jeweilige Abteilung
- Vermittlung in externe Weiterbildungen und Anbieten interner Schulungen

Die sozialpädagogische Betreuung ist dabei eng verknüpft mit der praktischen Arbeit in den Abteilungen, die neben der fachlichen Qualifizierung auch der Reintegration dient. In einem Klima des Miteinander und Füreinander sollen Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen, die

vor der Beschäftigung im D.R.Z bis zu über 10 Jahren ohne geregelte Arbeit waren und damit vielfach auch in die soziale Isolation getrieben wurden, lernen, wieder Sozialkontakte zu pflegen, sich in ein soziales Gefüge einzufügen und die Selbsteinschätzung zu verbessern.

An diese Betreuung schließt die Bewerbungsphase an, in der die Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen in externe Praktika sowie unbefristete Beschäftigungsverhältnisse vermittelt werden. Aufgrund der Vielfalt an Vermittlungshandicaps der beschäftigten Klienten kann in einigen Fällen das Outplacement auch darin bestehen, die Transitarbeitskräfte in eine Ausbildung, Weiter- bzw. Höherqualifizierung bzw. Therapie zu vermitteln. Einen Überblick über das Betreuungsangebot des D.R.Z gibt nachfolgende Abb. 6-9.

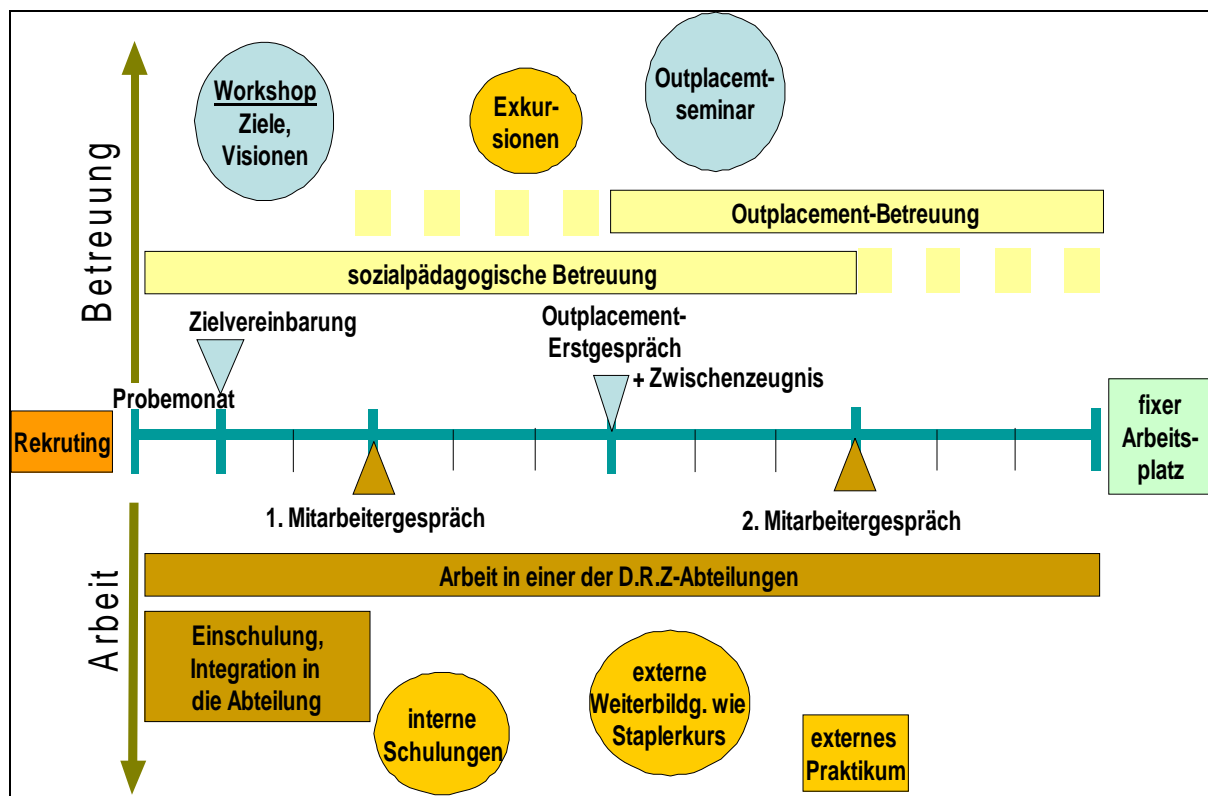


Abb. 6-9: Betreuungsangebote des D.R.Z [Kopitsch et al. 2005]

6.1.3 Abgeleitete Anforderungen/Verbesserungspotentiale

Analyse der Demontagevorgänge

Aus der Analyse der Demontagevorgänge im D.R.Z konnten folgende Optimierungspotentiale abgeleitet werden, welche im Rahmen der Simulation untersucht werden sollten:

- An jedem Demontearbeitsplatz werden sämtliche – im Input vorkommenden – Gerätearten demontiert und auch sämtliche Demontageschritte durchgeführt; es erfolgt eine nur geringe Differenzierung der Tätigkeiten in Abhängigkeit der Einsatzmöglichkeiten der einzelnen Demontearbeiter.
- Die Demontearbeitsplätze sind untereinander so angeordnet, dass erfahrene Mitarbeiter den neuen Kollegen, welche erst kurze Zeit Demontearbeiten durchführen, Hilfestellungen leisten können. Auch ist im Ausgangslayout gewährleistet, dass zu demontierende Input-Geräte und Output-Fraktionen relativ rasch in die Halle hinein bzw. hinaus transportiert werden können. Hingegen bestehen Optimierungspotentiale hinsichtlich der logistischen Abläufe in der Halle.
- Die Wiederverwendung ganzer Geräte spielt im D.R.Z eine wesentliche Rolle; dem steht aber keine entsprechende Infrastruktur bei der Selektion gegenüber, sondern

es gehen Geräte für die Wiederverwendung verloren, welche bei der Selektion übersehen werden. Für alle Zielszenarien wurde daher als Rahmenbedingung ein eigener Arbeitsplatz zur Vorselektion wieder verwendbarer Geräte vorgesehen.

- Die Demontagearbeitsplätze verfügen alle über die notwendige Infrastruktur zur Durchführung der Demontearbeiten; es finden sich auch - auf den Tischen angebrachte - Informationstafeln, welche die zu demontierenden Bauteile illustrieren; dennoch könnte durch ein übersichtlicher gestaltetes Arbeitsplatz-Layout die Arbeitsplatzsicherheit sowie die Mitarbeiterzufriedenheit gesteigert werden.

Anforderungen der Personalentwicklung an das Demontagelayout

Aus der Analyse des Betreuungskonzeptes des D.R.Z lassen sich hinsichtlich der Auslegung und Planung des Demontagelayouts folgende Anforderungen formulieren, welche erfüllt sein müssen, um die Transitarbeitskräfte effizient und mit entsprechender Qualität sozialpädagogisch betreuen zu können:

- Da Transitarbeitskräfte auch für Betreuungsgespräche zur Verfügung stehen müssen und dabei immer wieder ihren operativen Arbeitsplatz für Zeitintervalle von 1-2 h verlassen können müssen, muss diese Flexibilität in der personellen Verfügbarkeit auch in der Planung der Arbeitsabläufe berücksichtigt werden. Ein Demontagelayout, in welchem jeder Mitarbeiter bzw. jede Mitarbeiterin nur ganz spezifische Tätigkeiten durchführt, würde dieser Zielsetzung entgegenstehen.
- Die meisten der beschäftigten Transitarbeitskräfte waren, bevor sie ins D.R.Z kamen, oft über mehrere Jahre arbeitslos und es dauert einige Zeit, bis sie sich wieder an einen geregelten Arbeitsalltag gewöhnt haben; dies drückt sich durch häufigeren Krankenstandstage aus. Auch das Angebot, bei potentiellen zukünftigen Arbeitgebern 1-2-wöchige Praktika zu absolvieren, führt dazu, dass einzelne Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen auch über längere Zeit ausfallen. In der Praxis führt dies zu starken Schwankungen in der Verfügbarkeit der beschäftigten Transitarbeitskräfte.
- Da die primäre Zielsetzung des D.R.Z die Vermittlung ehemals langzeitbeschäftigungsloser Menschen in den ersten Arbeitsmarkt darstellt, genießt auch die Qualifizierung der beschäftigten Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen während des Transitarbeitsjahres eine besondere Rolle. Dadurch ergibt sich die Forderung, dass ein möglichst hohes Angebot an unterschiedlich durchzuführenden Arbeiten vorhanden ist und es auch genügend Möglichkeiten gibt, sich während des Transitarbeitsjahres auf Basis der Demontagetätigkeiten weiterzuentwickeln.
- Die im D.R.Z beschäftigten Transitarbeitskräfte haben in der Regel einen völlig anderen beruflichen Hintergrund und müssen in den Tätigkeiten erst eingeschult werden, woraus sich ergibt, dass eine genügend hohe Anzahl an einfach durchzuführenden Einstiegstätigkeiten vorhanden sein sollten. Im Allgemeinen ist daher ein Demontagelayout, welches einen gesunden Mix an niederschweligen und anspruchsvollen Tätigkeiten aufweist, aus Sicht der Personalentwicklung höher zu bewerten als ein Szenario, welches nur aus gleichartigen Tätigkeiten besteht.
- Die Tatsache, dass auf der einen Seite die meisten Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen in der Demontage erst eingeschult werden müssen, aber auf der anderen Seite durch das befristete Beschäftigungsverhältnis eine hohe Fluktuation an Arbeitskräften vorhanden ist, stellt auch hohe Anforderungen an die Gestaltung der einzelnen Arbeitsplätze, an welchen neben den notwendigen Betriebsmitteln (Werkzeuge, Behälter für schadstoffhaltige Bauteile, etc.) idealerweise auch Platz für das Anbringen von Schulungsunterlagen etc. zur Verfügung stehen sollte.
- Neben der zu garantierenden Arbeitsplatzsicherheit hat die Arbeitsplatzzufriedenheit einen hohen Stellenwert, da sie eine der Grundvoraussetzungen darstellt, um Transitarbeitskräfte am Ende des Beschäftigungsverhältnisses erfolgreich in den ersten Arbeitsmarkt vermitteln zu können.

6.2 Ergebnisse aus der Inputanalyse

Die Analyse des Geräteinputs in die Abteilung „Demontage Kleingeräte“ des D.R.Z ergab folgende, in Abb. 6-10 dargestellte Zusammensetzung. Es wurde eine Stichprobe von 501 Geräten hinsichtlich Geräteart klassifiziert.

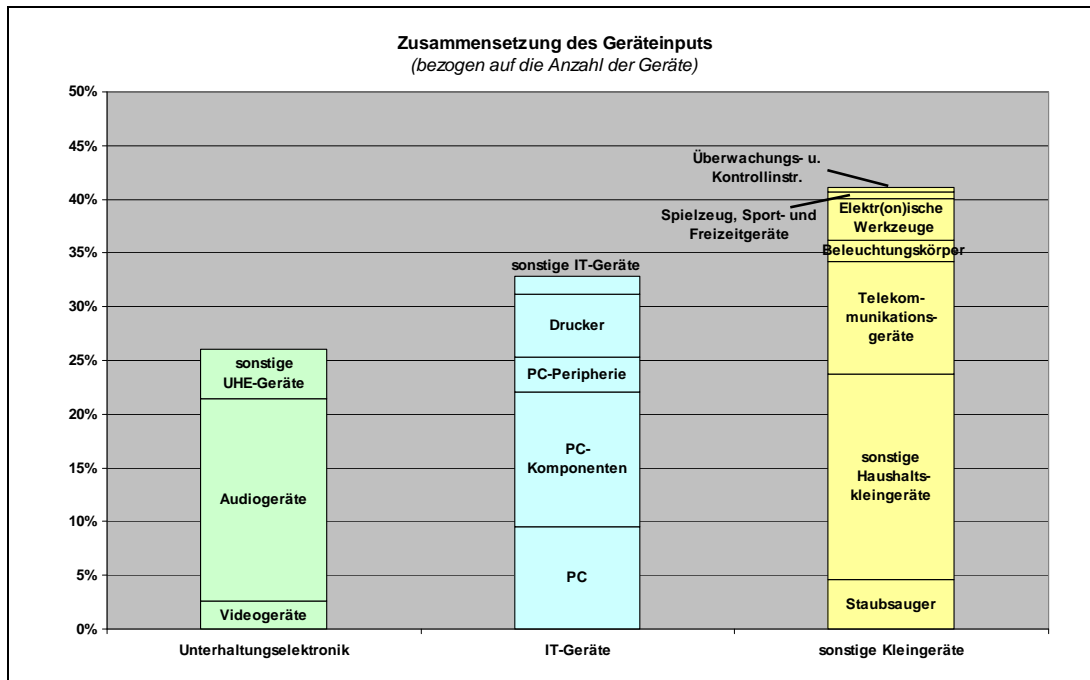


Abb. 6-10: Zusammensetzung des D.R.Z-Geräteinputs (Elektrokleingeräte) [Spitzbart et al. 2007]

Wie Abb. 6-10 zeigt, liegt der Anteil an Geräten der Unterhaltungselektronik bei ca. 25 %. Zu über 30 % setzt sich der Input aus IT-Geräten zusammen. Haushaltskleingeräte finden sich ebenfalls zu ca. 25 % im Input. Die restlichen Anteile verteilen sich auf Telekommunikationsgeräte (ca. 10 %), Geräte der WEEE-Kategorien „Beleuchtungskörper“, „elektr(on)ische Werkzeuge“, „Spielzeug, Sport- und Freizeitgeräte“ und „Überwachungs- und Kontrollinstrumente“, welche gemeinsam etwas mehr als 5 % ausmachen.

Die Darstellung der Gesamtergebnisse aus der Inputanalyse im Endbericht ist nicht möglich, da die Ergebnisse der Zerlegestudien der einzelnen Gerätearten in einer Vielzahl an datenbankspezifischen Einzeldateien abgelegt sind, deren Dateninhalte erst über das Importieren dieser Einzeldateien in die Simulations-Software zusammengefügt wurden.

6.3 Beurteilungskriterien

Zur Bewertung der ausgewählten Zielszenarien wurden folgende, in Tab. 6-2 gelistete Kriterien herangezogen. Diese dienen auch der Definierung möglicher Zielszenarien und der Auswahl sinnvoller Anordnungen für die Simulation. Die mittels Simulation ermittelten Effizienzkriterien wurden höher gewichtet als die Betreuungs- und Qualitätskriterien. Dahinter stand das Argument, dass für ein positives Betriebsergebnis der Demontagetätigkeiten in erster Linie ein entsprechender Output an vermarkteten Fraktionen ausschlaggebend ist und je nachdem, inwieweit die seitens der Personalentwicklung gestellten Anforderungen erfüllt werden, die Performance entsprechend verbessert wird. Die Gewichtung für die Qualitätskriterien ergab sich aus der Überlegung, dass die vermarkteten Fraktionen bereits vor Projektbeginn eine sehr hohe Qualität aufwiesen.

Innerhalb der drei geschilderten Betrachtungsebenen wurden wiederum jeweils 2-3 Kriterien zur Beurteilung herangezogen, wobei die Effizienzkriterien Daten bzw.

Informationen darstellen, welche als Ergebnisse der Simulation abgerufen wurden und welche Rückschlüsse auf das wirtschaftliche Gesamtergebnis zulassen.

In Bezug auf die Qualität wurde in erster Linie das Thema Schadstoffentfrachtung als Kriterium herangezogen. Da der Auftrag eines manuellen Demontagebetriebs in erster Linie darin liegt, EAG gesichert von schadstoffhaltigen Bauteilen zu befreien und damit eine diffuse Verbreitung von Schadstoffen zu verhindern, war es nahe liegend abzuschätzen, inwieweit die Zielszenarien die Performance in diesem Bereich unterstützen und verbessern.

Als weiteres Qualitätskriterium wurde die Wertstoffreinheit herangezogen. Der überwiegende Teil der vom D.R.Z verkauften Wertstoffe stellt Metallmischfraktionen dar. Basis der Preisvereinbarungen mit den Abnehmern bilden jedoch durchschnittliche Anteile an Verunreinigungen mit anderen Metallen und Materialien. Diese können von Fraktion zu Fraktion sehr unterschiedlich sein bzw. stehen hinter einem hohen Preisniveau für einzelne Metalle wie Aluminium oder Kupfer auch sehr hohe zu erreichende Reinheitsgrade, welche durch die Abnehmer stichprobenartig auch überprüft und fallweise reklamiert werden.

Betrachtungsebene	Herangezogene Beurteilungskriterien	Gewichtung
Effizienz	<ul style="list-style-type: none"> - Durchsatzmenge (Masse an demontierten Fraktionen) - Materialerlös pro Mitarbeiter - Demontagekosten 	50%
Qualität	<ul style="list-style-type: none"> - Qualität der Schadstoffentfrachtung - Qualität in der Wertstoff-Fraktionierung 	20%
Betreuungsqualität und Transplacement	<ul style="list-style-type: none"> - Differenzierungsgrad an unterschiedlichen Demontagetätigkeiten/Aufstiegsmöglichkeiten - Flexibilität hinsichtlich der Möglichkeit, einzelne Arbeiter für die Betreuung abzuziehen - Arbeitsplatzsicherheit 	30%

Tab. 6-2: Kriterien zur Bewertung der Zielszenarien

Als Kriterium dafür, inwieweit die Zielszenarien die Betreuung der beschäftigten Transitarbeitskräfte positiv unterstützen bzw. negativ beeinträchtigen könnten, wurde das Angebot bzw. der Differenzierungsgrad an unterschiedlichen Demontagetätigkeiten gewählt. Je höher das Angebot an verschiedenen Arbeiten ist und je differenzierter sich diese aus einfach durchführbaren Arbeiten und anspruchsvolleren Tätigkeiten zusammensetzen, desto gezielter können Mitarbeiter entsprechend ihrer Qualifizierung und ihrer persönlichen Leistungsfähigkeit eingesetzt werden. In engem Zusammenhang dazu ist das Potential zu sehen, dass der einzelne beschäftigte Mitarbeiter dadurch auch Entwicklungsmöglichkeiten sieht und wahrnimmt, im Rahmen des Transitarbeitsjahres von einfachen zu qualifizierteren Arbeiten „aufsteigen“ zu können, was die Betreuungsarbeiten der Personalentwicklung positiv unterstützt.

Ein weiteres „Transplacement“-Kriterium ist die Möglichkeit, Mitarbeiter flexibel vom Demontagearbeitsplatz abziehen zu können, ohne dadurch den Demontagebetrieb insgesamt negativ zu beeinträchtigen. Dies ist notwendig, um mit ihnen Betreuungsgespräche durchzuführen bzw. kann ein Fernbleiben auch für längeren Zeitraum vorkommen, wenn einzelne Mitarbeiter bei Betrieben, welche Interesse zeigen, sie einzustellen, 1-2-wöchige Praktika absolvieren. Auf der anderen Seite kommt es immer wieder vor, dass plötzlich ein größerer Teil der Belegschaft aus der Demontageabteilung krankheitsbedingt über mehrere Tage ausfällt. Da die beschäftigten Transitarbeitskräfte oft über mehrere Jahre kein fixes Arbeitsverhältnis mehr hatten, bevor sie ins D.R.Z kamen, fällt es manchen zu Beginn ihres Transitarbeitsjahres schwer, sich wieder an eine geregelte Arbeitszeit zu gewöhnen. Auch der Anteil an krankheitsanfälligen Personen, welche an chronischen Krankheiten leiden und aus diesem Grund ihren Arbeitsplatz verloren haben, ist im D.R.Z ebenfalls höher als in anderen Betrieben, was sich in häufigeren Krankenstandstagen niederschlägt. Als weiters personenbezogenes Kriterium

wurde herangezogen, inwieweit sich die Zielszenarien positiv bzw. negativ auf die Arbeitssicherheit auswirken.

6.4 Definierte Szenarien

Allen Simulationen ist gleich, dass zu demontierende Elektrokleingeräte in unendlicher Zahl zur Verfügung stehen und die Zusammensetzung der Geräte in den Gitterboxen zufällig aus den vorhandenen Geräten (siehe Kapitel 6.2) generiert wird. Es wird jeweils von Montag bis Donnerstag acht Stunden und am Freitag nur sechs Stunden gearbeitet. Pro Tag gibt es eine Pause von einer halben Stunde. Die demontierten Fraktionen werden in der Simulation in die Gruppen

- gefährliche Fraktionen (Hazardous),
- Eisenschrott,
- Kupfer-Polyvinylchloridkabel (Cu-PVC Kabel),
- Aluminium Blech und Guss gemischt,
- nicht gefährliche Fraktionen (Non Hazardous),
- Kunststoffe (Plastics),
- E-Motoren klein sowie
- Printplatten Q1 + Q2 (EDV Bereich)

sortiert, welche in Gitterboxen abgelegt werden. Die Parameter zur Größe der Demontage- oder Sortierplätze, Geschwindigkeit der Gabelstapler und Förderbänder, Umsetz- und Entleerzeiten von Gitterboxen, Aufnahmekapazitäten von Gitterboxen und Förderbändern, Ladmassen vom Gabelstapler etc. wurden über die Szenarien nicht variiert. Alle Szenarien wurden für einen Zeitraum von 6 Monaten berechnet.

Im Prinzip wurden im Zuge der Simulation drei große Schwerpunkte betrachtet:

- Szenario 1: Basisszenario
- Szenario 2: Vorselektion
- Szenario 3: Liniendemontage

Es wurden jeweils alle Arbeitsplätze für ein Szenario gezählt, welche in irgendeiner Art involviert sind, auch wenn sie keinen unmittelbaren Beitrag zur Demontage leisten. So gibt es z.B. für jedes Szenario eine vorausgehende Abtrennung der Geräte für die Wiederverwendung. Dieser Arbeitsplatz wurde in der Auswertung berücksichtigt, auch wenn er in die Simulation nicht unmittelbar eingeht. Nachdem der Mitarbeiter jedoch zur Demontageabteilung gehört, wurde er am Ende zur Gesamtmitarbeiterzahl hinzugezählt. In den schematischen Abbildungen ist dieser Arbeitsplatz nur dann dargestellt, wenn zusätzlich auch eine Sortierung in andere zu demontierende Gerätegruppen erfolgt. Damit hat diese Tätigkeit unmittelbare Auswirkungen auf den Ablauf der Demontage, da die vorsortierten Geräte an spezialisierten Demontageplätzen behandelt werden.

6.4.1 Szenario 1: Basisszenario

Ziel dieser Untersuchung war die Feststellung der Eigenschaften des derzeitigen (1a) und des geplanten Layouts der Demontage (1b) sowie die Auswirkungen der Variation des Leistungsfaktors (1c) und der Störungsdauer (1d) im geplanten Layout. Es gibt 14 voneinander unabhängige Einzeldemontageplätze, welche jeweils unsortierte Gitterboxen mit Kleingeräten demontieren. Ein Arbeitsplatz entsteht aufgrund der Vorselektion für die Wiederverwendung. Die Gitterboxen mit den Geräten werden einzeln per Gabelstapler zugestellt. An jedem Arbeitsplatz werden die demontierten Fraktionen gleich in die jeweiligen Gitterboxen (Aufteilung siehe Kapitel 6.1.1) aufgeteilt. Mehrere Arbeitsplätze teilen sich jeweils einen Satz an Fraktionsgitterboxen. Volle Gitterboxen mit den demontierten und sortierten Fraktionen werden per Gabelstapler nach Anforderung

abtransportiert. Es steht jeweils ein Gabelstapler für die Ver- und Entsorgung der Demontageplätze zur Verfügung. Eine schematische Darstellung, welche den Ablauf der Demontage der Elektrokleingeräte für die vier Szenarien 1a, 1b, 1c und 1d enthält, ist in Abb. 6-11 skizziert. Es handelt sich dabei um keine korrekte Darstellung der räumlichen Anordnung. Beispielhaft sind für einen Demontagearbeitsplatz die Wege der Geräte bzw. Fraktionen eingezeichnet. Bei allen anderen Demontageplätzen erfolgt der Durchlauf der Geräte analog.

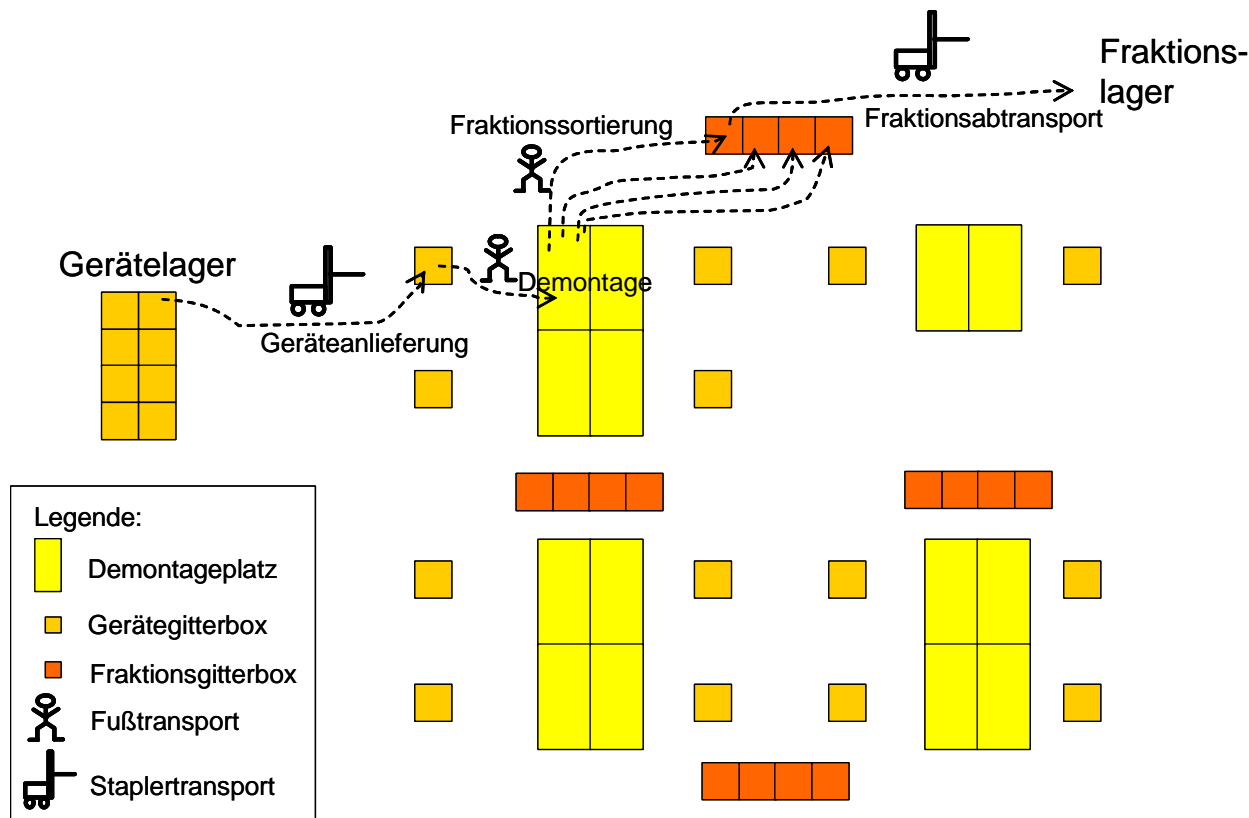


Abb. 6-11: Schematische Darstellung der Abläufe in den Szenarien 1

Beim Basisszenario 1a wurde zunächst die aktuell im D.R.Z praktizierte Anordnung und Arbeitsteilung bei der Demontage der Elektrokleingeräte simuliert.

Szenario 1b unterscheidet sich von 1a durch die räumliche Anordnung der Demontagestationen, welche sich durch neue Räumlichkeiten in einem möglichen zukünftigen Standort ergeben. In der Folge sind die Szenarien 1c und 1d für das alte Layout, alle weiteren Szenarien (2a bis 3b-2) sind für eine mögliche zukünftige Anordnung ausgelegt.

