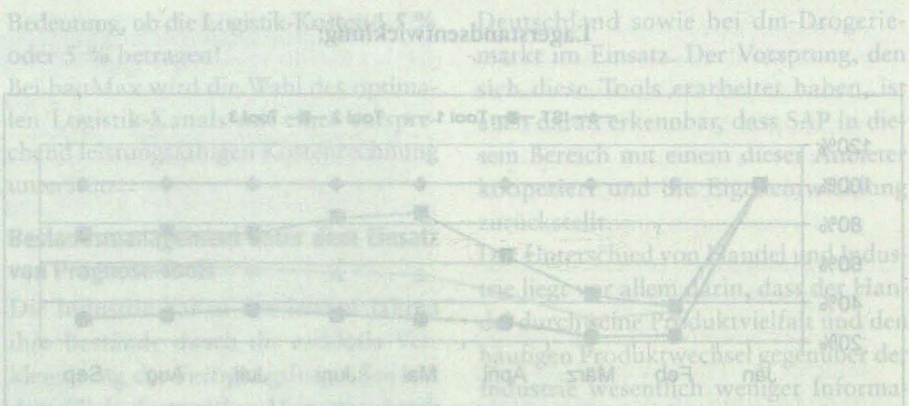


Harald Zebedin



Dipl.-Ing. Dr. techn.
Jg.: 1967
Studium: Wirtschaftsingenieurwesen-Maschinenbau
Tätigkeit: Projektleitung Elektronikschrottrecycling
Fa. ReUse (Burgenland)

Neue Wege des Elektro(nik)schrott-Recyclings in Österreich

Einleitung

Ein spezielles Problem in Bezug auf den Abfall einer Industrienation stellt der Elektronikschrott dar. Wie bei kaum einer anderen Produktgruppe tritt hier eine Anhäufung der verschiedensten organischen und anorganischen Verbindungen auf. Die ordnungsgemäße Behandlung und Entsorgung von Abfall mit dem Ziel der Minderung von Umweltauswirkungen wird auch in den Entwicklungsländern ein immer wichtiger werdendes Thema.

Neben vielen anderen gesetzlichen Regelungen und Festlegungen für bestimmte Arten von Müll und Abfall wird auch seit längerer Zeit über die Behandlung des so genannten Elektronikschrotts beraten. Dabei soll die Entsorgung über die bisherigen Kanäle als Hausmüll und Gewerbemüll eingeschränkt werden, um zum einen das von dem Elektronikschrott ausgehende Gefährdungspotential zu verringern und zum anderen eine höhere Verwertungsquote zu erreichen.

Ausgangspunkt der gesetzlichen Überlegungen ist die prinzipielle Rücknahmepflicht von Altgeräten durch die Hersteller und die anschließende komplette oder teilweise Verwertung entsprechend vorhandener technischer und ökonomischer Möglichkeiten. Mittelbar wird dabei auch das Ziel verfolgt, die Produktion recyclingfreundlicher (z.B. Erleichterung der Demontage, Kennzeichnung der Kunststoffsorte), wieder verwertbarer (z.B. nochmaliger Einsatz von Baugruppen oder Rahmenteilen) und langlebiger und damit umweltfreundlicherer Neuprodukte zu fördern.

Situation des Elektronikschrott-Recyclings

Folgende ausgeprägte Situation des Elektronikschrott-Recycling ist vorhanden:

- rechtliche Rahmenbedingungen
- Altgeräteaufkommen
- Altgeräteeinfuhr
- Vermarktungsmöglichkeit für rückgewonnene Werkstoffe und Bauteile
- Stand der Recyclingtechnik

Die rechtlichen Rahmenbedingungen sind für das Elektronikschrott-Recycling von besonderem Interesse, da man finanziell bis jetzt nur einen geringen Ertrag gewinnen konnte und zum anderen das Umgehen mit umweltgefährdenden Stoffen von besonderer Bedeutung ist:

- Elektronik-Schrott-Verordnung
- Kreislaufwirtschaft und Abfallgesetz

Die Europäische Kommission diskutiert daher schon seit Jahren eine entsprechende EAG-Richtlinie, um die enormen Mengen in den Griff zu bekommen. Nach dem Inkrafttreten der EU-Richtlinie haben dann die Mitgliedsstaaten 18 Monate Zeit, die Richtlinie in einer nationalen Verordnung umzusetzen. Die wichtigsten Punkte des aktuellen Vorschlags für eine EAG-Richtlinie sind:

- Der Produzent (Importeur ist gleichgestellt) ist finanziell verantwortlich (d.h., er muss Sammlung, Behandlung, Wiederaufarbeitung, Entsorgung

- bezahlen)
- Elektro- und Elektronikgeräte dürfen nach dem 1. 1. 2004 keine Schwermetalle (Blei, Quecksilber, Cadmium, sechswertiges Chrom, halogenierte Flammschwermetalle) enthalten
- Mitgliedsländer müssen die Sammlung von 4 kg EAG pro Einwohner pro Jahr sicherstellen
- EU schreibt gewisse Reuse- und Recyclingziele (70 %-90 %) für 11 Produktgruppen vor.

Altgeräteaufkommen

In Österreich fallen jährlich etwa 80.000 bis 100.000 t Elektro- oder Elektronik-Altgeräte (EAG) als Abfall an. Rund 50 % davon stammen aus Haushalten und haushaltsähnlichen Einrichtungen. Im Vergleich zu Deutschland wird von einer jährlichen Gesamtmenge in Höhe von mindestens 800.000 t bis 2 Millionen t bei jährlich steigender Tendenz ausgegangen. Etwa 2/3 des Aufkommens werden dem Konsumbereich zugeordnet. Innerhalb des Konsumbereiches dominiert wiederum die so genannte weiße Ware der Haushaltsgeräte, insbesondere der Haushaltsgroßgeräte. Größte Fraktion innerhalb der Industrieprodukte sind die Leuchten. Die Altgerätelieferanten sind für die

Recyclingbetriebe entscheidend, da sie nicht überregional, sondern nur regional für die Zulieferung verantwortlich sind. Die typischen Lieferanten sind dabei folgende Gruppen:

- Industrie und Handel
- Privatverbraucher
- und öffentliche wie kommunale Einrichtungen

Speziell die Industrie und der private Bereich sind dabei die Hauptlieferanten, wobei die Sammlung und Zulieferung noch nicht sehr stark ausgebaut bzw. verbreitet ist.

Nicht nur Rahmenbedingungen, Altgeräteaufkommen und Altgerätelieferanten sind dabei von Bedeutung, sondern es ist auch jene Seite des Gesamtkreislaufs zu betrachten, die für die Vermarktungsmöglichkeit für rückgewonnene Werkstoffe und Bauteile sorgt.

- Wiederverwendung: Bauteile können für ihren ursprünglichen Zweck verwendet werden
- Weiterverwertung: Bauteile können für einen anderen Zweck eingesetzt werden
- Wiederverwertung: Materialien können für ihren ursprünglichen Zweck

- verwendet werden
- Weiterverwertung: Materialien können für einen anderen Zweck eingesetzt werden

Entscheidend für die jeweilige Demontage- oder Recyclingmöglichkeit, muss der Demontagebetrieb festlegen:

- Eine zu geringe Menge an gleichen (homogenem) Elektronikschrott.
- Bauteilprüfungen sind sehr zeitaufwendig.
- Akzeptanz für gebrauchte Bauteile in Neugeräten.
- Manuelle Demontage ist zu kostenintensiv, da die gebrauchten Bauteile nicht preiswert genug sind.
- Bauteile können demontiert, aber nicht mehr montiert werden.
-

Neben den wirtschaftlichen und rechtlichen Aspekten ist die Situation des Elektro(nik)-Recyclings vor allem durch den Stand der Technik (Abb. 1) geprägt. Demnach lässt sich die derzeitige Situation in drei Bereiche gliedern:

- Mechanische Aufbereitung (Shreddern, phys. Abtrennung der Metalle ...)
- Thermische Aufbereitung (Pyrolyse ...)
- Demontage (Zerlegen, Zerteilen ...)

Logistikkonzept - Demontage

In der heutigen Zeit, in der die Spezialisierung einen sehr großen Stellenwert eingenommen hat, geht der Blick für eine vollständige Betrachtungsweise von Produktlebenszyklen häufig verloren. Die Gestaltung von neuen Produkten beinhaltet aber eine Produktgestaltung, die auch die Verwertung von Produkten bzw. auch die Wiederverwendung von Bauteilen und Baugruppen am Ende des Lebenszyklus unter Beachtung technischer, ökologischer und ökonomischer Gesichtspunkte einbezieht.

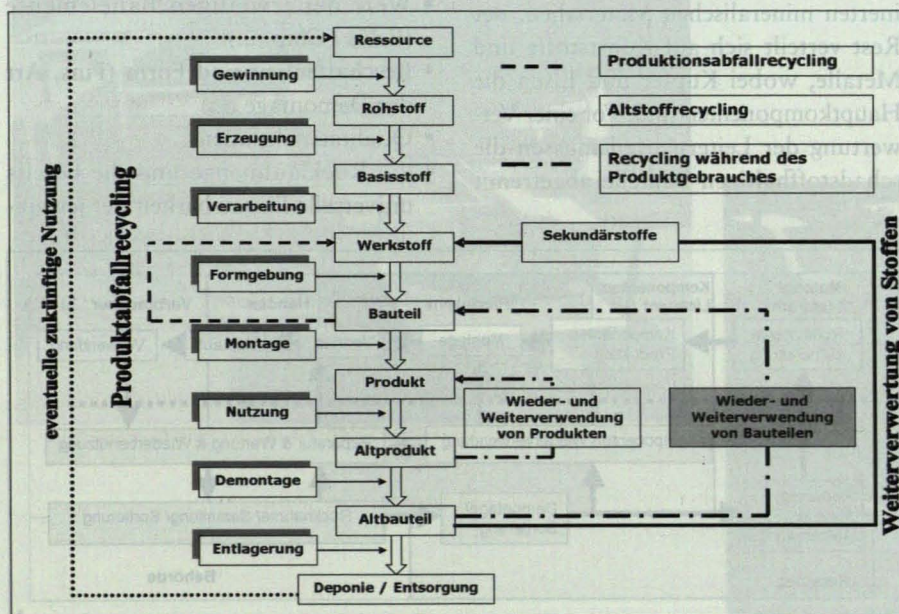


Abb. 1: Recyclingkonzepte - Kreislaufarten

Eine Betrachtung der Wertschöpfungsphasen von den Zulieferern über den Produzenten bis zum Kunden wird heute üblicherweise als Supply Chain bezeichnet. Unternehmen des End-of-Life-Managements (Rückführung, Zerlegung, Recycling von Bauteilen bzw. Bauteilgruppen und Verwertung von Materialien) sind in dieser Wertschöpfungskette bisher nicht oder nur in geringem Maße integriert.

Synergieeffekte durch eine Koppelung der Produktentstehungsphase mit der Nachgebrauchsphase werden nicht genutzt. Wesentliche ökonomische und ökologische Optimierungspotenziale sind durch eine gemeinsame Informationsstruktur und eine abgestimmte Planung der Stoffströme zu erreichen.