Als weitere mögliche Einflussgröße wurde in Szenario 1c der Leistungsfaktor vom Grundwert von 3,33 auf 4,17 erhöht. Der Leistungsfaktor berücksichtigt die generelle Leistungsfähigkeit des Demontagepersonals. Er wird bei der Berechnung der Zeiten für die manuellen Demontageoperationen verwendet [Ohlendorf 2006]. Der Leistungsfaktor kann für alle Demontageplätze eines Szenarios nur einen Wert annehmen. Durch Multiplikation des Leistungsfaktors mit den Zeiten für die Demontageprozesse können z.B. auch Demontagesysteme mit Beteiligung von sozial benachteiligten Mitarbeitern realitätsnah berechnet werden. Standardmäßig wird der Leistungsfaktor von 1,00 vorgegeben [Ohlendorf 2006]. Daraus ergibt sich, dass die Erhöhung des Leistungsfaktors von 3,33 in den anderen Szenarien auf 4,17 in Szenario 1c einer Verschlechterung der Demontageleistungsfähigkeit gleichkommt (Erläuterung der Berechnung siehe 5.2.2).

Die Auswirkungen der Änderung der mittleren Ausfalls- bzw. Instandsetzungsdauer (mean time to repair, MTTR) wurde in Szenario 1d untersucht. Hierfür wurde der Basiswert von 10,51 Tage, welcher für alle anderen Szenarien angenommen wurde, auf 15,77 erhöht.

Als zusätzliche Variante des Basisszenarios wurde noch eine dezentrale Anlieferung mit einem zentralen Abtransport der Fraktionen unter der Bezeichnung 1e simuliert. Zur besseren Einschätzung von Flaschenhälsen bei der Sortierung der Fraktionen wurde Szenario 1e-1 mit 12 Demontageplätzen und zwei Sortierstationen, Szenario 1e-2 mit 11 Demontageplätzen und 3 Sortierstationen simuliert. Auch hier entsteht jeweils ein zusätzlicher Arbeitsplatz durch die Vorselektion zur Wiederverwendung. Eine schematische Darstellung der beiden Szenarien ist in Abb. 6-12 bzw. Abb. 6-13 zu finden (ohne Darstellung des Vorselektionsplatzes).

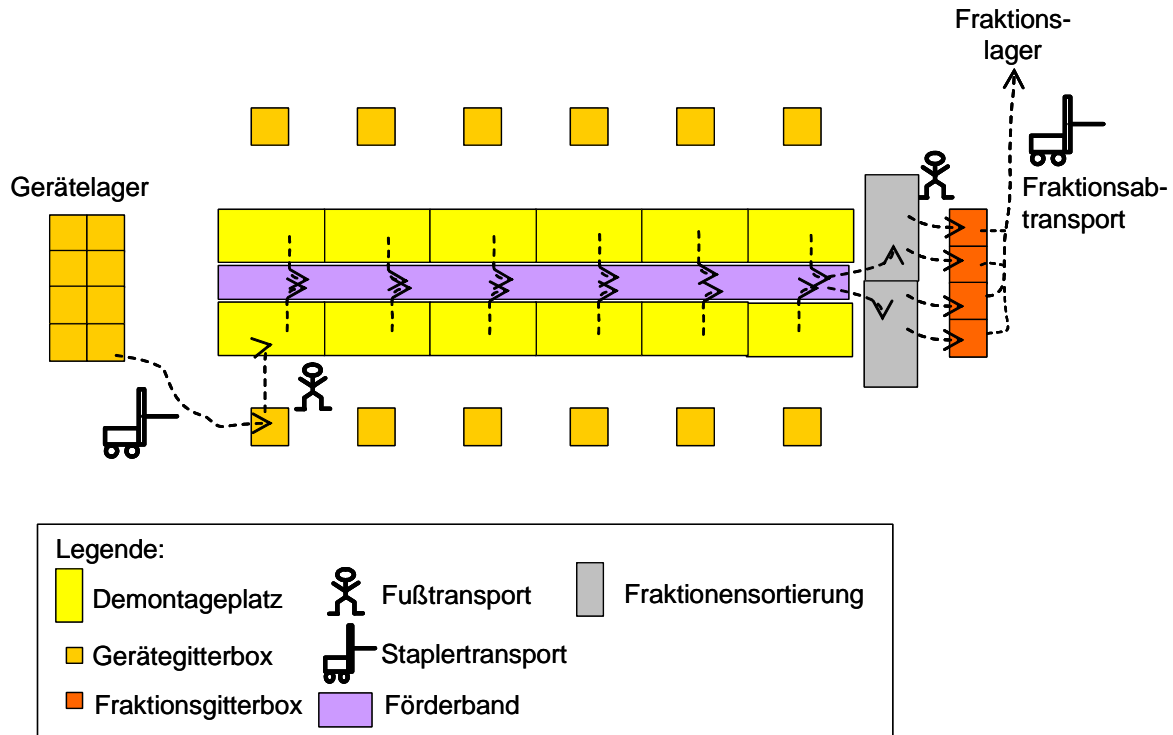


Abb. 6-12: Schematische Darstellung der Abläufe in Szenario 1e-1

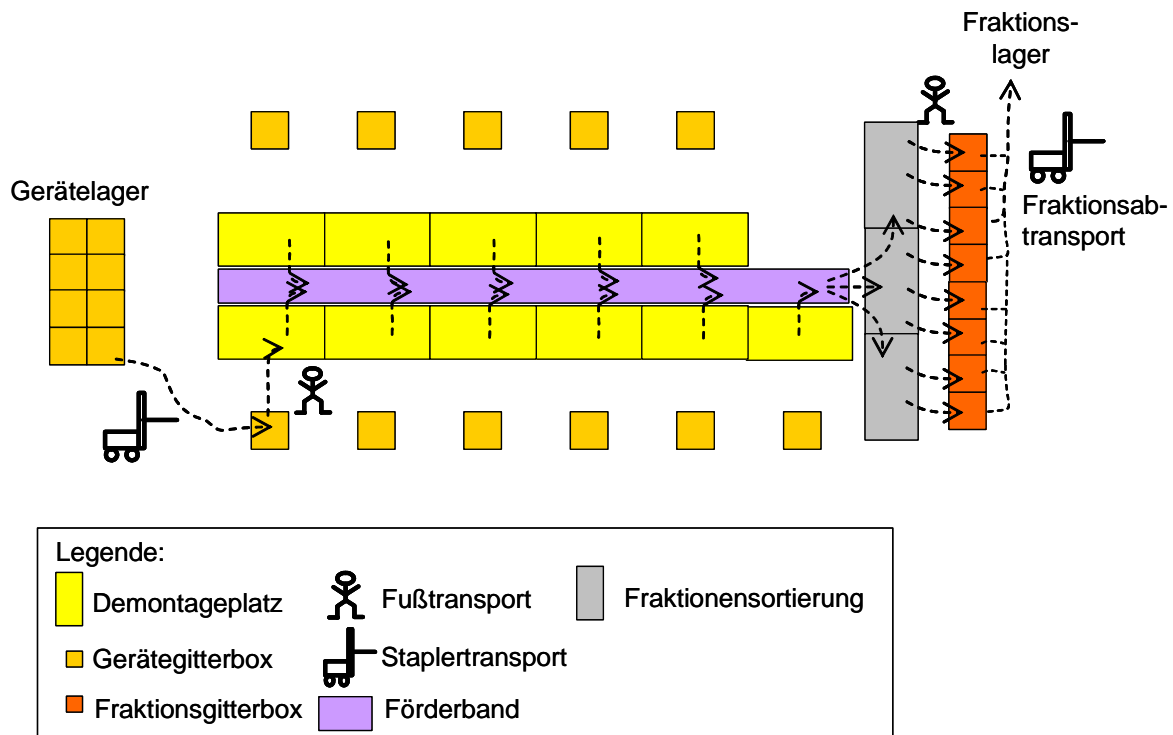


Abb. 6-13: Schematische Darstellung der Abläufe in Szenario 1e-2

6.4.2 Szenario 2: Vorselektion

Im zweiten Szenarienblock sollte untersucht werden, welchen Einfluss die Vorsortierung der zu demontierenden Geräte in bestimmte Gerätegruppen auf den Demontageablauf hat. Es wurde angenommen, dass die Demontage durch eine Spezialisierung auf bestimmte Gerätetypen schneller und leichter erlernt werden kann. Dies sollte zur Folge haben, dass nach der Einlernzeit mehr Geräte durchgesetzt werden können. In den beiden untersuchten Szenarien wurden jeweils ein Vorselektionsarbeitsplatz und 14 Demontagestationen angelegt. Der Transport der Gerätegitterboxen zur Vorselektionsstation wird mittels Gabelstapler bewältigt, ebenso zwischen Vorselektion und Demontagearbeitsplätzen. In Szenario 2a wird in drei Gerätegruppen unterschieden:

- Wiederverwendung (Selektion)
- PCs (Informationstechnik- und Telekommunikationsgeräte)
- restliche Geräte

Die Geräte, welche für eine Wiederverwendung geeignet sind, werden nicht zu den Demontageplätzen weitergereicht, sondern in ein Zwischenlager gestellt. Dort stehen sie für eine etwaige Reparatur durch andere Beschäftigte des D.R.Z zur Verfügung. Für Szenario 2b werden die zu demontierenden Geräte in fünf Gruppen unterteilt:

- Wiederverwendung (Selektion)
- PCs (Informationstechnik- und Telekommunikationsgeräte)
- Staubsauger
- Drucker, Faxgeräte, Schreibmaschinen, Kopierer (Drucker)
- restliche Geräte

Die vorsortierten Geräte werden zu auf die jeweiligen Geräte spezialisierten Demontageplätzen gebracht, welche sie zerlegen. Für die Demontage der Gruppe „PC“ stehen in beiden Szenarien jeweils 5 Demontageplätze zur Verfügung. Die Gruppe „Staubsauger“ wird in Szenario 2b an einem Demontageplatz zerlegt, für die Gruppe „Drucker“ stehen in Szenario 2b drei Arbeitsplätze zur Verfügung. Die restlichen Geräte werden in Szenario 2b an fünf Arbeitsplätzen zerlegt. Analog zu den Szenarien 1 teilen sich jeweils mehrere Demontagestationen einen Gitterboxsatz für die demontierten Fraktionen. Der Abtransport wird ebenfalls wieder über einen Gabelstapler bewerkstelligt. In Abb. 6-14 sowie Abb. 6-15 sind die schematischen Darstellungen der beiden Szenarien beispielhaft für eine Gerätegruppe (PC) abgebildet.

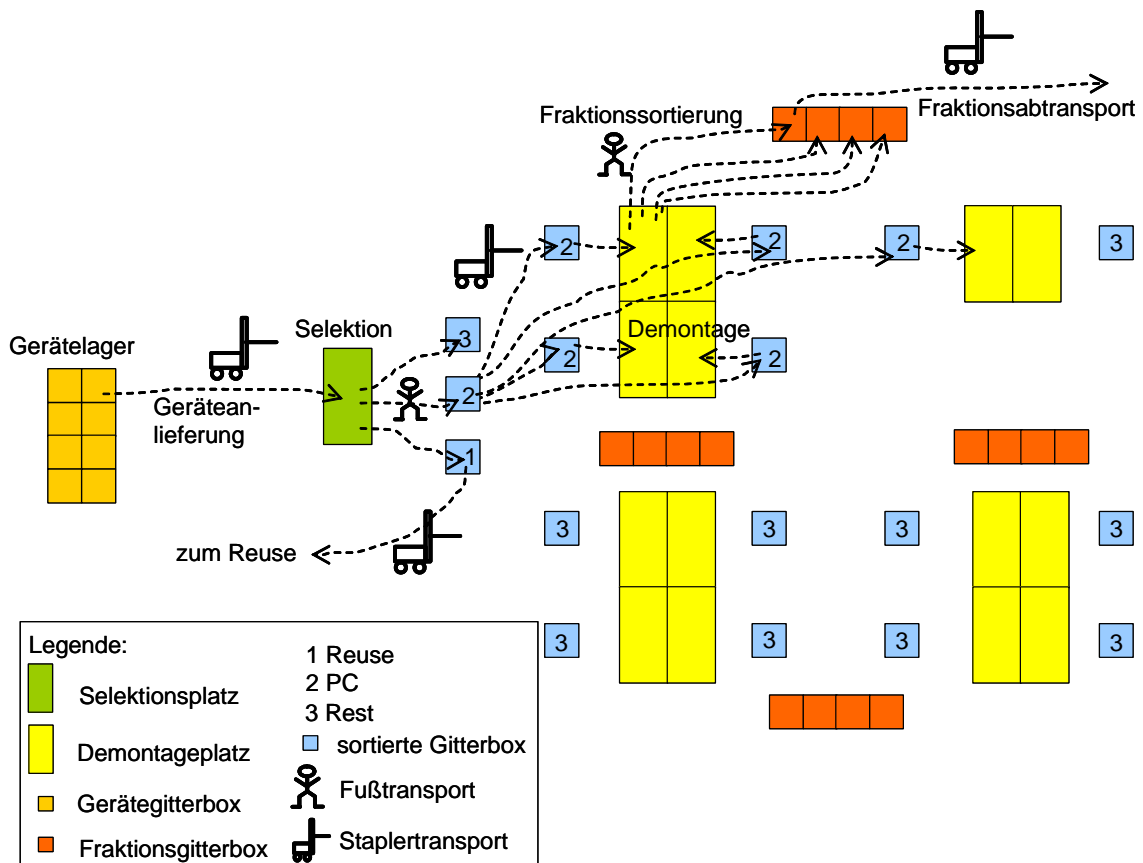


Abb. 6-14: Schematische Darstellung der Abläufe in Szenario 2a

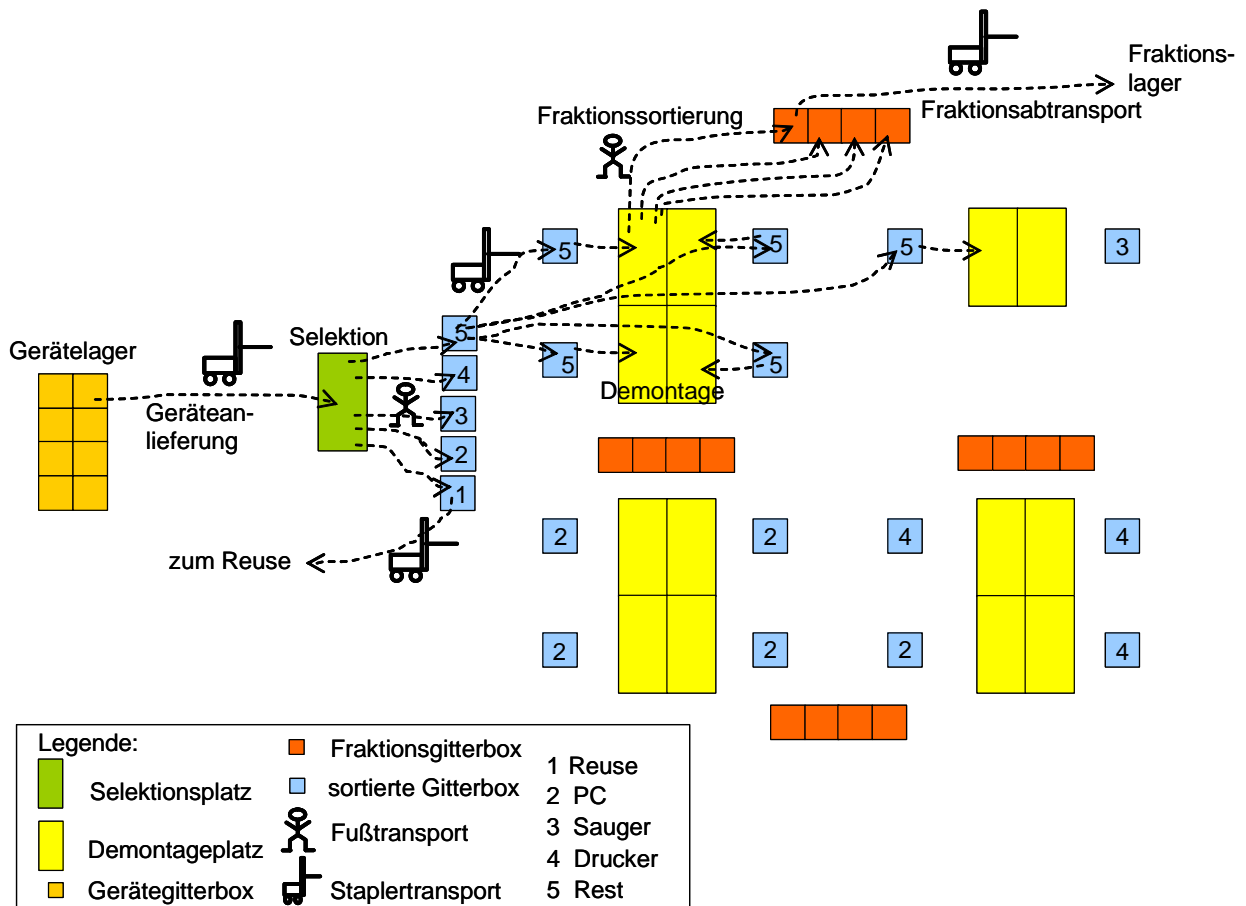


Abb. 6-15: Schematische Darstellung der Abläufe in Szenario 2b

6.4.3 Szenario 3: Liniendemontage

Ziel der Szenarien mit Liniendemontage ist die spezifische Behandlung schadstoffhaltiger Komponenten mithilfe verketteter Arbeitsplätze. Die zu demontierenden Geräte werden mit einem Förderband zu den Demontageplätzen befördert. An den vorgelagerten Arbeitsplätzen erfolgt die Gerätezerlegung solange bis gefährliche Bauteile freigelegt sind. Die teilzerlegten Geräte werden dann wieder auf das Förderband gelegt und an spezialisierten Arbeitsplätzen erfolgt die Schadstoffentfrachtung. Die dabei zu entfernenden Bauteile sind

- Elektrolytkondensatoren aus Leiterplatten und Netzteilen sowie
- Displays aus der Unterhaltungselektronik.

Sind diese Baugruppen entfernt, werden die Geräte wieder auf das Förderband zurückgelegt und die teilzerlegten Geräte werden an den Demontageplätzen weiterzerlegt.

Innerhalb der Liniendemontage wurden mehrere Szenarienvarianten betrachtet:

- Vorselektion
 - o ohne Vorselektion (3a-1, 3a-2)
 - o mit Vorselektion der IT und Unterhaltungselektronik (3b-1, 3b-2)
- Fraktionsabtransport
 - o dezentraler Fraktionsabtransport (3a-1, 3b-1)
 - o zentraler Fraktionsabtransport (3a-2, 3b-2)

In Szenario 3a-1 werden unsortierte Geräte zunächst an 12 Demontagestationen zerlegt bis gefährliche Bauteile freigelegt werden. Die dabei abmontierten Fraktionen werden in Gitterboxen abgelegt, wobei sich wieder mehrere Demontagestationen einen Gitterboxensatz (ohne gefährliche Fraktionen) teilen. Dann übernehmen zwei Stationen die teilzerlegten Geräte, bauen die gefährlichen Bestandteile aus und entsorgen diese in eigene Gitterboxen. Die wieder auf das Förderband gelegten schadstoffentfrachteten Geräte werden an den Demontagestationen weiter zerlegt bis entweder wieder ein schadstoffhaltiger Bauteil freigelegt ist oder die Geräte vollständig zerlegt sind. Die Gitterboxen für die Fraktionen werden mit Hilfe eines Gabelstaplers nach Bedarf entleert. Der schematische Ablauf der Demontage in Szenario 3a-1 ist aus Abb. 6-16 ersichtlich. Ein zusätzlicher Arbeitsplatz entsteht durch die Vorselektion der Geräte zur Wiederverwendung.

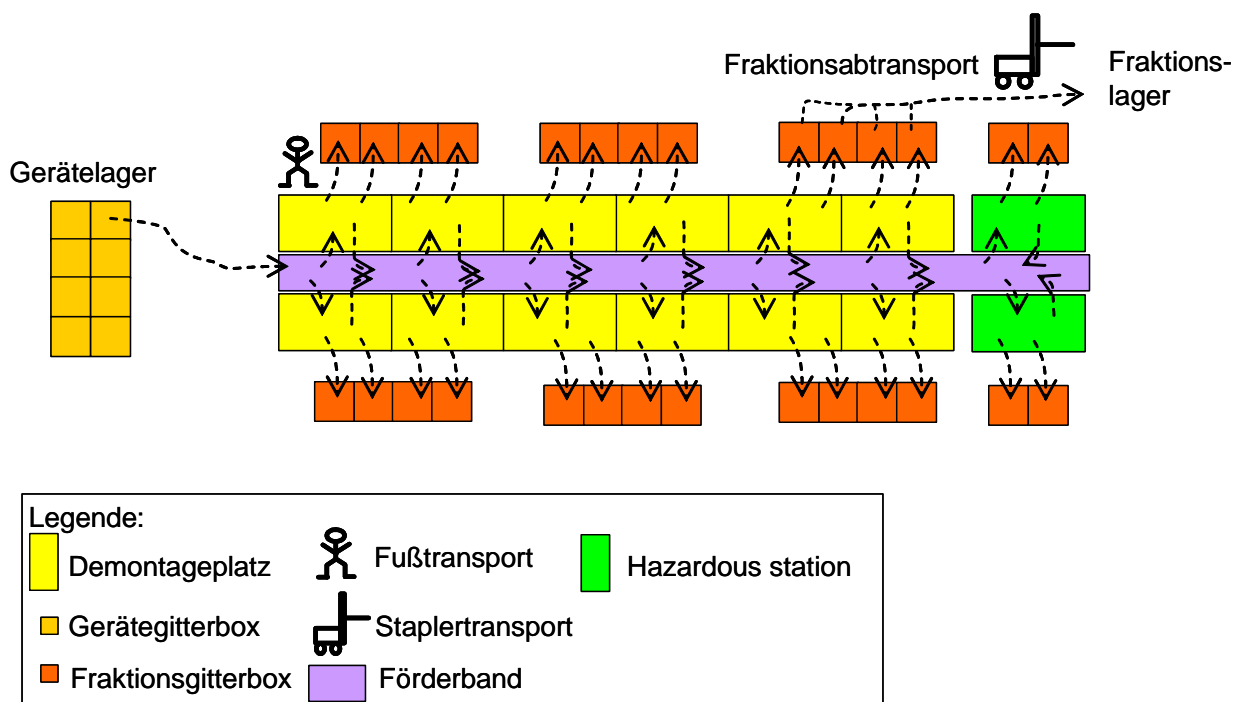


Abb. 6-16: Schematische Darstellung der Abläufe in Szenario 3a-1

In Szenario 3a-2 werden die zu demontierenden Geräte an 11 Demontagestationen zerlegt. Zwei Plätze für die Schadstoffentfrachtung stehen zur Verfügung. Anders als in Szenario 3a-1 werden jedoch alle demontierten Fraktionen nicht an den Demontagearbeitsplätzen bzw. jenen für gefährliche Bestandteile in Gitterboxen nach Fraktionen aufgeteilt, sondern laufen am Ende des Förderbandes zu zwei Sortierstationen. Dort werden alle Fraktionen in Gitterboxen aussortiert, volle Gitterboxen werden per Gabelstapler entfernt. Der Ablauf der Demontage in Szenario 3a-2 ist in Abb. 6-17 dargestellt. Ein zusätzlicher Arbeitsplatz entsteht durch die Vorselektion der wieder verwendbaren Geräte, sodass dieses Szenario in Summe 16 Arbeitsplätze aufweist.

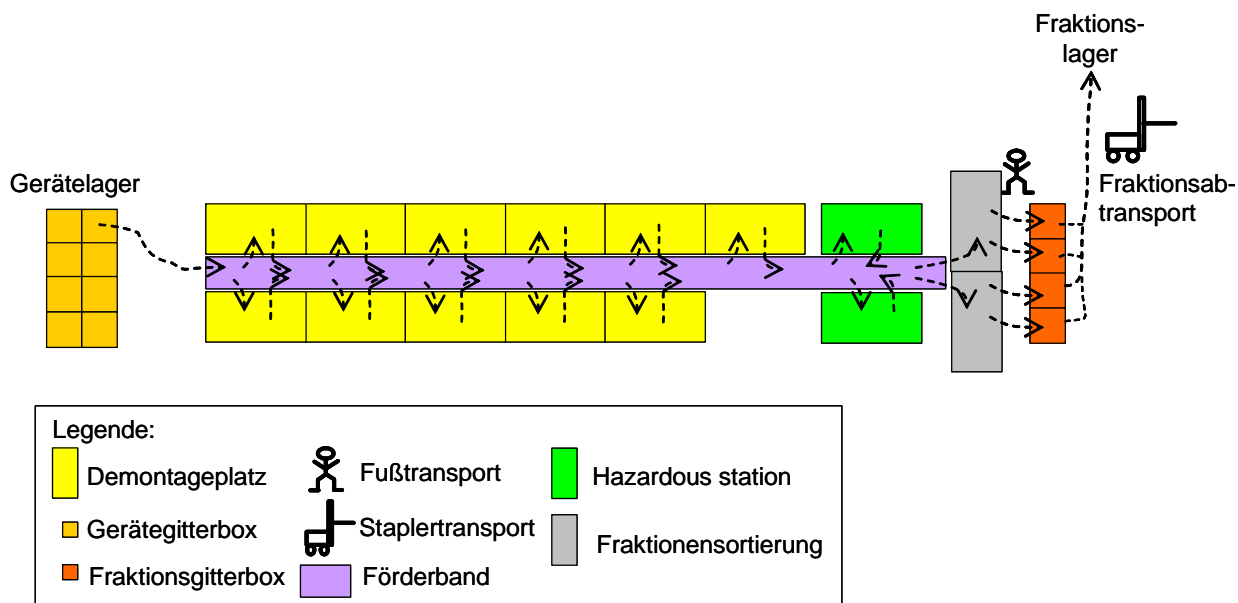


Abb. 6-17: Schematische Darstellung der Abläufe in Szenario 3a-2

Szenario 3b-1 beinhaltet eine Vorselektion, bei der aus den unsortierten Gerätgitterboxen insgesamt drei sortierte Ströme entstehen. Alle Geräte, die sich noch für eine Wiederverwendung eignen, werden entnommen und in einem Zwischenlager für die Weiterbehandlung bereitgestellt. Geräte, die zur Gruppe der IT- und Consumerelektronik (z.B. Digitalkamera, Discman, Drucker, Faxgerät, PC, Radio, Lautsprecher, Stereoanlage, Tastatur, Videorekorder) gehören, werden in einer Gitterbox zwischengelagert. Von dort kommen sie auf ein Förderband und werden an 10 Demontagestationen zerlegt. Sobald hier ein gefährlicher Bauteil freigelegt wird, wird das teilzerlegte Geräte wieder auf das Förderband gelegt und an zwei spezialisierten Arbeitsplätzen schadstoffentfrachtet. Anschließend werden die übrig gebliebenen Geräteteile wieder auf das Förderband aufgebracht und von den Demontagestationen weiter zerlegt. Die Fraktionen werden bei den jeweiligen Stationen in Gitterboxen entsorgt.

Der dritte Teilstrom der Vorselektion repräsentiert die restlichen Geräte, welche in einer Gitterbox gestapelt und mittels Gabelstapler zu zwei Demontagestationen gebracht werden, wo die Zerlegung stattfindet. Auch hier werden alle Fraktionen in Gitterboxen sortiert, die bei Bedarf vom Gabelstapler ausgetauscht werden. Abb. 6-18 zeigt eine schematische Darstellung der Abläufe in Szenario 3b-1.

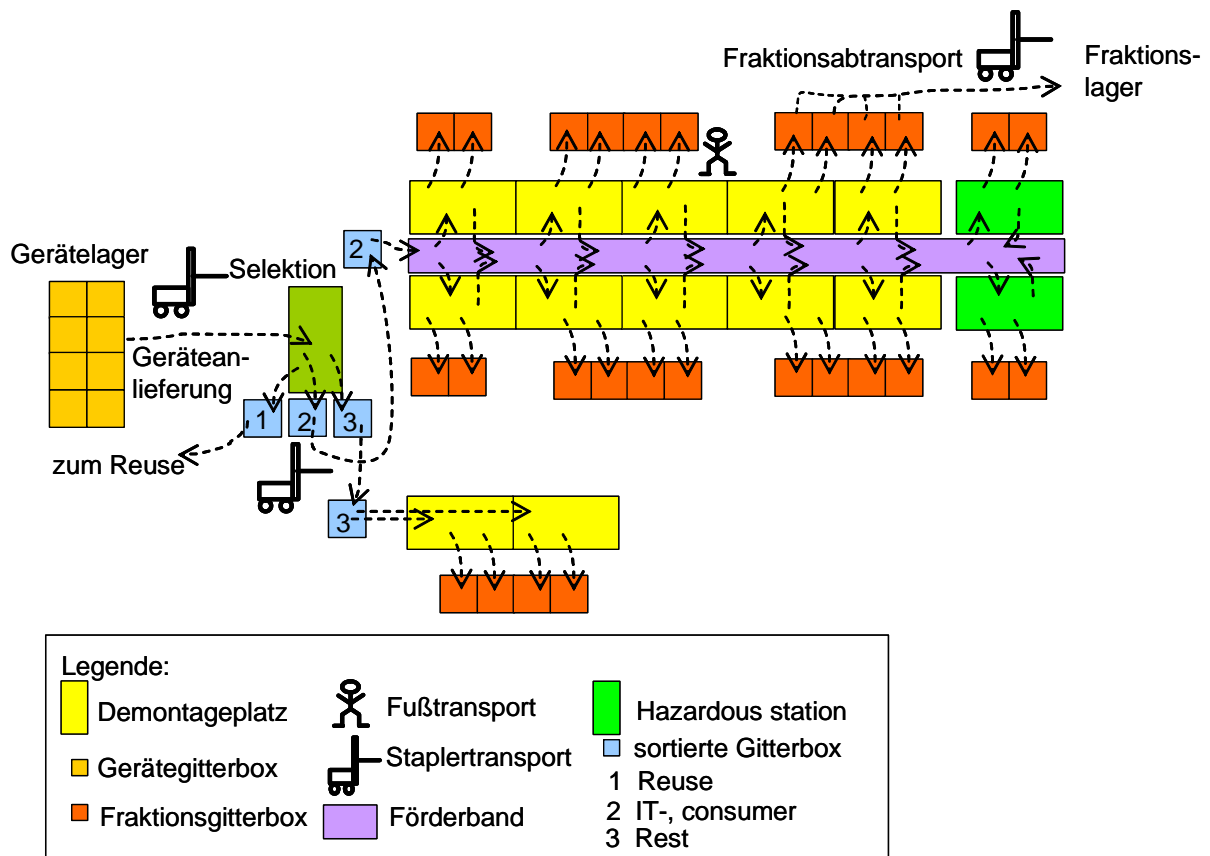


Abb. 6-18: Schematische Darstellung der Abläufe in Szenario 3b-1

Das Szenario 3b-2 enthält ebenfalls einen Arbeitsplatz für die Vorselektion. Hier werden die gleichen Gerätegruppen aussortiert, wie in Szenario 3b-1. Es gibt 9 Demontagestationen für die IT- und Consumerelektronikgeräte, welche mit zwei Arbeitsplätzen für gefährliche Bestandteile verkettet sind. Für die Zerlegung der restlichen Geräte sind zwei Arbeitsplätze vorgesehen. Alle demontierten Fraktionen werden jedoch wieder an zwei eigenen Sortierstationen am Ende der Förderbänder in die jeweiligen Gitterboxen aufgetrennt. Insgesamt enthält dieses Szenario 16 Arbeitsplätze. Abb. 6-19 verdeutlicht den Ablauf der Gerätedemontage in Szenario 3b-2 schematisch.

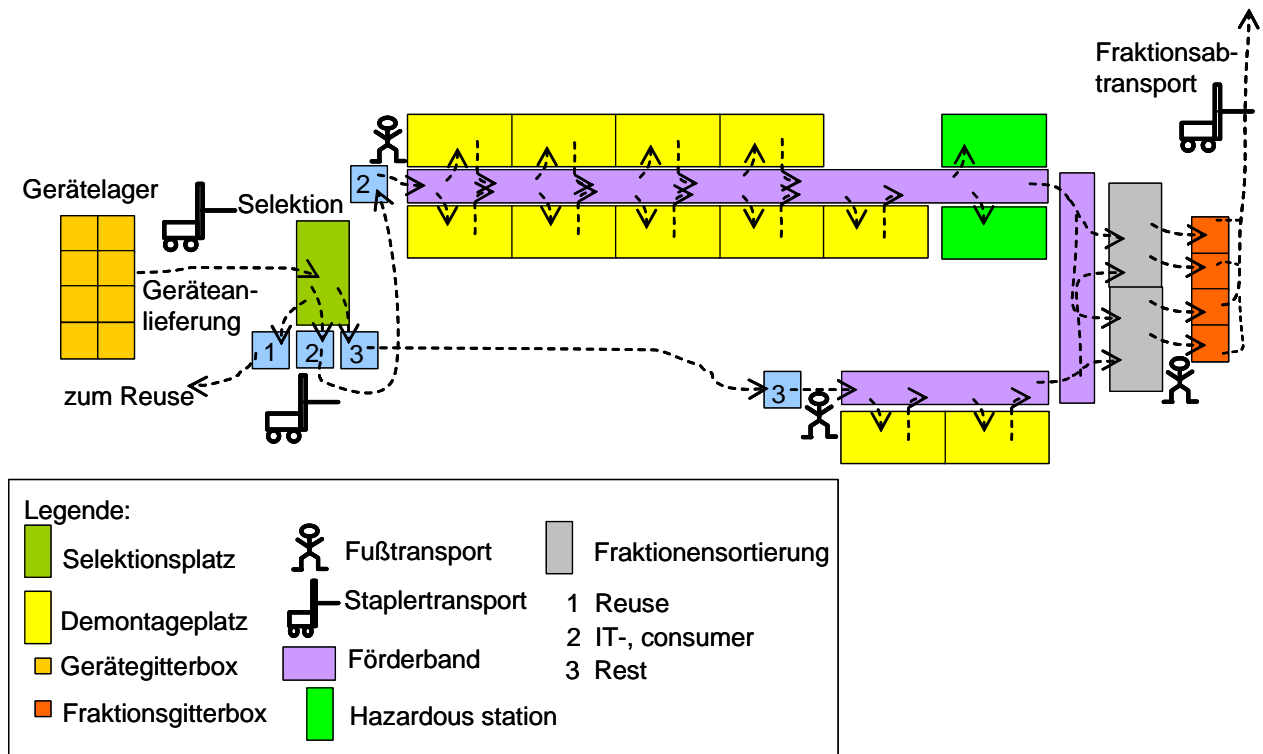


Abb. 6-19: Schematische Darstellung der Abläufe in Szenario 3b-2

Nachdem sich aufgrund der ersten Ergebnisse der Szenariensimulationen gezeigt hatte, dass es bei den beiden Szenarien 3a-1 und 3a-2 zu beeinträchtigenden Blockaden kommt, wurde ein zusätzliches Szenario gerechnet. Dieses ist ähnlich zu den genannten Szenarien 3a-1 und 3a-2 aufgebaut, jedoch werden die Geräte an den vorderen 12 Demontageplätzen bis auf die Leiterplatten vollständig zerlegt. Nur die Leiterplatten werden wieder auf das Förderband aufgegeben und an zwei nachgeschalteten Zerlegeplätzen von gefährlichen Bauteilen entfrachtet und so bleibt je eine Fraktion „Leiterplatten“ bzw. „gefährliche Bauteile“ erhalten. Der Abtransport der einzelnen Fraktionen erfolgt wieder dezentral mittels Gabelstapler. Ein Arbeitsplatz entsteht aufgrund der Vorselektion der Geräte zur Wiederverwendung. Abb. 6-20 zeigt die schematische Anordnung des Szenario 3a-3.

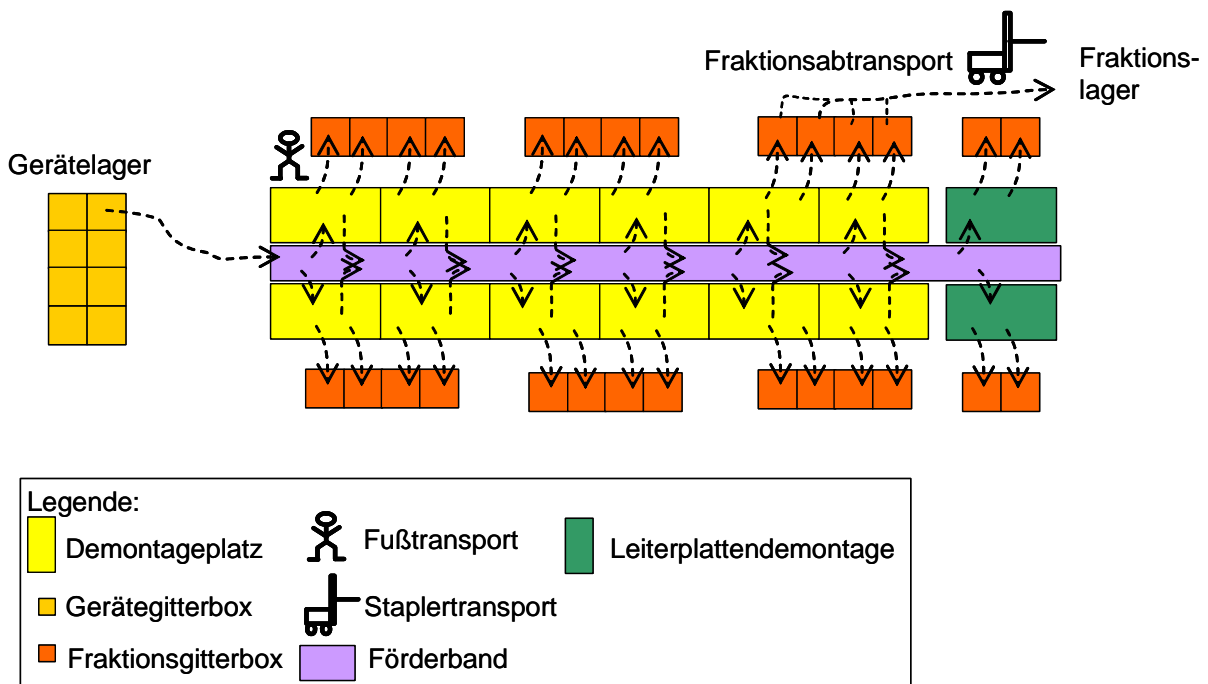


Abb. 6-20: Schematische Darstellung der Abläufe in Szenario 3a-3

6.4.4 Zusammenfassung der wichtigsten Szenarienparameter

Als Zusammenfassung der für die einzelnen Szenarien festgelegten wichtigsten Parameter ist Tab. 6-3 zu verstehen.

Parameter	Szenario								
	1a-d	1e	2a	2b	3a-1	3a-2	3b-1	3b-2	3a-3
Anzahl Arbeitsplätze	15	15	15	15	15	16	15	16	15
Vorselektion Demontage	-	-	+	+	-	-	+	+	-
Geräteanlieferung	d	d	d	d	z	z	z	z	z
Schadstoffentfrachtung	-	-	-	-	+	+	+	+	+
Fraktionssortierung bzw. -abtransport	d	z	d	d	d	z	d	z	d

Tab. 6-3: Übersicht der wichtigsten Parameter in den Szenarien, +...zutreffend, -...nicht zutreffend, d...dezentral, z...zentral

6.5 Simulationsergebnisse

Die umfangreichen Ergebnistabellen der Simulation können aufgrund des Formates nicht sinnvoll beigefügt werden. Im Anschluss sollen die Ergebnisse jedoch verbal beschrieben (Kapitel 6.5.1) und mittels einfacher Graphiken einzeln erörtert bzw. miteinander verglichen werden (Kapitel 6.5.2). Vorab sollen die Fachtermini des Simulationsprogrammes erklärt und prinzipielle Aussagen der Simulation dargestellt werden. Die Simulationsergebnisse der einzelnen Szenarien geben neben einer Zusammenstellung einiger getroffener Annahmen Aufschluss über

- portion Working: jener Anteil der möglichen Arbeitszeit, der tatsächlich gearbeitet wird, jeweils für jeden Arbeitsplatz sowie für den Gabelstapler in %
- portion Blocking: jener Zeitanteil der möglichen Arbeitszeit, in der eine Station blockiert war z.B. durch eine volle Fraktionsbox oder ein volles Förderband zur Ablage von Fraktionen und Produkten, jeweils für jeden Arbeitsplatz in %
- portion Failing: Gesamtdauer von Krankheiten inkl. Wochenenden und Nächten, jeweils für jeden Arbeitsplatz im Format [DD:hh:mm:ss.ssss], d.h. absolut
- Altgeräte Eingang gesamt: Anzahl der im Modell über die Simulationsdauer als Eingang berechneter Altgeräte, in Stück
- Altgeräte demontiert: Anzahl der während der Simulationsdauer vollständig demontierter Altgeräte, in Stück
- Fraktionen Ausgang gesamt: Anzahl bzw. Masse der demontierten Fraktionen (siehe Kapitel 6.4), welche innerhalb der Simulationsdauer das Modell verlassen, in Stück bzw. Kilogramm
- Altgeräte im Modell: Anzahl der zum Ende der Simulationsdauer noch im Modell befindlichen Altgeräte, welche innerhalb der Simulationsdauer nur teilweise demontiert werden konnten, aufgeschlüsselt nach Gerätebezeichnung, in Stück, diese Geräte wurden für die Berechnung des halbjährlichen Durchsatzes nicht berücksichtigt
- Fraktionen im Modell: Anzahl bzw. Masse der demontierten Fraktionen, welche sich zu Ende der Simulationsdauer noch auf dem Förderband bzw. in teilgefüllten Fraktionsgitterboxen befinden, in Stück bzw. Kilogramm, diese Fraktionen wurden für die Berechnung des halbjährlichen Durchsatzes bzw. der Kosten und Erlöse nicht berücksichtigt

Der Anteil an zu Ende der Simulationsdauer im Modell zurückgebliebenen Geräte und Fraktionen schwankt zwischen 0,07 und 0,21 %, ist also äußerst gering.

Eine Vorselektion, wie sie in Szenario 2a, 2b, 3b-1 sowie 3b-2 vorkommt, musste aus simulationstechnischen Gründen in einem eigenen Schritt simuliert werden. Durch Vergleich der innerhalb der Simulationsdauer vorsortierten Mengen und den im gleichen Zeitraum demontierten Mengen kann festgestellt werden, ob die Vorselektion eventuell einen Engpass für die Demontage darstellt, d.h. nicht genügend Geräte für die Demontage bereitstellen kann.

Beinhaltet ein Szenario eine Vorselektion, muss die Demontage der einzelnen Gerätegruppen ebenfalls nacheinander simuliert werden. Das führt dazu, dass die Auslastung von gemeinsam genutzten Einrichtungen, wie z.B. einem Gabelstapler, aus den einzelnen Simulationsläufen nicht addiert werden kann, da gewisse Abhängigkeitseffekte zwischen den Läufen nicht zu 100 % abgebildet werden können. Die Ergebnisse zur Auslastung der Gabelstapler sind in diesem Fall streng genommen nur Richtwerte. Gleiches gilt dann auch für die Wartezeiten auf eine Materialanlieferung von Arbeitsplätzen, da jeweils ein Gabelstapler pro Lauf simuliert wurde, in Wirklichkeit jedoch pro Szenario mit einem Gabelstapler das Auslangen gefunden werden muss.

Für die Berechnung der Kosten und Erlöse wurden Daten vom D.R.Z aus dem Zeitraum Frühling 2007 bereitgestellt. Nachdem sich die in der Realität demontierten Fraktionen und jene der Simulation nicht genau glichen (vgl. Tab. 6-1 bzw. Aufzählung Kapitel 6.4), wurden die im D.R.Z sortierten Fraktionen entsprechend den Gruppen der Simulation zugeordnet. So wurden alle in Tab. 6-1 unter „Schadstoffe und schadstoffhaltige Bauteile“ angegebenen Fraktionen in der Simulation der Gruppe „hazardous“ zugeordnet. Andererseits wurden nicht alle demontierten Fraktionen des D.R.Z in der Simulation berücksichtigt (z.B. Edelstahl). Es wurden die Wertstoff Erlöse der demontierten Fraktionen, die Entsorgungskosten der Schadstoffe sowie Lohnkosten, Fixkosten, variable Kosten und Overhead berücksichtigt.

6.5.1 Ergebnisse nach Szenarien

Vorsortierung der Geräte

Die Vorsortierung der Geräte stellt in keinem der betrachteten Szenarien einen Engpass dar. Nachdem die Geräte lediglich definierten Gruppen zugeordnet werden müssen und keinerlei Demontagetätigkeit gefordert ist, können pro Halbjahr wesentlich mehr Geräte und Massen vorsortiert werden als die Demontageplätze abarbeiten können.

Szenario 1a

Dieses stellt das bisherige Layout der Demontage im D.R.Z dar und zeigt keinerlei Besonderheiten. Die Demontagestationen sind alle mehr oder weniger zwischen 56 und 92 % ausgelastet, der Anteil an Blockierzeit ist gleichmäßig gering bei rund 1 % der möglichen Arbeitszeit. Der Gabelstapler ist ausreichend verfügbar. Es stehen 14 gleichartige Demontageplätze zur Verfügung, d.h. der Mitarbeiter muss innerhalb kurzer Zeit auf alle Geräte eingeschult werden und auch lernen, alle Fraktionen richtig zuzuordnen lernen. Eine Veränderung der Tätigkeit ist mangels Angebot in der Demontage nicht möglich.

Szenario 1b

Für dieses Szenario wurde die bisherige Ablauforganisation der Demontage im D.R.Z für den geplanten neuen Standort umgelegt. Es ist eine gute Auslastung der Demontageplätze zu beobachten, welche zwischen 65 und 90 % liegt. Der Anteil der Blockierzeiten liegt zwischen 1,07 und 1,16 %, was etwas höher ist als bei 1a. Der Gabelstapler ist ausreichend verfügbar. Nachdem 14 gleichartige Demontageplätze zur Verfügung stehen, ist der Mitarbeiter von Beginn an mit der gesamten Gerätepalette konfrontiert und muss auch die demontierten Fraktionen richtig zuordnen können. Aufgrund des Layouts der Demontage kann eine andere Tätigkeit in der Demontage nicht angeboten werden.

Szenario 1c

In diesem Szenario wurde aufbauend auf den Parametern von Szenario 1a der Leistungsfaktor der Demontageplätze erhöht, was einer Verschlechterung der Leistungsfähigkeit jedes einzelnen Demontagemitarbeiters gleichkommt. Vergleiche zu den anderen Szenarien werden in Kapitel 6.5.2 gezogen. Die Auslastung der Demontageplätze liegt zwischen 67 und 92 %, der Anteil der Blockierzeiten ist niedrig bei 1 %. Alle vorhandenen 14 Arbeitsplätze zerlegen alle anfallenden Geräte, sodass jeder Mitarbeiter die gesamte Palette abdecken und die entstehenden Fraktionen korrekt zuordnen können muss. Eine weiterführende Qualifikation ist aufgrund des Layouts nicht möglich.

Szenario 1d

Für dieses Szenario wurde ausgehend von den Parametern von Szenario 1a die mittlere Ausfalls- bzw. Instandsetzungsdauer (mean time to repair, MTTR) von 10,51 Tage auf 15,77 erhöht. Vergleiche zu den anderen Szenarien werden in Kapitel 6.5.2 gezogen. Die Demontageplätze zeigen eine Auslastung zwischen 59 und 86 %. Die Blockierzeiten sind trotz erhöhter MTTR im Vergleich zur möglichen Arbeitszeit anteilig niedrig bei knapp über 1 %. Da an allen 14 Arbeitsplätzen jeweils alle Gerätetypen demontiert werden, muss jeder Mitarbeiter von Beginn an auf alle Typen eingeschult werden. Ebenso muss die Sortierung der Fraktionen erlernt werden. Eine Veränderung der Tätigkeit ist während der Beschäftigungsdauer nicht möglich.

Szenarien 1e

Bei Szenario 1e-1 wurde mit zwei Mitarbeitern an den Sortierstationen der Fraktionen gerechnet, sodass 12 Mitarbeiter auf ebenso vielen Demontageplätzen für die Zerlegung der Geräte übrig bleiben. Es zeigt sich an den Ergebnissen der Simulation, dass die beiden Sortierstationen vollständig ausgelastet sind (jeweils um 93 %), während an den Demontagesationen noch zeitliche Kapazitäten vorhanden sind (Auslastungen zwischen 56 und 77 %). Bei Szenario 1e-2 wurden als Verbesserungsmaßnahme daher nur 11 Mitarbeiter für die Demontage der Geräte herangezogen und drei Mitarbeiter für die Sortierung der einzelnen Fraktionen eingesetzt. Diese Maßnahme führt in den Ergebnissen dazu, dass die Auslastung der Demontagesationen nun zwischen 74 und 93 % liegt, während an den Sortierstationen mit Auslastungen zwischen 62 und 78 % zu rechnen ist. In der Praxis müsste also darauf geachtet werden, dass sich keine Blockierungen bei der Sortierung bilden und somit eher drei Mitarbeiter bei den Sortierplätzen zu beschäftigen wären. Das rechnerische Optimum bezüglich Auslastungen der einzelnen Arbeitsplätze liegt jedoch zwischen zwei und drei Mitarbeitern in der Sortierung. Durch die Aufspaltung der Arbeitsplätze in Demontage- bzw. Sortierplätze können zwei unterschiedliche Tätigkeiten angeboten werden.

Nachteil der beiden Szenarien ist, dass insgesamt weniger Durchsatz als in anderen Szenarien erbracht werden kann, da weniger Arbeitsplätze für die Demontage vorgesehen sind. Der Vorteil der von der Demontage getrennten Sortierung der Fraktionen könnte erst bei einer größeren Anzahl an Demontagesationen zum Tragen kommen.

Szenario 2a

In diesem Szenario wurde für die neuen Räumlichkeiten ein Layout mit Vorselektion in drei Gruppen simuliert. Wie bereits oben angemerkt, lässt sich klar feststellen, dass die Vorselektion keinen Engpass im Demontageablauf darstellt, da wesentlich mehr Geräte vorselektiert als demontiert werden können. Es ist daher für ein ausreichend dimensioniertes Zwischenlager für die vorselektierten Geräte zu sorgen.

Die Demontageplätze zeigen eine Auslastung zwischen 71 und 89 %, wobei die Werte für die Demontageplätze der IT- und Telekommunikationsgeräte höher liegen als jene für den Rest der Geräte. Die Blockierzeiten liegen zwischen 1,12 und 1,23 %. Sie sind damit höher als bei den Szenarien im alten Layout, aber in der gleichen Größenordnung wie bei Szenario 1b, welches ebenfalls für die neue räumliche Situation gerechnet wurde.

Insgesamt werden drei verschiedene Arbeitsplatztypen innerhalb des Szenarios angeboten. Eine Vorselektierung, fünf Demontageplätze für IT- und Telekommunikations-

geräte sowie neun Demontageplätze für die restlichen Geräte. Die jeweilige Spezialisierung kann stufenweise erfolgen, sodass zum einen nicht die gesamte Gerätepalette auf einmal erlernt werden muss und zum anderen über die Beschäftigungsdauer auch Abwechslung geboten werden kann. Nachdem in der Vorselektion wesentlich mehr Geräte abgearbeitet als im gleichen Zeitraum demontiert werden können, ist auch zu überlegen, ob dieser Arbeitsplatz nur zeitweise nach Bedarf besetzt werden sollte. Dieser Mitarbeiter könnte demnach auch anderen Beschäftigungen nachgehen.

Szenario 2b

Szenario 2b repräsentiert ebenfalls ein Layout für die neuen Räumlichkeiten, wobei im Vergleich zu 2a eine noch größere Spezialisierung der Demontageplätze auf bestimmte Gerätegruppen erfolgt. Der Vergleich zeigt auch hier, dass die Vorselektion keinen Engpass für die Demontage darstellt.

Die Betrachtung der Mittelwerte der Auslastungen der Demontageplätze für bestimmte Gerätegruppen zeigt, dass die Arbeitsplätze für die IT- und Telekommunikationsgeräte mit nahezu 86 % die höchste Auslastung zeigen, dicht gefolgt von den Arbeitsplätzen für die Staubsauger (85 %). Bei den Demontageplätzen, an welchen Drucker, Faxgeräte, Schreibmaschinen und Kopierer zerlegt werden, liegt die Auslastung bei 82 %. An den Stationen für die restlichen Geräte entsteht eine Auslastung von 81 %. Die Blockierzeiten liegen zwischen 1,11 und 1,24 %.

In Szenario 2b werden fünf verschiedene Tätigkeiten auf insgesamt 15 Arbeitsplätzen angeboten: eine Vorselektierung, jeweils fünf Plätze für die Demontage von IT- und Telekommunikationsgeräten bzw. die restlichen Geräte, ein Arbeitsplatz für die Zerlegung von Staubsaugern und drei für die Demontage von Drucker und ähnlichem. Die verschiedenen Fertigkeiten können der Reihe nach erlernt werden, was eine Erleichterung für die Mitarbeiter darstellt. Aufgrund der feineren Unterteilung der Gerätegruppen steht mehr Abwechslung für die Demontagemitarbeiter zur Verfügung. Analog zu Szenario 2a ist zu überlegen, ob der Vorselektionsplatz nur nach Bedarf besetzt wird und jeweils nur so viele Geräte vorsortiert werden, wie in der Demontage in einem bestimmten Zeitraum zerlegt werden können.

Szenario 3a-1

Die Auswirkungen verketteter Arbeitsplätze mit zentraler Geräteversorgung und dezentralem Fraktionsabtransport werden in Szenario 3a-1 untersucht. Die Auslastung der 12 Demontagestationen liegt zwischen 24 und 78 %, wobei deutlich ersichtlich ist, dass die Stationen zu Beginn der Demontagelinie mehr arbeiten als jene, die weiter hinten angeordnet sind (schematische Anordnung siehe Abb. 6-18). Dies kommt daher, dass diese Stationen Zugriff auf die neu auf das Förderband aufgelegten Geräte haben, während Arbeitsplätze, die weiter hinten situiert sind, auf jene Geräte warten müssen, die bis zu ihnen durchkommen. Im Gegensatz zur geringen Auslastung der meisten Demontagestationen haben die beiden Stationen für die Entnahme der Schadstoffe Auslastungen von 75 bzw. 82 %. Analoges spiegelt sich in den Blockierzeiten der Stationen wider. Die ersten beiden Demontagestationen haben 1,26 bzw. 4,21 % Blockierzeit, während bei den nachfolgenden mit 10 bis 50 % Blockierzeit zu rechnen ist. Der Grund für die langen Wartezeiten bei den Demontagestationen ist in der Zusammensetzung der Geräte zu finden. Die Demontagesequenzen der Altgeräte ergeben sich über die Simulationsdauer derart, dass zu entfernende Schadstoffe verteilt über verschiedene Sequenzen anfallen. Dieser Umstand führt dazu, dass die teilzerlegten Geräte zwischen den Demontageplätzen und jenen für die Schadstoffe hin- und hergereicht werden müssen. Die Vielzahl an teildemontierten Geräten führt zu einer Blockade des Förderbandes und zu längeren Wartezeiten und Materialknappheit bei den Demontagestationen. Diese Interpretation wurde in einem Kontrollscenario bestätigt, in welchem hypothetisch bei gleicher Anzahl und Anordnung der Arbeitsplätze den Stationen für die Schadstoffentfrachtung neben den Schadstoffen auch die Aufgabe zugeordnet wurde, alle anderen Fraktionen zu entfernen. Dies führte zu einer vollen Auslastung an den betreffenden Plätzen und zu einer äußerst geringen Auslastung der Demontageplätze.

Nachdem in der Realität das gemischte Auftreten von schadstoffhaltigen und nicht schadstoffhaltigen Bauteilen dem anfallenden heterogenen Gerätespektrum entspricht, müssten aufwendige Steuerungsmaßnahmen getroffen werden, um Blockaden und Leerläufe effektiv zu verhindern.