Deshalb wurde Ende Mai 2000 die ReUse Elektro(nik)produkte und Bauteilverwertung Ges.m.b.H. gegründet, wodurch eine neue Marktlücke geschlossen wurde. Einerseits leistet das Leiterplattenrecycling einen wesentlichen Beitrag zum Umweltschutz und liefert dabei wichtige Informationen für die zukünftigen Produktgestaltungen, andererseits besteht eine sehr große Nachfrage an gebrauchten Chips (Second-Hand-Markt). Bauteile, die vom Markt über den virtuellen Marktplatz (Chips werden über eine Datenbank bestellt) nachgefragt werden, haben einen direkten Einfluss auf die Art und Menge der zu demontierenden Bauteile. Aber auch mit der kompletten Leiterplatte (Leiterplatte ohne Chips und Lotrückstände) können mit Hilfe des Materialrecyclings, Erlöse erzielt werden. Dabei ist eine spezielle Situation für das Betreiben einer Demontageanlage zu beachten.

Betreiber solcher Anlagen sind sowohl von den Zulieferern (Letztbesitzern) als auch von den Ersatzteilkäufern und Shredderbetrieben etc. abhängig. Dabei können weder die Zulieferer noch die Abnehmer wesentlich darauf beeinflusst werden, wann sie wo und wie viele Einheiten eines ausgedienten Produktes anliefern bzw. abnehmen können. Es

sind deshalb für die Entwicklung solcher Logistikkonzepte folgende Ziele zu verfolgen:

- Kostengünstige und umweltverträgliche Logistiksysteme müssen zugleich angewandt werden.
- die Sichtweise für die Abfallbeseitigung (Abfallsenkung) als auch die Abfallquelle müssen koordiniert werden.
- Aufbau einer Teillogistik (staatliche Sicht) und einer Gesamtlogistik (europaweite Sicht – EU).
- Schnittstellen zur Verfügung zu stellen für die Optimierung der gesamten Logistik.

Leiterplatten-Recyclings

Das Recycling von bestückten Leiterplatten aus elektr(on)ischen Produkten nimmt in der Entsorgung von Elektronikschrott eine besondere Stellung ein. Als Leiterplattenbasismaterial oder auch Trägermaterial dienen Hartpapier oder Kunstharze, welche aus Stabilitätssichtpunkten in den meisten Fällen mit Glasfasern verstärkt sind. Aus sicherheitstechnischen Gründen ist dieses Trägermaterial mit flammhemmenden Additiven versehen, die im Brandfall eine Löschung des Brandes bewirken. Leiterplatten bestehen bis etwa zur Hälfte aus inerten mineralischen Materialien, der Rest verteilt sich auf Kunststoffe und Metalle, wobei Kupfer und Eisen die Hauptkomponenten sind. Vor einer Verwertung der Leiterplatten müssen die schadstoffhaltigen Bauteile abgetrennt

werden, dies geschieht bei der Entstückung bzw. Demontage der Leiterplatte.

Verwertung von Leiterplatten in Österreich

Von den Demontagebetrieben in Österreich werden die Leiterplatten häufig an zwei verschiedene Verwerter weitergeleitet. Die höherwertigen Leiterplatten, auf denen Edelmetalle erkannt oder vermutet werden, gehen zumeist an Edelmetallscheideanlagen, die vor allem im Ausland liegen. Die minderwertigen Leiterplatten, die den größten Gewichtsanteil ausmachen, werden hauptsächlich im Inland mechanisch aufbereitet. Der Erlass des BMU zum AWG und seinen Verordnungen schreibt die Entfernung und ordnungsgemäße Behandlung der schadstoffhaltigen Fraktionen aus dem Elektronikschrott vor, zu denen auch bestückte Leiterplatten zählen. Im Klartext heißt das, dass bestückte Leiterplatten als gefährlicher Abfall anzusehen sind.