Insofern ist eine Arbeitsteilung durch verkettete Arbeitsplätze nur dann wirklich effektiv, wenn eine Gerätegruppe vorselektiert wird, deren Schadstoffe erst am Ende der Demontage auftreten bzw. immer gleiche, aufeinander folgende Arbeitsschritte zu absolvieren sind.

Das Szenario 3a-1 bietet zwei unterschiedliche Arbeitsplatztypen an, 12 Demontagestationen für alle Geräte und zwei Plätze für den Ausbau der gefährlichen Bestandteile. Aufgrund der Verkettung der Plätze und der resultierenden geringen Auslastung der hinteren Demontagestationen könnte ein neuer Mitarbeiter relativ stressfrei eingeschult werden bzw. könnte zu Beginn nur bestimmte Gerätearten vom Förderband nehmen. Allerdings muss ein Mitarbeiter bei diesem Demontagelayout erkennen, wann eine Sequenz auftritt, die für die beiden Stationen für gefährliche Bauteile bestimmt ist und das teildemontierte Gerät entsprechend an diese abgeben.

Szenario 3a-2

Szenario 3a-2 verbindet verkettete Demontage mit einer zentralen Geräteversorgung und einem dezentralen Fraktionsabtransport. Die Auslastung der 11 Demontageplätze liegt zwischen 27 und 57 %, wobei auch hier wieder weiter vorn am Förderband liegende Plätze eine höhere Auslastung aufweisen als jene am Förderbandende. Die beiden Arbeitsplätze für die Schadstoffentfrachtung sind zu 55 bzw. 67 % der Arbeitszeit ausgelastet. Die Sortierung der Fraktionen erfolgt an den beiden Sortierstationen mit einer Auslastung von 68 bzw. 73 %. Im Vergleich zu Szenario 3a-1 sind die Blockierzeiten gleichmäßiger auf alle Demontagestationen aufgeteilt, sie liegen zwischen 19 und 47 %.

Ähnlich wie in Szenario 3a-1 zeigt sich, dass die Arbeitsteilung aufgrund der unregelmäßig verteilten Schadstoffe in den Geräten zu Blockaden am Förderband führen. Die beiden Arbeitsplätze der Schadstoffentfrachtung können die demontierten Mengen nicht abarbeiten. Zusätzlich stauen sich die fertig demontierten Fraktionen bei den beiden Sortierstationen, die das Aufkommen ebenfalls nicht zeitgerecht aufarbeiten können, sodass insgesamt der Durchsatz deutlich absinkt.

Das Szenario bietet drei verschiedene Arbeitsplätze an, wobei 11 Demontagestationen, zwei Plätze für gefährliche Stoffe sowie zwei Sortierstationen für Fraktionen vorhanden sind. Nachdem die am Förderband weiter hinten situierten Arbeitsplätze eine geringere Auslastung aufweisen als weiter vorn gelegene, würden sich erstere als Einstiegsplatz gut eignen. Spezifisches Wissen um gefährliche Bauteile kann bei den beiden Arbeitsplätzen für Schadstoffe erlernt werden. Für die Arbeit an einer der beiden Sortierstationen ist die Kenntnis der einzelnen Materialien, deren rasche Unterscheidung und genaue Zuordnung erforderlich.

Szenario 3b-1

In diesem Szenario wurden verkettete Demontageplätze mit einer Vorselektion kombiniert. Auch in diesem Fall zeigen die Ergebnisse, dass die Vorselektion mehr Geräte sortieren als die Demontage abarbeiten kann.

Die Auslastung der 10 Demontagestationen für die IT- und Consumerelektronikgeräte liegt zwischen 60 und 88 %, wobei die hinteren Arbeitsplätze eher zu geringerer Auslastung neigen. Die beiden Arbeitsplätze für die Schadstoffentfrachtung sind zu 75 bzw. 82 % ausgelastet. Die beiden Arbeitsplätze zur Zerlegung der restlichen Geräte haben eine Auslastung von 81 bzw. 85 %. Der Anteil der Blockierzeiten schwankt je nach Lage des Arbeitsplatzes zwischen 3,5 und 32 %. Auch hier wird wieder deutlich, dass die teilzerlegten Geräte am Förderband eine Blockade der Demontagestationen verursachen. Im Gegensatz dazu gibt es bei den beiden Demontagestationen für die restlichen Geräte eine relativ hohe Auslastung und daher auch Effizienz, da diese Arbeitsplätze auf eine

kleine Gruppe an Geräten spezialisiert sind (z.B. Haushaltskleingeräte wie Bügeleisen, Fön, Mixer, Kaffeemaschine oder Bohrmaschinen).

Szenario 3b-1 bietet vier verschiedene Tätigkeiten an. Einen Arbeitsplatz mit Vorselektion, 10 für die Demontage der IT- und Consumerelektronikgeräte, zwei für die Demontage der restlichen Geräte und zwei Plätze für die Entfernung schadstoffhaltiger Bauteile. Je nach Erfahrung und Können kann ein Mitarbeiter daher in unterschiedlichen Tätigkeitsbereichen eingesetzt werden, was innerhalb der Beschäftigungsdauer für Abwechslung sorgt.

Szenario 3b-2

In diesem Szenario werden nach einer Vorselektion verkettete Arbeitsplätze mit einer Sortierstation für die Fraktionen ergänzt. So wie in den anderen Szenarien ist die Vorselektion bei weitem kein Engpass.

Die Auslastung der 9 Demontageplätze für die IT- und Consumerelektronikgeräte beträgt zwischen 44 und 76 % der Arbeitszeit, die der beiden Schadstoffentfrachtungen liegt bei 63 bzw. 80 %. Bei den beiden Demontagestationen für die restlichen Geräte liegt die Auslastung bei 85 bzw. 86 %. Aus simulationstechnischen Gründen konnten die beiden Sortierstationen nur getrennt für die beiden zu demontierenden Gerätegruppen simuliert werden, sodass sich eine aggregierte Auslastung nur schätzen lässt. Bereits beim Simulationsdurchlauf für die IT- und Consumerelektronikgeräte resultiert eine Auslastung der beiden Fraktionsortierstationen von 73 bzw. 80 %. Der Simulationslauf für die restlichen Geräte zeigt Auslastungswerte von 21 bzw. 38 %, was bei einer reinen Addition für die eine Station bereits mehr als 100 % ergeben würde. Nachdem in diesem Fall die gegenseitige Beeinflussung noch gar nicht berücksichtigt ist, kann die Sortierstation als klarer Engpass angesehen werden.

Szenario 3b-2 bietet insgesamt fünf verschiedene Tätigkeitsprofile an. Einen Arbeitsplatz in der Vorselektion, neun in der Demontage der IT- und Consumerelektronikgeräte und jeweils zwei in der Schadstoffentfrachtung, bei der Demontage der restlichen Geräte sowie in der Fraktionsortierung. Ein Mitarbeiter kann daher innerhalb der Beschäftigungsdauer mehrere Positionen einnehmen und sein Fachwissen dort spezialisieren.

Szenario 3a-3

Die Aufteilung der verfügbaren 14 Arbeitsplätze in 12 Demontageplätze für die ganzen Geräte und 2 Plätze für die Zerlegung von Leiterplatten ergibt eine gute Auslastung der Demontageplätze für die Geräte (zwischen 66 und 92 %). Die beiden Demontearbeitsplätze für Leiterplatten sind mit rund 80 % ebenfalls gut ausgelastet. Allerdings zeigt sich, dass die Menge der in den demontierten Geräten enthaltenen Leiterplatten von den beiden Mitarbeitern bereits in 135 Tagen aufgearbeitet werden kann. Daraus ergibt sich bezogen auf die gesamte Simulationszeit von 183 Tagen eine noch geringere Auslastung der beiden Mitarbeiter auf den Leiterplattenzerlegeplätzen.

Eine Verringerung der Anzahl der Leiterplattendemontageplätze von zwei auf einen Platz hätte jedoch eine Überlastung dieses Arbeitsplatzes zur Folge, sodass die optimale Aufteilung dazwischen liegt. Die Vorteile einer getrennten Zerlegung der Leiterplatten können erst optimal genutzt werden, wenn insgesamt eine größere Anzahl an Demontageplätzen verfügbar ist.

6.5.2 Ergebnisse im Vergleich

Der Vergleich der Ergebnisse der Szenarien nach den verschiedenen Kriterien zeigt, dass das derzeitige Layout der Kleingerätedemontage des D.R.Z bereits relativ gut organisiert ist. Gleichzeitig wird jedoch auch ersichtlich, dass noch Optimierungspotentiale vorhanden sind.

Im Folgenden werden die Ergebnisse relativ zum Referenzszenario 1a nach

- der erzielbaren Masse der demontierten Fraktionen (Output),

- Erlösen minus Entsorgungskosten pro Mitarbeiter (Materialerlös pro Mitarbeiter) sowie
- Erlösen minus Kosten gesamt (Gesamtkosten)

dargestellt. Diese drei Kriterien werden für die Beurteilung der Effizienz der Szenarien herangezogen. Für die Gesamtbewertung der Szenarien zählt die Effizienz mit 50 % Gewichtung.

Vergleich der Szenarien nach demontierter Fraktionsmasse

Wie in Abb. 6-21 erkennbar, hat Szenario 3b-1 den höchsten Durchsatz im halben Jahr, dicht gefolgt von 2a und 2b. Szenario 3a-2 ist jenes mit dem geringsten Massendurchsatz. Das gegenüber 3a-1 und 3a-2 durch veränderte Schadstoffentfrachtung verbesserte Szenario 3a-3 zeigt erwartungsgemäß deutlich höhere demontierte Fraktionsmassen, liegt jedoch immer noch unter dem Referenzszenario. Die beiden Szenarien 1e-1 und 1e-2 mit dem zentralen Abtransport und Sortierung der demontierten Fraktionen zeigen in Bezug zum Referenzszenario schlechtere Durchsätze, da weniger Demontageplätze zur Verfügung stehen.

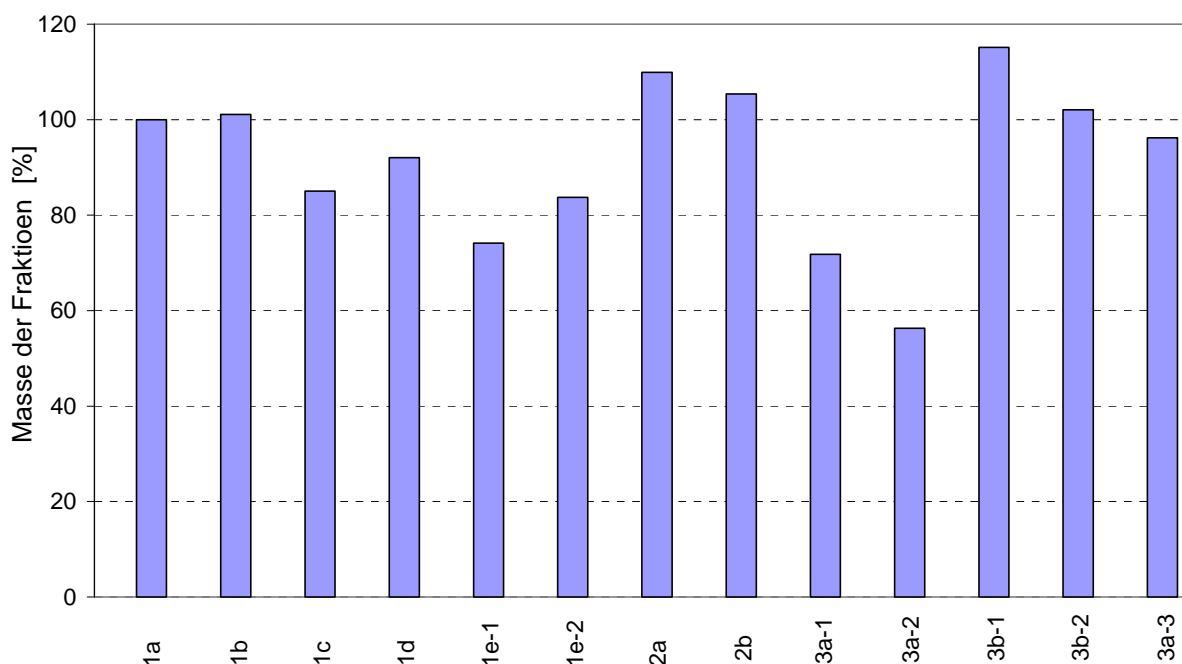


Abb. 6-21: Vergleich der Szenarien nach Masse der demontierten Fraktionen (Szenario 1a = 100 %)

Vergleich der Szenarien nach dem Materialerlös pro Mitarbeiter

Als zweite interessante Kennzahl wurde für den Vergleich der Szenarien der Materialerlös pro Mitarbeiter berechnet. Dafür wurden ausschließlich die erzielbaren Erlöse beim Wertstoffverkauf und die Entsorgungskosten der gefährlichen Stoffe bzw. des Restmülls berücksichtigt. Unberücksichtigt blieben die sonstigen Kosten (z.B. Personal, Miete,...). Daraus folgt, dass ein Szenario finanziell umso erfolgreicher ist, je höher der berechnete Wert ist. In Abb. 6-22 sind die Ergebnisse graphisch dargestellt.

Szenario 2b liegt an erster Stelle, gefolgt von Szenario 3b-1. Nahe beieinander liegen die drei Szenarien 1a, 1b, 2a sowie 3a-3. An letzter Stelle und damit am wenigsten rentabel ist auch hier wieder Szenario 3a-2 gereiht.

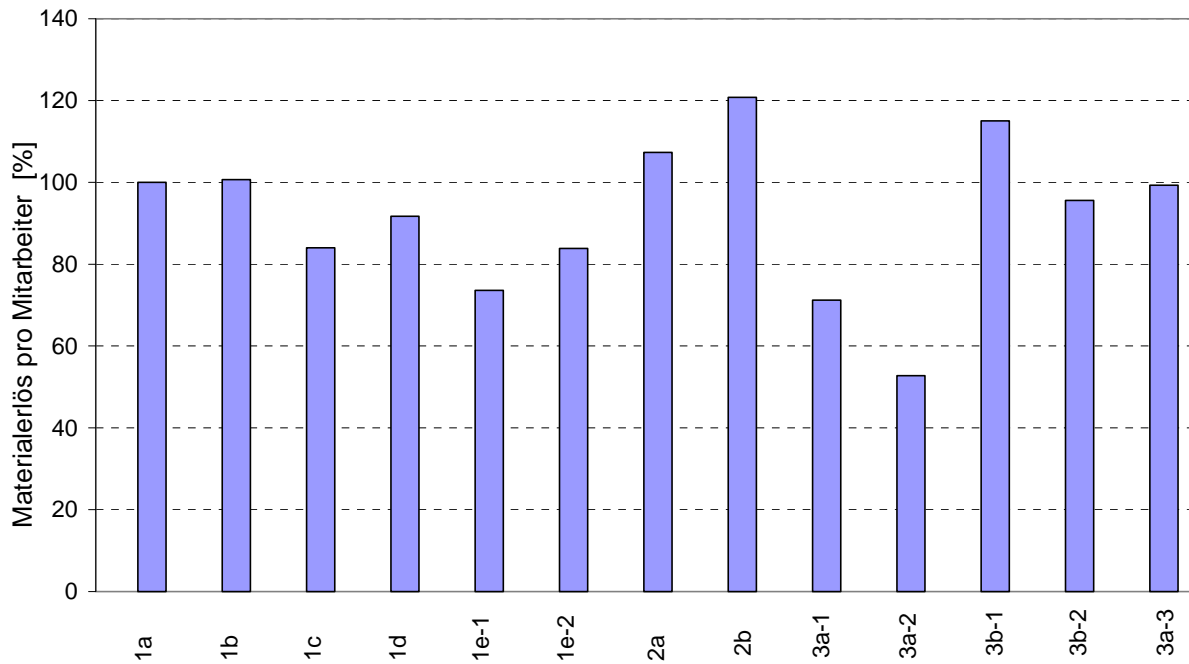


Abb. 6-22: Vergleich der Szenarien nach Materialerlös pro Mitarbeiter (Szenario 1a = 100 %)

Vergleich der Szenarien nach Gesamtkosten

Für diese Auswertung wurde die Summe aus den erzielbaren Erlösen durch den Fraktionsverkauf, den zu bezahlenden Entsorgungskosten sowie den sonstigen Kosten (Lohn, Miete etc.) gebildet. Nachdem keines der Szenarien mit den berücksichtigten Kosten und Erlösen kostendeckend betrieben werden kann, ist ein Szenario umso besser, je geringer der berechnete Wert ist. Am günstigsten kommt Szenario 2b, gefolgt von Szenario 3b-1. Am teuersten kommt Szenario 3a-2, bei welchem mehr als 40 % mehr Kosten gegenüber Szenario 1a ungedeckt übrig bleiben.

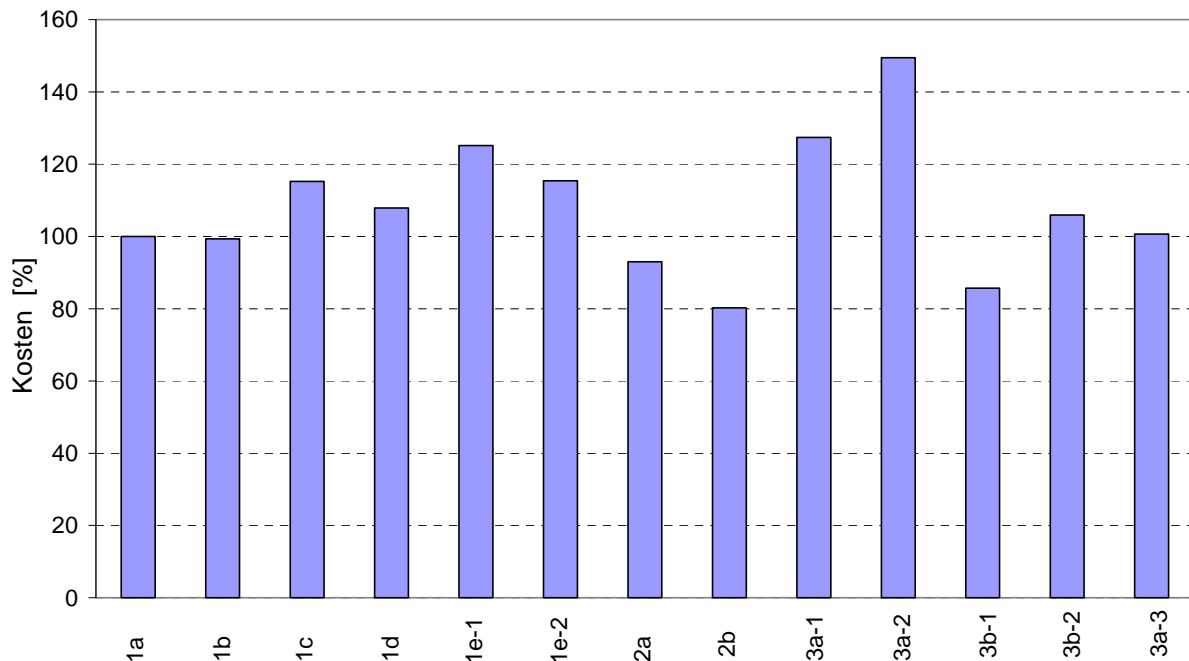


Abb. 6-23: Vergleich der Szenarien nach Gesamtkosten (Szenario 1a = 100 %)

6.5.3 Reihung der Szenarien hinsichtlich der Effizienzkriterien

Tab. 6-4 gibt einen Überblick der Reihung der betrachteten Szenarien in den drei Kriterien der Effizienz. Die Reihung erfolgt derart, dass das beste Ergebnis auf Platz 1, das schlechteste Ergebnis auf Platz 13 gereiht wird. Es zeigt sich, dass keines der Szenarien in allen Kriterien an erster Stelle gereiht ist. Umgekehrt liegen jedoch die gleichen Szenarien (1d, 1c, 1e-2, 1e-1, 3a-1, 3a-2) bei allen Kriterien auf den schlechtesten Plätzen (8 bis 13). Die beiden finanziellen Kriterien weisen eine gleiche Reihung auf, da die absoluten Abstände zwischen den Szenarien nicht berücksichtigt wurden und die Anzahl der Mitarbeiter, die sich am meisten auf die Kosten auswirkt, bei nahezu allen Szenarien gleich ist.

Kriterium	Reihung der Szenarien nach ...												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
durchgesetzte Masse	3b-1	2a	2b	3b-2	1b	1a	3a-3	1d	1c	1e-2	1e-1	3a-1	3a-2
Materialerlös pro Mitarbeiter	2b	3b-1	2a	1b	1a	3a-3	3b-2	1d	1c 1e-2	-	1e-1	3a-1	3a-2
Gesamtkosten	2b	3b-1	2a	1b	1a	3a-3	3b-2	1d	1c 1e-2	-	1e-1	3a-1	3a-2

Tab. 6-4: Reihung der Szenarien nach den Auswertekriterien der Effizienz

In Abb. 6-24 wurde diese Reihung in eine Punktebewertung übertragen, wobei das – hinsichtlich des jeweiligen Kriteriums beste Szenario – 13 Punkte bekam, und für das Szenario, welches hinsichtlich des jeweiligen Auswertekriteriums am schlechtesten abschnitt, nur 1 Punkt vergeben wurde. Es zeigt sich, dass bei dieser Vorgangsweise die Gesamtreihung der Szenarien hinsichtlich aller 3 Effizienzkriterien sehr gut graphisch abgelesen werden kann. Hinsichtlich Effizienz erreicht das Szenario 2b die höchste Gesamtbewertung, gefolgt von den Szenarien 3b-1 und 2a.

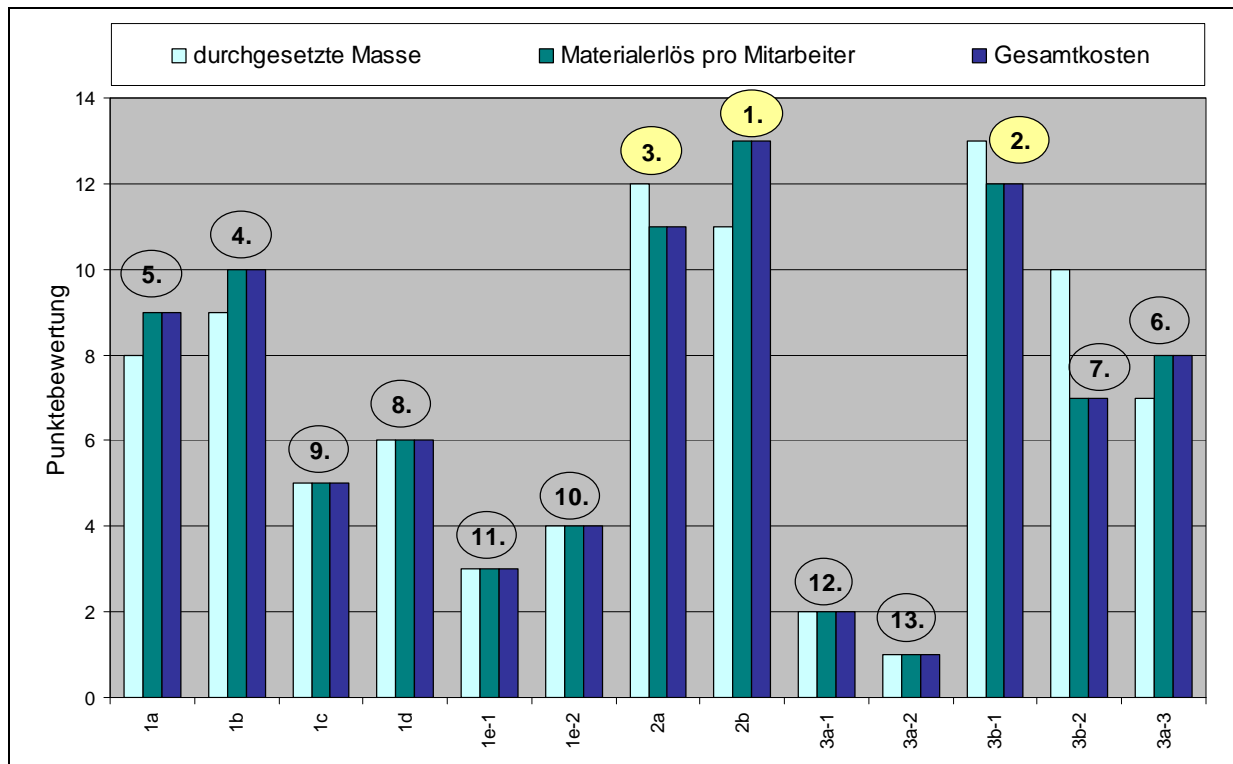


Abb. 6-24: Reihung der Szenarien nach den Auswertekriterien der Effizienz¹

¹ Die Rangplätze wurden zur Veranschaulichung dazu vermerkt, wobei bei mehreren gleich platzierten Szenarien die nachfolgenden Rangnummern entsprechend nicht vergeben wurden.

6.6 Beurteilung der Szenarien hinsichtlich Qualität und Transplacement

6.6.1 Differenzierung der einzelnen Szenarien hinsichtlich der Qualitätskriterien

Hinsichtlich der Schadstoffentfrachtung konnten unter den möglichen Zielszenarien folgende Differenzierungen identifiziert werden (Tab. 6-5).

Fälle	Sze-narien	Beschreibung	Vergebene Punkte
F1	1a 1b 1c 1d	Jeder Mitarbeiter zerlegt sämtliche Gerätearten und macht auch alle Arbeitsschritte. Jeder Mitarbeiter wird zwar zu Beginn der Arbeitsaufnahme intensiv eingeschult und auch dann immer wieder betreut; die Outputfraktionen werden jedoch nicht hinsichtlich Schadstoffehlwürfen kontrolliert.	1
F2	2a 2b 3a-3	In diesen Szenarien zerlegt zwar immer noch jeder Mitarbeiter alle Gerätearten und führt alle Demontageschritte durch, es erfolgt jedoch durch die Vorselektion eine Reduzierung der Diversität der zu zerlegenden Gerätearten auf mehrere Gruppen. Die Mitarbeiter demontieren entweder die eine oder die andere Gruppe. Im Szenario 2a wird der Input in 2 Demontagegruppen, in Szenario 2b in 4 Demontagegruppen sortiert. Wie im Basisszenario gibt es nur stichprobenartige Kontrollen auf Schadstoffehlwürfe. In Szenario 3a-3 werden die Leiterplatten auf separaten Arbeitsplätzen schadstoffentfrachtet.	2
F3	3a-1 3b-1	In Szenario 3a-1 gibt es eigene Schadstoffentfrachtungs-Arbeitsstationen für das gesamte Demontagelayout. Im Szenario 3b-1 wird der Input in 2 Demontagegruppen sortiert. Für die Gerätearten mit Leiterplatten, welche in der Demontagelinie demontiert werden, gibt es separate Schadstoffentfrachtungsplätze. Die restlichen Gerätearten werden auf 2 separaten Arbeitsplätzen demontiert, wobei hier jeder der beiden Mitarbeiter sowohl demontiert als auch die Schadstoffentfrachtung durchführt. Für diese beiden Arbeitsplätze existiert nur eine stichprobenartige SSE-Kontrolle. Da jedoch auf diesen Arbeitsplätzen die hinsichtlich Schadstoffpotential unkritischeren Gerätearten demontiert werden, wurde Szenario 3b-1 gleich bewertet wie Szenario 3a-1.	3
F4	1e 3a-2 3b-2	Es existieren eigene Arbeitsstationen zur Schadstoffentfrachtung bzw. wird auf allen Arbeitsstationen eine SSE durchgeführt. Wesentlicher Unterschied bei diesen Szenarien ist jedoch, dass es am Ende der Demontagelinie noch einen Arbeitsplatz gibt, an welchem die Outputfraktionen sortiert und dabei auch möglicherweise übersehene Schadstoffe entdeckt werden.	4

Tab. 6-5: Differenzierung der Zielszenarien hinsichtlich Schadstoffentfrachtung

Für die Szenarien mit der höchsten Wahrscheinlichkeit, dass alle schadstoffhaltigen Bauteile erkannt und ausgebaut werden, wurde die höchste Punktzahl vergeben, für die Szenarien mit der niedrigeren Wahrscheinlichkeit die niedrigste Punktzahl.

Hinsichtlich Wertstofffraktionierung konnten unter den möglichen Zielszenarien folgende Differenzierungen identifiziert werden (Tab. 6-6).

Fälle	Sze- narien	Beschreibung	Vergebene Punkte
F1	1a-d 3a-1 3b-1 3a-3	Auf allen Arbeitsplätzen werden alle Gerätearten demontiert; es gibt nur stichprobenweise Kontrolle, ob alle demontierten Teile den richtigen Outputfraktionen zugeordnet wurden.	1
F2	2b 2c	Durch die Vorselektion erfolgt eine Reduktion der Diversität der zu demontierenden Gerätearten auf 2 Gruppen. Jeder Mitarbeiter demontiert Gerätearten nur einer der beiden Gruppen; wie in F1 erfolgen jedoch nur stichprobenartige Kontrollen hinsichtlich der richtigen Zuordnung zu den Fraktionen.	2
F3	1e 3a-2 3b-2	Es gibt am Ende der Demontagelinie eine Arbeitsstation, auf welcher die demontierten Teile von einer speziell eingeschulten Person den definierten Outputfraktionen zugeordnet werden.	3

Tab. 6-6: Differenzierung der Zielszenarien hinsichtlich Wertstofffraktionierung

Die Punktevergabe erfolgte nach demselben Schema wie bei der Bewertung hinsichtlich Schadstoffentfrachtung.

6.6.2 Differenzierung der einzelnen Szenarien hinsichtlich der Transplacementkriterien

Die Analyse der einzelnen Szenarien nach dem Kriterium „Differenzierung des Tätigkeitsspektrums hinsichtlich möglicher Entwicklungsmöglichkeiten am Arbeitsplatz“ brachte folgende Ergebnisse (Tab. 6-7). Erklärungen zu den gewählten Transplacementkriterien finden sich in Kapitel 6.3.

Szenario	Differenzierung der Demontage-Arbeitsplätze hinsichtlich unterschiedlicher Tätigkeitsfelder	Anzahl an unterschiedlichen Tätigkeitsfeldern	Differenzierung hinsichtlich Entwicklungsmöglichkeiten	
			Differenzierungsgrad	Punkte
1a-d	<ul style="list-style-type: none"> • Demontagearbeitsplätze • Vorselektionsplatz 	2	1 1	2
1e	<ul style="list-style-type: none"> • Demontagearbeitsplätze • Vorselektionsplatz • WSF-Arbeitsplätze 	3	1 1 1	3
2a	<ul style="list-style-type: none"> • Demontagearbeitsplätze <ul style="list-style-type: none"> - Gerätegruppe 1 - Gerätegruppe 2 • Vorselektionsplatz 	3	1 0,5 1	2,5
2b	<ul style="list-style-type: none"> • Demontagearbeitsplätze <ul style="list-style-type: none"> - Gerätegruppe 1 - Gerätegruppe 2 - Gerätegruppe 3 - Gerätegruppe 4 • Vorselektionsplatz 	5	1 0,5 0,5 0,5 1	3,5
3a-1	<ul style="list-style-type: none"> • Demontagearbeitsplätze • Vorselektionsplatz • SSE-Arbeitsplätze 	3	1 1 1	3
3a-2	<ul style="list-style-type: none"> • Demontagearbeitsplätze • Vorselektionsplatz • SSE-Arbeitsplätze • WSF-Arbeitsplätze 	4	1 1 1 1	4
3b-1	<ul style="list-style-type: none"> • Demontagearbeitsplätze <ul style="list-style-type: none"> - Gerätegruppe 1 - Gerätegruppe 2 • Vorselektionsplatz • SSE-Arbeitsplätze 	4	1 0,5 1 1	3,5
3b-2	<ul style="list-style-type: none"> • Demontagearbeitsplätze <ul style="list-style-type: none"> - Gerätegruppe 1 - Gerätegruppe 2 • Vorselektionsplatz • SSE-Arbeitsplätze • WSF-Arbeitsplätze 	5	1 0,5 1 1 1	4,5
3a-3	<ul style="list-style-type: none"> • Demontagearbeitsplätze • Vorselektionsplatz • SSE-Arbeitsplätze 	3	1 1 1	3

Tab. 6-7: Auswertung der Szenarien hinsichtlich Tätigkeitsspektrum

Bei diesem Kriterium wurden die Punkte in Abhängigkeit zu den unterschiedlichen Tätigkeitsfeldern vergeben, wobei pro Tätigkeitsfeld 1 Punkt vergeben wurde. Wenn sich ein bestimmtes Tätigkeitsfeld nur teilweise von einem anderen Tätigkeitsfeld unterschied, wurde dafür ein ½ Punkt vergeben.

In Bezug auf das Kriterium „Flexibilität/Zugriff auf die TAK für sozialpädagogische Betreuung“ wurden die Szenarien über folgende, in Tab. 6-8 gelistete Punktevergabe differenziert. Eine hohe Punkteanzahl bedeutet, dass das Abziehen bzw. Ausfallen einzelner Personen den gesamten Demontagebetrieb nicht bzw. kaum beeinträchtigt; bei den Szenarien mit der niedrigsten Punkteanzahl ist dieses Gefahrenpotential am höchsten.

Szenario	Differenzierung der Demontagearbeitsplätze hinsichtlich unterschiedlicher Tätigkeitsfelder	Auswertung hinsichtlich der Möglichkeit, dass die Personalentwicklung flexibel MitarbeiterInnen für die Betreuung von der Demontage abziehen kann	
		Erläuterung	Punkte
1a-d	<ul style="list-style-type: none"> • Demontagearbeitsplätze • Vorselektionsplatz 	Wenn einzelne Personen abgezogen werden, hat dies kaum negative Auswirkungen auf die Arbeitsabläufe, da alle Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen dieselben Tätigkeiten durchführen.	4
1e	<ul style="list-style-type: none"> • Demontagearbeitsplätze • Vorselektionsplatz • WSF-Arbeitsplätze 	Wenn einzelne Personen in der Demontagelinie ausfallen, hat dies einen geringen Einfluss auf die Demontageabläufe. Wenn jedoch die für die Wertstoffsartierung verantwortlichen Mitarbeiter ausfallen, kann dies einen hohen Einfluss haben, falls nur wenige dafür qualifizierte Mitarbeiter vorhanden sind.	2,5
2a	<ul style="list-style-type: none"> • Demontagearbeitsplätze <ul style="list-style-type: none"> - Gerätegruppe 1 - Gerätegruppe 2 • Vorselektionsplatz 	Wenn einzelne Personen abgezogen werden, hat dies grundsätzlich auch noch kaum negative Auswirkungen auf die Arbeitsabläufe, da in den einzelnen Gerätegruppen wieder alle dieselben Tätigkeiten durchführen. Da jedoch für die Demontage jeder Gerätegruppe nur ein Teil der Mitarbeiter verantwortlich ist, könnte es schneller zu Engpässen kommen als in den Basisszenarien 1a-d.	3
2b	<ul style="list-style-type: none"> • Demontagearbeitsplätze <ul style="list-style-type: none"> - Gerätegruppe 1 - Gerätegruppe 2 - Gerätegruppe 3 - Gerätegruppe 4 • Vorselektionsplatz 	wie 2a	3
3a-1	<ul style="list-style-type: none"> • Demontagearbeitsplätze • Vorselektionsplatz • SSE-Arbeitsplätze 	Wenn einzelne Personen in der Demontagelinie ausfallen, hat dies einen geringen Einfluss auf die Demontageabläufe. Wenn jedoch die für die SSE verantwortlichen Mitarbeiter ausfallen, kann dies einen hohen Einfluss haben, falls nur wenige dafür qualifizierte Mitarbeiter vorhanden sind.	2,5
3a-2	<ul style="list-style-type: none"> • Demontagearbeitsplätze • Vorselektionsplatz • SSE-Arbeitsplätze • WSF-Arbeitsplätze 	wie 3a-1, jedoch kann es sowohl in der SSE als auch bei der Wertstoffsartierung zu Engpässen kommen	2
3b-1	<ul style="list-style-type: none"> • Demontagearbeitsplätze <ul style="list-style-type: none"> - Gerätegruppe 1 - Gerätegruppe 2 • Vorselektionsplatz • SSE-Arbeitsplätze 	Wenn einzelne Personen in der Demontagelinie ausfallen, hat dies einen geringen Einfluss auf die Demontageabläufe. Wenn jedoch die für die SSE verantwortlichen Mitarbeiter ausfallen, kann dies einen hohen Einfluss haben. Wenn die Mitarbeiter, welche die Geräte der Gerätegruppe 2 demontieren ausfallen, kann dies ebenfalls, wenn auch geringeren Einfluss haben.	2
3b-2	<ul style="list-style-type: none"> • Demontagearbeitsplätze <ul style="list-style-type: none"> - Gerätegruppe 1 - Gerätegruppe 2 • Vorselektionsplatz • SSE-Arbeitsplätze • WSF-Arbeitsplätze 	Dieses Szenario weist den höchsten Differenzierungs- bzw. Spezialisierungsgrad der einzelnen Arbeitsplätze auf; daher ist das Gefahrenpotential, dass durch das Fehlen einzelner Mitarbeiter die Demontageabläufe beeinträchtigt werden, am höchsten.	1
3a-3	<ul style="list-style-type: none"> • Demontagearbeitsplätze • Vorselektionsplatz • SSE-Arbeitsplätze 	wie 3a-1	2,5

Tab. 6-8: Auswertung der Szenarien hinsichtlich der Möglichkeit, Mitarbeiter flexibel für die sozialpädagogische Betreuung abziehen zu können

Die Auswertung hinsichtlich des 3. Transplacementkriteriums - der Arbeitsplatzsicherheit - ergab nachstehendes, in Tab. 6-9 dargestelltes Ergebnis, wobei wiederum eine hohe Punkteanzahl eine im Vergleich zu den anderen Szenarien, hohe Arbeitsplatzsicherheit bedeutet; Szenarien mit einer niedrigeren Punkteanzahl beinhalten ein höheres, die Arbeitsplatzsicherheit beeinträchtigendes, Gefahrenpotential.

Sze- nario	Differenzierung der Demontage- arbeitsplätze hinsichtlich unterschiedlicher Tätigkeitsfelder	Einfluss auf die Arbeitsplatzsicherheit	
		Gefahrenpotentiale für die Arbeitssicherheit	Punkte
1a-d	<ul style="list-style-type: none"> • Demontagearbeitsplätze • Vorselektionsplatz 	<ul style="list-style-type: none"> - Jeder Mitarbeiter muss von Beginn an alle Arbeitsschritte machen und alle Gerätegruppen demontieren - Es stehen viele Gitterboxen in der Halle verteilt. - eher unstrukturierte Logistik in der Demontagehalle 	1
1e	<ul style="list-style-type: none"> • Demontagearbeitsplätze • Vorselektionsplatz • WSF-Arbeitsplätze 	<ul style="list-style-type: none"> - Jeder Mitarbeiter muss von Beginn an alle Gerätegruppen demontieren - Es gibt jedoch eine besser strukturierte Logistik in der Halle durch das Förderband und den zentralen Fraktionsabtransport 	3
2a	<ul style="list-style-type: none"> • Demontagearbeitsplätze <ul style="list-style-type: none"> - Gerätegruppe 1 - Gerätegruppe 2 • Vorselektionsplatz 	<ul style="list-style-type: none"> - Die Mitarbeiter können sich auf eine von 2 Gerätegruppen konzentrieren. - Es sind noch immer viele Gitterboxen in der Halle verteilt, aber es gibt schon eine stärkere logistische Strukturierung 	2
2b	<ul style="list-style-type: none"> • Demontagearbeitsplätze <ul style="list-style-type: none"> - Gerätegruppe 1 - Gerätegruppe 2 - Gerätegruppe 3 - Gerätegruppe 4 • Vorselektionsplatz 	<ul style="list-style-type: none"> - Die Mitarbeiter können sich auf eine aus 4 Gerätegruppen konzentrieren. - Es sind noch immer viele Gitterboxen in der Halle verteilt, aber es gibt schon eine stärkere logistische Strukturierung 	3
3a-1	<ul style="list-style-type: none"> • Demontagearbeitsplätze • Vorselektionsplatz • SSE-Arbeitsplätze 	<ul style="list-style-type: none"> - Jeder Mitarbeiter muss von Beginn an alle Gerätegruppen demontieren. - Es stehen Gitterboxen hinter jedem Arbeitsplatz, was ein gewisses Gefahrenpotential birgt. - Die SSE konzentriert sich auf 2 Arbeitsplätze. 	3
3a-2	<ul style="list-style-type: none"> • Demontagearbeitsplätze • Vorselektionsplatz • SSE-Arbeitsplätze • WSF-Arbeitsplätze 	<ul style="list-style-type: none"> - Jeder Mitarbeiter demontiert zwar alle Gerätegruppen, aber es gibt eine separate SSE sowie einen zentralen Zu- und Abtransport. 	4
3b-1	<ul style="list-style-type: none"> • Demontagearbeitsplätze <ul style="list-style-type: none"> - Gerätegruppe 1 - Gerätegruppe 2 • Vorselektionsplatz • SSE-Arbeitsplätze 	<ul style="list-style-type: none"> - wie 3a-1 	3
3b-2	<ul style="list-style-type: none"> • Demontagearbeitsplätze <ul style="list-style-type: none"> - Gerätegruppe 1 - Gerätegruppe 2 • Vorselektionsplatz • SSE-Arbeitsplätze • WSF-Arbeitsplätze 	<ul style="list-style-type: none"> - wie 3a-2 	4
3a-3	<ul style="list-style-type: none"> • Demontagearbeitsplätze • Vorselektionsplatz • SSE-Arbeitsplätze 	<ul style="list-style-type: none"> - wie 3a-1 	3

Tab. 6-9: Auswertung der Szenarien hinsichtlich Arbeitsplatzsicherheit

6.6.3 Vergleich und Reihung der Szenarien hinsichtlich der Qualitäts- und Transplacementkriterien

Der Vergleich der Szenarien (Abb. 6-25) hinsichtlich der Qualitätskriterien zeigt, dass die vier Szenarien, bei denen eine zentrale Wertstoffsortierung durchgeführt wird, auch hinsichtlich der Schadstoffentfrachtung am besten abschneiden. Hingegen finden sich 2 Szenarien darunter, bei denen eigene Arbeitsplätze zur Schadstoffentfrachtung vorgesehen sind und welche bezüglich dieses Qualitätskriteriums vergleichsweise gut bewertet werden, hinsichtlich des Qualitätskriteriums „Wertstofffraktionierung“ jedoch genauso schlecht abschneiden wie die Basisszenarien. Die beiden Szenarien, in denen der

Input in mehrere Gerätegruppen selektiert wird, um auf separaten Arbeitsplätzen demontiert zu werden, liegen bezüglich beider Qualitätskriterien im Mittelfeld.

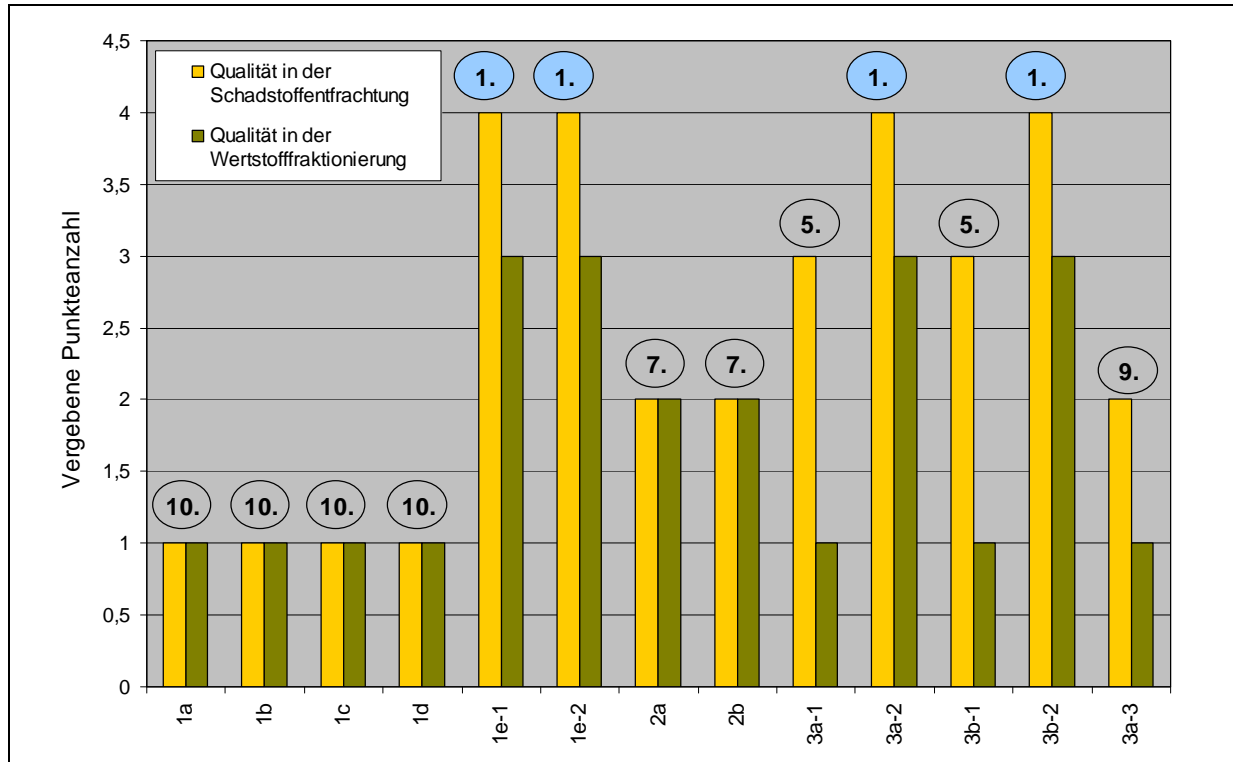


Abb. 6-25: Vergleich der Szenarien hinsichtlich der Qualitätskriterien²

Die Bewertung der Szenarien hinsichtlich der beiden Qualitätskriterien inklusive Gewichtung ist in Tab. 6-10 dargestellt. Mit dem Argument, dass Schadstoffe, welche möglicherweise übersehen und nicht ausgebaut werden, ungleich höhere ökologische Folgen bedeuten würden als falsch zugeordnete Metallfraktionen, wurde das Kriterium „Schadstoffentfrachtung“ in der Auswertung doppelt so hoch bewertet als das Qualitätskriterium „Wertstofffraktionierung“.

Bewertung der Szenarien hinsichtlich der Qualitätskriterien									
Szenario	Wertung ohne Gewichtung			Gewichtung			Wertung mit Gewichtung		
	Schadstoff-entfrachtung	Wertstoff-Fraktionierung	Summe	Schadstoff-entfrachtung	Wertstoff-Fraktionierung		Schadstoff-entfrachtung	Wertstoff-Fraktionierung	Summe
1a	1	1	2	67%	33%		0,7	0,3	1,0
1b	1	1	2	67%	33%		0,7	0,3	1,0
1c	1	1	2	67%	33%		0,7	0,3	1,0
1d	1	1	2	67%	33%		0,7	0,3	1,0
1e-1	4	3	7	67%	33%		2,7	1,0	3,7
1e-2	4	3	7	67%	33%		2,7	1,0	3,7
2a	2	2	4	67%	33%		1,3	0,7	2,0
2b	2	2	4	67%	33%		1,3	0,7	2,0
3a-1	3	1	4	67%	33%		2,0	0,3	2,3
3a-2	4	3	7	67%	33%		2,7	1,0	3,7
3b-1	3	1	4	67%	33%		2,0	0,3	2,3
3b-2	4	3	7	67%	33%		2,7	1,0	3,7
3a-3	2	1	3	67%	33%		1,3	0,3	1,7

Tab. 6-10: Bewertung der Szenarien hinsichtlich der Qualitätskriterien

Wie zu erwarten war, schneiden die Szenarien, in denen eine zentrale Wertstofffraktionierung am Ende der Demontagelinie vorgesehen ist, hinsichtlich der Qualitätsbewertung besser ab.

² Die Rangplätze wurden zur Veranschaulichung dazu vermerkt, wobei bei mehreren gleich platzierten Szenarien die nachfolgenden Rangnummern entsprechend nicht vergeben wurden.

Ein Vergleich der Szenarien hinsichtlich der Transplacementkriterien (Abb. 6-26) ergibt ein differenzierteres Bild. Szenarien, welche den Mitarbeitern Spezialisierungen in den Demontagetätigkeiten und damit Qualifizierungsmöglichkeiten bieten, sind anfälliger für eine Beeinflussung der Demontageabläufe, wenn einzelne Mitarbeiter kurzfristig von der Demontage abgezogen werden, um von der Personalentwicklung betreut zu werden bzw. aufgrund von Krankenständen fehlen.

Es zeigt sich jedoch in den meisten Szenarien eine gewisse Korrelation zwischen den Kriterien „Qualifizierungs- und Entwicklungsmöglichkeiten“ und „Arbeitsplatzsicherheit“. So schneiden die Szenarien 3a-2 bis 3b-2 bezüglich beider Kriterien vergleichsweise hoch ab; die Basisszenarien 1a-d sowie das Szenario 2a liegen bezüglich beider Kriterien am unteren Ende der Bewertungsskala.

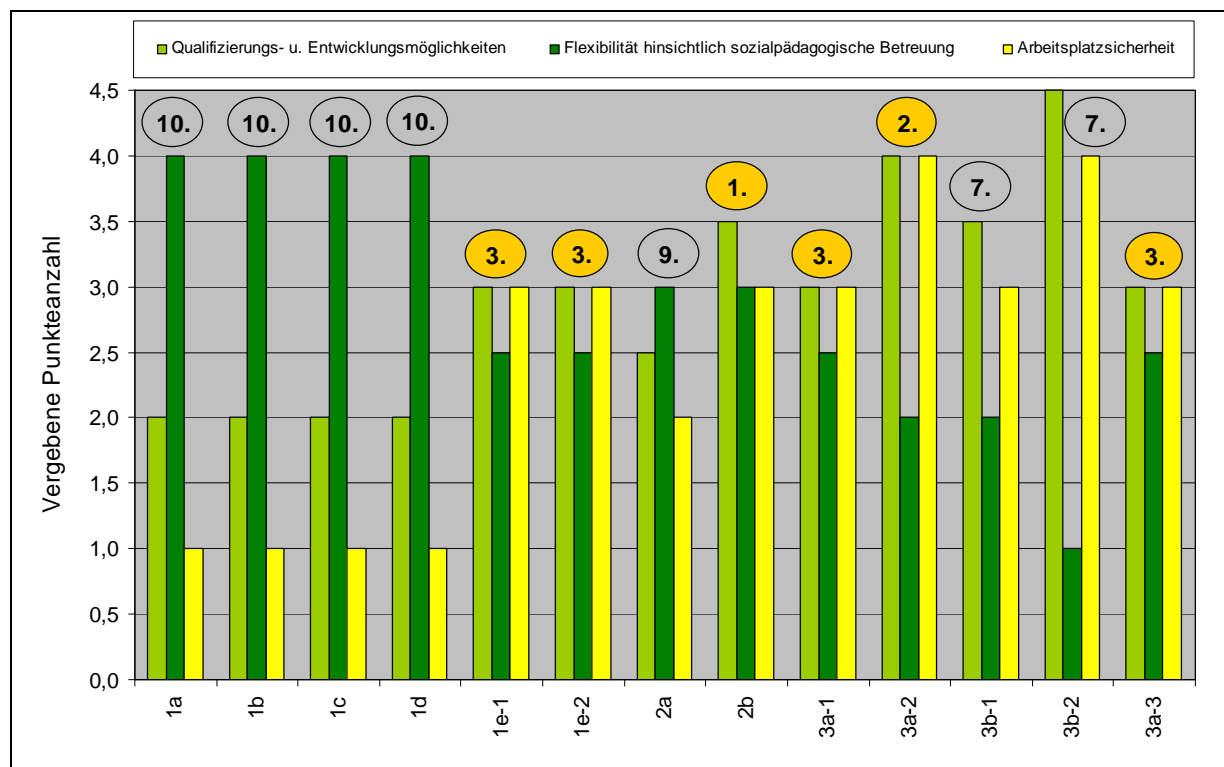


Abb. 6-26: Vergleich der Szenarien hinsichtlich der Transplacementkriterien³

Die Reihung der Szenarien hinsichtlich der Transplacementkriterien erfolgte über Durchschnittsbildung aller 3 Transplacementkriterien unter Zuhilfenahme des graphischen Eindrucks der Gesamtpformance entsprechend Abb. 6-26. Szenarien, welche zwar hinsichtlich zweier Kriterien besonders gut abschnitten, welche hinsichtlich des 3. Transplacementkriteriums aber besonders schlecht bewertet wurden (wie z.B. das Szenario 3b-2), wurden hinter andere Szenarien gereiht, welche bezüglich aller 3 Kriterien eine ähnlich hohe Bewertung erzielten.

Es zeigt sich, dass das Szenario 2b aufgrund der gegenüber den anderen Szenarien ausgewogeneren Gesamtpformance am besten abschnitt. An 2. Stelle wurde das Szenario 3a-2 (Liniendemontage mit separater SSE und WSF) gereiht. Dieses Szenario bekam zwar sehr hohe Bewertungen bei den Qualifizierungsmöglichkeiten und der Arbeitsplatzsicherheit, wurde jedoch hinsichtlich der Möglichkeit der Abteilung „Personalentwicklung“, flexibel Mitarbeiter kurzfristig für Betreuungsgespräche von der Demontage abzuziehen, gegenüber anderer Szenarien deutlich schlechter bewertet. Noch eklatanter tritt dieses Missverhältnis in Szenario 3b-2 auf.

³ Die Rangplätze wurden zur Veranschaulichung dazu vermerkt, wobei bei mehreren gleich platzierten Szenarien die nachfolgenden Rangnummern entsprechend nicht vergeben wurden.

6.7 Gesamtreihung der Szenarien

Eine Verknüpfung der unter Kapitel 6.5.3 und Kapitel 6.6 durchgeführten Reihungen der Szenarien hinsichtlich der gewählten Bewertungskriterien ergibt nachstehendes Gesamtbild (Abb. 6-27). Diese Auswertung beinhaltet sowohl die Punktevergabe an die Szenarien gemäß der in Abb. 6-24, Abb. 6-25 und Abb. 6-26 dargestellten Vorgehensweise als auch die Gewichtung der sich daraus ergebenden Punkteanzahl gemäß Tab. 6-2.