Wieder- oder weiterverwendbare Bauteile

Ob Bauteile noch einmal verwendet werden können, hängt von mehreren Faktoren bzw. Randbedingungen ab:

- Wert der jeweiligen Bauelemente (Erlös / Chip)
- Beschaffenheit und Form (Pins, Art der Demontage)
- Qualitätsrichtlinien
- die Rücklaufmenge und die bereits universelle Einsetzbarkeit der jewei-

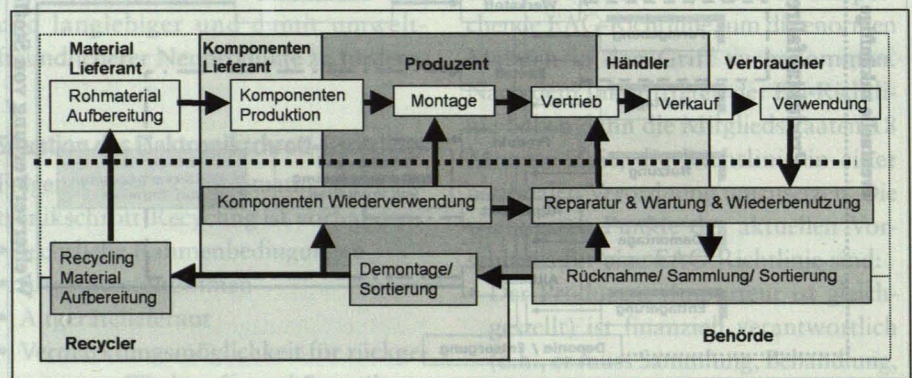


Abb. 2: Elektro- oder Elektronik-Altgeräte – Logistikkonzept

gen Bauelemente

- Funktionsfähigkeit des Chips (Funktionsprüfung, Temperaturverlauf bei der Demontage ...)
- ...

Da für eine Analyse (automatisierte Demontage) Werte aus der Praxis notwendig wären, die aber leider nicht oder nur unzureichend vorhanden sind aufgrund der fehlenden industriellen Demontagezellen für Leiterplattendemontage, kann man sich dabei nur auf Werte der rein manuellen Entstückung von Leiterplatten stützen, um Aussagen über die Verwendung von entstückungsrelevanten Elektronikbauteilen treffen zu können.

Logistikkonzept

Voraussetzung für den erfolgreichen Aufbau eines solchen Systems ist die Bereitschaft aller Teilnehmer, eine Diskussion über die bisher streng eingehaltenen Grenzen zwischen Lieferung von Neuteilen/-geräten und der Sammlung von Altgeräten bzw. von Ausschussware (aus Produktion, Transportschäden, ...) zuzulassen.

Der Grundgedanke des österreichischen EAG-Logistikkonzeptes (Abb. 2) besteht darin, den gesamten Abfallstrom in zwei Teilströme aufzuspalten:

- einen Anteil, der wertvolle, wieder verwendbare Geräte und Komponenten enthält und daher einer getrennten, schonenden Beförderung bedarf, und
- einen allgemeinen Abfallstrom, der dem Werkstoffrecycling zugeführt wird, um Sekundärrohstoffe zu gewinnen.

Diese Abzweigung muss aus Qualitätsgründen direkt am Anfallort geschehen. Während der allgemeine Abfallstrom unangetastet bleibt und über konventionelle Sammelrouten entsorgt wird, werden Reuse-Geräte bzw. deren wieder verwendbare Komponenten von Speditionen direkt bei Elektronikherstellern, beim Handel und bei den Kommunen abgeholt und zu speziellen Vordemontage-Zentren gebracht.

In den Vordemontage-Zentren erfolgt die Sortierung in noch gänzlich funktionierende Produkte, die als Second-Hand-Ware vermarktet werden können, sowie in kaputte Geräte, die wieder verwendbare Bauteile enthalten und vorzerlegt

werden. Die Reststoffe werden wieder in den üblichen Entsorgungs- bzw. Recyclingmarkt eingegliedert.

Die wertvollen Bauteile werden durch Spediteure zu einer intelligenten Demontagezelle gebracht, zerlegt und auf dem Reuse-Markt wieder an Produzenten bzw. Reparatur- und Serviceeinrichtungen verkauft. Dies soll in einem ersten Modellversuch exemplarisch an Leiterplatten und deren Bauteilen demonstriert werden. Ebenso werden funktionsfähige Gerätekompenten (Netzwerkkarte, Festplatte, Diskettenlaufwerk ...) direkt von den Vordemontage-Zentren an den Konsumenten geliefert.