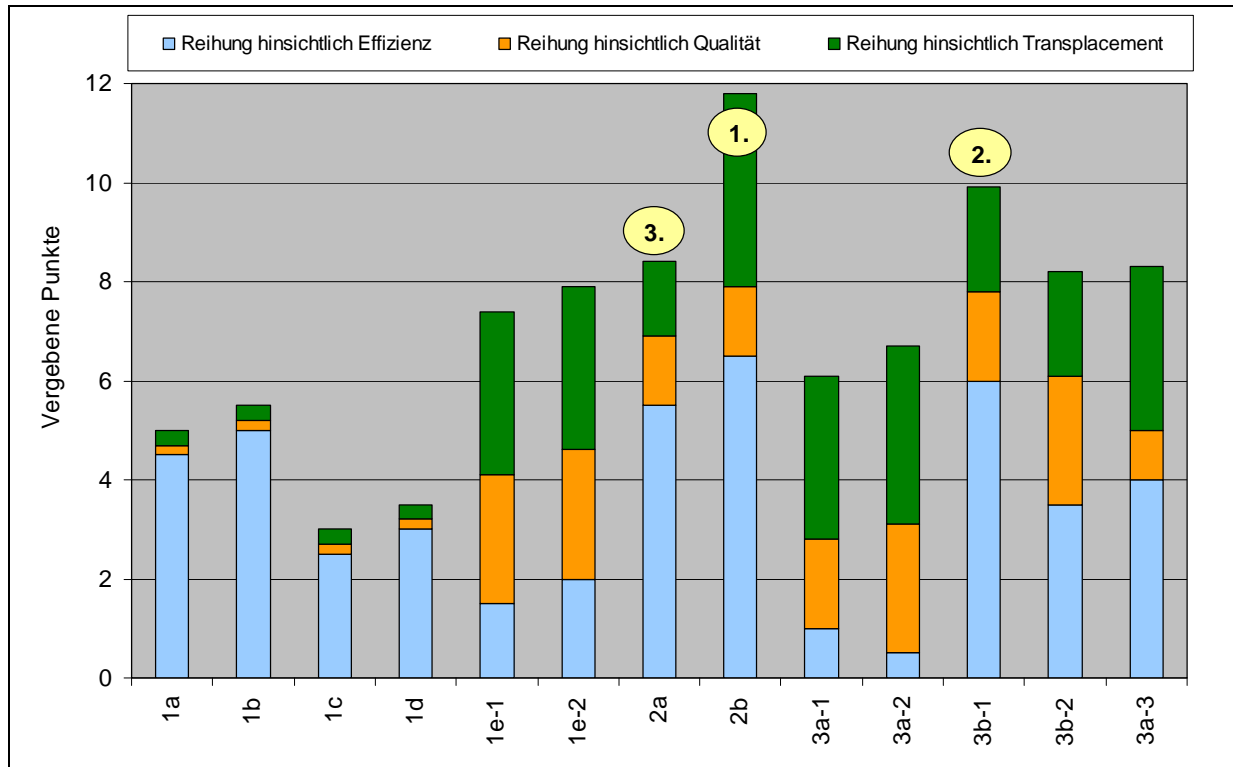


Abb. 6-27: Bewertung der Szenarien hinsichtlich aller Bewertungskriterien⁴

Gemäß dieser Gesamtauswertung wurde Szenario 2b vor den Szenarien 3b-1 und 2a am besten bewertet. Alle diese 3 Szenarien bringen eine Verbesserung der wirtschaftlichen Performance und des Gerätedurchsatzes gegenüber den Ausgangsszenarien. Das Siegerszenario liegt auch hinsichtlich der Transplacementbewertung im Spitzenfeld, das zweitplatzierte Szenario liegt hinsichtlich Betreuung und Transplacement im Mittelfeld.

Alle anderen Szenarien schneiden zwar hinsichtlich der Qualitäts- und Transplacementkriterien besser als die Ausgangsszenarien ab, bringen aber hinsichtlich Effizienz eine Verschlechterung.

Die Auswertung zeigt auch sehr deutlich, dass die Ausgangsszenarien hinsichtlich Qualität und Transplacement am schlechtesten abschneiden – trotz eines bislang schon sehr hohen Niveaus bei der Schadstoffentfrachtung und Reinheit der Outputfraktionen (siehe Auswertung in Kapitel 7.1).

⁴ Die Rangplätze wurden zur Veranschaulichung dazu vermerkt, wobei bei mehreren gleich platzierten Szenarien die nachfolgenden Rangnummern entsprechend nicht vergeben wurden.

7 Interpretation und Umsetzung der Projektergebnisse

7.1 Verbesserung der Demontageperformance durch Änderung des Gesamtlayouts und der Demontageabläufe

In der Effizienzbewertung schnitten die Szenarien, bei denen der Input in mehrere Gerätegruppen vorselektiert wird, eindeutig besser gegenüber Szenarien ab, bei denen der gesamte Geräteinput in einer Liniendemontage (in Form eines Förderbandes o.ä.) behandelt wurde. Den zu demontierenden Input in 4 Gerätegruppen zu sortieren, brachte dabei deutlich bessere Bewertungsergebnisse als der Ansatz, in 2 Gerätegruppen zu sortieren.

Die zweitbeste Gesamtbewertung bekam jedoch das Szenario, bei dem der zu demontierende Geräteinput zwar ebenfalls in 2 Gerätegruppen vorselektiert wird, jedoch die Geräte, welche Leiterplatten enthalten, in Form einer Liniendemontage zerlegt werden und die Leiterplatten auf separaten Arbeitsplätzen am Ende der Demontagelinie von schadstoffhaltigen Bauteilen entfrachtet werden.

In Abb. 7-1 sind das Ausgangsszenario sowie die drei Zielszenarien, welche hinsichtlich Effizienz, Qualität und der Betreuungskriterien am besten bewertet wurden, nochmals graphisch in einer Abbildung dargestellt.

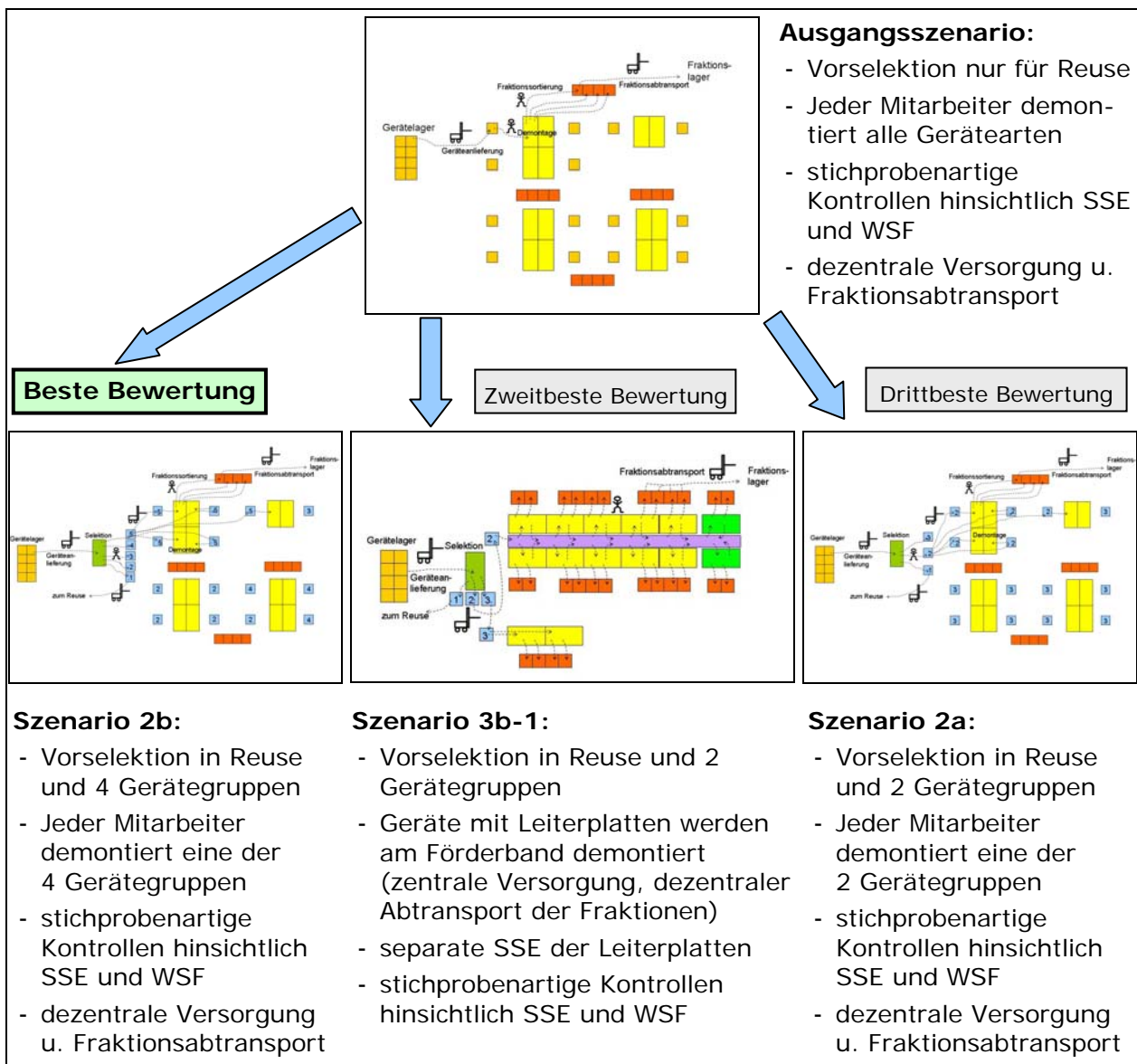


Abb. 7-1: Überblicksdarstellung der am besten bewerteten Szenarien

In der Interpretation der Simulations- und Bewertungsergebnisse muss berücksichtigt werden, dass der Arbeitsschritt der Geräteselektion auch schon in den Ausgangsszenarien Teil der betrieblichen Abläufe war. Im Gegensatz zu den Zielszenarien wurde dieser Arbeitsschritt jedoch nur dafür genutzt, um aus dem Input Geräte für die Wiederverwendung zu gewinnen. Im selben Arbeitsschritt den Geräteinput auch gleich in mehrere Gerätegruppen entsprechend ihrer Demontageeigenschaften aufzuteilen, ist eine wirksame Methode, um die nachfolgenden Arbeitsabläufe effizienter zu gestalten.

Die Demontagetätigkeiten können damit auch besser auf den Qualifizierungsgrad der einzelnen Mitarbeiter abgestimmt werden, was für einen sozialwirtschaftlichen Betrieb von besonderer Bedeutung ist. Nachdem die in der Demontage beschäftigten Mitarbeiter auf Basis eines befristeten Arbeitsverhältnisses arbeiten und die nachfolgende Vermittlung in den ersten Arbeitsmarkt integrativer Bestandteil des Betreuungskonzeptes ist, müssen durch die damit verbundene hohe Fluktuation immer wieder Mitarbeiter neu eingeschult bzw. schrittweise für schwieriger durchzuführende Demontagetätigkeiten ausgebildet werden.

Das Konzept, den Geräteinput in mehrere Gruppen aufzuteilen, bietet den Vorteil, dass neue Mitarbeiter in ihren ersten Monaten im D.R.Z mit der Demontage von einfach aufgebauten Gerätearten beginnen und sukzessive zu komplexer aufgebauten Gerätearten wechseln können, welche auch im Hinblick auf die Schadstoffentfrachtung eine gewisse Demontagepraxis erfordern.

In Bezug auf die Effizienz bringt diese Strukturierung der Arbeitsabläufe den Vorteil, dass die Mitarbeiter damit schneller und gezielter in der Demontage eingeschult werden können und sich damit die Zeit, die sie brauchen, um ihre optimale Leistungsfähigkeit zu erreichen, verkürzt bzw. sie weniger oft andere Mitarbeiter um Unterstützung bitten und diese in ihrer Arbeit unterbrechen müssen. Daraus ergeben sich einerseits steilere Lernkurven, andererseits resultiert durch die Eingrenzung des zu demontierenden Gerätespektrums ein weniger häufiger Werkzeugwechsel für jeden einzelnen Mitarbeiter. Diese Vorteile führten in der Simulation dazu, dass jene Zielszenarien mit einer Aufteilung des Geräteinputs in mehrere Gruppen, im Vergleich zur Ausgangssituation eine Verbesserung der wirtschaftlichen Performance hinsichtlich Gerätedurchsatz, Materialerlös pro Mitarbeiter und Demontagegesamtkosten erzielen konnten.

Insgesamt lässt sich aus den Simulationsergebnissen ableiten, dass durch die Änderung des Demontagelayouts und der operativen Abläufe der Gerätedurchsatz und die damit verbundene wirtschaftliche Performance um 10-20% verbessert werden kann.

Das beschriebene Zielszenario bietet den Mitarbeitern aber auch genug Herausforderungen und Anreiz, sich während ihres Transitarbeitsjahres von einfach strukturierten Demontagetätigkeiten hin zu anspruchsvolleren Tätigkeiten entwickeln zu können, was die sozialpädagogische Betreuung und die Karriereplanung unterstützt.

Auf der anderen Seite sind in diesem Demontagekonzept die Abläufe nicht zu stark strukturiert, was dem eigentlichen Auftrag eines sozialwirtschaftlichen Betriebes – der Vermittlung ehemals langzeitbeschäftigungsloser Personen – ebenfalls entgegen kommt. Bei einem sehr stark sequenzartigen Aufbau der Demontageabläufe bestünde in einem sozialwirtschaftlichen Betrieb wie dem D.R.Z immer wieder die Gefahr, dass bei einem Fehlen einzelner Mitarbeiter die gesamten Arbeitsabläufe beeinträchtigt würden. Besonders gravierend wäre dies, wenn in Zeiten höherer Krankheitsanfälligkeiten ein größerer Teil der Demontagebelegschaft über mehrere Tage ausfällt. Insbesondere während der Wintermonate kann es vorkommen, dass fallweise sogar nur die Hälfte der Mitarbeiter verfügbar ist. Die Demontageabläufe müssen daher robust konzipiert sein, um auch in solchen Fällen den Demontagebetrieb aufrechterhalten zu können.

Weiters lässt sich aus den Simulationsergebnissen ablesen, dass eine zentrale Sortierung der Wertstoffe und Zuordnung zu den definierten Fraktionen zu Lasten des Gerätedurchsatzes geht und in keinem Verhältnis zu damit möglicherweise höheren Wertstoffertlösen steht.

Im Rahmen des Projektes durchgeführte Untersuchungen ergaben Fehlwürfe von falsch zugeordneten Wertstoffen von ca. 0,03%, bezogen auf den Gesamtinput. Hinsichtlich der Schadstoffentfrachtung konnte festgestellt werden, dass nicht mehr als 0,4% Fehlwürfe – bezogen auf den Gesamtoutput an Schadstoffen aus der Abteilung - auftreten, indem potentiell schadstoffhaltige, auszubauende Bauteile bei der Demontage übersehen bzw. falsch zugeordnet werden.

Diese Daten werden im Rahmen eines Probetriebs, in dem die Projektergebnisse praktisch umgesetzt werden, weiter überprüft und verifiziert. Die bisherigen Erhebungen zeigen jedoch sehr deutlich, dass im D.R.Z bereits bisher eine Schadstoffentfrachtung auf einem sehr hohen Niveau durchgeführt wird und auch die Fehlwürfe in Bezug auf die Wertstofffraktionierung vergleichsweise gering sind.

Weiters ist zu erwarten, dass sich die Qualität der Demontagetätigkeit bei der Umsetzung des ausgewählten Zielszenarios weiter verbessern wird, indem die Mitarbeiter gezielter und vor allem über das Transplacementjahr verteilt auf die Demontage bestimmter Gerätearten eingeschult werden können.

Dennoch ist es notwendig, das festgestellte hohe Niveau bei der Schadstoffentfrachtung sowie bei der Wertstofffraktionierung abzusichern, indem die praktische Umsetzung der Simulationsergebnisse durch begleitende Maßnahmen der Qualitätssicherung unterstützt wird.

Neben der gezielten Gestaltung des Arbeitsplatzlayouts im Hinblick auf diese Aspekte (siehe Kapitel 7.2) könnte eine Möglichkeit darin bestehen, die angebotenen Schulungsmaßnahmen unter Berücksichtigung der Projektergebnisse weiterzuentwickeln.

7.2 Verbesserung des Arbeitsplatzlayouts

Da die meisten Personen, welche im Rahmen ihres Transitarbeitsjahres im D.R.Z in der Demontage eingesetzt werden, einen anderen beruflichen Hintergrund haben und in den Demontagetätigkeiten eingeschult werden müssen, spielt die übersichtliche Gestaltung der einzelnen Demontgearbeitsplätze eine besondere Rolle. Diese ist auch aus der Sicht der Arbeitsplatzsicherheit von Bedeutung.

Wie die Analyseergebnisse (Kapitel 6.1.1) gezeigt haben, sind im D.R.Z diese Aspekte in der Gestaltung der einzelnen Arbeitstische bisher bereits schon sehr gut berücksichtigt. Auf den Photos in Abb. 6-4 und Abb. 6-5 ist sehr gut erkennbar, dass bereits aktuell übersichtlich gestaltete Demontageanleitungen Bestandteil der Arbeitsplätze sind.

Dennoch wurde seitens des D.R.Z im Rahmen des Projektes an der weiteren Verbesserung des Arbeitsplatzlayouts gearbeitet. Abb. 7-2 gibt das Ergebnis der Planungsarbeiten wieder, welches im Zuge der Realisierung des am besten bewerteten Szenarios ebenfalls in die Praxis umgesetzt werden wird.

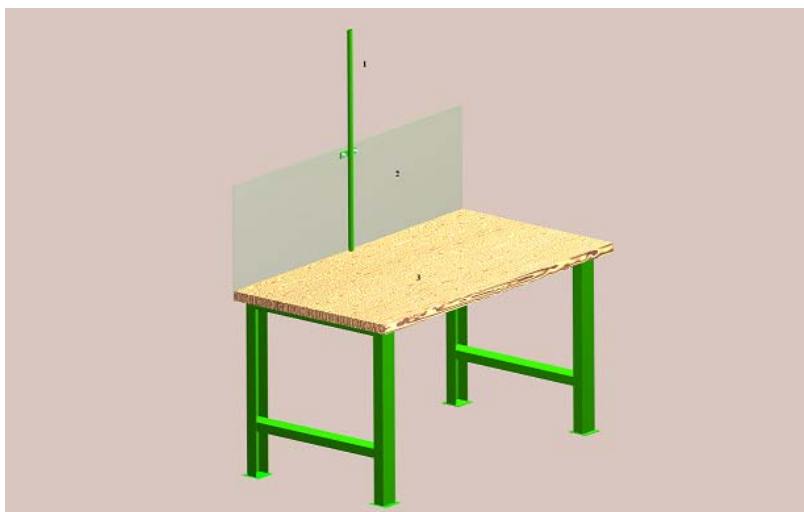


Abb. 7-2: Darstellung des modifizierten Demontgearbeitstisches

Folgende wesentliche Modifizierungen gegenüber der aktuellen Arbeitsplatzgestaltung wurden vorgenommen:

- Auf einem Baustahlrohr wird eine Tafel befestigt, auf der arbeitsplatzspezifische Informationen wie Sicherheitsblätter, ein Datenblatt gefährlicher Abfälle und eine Arbeitsanleitung zur Zerlegung ausgehängt sind (Ziffer 1 in Abb. 7-2)
- Eine Plexiglasabdeckung dient der Umgebungssicherheit (Splitterschutz), da die Arbeitsplätze hintereinander stehen (Ziffer 2 in Abb. 7-2).
- Die Arbeitsfläche besteht aus einer Arbeitsplatte, welche aus beschichtetem Holz besteht (Ziffer 3 in Abb. 7-2).

Das Untergestell wird aus den bisherigen Arbeitstischen übernommen.

8 Praktische Umsetzung

Als abschließendes Arbeitspaket im Rahmen des Projektes war vorgesehen, im Rahmen eines Probebetriebs ein bis zwei der Szenarien mit den besten Simulationsergebnissen in Form eines Probebetriebs zu testen und auf diese Weise die durch Simulation ermittelten Ergebnisse in der praktischen Umsetzung zu überprüfen und zu verifizieren.

Im Zuge des Projektabschlusses stellte es sich jedoch heraus, dass es für den Projektpartner D.R.Z – Demontage- und Recyclingzentrum am zielführendsten war, das Szenario mit dem besten Bewertungsergebnissen gleich in den Regelbetrieb überzuführen, was jedoch eine sorgfältigere Planung und größere Vorlaufzeit in Anspruch nahm, als es ein Testbetrieb benötigt hätte.

Es wurde daher entschieden, den Konzeptteil des Projektes mit Ende 2007 abzuschließen, die praktische Umsetzung im ersten Quartal 2008 durchzuführen und in Form eines Ergänzungsberichtes nachzureichen. Es gelang dem D.R.Z, die Vorarbeiten zur Umstellung des Demontage-Layouts sowie der Demontageabläufe bis Mitte Februar abzuschließen. Bis zu diesem Zeitpunkt erfolgte

- die Umstellung des Demontage-Layouts entsprechend Szenario 2b (siehe Abb. 8-1)
- die Einführung einer Vorselektion
- die Aufteilung der Demontearbeiter und –arbeiterinnen in Arbeitsgruppen
- die Berücksichtigung der Veränderungen in den logistischen Abläufen

8.1 Aufgabenstellung

Eine genaue Beschreibung der vorgenommenen Veränderungen findet sich unter 8.2.2 Nachfolgende Abb. Abb. 8-1 gibt nochmals einen schematischen Überblick über das Ausgangs-Szenario sowie das umgesetzte optimierte Szenario.

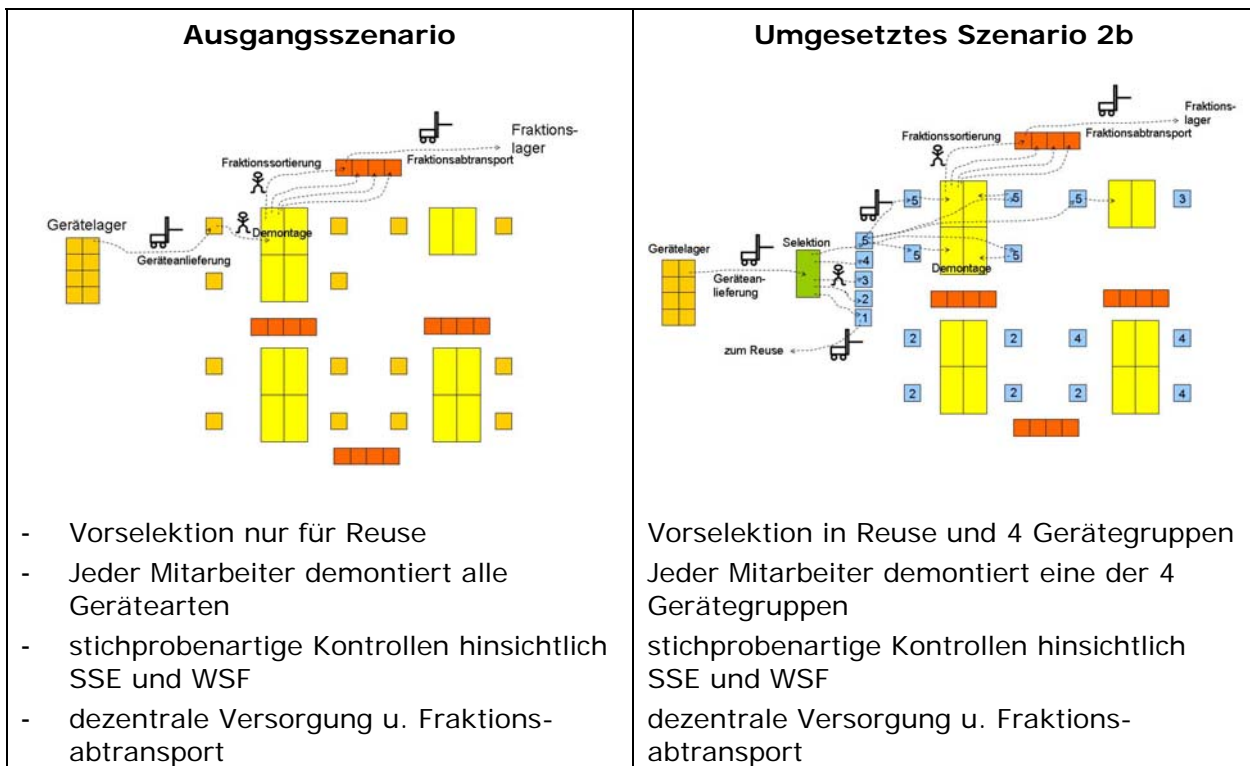


Abb. 8-1: Ausgangsszenario und in der praktischen Umsetzung getestetes Szenario

Die zu Beginn des Projektes definierten Beurteilungskriterien wurden im Zeitraum von jeweils einem Monat

- vor der Umstellung im November 2007 als auch
- nach der Umstellung von Mitte Februar bis Mitte März

im Regelbetrieb gemessen und mit den mittels Simulation rechnerisch ermittelten Werten und Verbesserungspotentialen verglichen. Eine Übersicht der herangezogenen Beurteilungskriterien findet sich in Tab. 8-1.

Betrachtungsebene	Herangezogene Beurteilungskriterien
Effizienz	- Durchsatzmenge pro Demontearbeiter
Qualität	- Qualität der Schadstoffentfrachtung - Qualität in der Wertstofffraktionierung
Betreuungsqualität und Transplacement	- Differenzierungsgrad an unterschiedlichen Demontagetätigkeiten/Aufstiegsmöglichkeiten - Flexibilität hinsichtlich der Möglichkeit, einzelne Arbeiter für die Betreuung abzuziehen - Arbeitsplatzsicherheit

Tab. 8-1: Kriterien zur Bewertung der Szenarien

8.2 Beschreibung von Layout und Optimierungsmaßnahmen

8.2.1 Ausgangssituation

Layout und Arbeitsabläufe in der Abteilung „Demontage Kleingeräte“ des D.R.Z waren folgendermaßen charakterisiert:

- Es gibt keine Differenzierung der Demontagetätigkeiten: jeder Arbeiter/ jede Arbeiterin zerlegt alle Gerätearten.
- Aus dem Input werden Geräte herausgefischt, welche für die Wiederverwendung geeignet scheinen.
- Für die ausgebauten schadstoffhaltigen Bauteile hat jeder Arbeiter/ jede Arbeiterin auf dem Tisch je eine Box für Kondensatoren, Batterien, LCDs, etc. Sobald die Boxen voll sind, werden sie von den Arbeitern und Arbeiterinnen selber in die entsprechenden Tonnen auf einer Sammelinsel in der Demontagehalle entleert.
- Jede Arbeiter/ jede Arbeiterin erhält bei Aufnahme der Beschäftigung einen Werkzeugkoffer mit allen Werkzeugen, welche zur Demontage aller Geräte notwendig sind, eine Schulung über gefährliche Abfälle sowie Demontageanleitungen zur Demontage der gängigsten Gerätearten
- Die praktische Einschulung erfolgt durch den Abteilungsleiter.
- Eine Kontrolle der Demontagefraktionen hinsichtlich Fehlwürfe und nicht ausgebauter Schadstoffe erfolgt stichprobenartig durch die Abfallrechtliche Geschäftsführerin und den Abteilungsleiter.
- Die Demontagearbeitsplätze sind so angeordnet, dass jeweils 2 Tische eine Gruppe bilden; bei jeder dieser Gruppen stehen je eine Gitterbox mit zu demontierenden Geräten sowie je eine Fraktionsbox für Kunststoffe und Eisenschrott.

- Zur Fraktionierung der anderen Wertstofffraktionen gibt es in der Demontagehalle 2 Sammelinseln, wo Kabel, Mischschrott, Aluminium, Leiterplatten, etc. eingeworfen werden können. Jeder Demontearbeiter/ jede Arbeiterin trägt in regelmäßigen Abständen die ausgebauten Fraktionen zu diesen Sammelinseln und wirft sie in die entsprechende Fraktionsbox.

Einen Eindruck über das Ursprungsszenario gibt Abb. 8-2.



Abb. 8-2: Ausgangsdemontagelayout des D.R.Z (Basisszenario)

8.2.2 Vorgenommene Veränderungen

Im Rahmen der Umstellung des Demontagelayouts sowie der Abläufe wurden folgende Veränderungen vorgenommen:

- Einführung eines Vorselektionsplatzes, wo der gesamte Input an Kleingeräten in 5 Gerätegruppen aufgeteilt und wieder verwendbare Geräte selektiert werden, wobei pro Gerätegruppe Gerätearten mit ähnlichen Demontageeigenschaften zusammengefasst sind,
- Anordnung der Demontagearbeitsplätze zu Arbeitsgruppen entsprechend der definierten Gerätegruppen (siehe Tab. 8-2); jeder Mitarbeiter/ jede Mitarbeiterin demontiert nur mehr Geräte jeweils einer Gerätegruppe,
- Anpassung der Schulung, der Werkzeugausstattung am Arbeitsplatz sowie der Demontageanleitungen an das geänderte Layout und übersichtlichere Gestaltung der Anleitungen,
- Anordnung einer Sammelinsel für alle pro Gerätegruppen anfallenden Fraktionen im Umkreis jeder Arbeitsgruppe,
- Einführung einer Wertstoffkontrolle für wenige kritische Fraktionen (Erläuterung siehe Kapitel 8.3.3),
- Anpassung der internen Logistik: Der Gabelstapler transportiert die Inputgeräte überwiegend nur mehr zum Halleneingang und transportiert auch die Fraktionen erst von dort weg; die interne Logistik in der Halle erfolgt zum überwiegenden Teil durch Handhubwägen.

Die Demontearbeiter sowie deren Arbeitsplätze wurden in folgende Arbeitsgruppen unterteilt (Tab. 8-2).

	Anzahl der Arbeitsplätze	Demontierte Gerätearten
Arbeitsgruppe 1	30%	- PCs
	5%	- Staubsauger
Arbeitsgruppe 2	15%	- Kopierer und Drucker
Arbeitsgruppe 3	15%	- Geräte der Unterhaltungselektronik
Arbeitsgruppe 4	35%	- restliche Gerätearten (Haushaltskleingeräte, sonstige IT-Geräte wie Tastaturen, Werkzeuge, etc.)

Tab. 8-2: Aufteilung der Demontearbeitsplätze nach Gerätegruppen

8.2.3 Beschreibung des veränderten Layouts

Die in 8.2.2 beschriebene Geräteselektierung/ Aufteilung in 5 Gerätegruppen ist in Abb. 8-3 abgebildet, Abb. 8-4 zeigt den Input vor und nach der Selektion.



Abb. 8-3: Aufteilung des Kleingeräte-Inputs in Gerätegruppen



Abb. 8-4: Aufteilung des Kleingeräte-Inputs in Gerätegruppen

Die Abbildungen auf der folgenden Seite zeigen einzelne Gerätegruppen nach der Sortierung (Abb. 8-5) sowie die einzelnen Arbeitsgruppen bei der Demontage (Abb. 8-6 und Abb. 8-7).

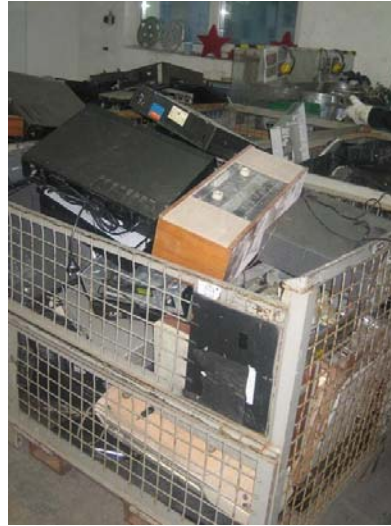


Abb. 8-5: Geräteinput nach der Aufteilung: Kopierer/Drucker, Unterhaltungselektronik, Staubsauger



Abb. 8-6: MitarbeiterInnen der Arbeitsgruppe „Demontage von PCs“



Abb. 8-7: Arbeitsgruppen Unterhaltungselektronik, Kopierer/Drucker, Staubsauger

8.3 Ergebnisse aus dem Testbetrieb

Ein paar Monate vor sowie unmittelbar nach Abschluss des einmonatigen Testbetriebs erfolgte eine Messung der in Kapitel 8.1 dargestellten Beurteilungskriterien, welche in den nachfolgenden Punkten 8.3.1 bis 8.3.4 ausgewertet sind.

8.3.1 Allgemeine Verbesserungen

Am deutlichsten spürbar waren die Verbesserungen im Bereich der internen Logistik. In Interviews, in denen die durch die Umstellung hervorgerufenen Veränderungen analysiert wurden, strichen sowohl der Abteilungsleiter als auch die in der Abteilung beschäftigten Arbeiter und Arbeiterinnen folgende Punkte als Verbesserung hervor:

- mehr freie Gitterboxen
- weniger Platzbedarf für das Eingangslager
- einfachere interne Logistik

Am augenscheinlichsten fiel den Beteiligten auf, dass nach der Umstellung ein höherer Anteil an leeren Gitterboxen zur Verfügung steht. Indem

- bei der Vorselektion bereits Kabel abgezwickelt, nicht weiter demontierbare Bauteile bzw. nicht zu demontierende Geräte gleich in die entsprechende Fraktionsbox am Eingang der Demontagehalle gegeben werden und
- die zu demontierenden Geräte im Zuge der Selektion auch besser geschichtet werden können,

verringert sich das Volumen des Inputs nach der Selektion um beinahe 40%. Der Platzbedarf für das Eingangslager, in dem die Geräte gestapelt werden, welche nicht am selben Tag des Inputs demontiert werden können, verringert sich dementsprechend.

Ein deutlich geringerer Bedarf an Gitterboxen ergab sich auch durch die Bildung von Arbeitsgruppen entsprechend der Gerätegruppen. Dadurch müssen bei jeder Sammelinsel nicht mehr sämtliche Fraktionsboxen vorhanden sein, sondern nur die Fraktionen, welche bei der Demontage der entsprechenden Gerätegruppe wirklich anfallen. So werden Fraktionsboxen für Laufwerke und Leiterplatten der Qualität 1 nur mehr bei der Sammelinsel der Arbeitsgruppe „Demontage von PCs“ benötigt. Eine Fraktionsbox für Motoren wird bei dieser Sammelinsel nicht benötigt.

Dadurch ergeben sich kompaktere Sammelinseln mit weniger Gitterboxen, wodurch insgesamt mehr Platz in der Demontagehalle geschaffen werden konnte. Dies hatte folgende positiven Auswirkungen auf die interne Logistik.

- Indem es nun Sammelinseln für die ausgebauten Fraktionen pro Arbeitsgruppe gibt, konnten die Wege für die einzelnen Arbeiter und Arbeiterinnen verkürzt werden.
- Durch die Vorselektion und die bessere Ausnützung des vorhandenen Platzes konnte die interne Logistik besser strukturiert werden.

Dies wirkte sich positiv auf den Demontagedurchsatz aus und erhöhte insgesamt die Arbeitssicherheit, da der Gabelstapler nicht direkt in die Halle fahren musste, sondern den Input vor dem Vorselektionsplatz abladen konnte und von dort auch die Fraktionsboxen aufnahm. Vor der Umstellung musste der Stapler öfters auch in die Halle fahren, um Gitterboxen mit zu demontierenden Geräten übereinander zu stapeln. Im neuen Demontagelayout kann die Logistik in der Halle zur Gänze mit Handhubwagen durchgeführt werden.

Weiters wurde positiv bemerkt, dass sich als Folge davon die Arbeitssicherheit verbessert hat.

8.3.2 Erhöhung der Demontageleistung und bessere Flexibilität

8.3.2.1 Höherer Durchsatz

Die Verbesserung der wirtschaftlichen Performance durch die Umstellung des Layouts wurde anhand der mitarbeiterspezifischen Durchsatzleistungen überprüft. Der Vergleich des monatlichen Fraktionsoutputs von November 2007 (vor der Umstellung) mit den entsprechenden Werten aus Mitte Februar bis Mitte März 2008 (nach der Umstellung) ergab, dass durch die vorgenommenen Veränderungen die Demontageleistung pro Mitarbeiter um 25-30% erhöht werden konnte. Die im Zuge der Simulation berechneten Werte ergaben beim umgesetzten Szenario ein Potential zur Erhöhung der Demontageleistung von 10-20%. Die Gegenüberstellung der Demontageleistung vor und nach der Umstellung ist in Tab. 8-3 dargestellt.

Zeitraum	Fraktions-Output [kg/mon]	Arbeitstage [d]	durchschnittlicher Durchsatz [kg/d]	Demontage-Mitarbeiter [n]	Demontage-Leistung pro Mitarbeiter [kg/Mitarbeiter.d]
November 2007	44.552	21	2.122	17	125
Februar-März 2008	52.781	22	2.399	15	160
Durchsatzsteigerung	18,5%		13,1%		28,2%

Tab. 8-3: Vergleich der Durchsatzleistungen vor/nach der Umstellung

Die Erhöhung der Demontageleistungen kann im Wesentlichen auf folgende Umstände zurückgeführt werden:

- Ein nicht unwesentlicher Teil an Geräten und Geräteteilen kann schon im Zuge der Vorselektion einer Fraktionsbox zugeordnet werden.
- Durch die Aufteilung in Arbeitsgruppen kann sich jeder Mitarbeiter/ jede Mitarbeiterin auf die Demontage einer Gerätegruppe konzentrieren. Werkzeuge müssen weniger gewechselt werden, die Einschulung ist einfacher und schneller (steilere Lernkurve)
- Die Zuordnung der ausgebauten Teile zu den Fraktionsboxen kann schneller durchgeführt werden, da die Wege zur Sammelinsel kürzer geworden sind.
- Die Gitterboxen mit den zu demontierenden Geräten, welche zu den Arbeitsplätzen gestellt werden, enthalten mehr Geräte als vorher, da bei der Vorselektion die Geräte besser geschichtet werden und damit das Gitterboxenvolumen optimaler ausgenutzt wird.

8.3.2.2 Anpassung der Demontagetiefe an Mitarbeiterzahl und Wertstoffpreise

Die Aufteilung der Demontearbeiter und –arbeiterinnen in Arbeitsgruppen entsprechend der 5 definierten Gerätegruppen ermöglicht auch eine bessere Anpassung an die Demontagetiefe in Abhängigkeit der Personalverfügbarkeit sowie zeitlich schwankender Wertstoffpreise.

Im D.R.Z als sozialwirtschaftlichem Betrieb können die aktuell für die Demontage verfügbaren Arbeiter und Arbeiterinnen von Woche zu Woche aufgrund von Krankenständen bzw. Inanspruchnahme von Praktikas oder sozialpädagogischer Betreuung stark schwanken. Weiters macht es bei gestiegenen Kupferpreisen Sinn, auch aus der Mischschrottfraktion bzw. aus der Motorenfraktion bei einer entsprechend hohen Anzahl von verfügbaren Mitarbeitern noch reine Kupferteile auszubauen.

Das veränderte Demontagelayout sowie die Aufteilung des Inputs in Gerätegruppen erleichtert es, schneller auf geänderte Rahmenbedingungen zu reagieren und wie in der beschriebenen Weise zu reagieren.

8.3.3 Sichern der Demontagequalität auf hohem Niveau

8.3.3.1 Durchführung der Überprüfung

Die Qualität der Demontageleistungen wurde über eine stichprobenartige Untersuchung der relevanten Outputfraktionen hinsichtlich falsch zugeordneter Metallfraktionen sowie nicht ausgebauter schadstoffhaltiger Bauteile überprüft.

Die Überprüfung erfolgte

- im November 2007 vor der Umstellung von Demontagelayout und Abläufe
- im Februar/März 2008 nach der Umstellung

Es wurden dabei nur die Outputfraktionen untersucht, bei denen Fehlwürfe möglich waren. Fraktionen wie Laufwerke, Motore oder Kabel, bei denen eine falsche Zuordnung aufgrund der klaren visuellen Zuordnung als äußerst unwahrscheinlich schien, wurden nicht untersucht. Es wurde eine Stichprobe von jeweils 3-5 Gitterboxen untersucht, was einem Anteil von ca. 5% des monatlichen Outputs der jeweiligen Fraktion entsprach.

8.3.3.2 Fehlwürfe an Wertstoffen

Die Auswertungen der Überprüfung hinsichtlich Wertstoff-Fehlwürfen sind in der nachfolgenden Tab. 8-4 dargestellt.

	Fehlwürfe Wertstoffe		Spezifikation der Wertstoff-Fehlwürfe
	Nov.07	Feb.08	
Fraktionen			
Eisenschrott	6,7%	0,8%	Edelstahl, Zinkguss
Leiterplatten (Qualität 1 u. 2)	8,1%	0,0%	Leiterplatten niederer Qualität
Aluminium	19,0%	10,0%	Zinkguss, Stahl, Eisen
Bezogen auf gesamten Fraktionsoutput	1,2%	0,2%	

Tab. 8-4: Nachgewiesene Wertstoff-Fehlwürfe vor/nach der Umstellung

Vor der Umstellung wurden Fehlwürfe bei den relevanten Fraktionen in der Größenordnung von 7% (Eisenschrott) bzw. 8% (Leiterplatten) gefunden. Beim Eisenschrott handelte es sich dabei hauptsächlich um Edelstahl bzw. Zinkguss, welches nicht als solches erkannt und falsch zugeordnet worden war. Bei den Leiterplatten handelte es sich um Leiterplatten mit einem niedrigeren Anteil an Edelmetallen aus der Unterhaltungselektronik, welche der Fraktion Mischschrott zugeordnet werden hätten sollen.

Überraschend war der hohe Anteil an Fehlwürfen in der Fraktion Aluminium. Dabei handelte es sich um Zinkguss, Stahl und Eisenteile, welche irrtümlich dieser Fraktion zugeordnet worden waren.

Bei den Fraktionen Leiterplatten und Eisenschrott konnte bereits im Zuge des Probebetriebs die Fehlwurfproblematik gelöst werden. So wird ab nun bei den internen Schulungen auf die Unterschiede der einzelnen Leiterplattenqualitäten näher eingegangen. Die Senkung der Fehlwurfanteils bei der Eisenschrottfraktion gelang, indem Fraktionsboxen mit Fe-Schrott ab nun auf Fehlwürfe kontrolliert werden, wenn sie die Demontagehalle verlassen.

Schwieriger war es, die Fehlwürfe in der Aluminiumfraktion zu eliminieren. Es konnte der Fehlwurfanteil bei dieser Fraktion zwar um die Hälfte gesenkt werden, indem die Fraktionsboxen mit Aluminium ebenfalls auf Fehlwürfe überprüft werden. Da jedoch hier die Erkennung schwieriger ist, werden 2-3 Demontagemitarbeiter speziell darauf geschult werden.

8.3.3.3 Nicht erfasste schadstoffhaltige Bauteile

Die Überprüfung der Qualität bei der Schadstoffentfrachtung erfolgte in ähnlicher Weise wie hinsichtlich der Wertstofffraktionierung. Eine Stichprobe von je 2-5 Gitterboxen der Fraktionen Leiterplatten, Mischschrott und Fe-Schrott wurden untersucht, inwieweit schadstoffhaltige Bauteile, welche gemäß WEEE-Richtlinie und EAG-Verordnung ausgebaut werden hätten müssen, bei der Demontage übersehen worden waren und in den Wertstofffraktionen landeten. Das Ergebnis dieser Untersuchung ist in Tab. 8-5 dargestellt.

	Fehlwürfe Schadstoffe	
	Nov.07	Feb.08
Fraktionen		
Mischschrott	0,50%	0,20%
Eisenschrott	0,00%	0,00%
Leiterplatten (Qualität 1 u. 2)	0,20%	0,03%
Bezogen auf den gesamten Fraktionsoutput	0,26%	0,10%

Tab. 8-5: Nachgewiesene Reste an schadstoffhaltigen Bauteilen vor/ nach der Umstellung

Es zeigte sich, dass die Restschadstoffgehalte bei der Mischschrottfraktion vor der Aufnahme des Probebetriebs mit 0,5% insgesamt noch recht hoch lagen. Es handelte sich dabei vor allem um Kondensatoren, aber auch teilweise um kleine Knopfzellenbatterien sowie um LCD-Bauteile. Der Mischschrottfraktion werden vor allem Verbundbauteile zugeordnet, welche aus unterschiedlichen Metallen und sonstigen Werkstoffen zusammengesetzt sind. Bei diesen Bauteilen ist eine weitere manuelle Aufschlüsselung in Einzelmetalle nicht mehr wirtschaftlich sinnvoll, sondern es erfolgt eine nachfolgende mechanische Aufbereitung.

Da Batterien oder Kondensatoren in diesen Verbundbauteilen teilweise sehr versteckt angebracht sind, ist auch die Gefahr sehr hoch, dass diese Schadstoffe bei der Demontage übersehen und nicht ausgebaut werden. In einer Schulung, welche die Abfallrechtliche Geschäftsführerin im Rahmen des Probebetriebs durchführte, wurden die Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen auf diese Problematik aufmerksam gemacht. Weiters wurde eingeführt, dass Fraktionsboxen mit Mischschrott in regelmäßigen Abständen stichprobenartig auf Restschadstoffgehalte überprüft werden. Die Restschadstoffgehalte in der Mischschrottfraktion konnten mit diesen Maßnahmen um 60% auf 0,2% gesenkt werden.

Auf den Leiterplatten wurden teilweise Knopfzellenbatterien übersehen, welche in Chips eingeschweißt sind und nur durch die genaue Identifizierung der Chip-Aufschrift als solche erkannt werden können (siehe Abb. 8-8).

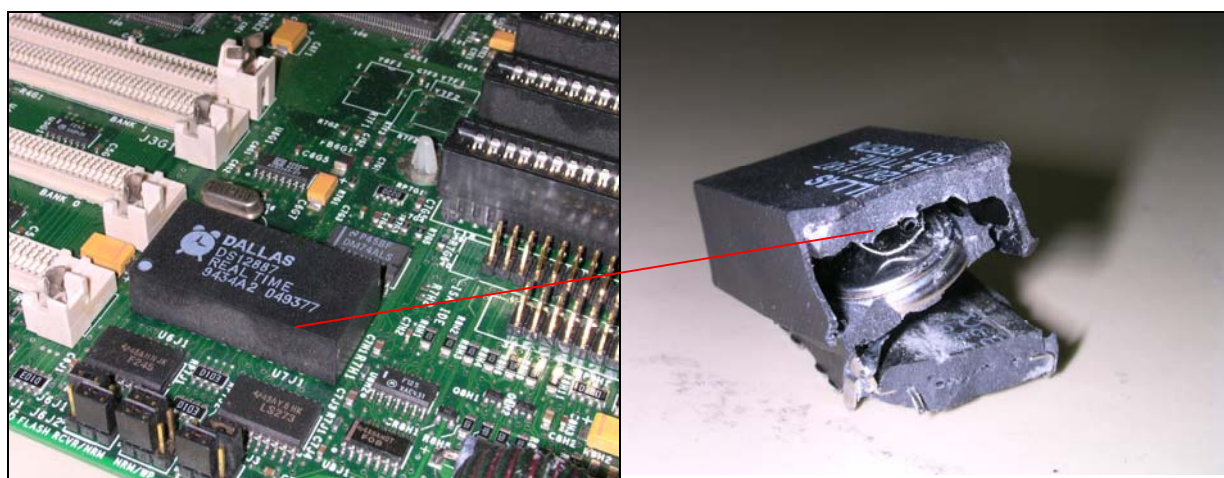


Abb. 8-8: Leiterplatten-Bauteil mit eingeschweißter Knopfzellen-Batterie

Diese Chips als schadstoffhaltige Bauteile zu erkennen, ist auch für sehr erfahrene Demontearbeiter eine Herausforderung. Die Restschadstoffgehalte in dieser Fraktion von 0,2% auf 0,03% zu senken gelang durch die Umstellung des Demontagelayouts.

Da sich diese hochwertigen Leiterplatten hauptsächlich in PCs finden und indem im Rahmen der Umstellung PCs als eigene Gerätegruppe definiert wurde, ist es nun leichter, zur Demontage von PCs nur mehr erfahrene und besonders sorgfältige Demontagemitarbeiter einzusetzen, wodurch die Demontagequalität in diesem Bereich noch weiter gesteigert werden konnte.

Die Eisenfraktion war sowohl vor als auch nach der Umstellung frei von Schadstoffen.

Bezogen auf den Gesamtoutput, welcher alle Outputfraktionen inklusive auch der Fraktionen wie Aluminium, Holz, Restmüll u.a. umfasste, bei denen nicht zu erwarten war, dass sie Schadstoffe enthalten und welche deshalb auch nicht untersucht wurden, betragen die Restschadstoffgehalte vor der Umstellung ca. 0,25%. Nach der Umstellung lag dieser Wert bei 0,1% und es wird daran gearbeitet, diesen Wert weiter zu senken. Bezogen auf die Gesamtheit aller ausgebauten Schadstoffe bedeutete dies, dass vor der Umstellung in etwa 12% der Schadstoffe übersehen wurden, nach der Umstellung lag dieser Anteil bei 6%.

8.3.4 Auswirkungen aus Sicht der Personalentwicklung

Im Rahmen der Simulation wurden die definierten Szenarien auch in Bezug auf Arbeitsplatzqualität sowie in Bezug auf Faktoren, welche in Bezug auf die sozialpädagogische Betreuung von Bedeutung sind, bewertet. Die Faktoren, welche als Beurteilungskriterien herangezogen wurden, sind in Kapitel 8.1 in Tab. 8-1 gelistet.

Im Zuge des Probetriebs wurden die diesbezüglichen Auswirkungen in Form von Interviews ausgewertet. Es wurden Gespräche mit DemontearbeiterInnen, mit den Sozialpädagoginnen sowie mit dem Abteilungsleiter geführt.

Die Auswirkungen auf die Arbeitsplatzqualität sowie Förderung der sozialpädagogischen Betreuung wurde insgesamt recht positiv beurteilt, wenngleich seitens der Sozialpädagoginnen auch auf bestimmte Gefahren hingewiesen wurde.

So hat die Bildung von Arbeitsgruppen informelle Hierarchien hervorgerufen, welche in dieser Form vorher nicht vorhanden waren. Erfahrene und geschickte Demontearbeiter, welche für die Demontage besonders anspruchsvoller Gerätearten eingesetzt wurden, verstanden diese Bevorzugung falsch, fühlten sich plötzlich als Chefs und begannen, andere Kollegen und Kolleginnen herumzukommandieren.

Von den Sozialpädagoginnen wird dieses Phänomen nun genutzt, um bei den Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen die sozial-kommunikativen Kompetenzen zu stärken und ihnen Anleitungen zu geben, in eine Mentorenrolle hineinzuwachsen. Insofern hat die Umstellung ein Betätigungsfeld für die sozialpädagogische Betreuung freigelegt, welches vorher in dieser Form nicht so offen verfügbar war, da alle Demontearbeiter und -arbeiterinnen die gleichen Tätigkeiten durchgeführt haben.

Als positive Auswirkung wurde angemerkt, dass in der Demontageabteilung arbeitende Frauen nun ausschließlich zur Demontage von nicht zu schweren Geräten eingesetzt werden können. Da im Input auch immer wieder schwere Kopierer und Drucker zu finden sind, mussten die Frauen immer wieder männliche Kollegen bitten, besonders schwere Geräte für sie aus der Gitterbox zu heben. Seit der Umstellung werden zur Demontage von Kopierern nur mehr Männer mit entsprechender Muskelkraft eingesetzt. Die Steigerung beim Durchsatz wurde sowohl von Mitarbeitern als auch vom Abteilungsleiter zum Teil darauf zurückgeführt.

Eine Befürchtung hat sich glücklicherweise nicht bewahrheitet. Das Projektteam des D.R.Z hat bei der Definierung der Szenarien immer wieder zu bedenken gegeben, dass bei Aufteilung des Inputs in Gerätegruppen und Bildung von Arbeitsgruppen die Arbeiter und Arbeiterinnen und demotiviert werden könnten, welche Staubsauger demontieren müssen,

da diese zwar einfach zu zerlegen sind, aber durch die Staubentwicklung eine unangenehme Tätigkeit ist.

Im Zuge des Probebetriebs stellte sich heraus, dass sich im Mitarbeiterstab immer einige Leute finden, welche die niederschwellige Zerlegearbeit der Demontage von Staubsaugern der Demontage anderer Geräte bevorzugen und dabei auch in Kauf nehmen, dass diese Arbeit etwas staubiger ist.

8.4 Schlussfolgerungen

Was die Wirtschaftlichkeit betrifft, konnten im Probebetrieb die Simulationsergebnisse bestätigt werden. Es konnten in der praktischen Umsetzung die durch die Simulation berechneten Werte sogar noch etwas übertroffen werden.

Offenbar kam es bei der praktischen Umsetzung zu einer Überlagerung von positiven Effekten, welche in der Simulation in diesem Ausmaß nicht berücksichtigt werden konnten. Beispielsweise der Umstand, dass Frauen nun nicht mehr männliche Mitarbeiter bei schweren Geräten um Hilfe bitten müssen, konnte unmöglich bei der Simulation entsprechend berücksichtigt werden. Andere Effekte wie schnellere Lernkurven konnten mittels Simulation weitgehend so abgebildet werden, wie sie sich in der praktischen Umsetzung dann wirklich auswirkten.

Auf die Demontagequalität wirkte sich die Umstellung des Demontagelayouts ebenfalls positiv aus. Durch die Aufteilung des Inputs können für schwierig zu demontierende Gerätearten nun vor allem erfahrene bzw. besonders sorgfältige Demontearbeiter und –arbeiterinnen eingesetzt werden. Eine zentrale Wertstofffraktionierung zur Sicherung der Qualität bei der Schadstoffentfrachtung, wie sie in manchen Szenarien simuliert worden war, stellte sich in der praktischen Umsetzung als nicht notwendig heraus.

Durch die Aufteilung des Inputs in Gerätegruppen, stärkere Berücksichtigung der gewonnenen Aspekte in den internen Schulungen sowie die Einführung einer Qualitätskontrolle bei einzelnen kritischen Fraktionen konnte das hohe Niveau in der Demontagequalität gesichert und weiter ausgebaut werden.

Es konnte mit dem Projekt die Simulation als taugliches Instrument der Demontageplanung evaluiert und um eine Methode zur gesamtheitlichen Beurteilung, in welcher neben der Wirtschaftlichkeit auch die Demontagequalität, mitarbeiterbezogene und betreuungsrelevante Aspekte betrachtet werden, erweitert werden. Diese Methodik wird mithilfe der in der praktischen Umsetzung gewonnenen Erkenntnisse weiterentwickelt werden. So wurden im Zuge des Projektes Optimierungspotentiale im Bereich der Inputmodellierung identifiziert, welches im Rahmen von Folgeprojekten weiter bearbeitet und vertieft wird.

9 Detailangaben in Bezug auf die Ziele der Programmlinie

Im Zentrum der Betrachtung des Projektes standen die Optimierungspotentiale im sozialwirtschaftlichen Recyclingunternehmen D.R.Z, dessen zentraler Auftrag in der Betreuung und Vermittlung ehemals langzeitbeschäftigungsloser Personen besteht. Es handelt sich dabei in der Regel um Menschen, welche durch ihr Alter, mangelnde Berufserfahrung bzw. auch aufgrund von Behinderungen am Arbeitsmarkt benachteiligt sind und deren Vermittlungshemmnisse im Rahmen des befristeten Beschäftigungsverhältnisses aufgearbeitet und in einem möglichst hohen Maß eliminiert werden sollen. Grundlegende Zielsetzung eines sozialwirtschaftlichen Betriebes ist es daher auch, unter wirtschaftlichen Rahmenbedingungen eine möglichst hohe Anzahl an Personen sinnvoll einzusetzen und wieder an den Arbeitsmarkt heranzuführen.

Die Anwendung eines Tools im Bereich der Sozialwirtschaft sowie dessen Weiterentwicklung und Anpassung auf die besonderen Rahmenbedingungen auf diesem Wirtschaftszweig trägt somit auch dazu bei, die Beschäftigungswirkung derartiger Betriebe zu erhöhen und auf diese Weise die Zukunftsperspektiven von Menschen am Arbeitsmarkt zu verbessern.

Mit der Simulation steht ein Tool zur Verfügung, mit dem sozialwirtschaftliche Betriebe, welche im Bereich der EAG-Bewirtschaftung tätig sind, auf geänderte Rahmenbedingungen wie schwankende Energie- bzw. Rohstoffpreise reagieren und die operativen Abläufe an diese Veränderungen flexibel anpassen können. Durch die Weiterentwicklung des Tools in Richtung einer Bewertungsmethode, mit welcher im Spannungsfeld zwischen Effizienz, Qualitätssicherung und Beschäftigungswirkung optimal ausbalancierte Maßnahmen identifiziert und realisiert werden können, wurde im Projekt neben der ökologischen und ökonomischen auch der sozialen Dimension Rechnung getragen.

Mit der Zielsetzung, die Wettbewerbsfähigkeit von Recyclingunternehmen mit einem starken Schwerpunkt im Bereich manueller Tätigkeiten zu stärken, gibt das Projekt in mehrfacher Hinsicht Impulse in Richtung einer ökologischen Nachhaltigkeit. Auch der Aspekt der Rezyklierungsfähigkeit war damit per se integrativer Bestandteil des Projektes.