Demontage(zelle)

Im Zuge der Planung und Ausführung des Projektes wurde, um sich den Ablauf besser vorstellen zu können, eine Simulation (Abb. 3) des gesamten Ablaufes erstellt. Es beinhaltet zwei Hauptbereiche:

- eine optimierte Bilderkennungsanlage in Verbindung mit einer Bauteiledatenbank und der Verknüpfung von Marktdaten aus einem virtuellen Markt zur Optimierung der wirt-

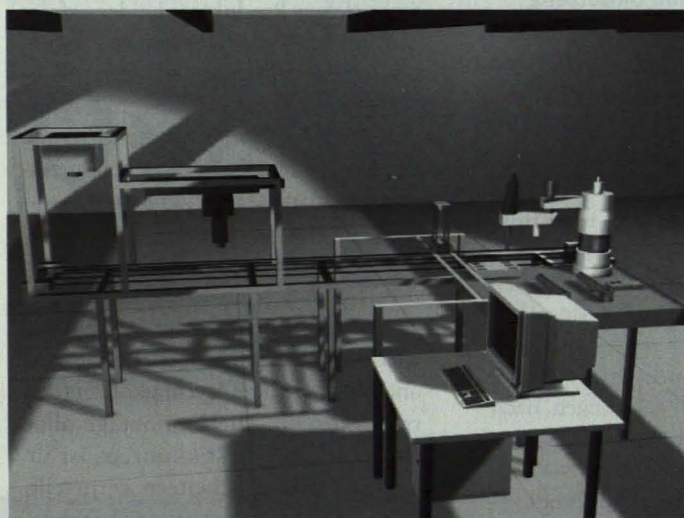


Abb. 3: Simulation und realer Zustand der Demontage-Zelle

schaftlichen Rahmenbedingungen;

- einem rechnergesteuerten Demontagemodul, bestehend aus einer Entlöt-Lasereinrichtung in Verbindung mit einem Demontageroboter.

Es werden die derzeit anfallenden Elektronik-Altgeräte entsprechend ihrer Demontageeigenschaften in Gruppen – so genannten Demontagefamilien – unterteilt, um eine wirtschaftliche Demontage zu gewährleisten. Kriterien sind hierbei, Gerätegruppen bzw. Gruppen von Geräteteilen auszuwählen, die mit demselben teilautomatisierten Demontageverfahren zerlegt werden können.

Die aus der Vordemontage und der Demontage übrig gebliebenen Reststoffe werden durch Sammler abgeholt und einem stofflichen Recycling bzw. einer Problemstoff-Entsorgung zugeführt.

Zur Sammlung von Abfällen werden verschiedene Entsorgungslogistiken angewandt, wobei prinzipiell Bring- und Holsystem unterschieden werden kann. In diesem Fall sollen aber nur jene Anbieter aufgezählt werden, die über ein schon bestehendes Logistiknetz verfügen.

Speditoren

Die Chancen für Speditionen liegen in einer Ausweitung der Marktpräsenz bei gleichzeitig effizienter Ausnutzung von Ressourcen. Eine Anpassung der Routenplanung könnte das wirtschaftliche Potential des Reuse-Marktes von derzeit erschließen.

Bei der Lieferung von Neugeräten an Händler besteht die Variante, im gleichen Arbeitsgang die vom Konsumenten direkt beim Handel zurückgegebenen Altprodukte abzuholen und zu den Vordemontagezentren zu transportieren. Bei diesen Fuhren könnten eventuell auch die in Kommunen gesammelten Altgeräte zu den Vordemontagezentren gebracht werden.

Sammler

Das Grundbetätigungsfeld der Sammler bleibt durch dieses System unangetastet, da die Elektronikartikel nur vorübergehend dem Stoffstrom entzogen werden.

Paketdienste

Die Stärke von Paketdiensten liegt darin, dass die Aufträge zielgenau und schnell an den Verwendungsort geliefert werden können. Dadurch und wegen der geringen Mindestgröße der Sendung ließe sich dieses System auch mit gängigen Reparaturpraktiken von Servicefirmen in Einklang bringen, bei denen die Ersatzteile auf Anfrage direkt zum Kunden geschickt und dort eingebaut werden.

Firmeninterne Logistik

Die Schnittstellen zur internen Logistik der Endverbraucher, d. h. Elektronikhersteller sowie Reparatur- und Servicebetriebe, müssen so gestaltet sein, dass eine nahtlose Eingliederung der Reuse-Bauteile in den industriellen Produktions- bzw. Reparaturprozess möglich ist.

Zusammenfassung und Umsetzung

Der Umweltschutz stellt in der heutigen Zeit eines der am meisten diskutierten Themen dar. Durch die maschinelle Verbreitung von hochtechnologischen Produkten und die immer kürzeren Produktlebenszyklen kommt es zu einem ständig steigenden Rückfluss von ausgedienten technischen Geräten. Aufgrund dieses weltweit steigenden Abfallaufkommens sowie der Verknappung natürlicher Rohstoffressourcen sind die Industrie und die moderne Gesellschaft gezwungen, nach ökologischen und ökonomischen Lösungen dieses Problems zu suchen. Durch die Verlängerung der Produktlebensdauer oder die Reduzierung des Werkstoffeinsatzes kann zwar der Zeitpunkt der Abfallentstehung und des Ressourcenverzehr hinausgezögert werden, aber eine Lösung der gesamten Umweltproblematik ist dadurch nicht möglich. Aus der Notwendigkeit, Abfälle zu vermeiden und damit Res-

ourcen zu schonen, hat sich daher als einzig mögliche Lösungsalternative das Recycling von technischen Gebrauchsgütern herausgestellt. In diesem Zusammenhang tritt die Demontage von Produkten als erster Schritt zu einem effizienten Recycling auf, da die Demontage im Vergleich zu konkurrierenden Recyclingprozessen einen höheren Werterhalt des Altgutes erlaubt.

Innerhalb des Recyclings von Produkten ist die Demontage häufig das erste Glied einer komplexen Prozesskette. Dabei nimmt die Demontage im Rahmen des Recyclings eine Sonderstellung ein. Nur sie ermöglicht die Rückgewinnung von Baugruppen und Bauteilen und damit deren Zuordnung zur Ausarbeitung. Die Zerkleinerung und Separierung hingegen ermöglicht nur noch eine Rückgewinnung der Werkstoffe und damit deren Zuordnung zur Verwertung oder Deponierung. Die Demontage von Produkten verfolgt also einen zum Schreddern konträren Ansatz. Beim Schreddern wird das Produkt wahllos zerkleinert und die Bestandteile werden zunächst vermischt. Hingegen ist die Aufgabe der Demontage ein gezieltes Herauslösen und Vereinzeln von Bestandteilen des technischen Produktes. Leider erfolgt gegenwärtig die Demontage, wenn überhaupt, nur manuell. Eine Automatisierung der Recyclingprozesse ist daher im Rahmen einer Reduzierung der Kosten und Schaffung von humanen Arbeitsplätzen unumgänglich.

Die vorliegende Arbeit liefert neue Ansätze im Bereich des zukunftsreichen Themengebietes der Demontage, welche es ermöglichen, wirtschaftliche und ökologische Recyclingkonzepte zu verwirklichen. Die Demontage ohne ein gezieltes Logistikkonzept ist im Vorhinein zum Scheitern verurteilt. Deshalb sollte ein nächster Schritt sein, ein effizientes Logistikkonzept für Österreich zu schaffen mit Hinblick auf geeignete Schnittstellen zu vorhandenen und zukünftigen Partnern der EU.