Die manuelle Schadstoffentfrachtung, die am besten in der Lage ist, alle schadstoffhaltigen Bauteile in Elektro(nik)-Altgeräten zu erkennen und zerstörungsfrei auszubauen, bleibt erhalten. Da dieser Arbeitsbereich eine Basis der in sozialwirtschaftlichen Betrieben angebotenen Qualifizierung für Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen darstellt, besitzen diese ein ursächliches Interesse daran, dass Elektro(nik)-Altgeräte und deren Komponenten vor einer allfälligen mechanischen Aufbereitung gesichert von allen schadstoffhaltigen Komponenten befreit und einer umweltgerechten Entsorgung zugeführt werden. Die diffuse Verbreitung von Schadstoffen in der Umwelt wird vermieden.

Auf der anderen Seite eröffnet das Projekt auch Perspektiven für die europäische Recyclingindustrie insgesamt. Durch die optimale Verknüpfung manueller und mechanischer Technologien im Bereich des Recyclings von EAG und der damit verbundenen Optimierung von Prozessketten über Unternehmensgrenzen hinweg ist es möglich, in der Recyclingindustrie insgesamt zu einer Qualitätssteigerung beizutragen und wertvolle und in vielen Fällen knappe Rohstoffe besser im Kreislauf zu halten.

Um dort hinzugelangen, wird KERP dieses Thema in den kommenden Jahren weiter intensiv forschungsseitig bearbeiten. Das gegenständliche Projekt lieferte dafür wichtige methodische Ansätze sowie eine solide Datenbasis, auf der mit weiteren Untersuchungen optimal aufgebaut werden kann.

10 Ausblick/Empfehlungen

Es ist geplant, an das gegenständliche Projekt ein Demonstrationsprojekt anzuschließen, um das über Simulation erarbeitete optimierte Demontagelayout im sozialwirtschaftlichen Betrieb D.R.Z in den Regelbetrieb zu übernehmen. In einer begleitenden Untersuchung soll geprüft werden, inwieweit sich die in der Simulation ermittelten Optimierungspotentiale in den praktischen Erfahrungen widerspiegeln.

Auf diese Weise zieht der Projektpartner D.R.Z einen direkten Nutzen aus dem Projekt. Anhand der formulierten Szenarien sowie der durchgeführten Simulationen und Bewertungen verfügt das D.R.Z über sehr konkrete Anhaltspunkte, welche Modifizierungen hinsichtlich aller betrachteten Kriterien im Bereich Effizienz, Qualität und Transplacement eine ausgewogene Optimierung versprechen. Es sollte möglich sein, die wirtschaftliche Performance der betrachteten Abteilung bei gleich bleibendem Personaleinsatz ohne zusätzliche Belastung der Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen, jedoch bei einer zu ihrem Vorteil verbesserten Arbeitsplatzgestaltung um 10-20% zu verbessern.

Es ist auch zu erwarten, dass durch die Verbreitung der Projektergebnisse in Form des Endberichts, über die FdZ-Website sowie die PR-Kanäle des Netzwerkes Repanet auch andere manuelle Demontagebetriebe auf die Projektergebnisse aufmerksam gemacht werden. Da die erarbeiteten Projektergebnisse mit den praktischen Erfahrungen des Projektpartners D.R.Z direkt in Verbindung gebracht und dort auch anhand von Vorortbesuchen besichtigt werden können, ist davon auszugehen, dass das Projekt auch positive Impulse auf die Netzwerkarbeit manueller Demontagebetriebe haben wird. Bereits zum Zeitpunkt der Berichtserstellung ist ein Projektantrag in Vorbereitung, welcher den Know-How-Transfer mehrerer Demontagebetriebe aus Deutschland, Österreich, der Slowakei und Ungarn zum Thema hat. Vor dem Hintergrund, über diesen Erfahrungsaustausch eine Verbesserung der Qualitätssicherung sowie der wirtschaftlichen Performance für alle beteiligten Unternehmen zu erreichen, werden vor allem die im Rahmen des gegenständlichen Projektes gewonnenen Erkenntnisse dafür wichtige Impulse liefern.

Die Projektergebnisse bilden weiters den Ausgangspunkt für weitere anwendungsorientierte Forschungsarbeiten des KERP im Bereich „End-of-Life-Management“ von EAG. Die im Rahmen des Projektes erstellten Produktmodelle werden bei der Bearbeitung eines Folgeprojektes weiter verwendet, erweitert und sukzessive detailliert werden. Das Forschungsprojekt zielt darauf ab, den EAG-Input sowohl hinsichtlich seiner Materialzusammensetzung als auch in Bezug auf sein Schadstoff- und Wertstoffpotential besser zu charakterisieren und in ein numerisches Modell überzuführen.

Die Charakterisierung des Inputs von Aufbereitungsanlagen hinsichtlich dieser Eigenschaften ist eine notwendige Voraussetzung dafür, um auch mechanische Aufbereitungstechnologien zu optimieren. Es hat sich in den vergangenen Jahren gezeigt, dass mechanische Aufbereitungssysteme hinsichtlich einer Reihe von Aspekten nicht optimal ausgelegt sind. Hohe Optimierungspotentiale können hinsichtlich der Schadstoffentfrachtung, der Ausbeute von auf den Leiterplatten sitzenden Edelmetallen sowie im Bereich der Aufbereitung der in den EAG enthaltenen Kunststoffe identifiziert werden. Neben der weiteren Entwicklung der eingesetzten Technologien könnte ein Lösungsansatz in einer besseren Verknüpfung von manueller Demontage und mechanischer Aufbereitung liegen.

Das gegenständliche Projekt lieferte dafür erste wichtige Grundlagen, an denen mithilfe weiterer Forschungsarbeiten seitens KERP in den folgenden Jahren intensiv weitergearbeitet werden wird. In Zeiten steigender Rohstoffpreise wird es für Europa zunehmend wichtiger, Sekundärrohstoffe nicht an andere Märkte abzugeben, sondern im eigenen Wirtschaftsraum zu verwerten. Der Recyclingwirtschaft kommt in diesem Zusammenhang eine zentrale strategische Bedeutung zu. Das Identifizieren und Optimieren von Prozessketten auch über Unternehmensgrenzen hinweg, um ein möglichst hohes Maß an Wertstoffen aus EAG zu gewinnen und zu hochwertigen Sekundärrohstoffen zu verarbeiten, ist nicht zuletzt auch von volkswirtschaftlicher Bedeutung.

11 Literaturverzeichnis

11.1 Quellenverzeichnis

- Ahrend H.-W., Floß D., Wagenhaus G. (1999): Aspekte zur Planung von Recyclingbereichen unter Berücksichtigung des Arbeitsschutzes. In: wt Werkstattstechnik, 89 (1999) H.1/2, S. 27-30.
- Baumgarten H., Sommer-Dittrich T. (2000a): Gestaltung innerbetrieblicher Logistikkonzepte für Demontagefabriken. In: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung (ZWF), Sonderbeilage Demontage, Juli 2000, S. 25-27.
- Baumgarten H., Sommer-Dittrich T. (2000b): Prozesskettenbezogene Auslegung logistischer Systeme. In: Technische Universität Berlin (Hrsg.): Sonderforschungsbereich 281 "Demontagefabriken zur Rückgewinnung von Ressourcen in Produkt- und Materialkreisläufen", Arbeits- und Ergebnisbericht 1998-2000, Berlin, S. 235-272.
- Ciupek M., Franke C. (2002): Computer Aided Disassembly System Design and Simulation Based Evaluation. In: 5. Workshop "Simulation und Leistungsbewertung in Fertigungssystemen". 7.-8. Oktober 2002, Würzburg.
- Ciupek M., Franke C. (2003): An Integrated Approach for Dimensioning and Structuring of Disassembly Systems. In: Colloquium e-ecological Manufacturing. March 27-28 2003, Berlin, S. 43-47.
- Degher (2002): HP's Worldwide Take Back and Recycling Programs: Lessons on Improving Program Implementation. In: IEEE International Symposium on Electronics & the Environment. May 6-9 2002. San Francisco, CA, USA.
- Dinge A. (2000): Demontage komplexer Produkte in einer Kreislaufwirtschaft. Reihe Produktionswirtschaft und Industriebetriebslehre, Band 6, Josef Eul Verlag. Lohmar, Köln.
- D.R.Z (Hrsg.) (2006): „Unser Nachhaltigkeitsbericht“: Projektbericht zum Projekt „Nachhaltigkeitsselbstbewertung“, gefördert im Rahmen des ÖKO Businessplan Wien, MA22, Wien.
- Gabriel R. (2004): Demontage- und Recyclingzentrum Wien, Endbericht zum gleichnamigen Projekt im Rahmen der Initiative „Abfallvermeidung in Wien“, Wien.
- Gabriel R., Spitzbart M. (2005): Aufbau eines Ersatzteilnetzwerks, Endbericht zum gleichnamigen Projekt im Rahmen der Initiative „Abfallvermeidung in Wien“, Wien.
- Eckerth G. (2001): Beitrag zur Planung flexibel automatisierter Demontagesysteme für komplexe Gebrauchsgüter - am Beispiel Bildschirmgerät. Dissertation, Technische Universität Wien.
- Feldmann K. (2002): Integrated Product Policy - Challenge in the Scope of Technology, Economy and Environmental Policy. In: 9th International Seminar on Life Cycle Engineering. 9.-10. April 2002, Erlangen.
- Feldmann K., Melzer K. (2002): Integrated Product Policy - A Method for Holistic Product Analysis. In: 6th World Congress on Integrated Resources Management. February 12-15 2002, Genf.
- Feldmann K., Melzer K. (2003): The benefit of integrated product policy – demonstrated by the second product life cycle of medical systems. In: CIRP Seminar on Life Cycle Engineering. 22-23 May 2003, Copenhagen.
- Franke C., Ciupek M., Seliger G. (2003): Computer Aided Rough Disassembly Sequence Design (CARDIS). In: International Precision Assembly Seminar, IPAS 2003. 17-19 March 2003, Bad Hofgastein.

- Fraunhofer IML (2000): Entwicklung eines Maßnahmenkatalogs zur Entscheidungs- und Planungsunterstützung bei der Gestaltung der logistischen Prozesse in der Demontage, Schlussbericht, Dortmund.
- Güngör A. (1999): Algorithmic Models for Analysis of Disassembly Processes and Systems. Ph.D. Thesis, Massachusetts.
- Gupta S.M., Veerakamolmal P. (1999): A Case-Based Reasoning Approach for the Optimal Planning of Disassembly Processes. In: Proceedings, 2nd International Working Seminar on Reuse, Eindhoven.
- Hauser H. (2000): Simulation of material flow as a tool for optimisation in recycling plants. In: Reichl H., Griese H. (Hrsg.) Proceedings of the Joint International Congress and Exhibition - Electronics Goes Green 2000+, September 11-13, Berlin, S. 435-441.
- Herrmann C., Ohlendorf M., Luger T. (2005a): SiDDatAS – Software Tool for Simulation Based Planning and Evaluation of Disassembly Systems. In: Proceedings of the Conference eco-x: ecology and economy in electroniX, Wien, S. 289-303.
- Herrmann C., Luger T., Ohlendorf M. (2005b): SiDDatAS – Analysis and Economic Evaluation of Alternative Disassembly System Configurations. Proceedings of the 4th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, Tokyo, December 2005.
- Hetzel (Hrsg.) (2000): Konzeption und Realisierung eines industriell geprägten Verwertungsbetriebes für Elektronik-Altgeräte. Teilvorhaben 2 im Verbundprojekt IREAK, Schlussbericht Nürnberg.
- Huber A. (2000): On-demand orientierte Demontageplanung auf Basis konventioneller PPS-Systeme. PPS-Management, Volume 5, Number 2, S. 24-28.
- Huber A., Marx-Gomez J. (2000): Disassembly Planning in Conventional PPC-Systems: Problems and Suggestions. In: Proceedings of the 11th International Conference of the Information Resources Management Association, Anchorage, S. 1181-1184.
- Huber A. (2001): Demontageplanung und -steuerung - Planung und Steuerung industrieller Demontageprozesse mit PPS-Systemen, Dissertation, Universität Magdeburg.
- Kopitsch A., Nagl I., Piringer M. (2005): Konzept der Personalentwicklung des D.R.Z, unveröffentlicht, Wien, 2005.
- Kötter U., Eckerth G. (1999): Flexibel automatisierte Demontage von Bildschirmgeräten (FAUDEG). In: Deutscher Fachverlag/Schriftenreihe Entsorgungs- und Umwelttechnik, Forschungsberichte und Fachbeiträge, Hrsg.: Institut für Kreislaufwirtschaft und Umwelttechnik des VVL e. V., Bd. 5. Dortmund.
- Lambert A.J.D., Gupta S.M. (2002): Demand-Driven Disassembly Optimization for Electronic Products. Journal of Electronics Manufacturing, Vol. 11. No. 2 (2002), S. 121-135.
- Lee D.-H., Xirouchakis P., Zust R. (2002): Disassembly Scheduling with Capacity Constraints. In: Annals of the CIRP, Vol. 51/1/2002, S. 387-390.
- Limaye K., Caudill R.J. (1999): System Simulation and Modelling of Electronics Demanufacturing Facilities. In: Proceedings of 1999 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment, Danvers, MA.
- Menrad W., Grieger S., Schlögl M. (1999): Aspects of Industrial Recycling of Electr(on)ic Appliances. In: Proceedings of the 2nd International Working Seminar on Reuse, Eindhoven.
- Moukabary G., Nickel A. (2000): Logistische Demontageprozesse effizient gestalten. In: VDI Umwelt, Bd. 30 (2000) Nr. 3, S. 20-22.

- Neuendorf K.-P., Lee D.-H., Kiritsis D., Xirouchakis P. (2001): Disassembly Scheduling with Parts Commonality using Petri-Nets with Timestamps. *Fundamenta Informaticae* 47, S. 295-306.
- Ohlendorf M. (2006): Simulationsgestützte Planung und Bewertung von Demontage-systemen, Dissertation, TU Braunschweig.
- Perlewitz H. (1999): Planung und marktorientierter Betrieb von Demontagefabriken. Dissertation, Technische Universität Berlin.
- Rautenstrauch C. (1999): Betriebliche Umweltinformationssysteme: Grundlagen, Konzepte und Systeme. Springer Verlag Berlin, Heidelberg.
- Seliger G., Uhlmann E., Keil T., Härtwig J.-P. (2000): Realisierung eines Pilot-Demontagesystems. In: *Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung (ZWF)*, Sonderbeilage Demontage, Juli 2000, S. 20-24.
- Seliger G., Basdere B., Keil T., Rebařka U. (2002): Innovative Processes and Tools for Disassembly. In: *Annals of the CIRP*, Vol. 51/1/2002, S. 37-40.
- Sommer-Dittrich T. (2001): Gestaltung innerbetrieblicher Logistikkonzepte für Demontagefabriken. In: Thomé-Kozmiensky, K.J. (Hrsg.): *Reformbedarf in der Abfallwirtschaft*, TK-Verlag, Neuruppin, S. 1207-1215.
- Spitzbart M., Nagl I., Piringer M. (2006a): Qualitativer Endbericht 2005, Jahresbericht für die Fördergeber AMS Wien und Bundessozialamt, Wien.
- Spitzbart M., Schweiger H., Schweiger S. (2006b): Design als Botschafter, Einreichbericht, mit dem das D.R.Z den Umweltpreis 2006 der Stadt Wien in der Kategorie Kommunikation gewann, Wien.
- Spitzbart M., Schneider F., Obersteiner G. (2007): Schaffung der Voraussetzungen zur Bildung eines Wiederverwendungskreislaufes für Elektro(nik)altgeräte, Berichte aus Energie- und Umweltforschung, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien. (verfügbar unter: www.fabrikderzukunft.at/publikationen/view.html/id601).
- Spitzbart M., Luger T., Revnic I., Schneider F., Stengeli A. (2007a): From dismantling-factories to dismantling-parks: Improving the technology of manual dismantling processes of small electric and electronical appliances via software modules and product analysis, Vortrag auf dem R'07 World Congress, 3.-5. September, Davos.
- Stengeli A., Nagl I., Walther U., Eisenriegler S. (2007): Qualitativer Endbericht 2006, Jahresbericht für die Fördergeber AMS Wien und Bundessozialamt, Wien.
- Uhlmann E., Seliger G., Härtwig J.-P., Keil T. (2000): A pilot system for the disassembly of home appliances using new tools and concepts. In: *The 3rd World Congress on Intelligent Manufacturing Processes & Systems 2000*, Proceedings. June 28-30, 2000, Cambridge, USA. S. 453-456.
- Veerakamolmal P. (1999): Design and Analysis of Disassembly and Remanufacturing Systems in the Electronics Industry. Ph.D. Thesis, Northeastern University, Boston, MA.
- Westernhagen K. (2001): Planung und Steuerung der Retro-Produktion. Dissertation, Schriftenreihe des Instituts für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik der TU Braunschweig, Vulkan-Verlag, Essen, 2001.
- Wiendahl H.-P., Bürkner S., Siebert K. (1999a): Applications of Genetic Algorithms in the Scheduling of Flexible Disassembly Cells. In: *Advanced Techniques in Production Planning and Control*, Proceedings of the 2nd IFIP WG 5.7 Special Interest Group Workshop on ATPPC, 11./12. Februar 1999. IFA Institute of Production Systems, Hannover 1999, S. 57-72.

Wiendahl H.-P., Seliger G., Bürkner S., Perlewitz H. (1999b): A General Approach to Disassembly Planning and Control. *Production Planning and Control* 10 (1999) 8, S. 718-726.

11.2 Weiterführende Literatur

- Beigl P., Schneider F., Salhofer S. (2004): Experiences with WEEE Take Back Systems Using the Example of Mobile Phones. In: Reichl, H., Griese, H.-J., Pötter, H. (Hrsg.): *Electronic Goes Green 2004+: Driving Forces for Future Electronics*, 6. – 8. September 2004, Berlin/Deutschland; Proceedings.
- Baumgarten H., Frille O., Ivišić R.A. (2000): Konzeption eines Netzwerkes von Demontagefabriken, In: Technische Universität Berlin (Hrsg.): Sonderforschungsbereich 281 "Demontagefabriken zur Rückgewinnung von Ressourcen in Produkt- und Materialkreisläufen", Arbeits- und Ergebnisbericht 1998-2000, Berlin, S. 273-322.
- Herrmann C., Ohlendorf M., Luger T. (2005c): SiDDatAS – Software Tool for Simulation Based Planning and Evaluation of Disassembly Systems. In: Proceedings of the Conference eco-x: ecology and economy in electroniX, Wien, S. 289-303.
- Salhofer S. (1999): Collection and Treatment of End-of-Life Electric and Electronic Equipment in Austria. Proceedings of 'SARDINIA `99 - Seventh International Waste Management and Landfill Symposium' Vol. V (Waste Management and Treatment of Municipal and Industrial Waste), CISA, Cagliari/Italien.
- Salhofer S., Gabriel R. (2000): Mechanical Processing or Co-Firing? Treatment of End-of-Life Electrical and Electronic Equipment from a Waste Management Point of View.. Vortrag, Joint International Congress and Exhibition 'Electronics Goes Green 2000 +/- A Challenge for the Next Millennium'. Fraunhofer Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration, 11.-13. September 2000, Berlin.
- Salhofer S. (2001): Sammlung und Verwertung von Elektroaltgeräten - Stand der Technik, bisherige Erfahrungen und zukünftige Entwicklung.. In: 'Müll-Handbuch', KZ 8527, E. Schmidt Verlag, Berlin.
- Salhofer S., Beigl P., Schneider F. (2005): End-of-Life Management of Small Electrical Appliances. In: KERP Kompetenzzentrum Elektro(nik)altgeräte-Recycling & nachhaltige Produktentwicklung: eco-X: ecology and economy in electroniX 2005 „Zukünftige Herausforderungen und nachhaltige Lösungen für den Elektro(nik)sektor“, 8. – 10. Juni 2005, Wien; Proceedings, pp.275-288.
- Schneider F., Salhofer S. (2005): Ecodesign Computer Mouse - A Case Study. In: Francesc Castells Piqué, Joan Rieradeball Pons (Ed.): LCM 2005 - Innovation by Life Cycle Management, International Conference, 5-7 September 2005, Barcelona/Spanien; Proceedings, Vol. 1, pp.335-339; ISBN ISBN 84-609-6566-X.
- Schneider F., Salhofer S. (2005): Evaluation of an Ecodesign Computer Mouse. In: KERP Kompetenzzentrum Elektro(nik)altgeräte-Recycling & nachhaltige Produktentwicklung: eco-X: ecology and economy in electroniX 2005 „Zukünftige Herausforderungen und nachhaltige Lösungen für den Elektro(nik)sektor“, 8. – 10. Juni 2005, Wien; Proceedings, pp.319-328.
- Spengler T. (1998): Industrielles Stoffstrommanagement – Betriebswirtschaftliche Planung und Steuerung von Stoff- und Energieströmen. Erich Schmidt Verlag, Berlin.
- Spengler T., Hähre S., Sieverdingbeck A., Rentz O. (1998): Stoffflussbasierte Umweltkostenrechnung zur Bewertung industrieller Kreislaufwirtschaftskonzepte. *Zeitschrift für Betriebswirtschaftslehre* 68 (2), S. 147-174.
- Walther G. (2005): Recycling von Elektro- und Elektronikaltgeräten – Strategische Planung von Stoffstromnetzwerken für kleine und mittelständische Unternehmen. Dissertation, TU Braunschweig, Deutscher Universitätsverlag, Wiesbaden.

12 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1-1: Ausgangsdemontagelayout des D.R.Z (Basisszenario)	7
Abb. 1-2: Schematische Darstellung des Simulationsvorganges [Herrmann et al. 2005b] .	8
Abb. 1-3: Zielszenarien mit der besten Gesamtbewertung	9
Abb. 2-1: Leiterplatten-Bauteil mit eingeschweißter Knopfzellenbatterie	14
Abb. 2-2: Von der TrashDesignManufaktur des D.R.Z produzierter Stehtisch	15
Abb. 5-1: Vorgehensweise zur Umsetzung der Projektinhalte	23
Abb. 5-2: Darstellung der Zerlegestudien am Beispiel Drucker.....	26
Abb. 5-3: Darstellung einer ProdTect®-Auswertung.....	27
Abb. 5-4: Auslegungsalternativen zur Definierung der Zielszenarien [Westernhagen 2001]	28
Abb. 5-5: Simulationsvorgehen [Herrmann et al. 2005b].....	30
Abb. 6-1: Abladevorgang der Kleingeräte beim D.R.Z.....	32
Abb. 6-2: Wiegung (links) und Zwischenlagerung (rechts) der Elektrokleingeräte.....	32
Abb. 6-3: Selektion der Geräte zur Wiederverwendung (links), Zwischenlagerung der selektierten Geräte (rechts)	33
Abb. 6-4: Anordnung der derzeitigen Demontageplätze im D.R.Z.....	33
Abb. 6-5: Ausgestaltung der Demontageplätze.....	34
Abb. 6-6: Zwischenlagerung der einzelnen Fraktionen.....	35
Abb. 6-7: Lagerung der Fraktionen (links) und Abtransport durch den Entsorger bzw. Abnehmer (rechts).....	35
Abb. 6-8: Betreuungskonzept des D.R.Z [Kopitsch et al. 2005]	36
Abb. 6-9: Betreuungsangebote des D.R.Z [Kopitsch et al. 2005].....	37
Abb. 6-10: Zusammensetzung des D.R.Z-Geräteinputs (Elektrokleingeräte) [Spitzbart et al. 2007]	39
Abb. 6-11: Schematische Darstellung der Abläufe in den Szenarien 1	42
Abb. 6-12: Schematische Darstellung der Abläufe in Szenario 1e-1	43
Abb. 6-13: Schematische Darstellung der Abläufe in Szenario 1e-2.....	43
Abb. 6-14: Schematische Darstellung der Abläufe in Szenario 2a	45
Abb. 6-15: Schematische Darstellung der Abläufe in Szenario 2b.....	45
Abb. 6-16: Schematische Darstellung der Abläufe in Szenario 3a-1	46
Abb. 6-17: Schematische Darstellung der Abläufe in Szenario 3a-2.....	47
Abb. 6-18: Schematische Darstellung der Abläufe in Szenario 3b-1	48
Abb. 6-19: Schematische Darstellung der Abläufe in Szenario 3b-2.....	49
Abb. 6-20: Schematische Darstellung der Abläufe in Szenario 3a-3.....	49
Abb. 6-21: Vergleich der Szenarien nach Masse der demontierten Fraktionen (Szenario 1a = 100 %)	56
Abb. 6-22: Vergleich der Szenarien nach Materialerlös pro Mitarbeiter (Szenario 1a = 100 %).....	57
Abb. 6-23: Vergleich der Szenarien nach Gesamtkosten (Szenario 1a = 100 %)	57

Abb. 6-24: Reihung der Szenarien nach den Auswertekriterien der Effizienz	58
Abb. 6-25: Vergleich der Szenarien hinsichtlich der Qualitätskriterien	65
Abb. 6-26: Vergleich der Szenarien hinsichtlich der Transplacementkriterien	66
Abb. 6-27: Bewertung der Szenarien hinsichtlich aller Bewertungskriterien	67
Abb. 7-1: Überblicksdarstellung der am besten bewerteten Szenarien	68
Abb. 7-2: Darstellung des modifizierten Demontagearbeitstisches.....	70
Abb. 8-1: Ausgangsszenario und in der praktischen Umsetzung getestetes Szenario.....	72
Abb. 8-2: Ausgangsdemontagelayout des D.R.Z (Basisszenario)	74
Abb. 8-3: Aufteilung des Kleingeräte-Inputs in Gerätegruppen	75
Abb. 8-4: Aufteilung des Kleingeräte-Inputs in Gerätegruppen	75
Abb. 8-5: Geräteinput nach der Aufteilung: Kopierer/Drucker, Unterhaltungselektronik, Staubsauger	76
Abb. 8-6: MitarbeiterInnen der Arbeitsgruppe „Demontage von PCs“	76
Abb. 8-7: Arbeitsgruppen Unterhaltungselektronik, Kopierer/Drucker, Staubsauger.....	76
Abb. 8-8: Leiterplatten-Bauteil mit eingeschweißter Knopfzellen-Batterie	80

13 Tabellenverzeichnis

Tab. 1-1: Kriterien zur Bewertung der Szenarien	7
Tab. 6-1: Getrennt gesammelte Fraktionen aus der Demontage	34
Tab. 6-2: Kriterien zur Bewertung der Zielszenarien	40
Tab. 6-3: Übersicht der wichtigsten Parameter in den Szenarien, +...zutreffend, -...nicht zutreffend, d...dezentral, z...zentral	50
Tab. 6-4: Reihung der Szenarien nach den Auswertekriterien der Effizienz	58
Tab. 6-5: Differenzierung der Zielszenarien hinsichtlich Schadstoffentfrachtung	59
Tab. 6-6: Differenzierung der Zielszenarien hinsichtlich Wertstofffraktionierung	61
Tab. 6-7: Auswertung der Szenarien hinsichtlich Tätigkeitsspektrum	62
Tab. 6-8: Auswertung der Szenarien hinsichtlich der Möglichkeit, Mitarbeiter flexibel für die sozialpädagogische Betreuung abziehen zu können.....	63
Tab. 6-9: Auswertung der Szenarien hinsichtlich Arbeitsplatzsicherheit	64
Tab. 6-10: Bewertung der Szenarien hinsichtlich der Qualitätskriterien	65
Tab. 8-1: Kriterien zur Bewertung der Szenarien	73
Tab. 8-2: Aufteilung der Demontagearbeitsplätze nach Gerätegruppen	75
Tab. 8-3: Vergleich der Durchsatzleistungen vor/nach der Umstellung.....	78
Tab. 8-4: Nachgewiesene Wertstoff-Fehlwürfe vor/nach der Umstellung	79
Tab. 8-5: Nachgewiesene Reste an schadstoffhaltigen Bauteilen vor/ nach der Umstellung	80