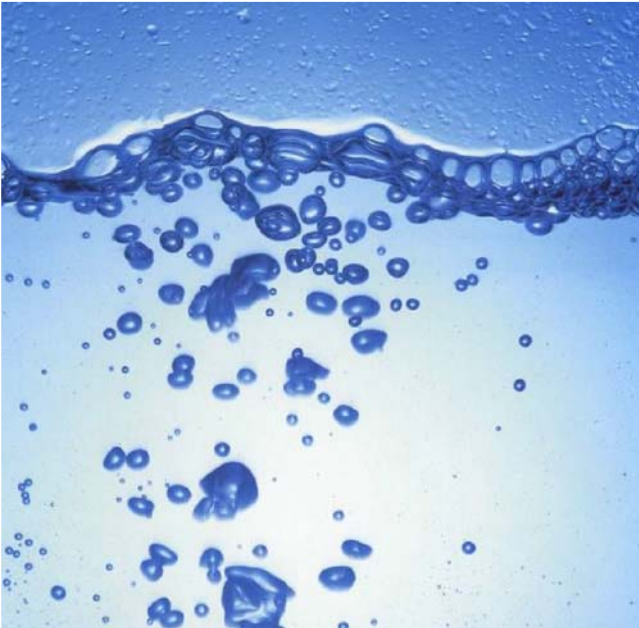




Zukunftsmarkt Stofferkennung und -trennung



Zukunftsmarkt

Technologien zur Stofferkennung und -trennung

Fallstudie im Auftrag des Umweltbundesamtes

im Rahmen des Forschungsprojektes
Innovative Umweltpolitik in wichtigen Handlungsfeldern
(Förderkennzeichen 206 14 132/05)

durchgeführt

von

Zukünftige Technologien Consulting (ZTC)
der VDI Technologiezentrum GmbH
Düsseldorf

Autoren:

Hartmut Schug

Heinz Eickenbusch

Frank Marscheider-Weidemann

Axel Zweck

Impressum

Herausgeber: Umweltbundesamt (UBA)
Postfach 1406, 06844 Dessau-Roßlau
E-Mail: info@umweltbundesamt.de
www.umweltbundesamt.de

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
Referat Öffentlichkeitsarbeit
11055 Berlin
E-Mail: service@bmu.bund.de
www.bmu.de

ISSN: 1865-0538

Projektbetreuung: Michael Golde
Umweltbundesamt (UBA)

Peter Franz
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)

Autoren: Hartmut Schug, Dr. Heinz Eickenbusch, Dr. Dr. Axel Zweck
(VDI Technologiezentrum GmbH, Düsseldorf)

Dr. Frank Marscheider-Weidemann
(Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI), Karlsruhe)

Titelfotos: Q-Cells AG, BMU / Rupert Oberhäuser, ccvision GmbH

Stand: Dezember 2007

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	1
Summary	3
1 Einführung	5
2 Technische Potenziale	6
2.1 Ziele der Stofferkennung und -trennung	6
2.2 Integration der Technologien in Sortierprozesse	7
2.3 Sortiertechnologien	13
2.4 Fazit und Entwicklungspotenziale.....	16
3 Die Bedeutung für Ökologie, Ökonomie und Gesellschaft	19
3.1 Ökologische Aspekte	19
3.2 Ökonomische Aspekte	19
3.3 Gesellschaftliche/soziale Aspekte.....	21
4 Innovationsdynamik	22
5 Wirtschaftliche Potenziale	25
5.1 Marktpotenzial – aktuell und Perspektive 2020	25
5.2 Markteigenschaften und -struktur sowie Entwicklungspotenziale.....	28
5.3 Identifikation wichtiger Zielländer aktuell und perspektivisch.....	33
5.4 Innovationssystem und marktführende Unternehmen in den führenden Ländern.....	34
6 Schlussfolgerungen und Ausblick	37

6.1	Rahmenbedingungen und Regulierung.....	37
6.2	Fazit: SWOT-Analyse	38
	Literatur	39

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1:	Darstellung der Stoff-/Energie- und Informationsflüsse in der Kreislaufwirtschaft (Fleischer, ohne Datum).....	8
Abbildung 2-2:	Beispiel für ein Verfahrensschema der Brennstoffaufbereitung aus Gewerbeabfall (Pretz 2006).....	10
Abbildung 2-3:	Vereinfachtes Blockfließbild der A.R.T.-Sortieranlage in Trier, Stand: 2001 (A.R.T. GmbH, pers. Korrespondenz, 2007).....	11
Abbildung 2-4:	Nah-Infrarottechnik-Aggregate der A.R.T.-Sortieranlage.....	12
Abbildung 2-5:	Funktionsweise eines Wirbelstromscheiders (Hoberg 1998).....	15
Abbildung 2-6:	Optoelektronische Sortierung am Beispiel des NIR-Verfahrens (Johannessen 2005)	16
Abbildung 4-1:	Länderanteile für Anmeldungen von Patenten zur Recycling Technologien am Europäischen Patentamt, 1999-2003, (OECD 2006).....	22
Abbildung 4-2:	Länderanteile für die Anmeldung von Patenten zu Abfallbeseitigungs-Technologien am Europäischem Patentamt, 1999–2003, (OECD 2006).....	23
Abbildung 4-3:	Patentanteile für Patente zur Trenntechnologie im Bereich des Recyclings 2000 bis 2004 (Quelle: eigene Berechnungen Fraunhofer ISI, 2007)	23
Abbildung 4-4:	RPA für Patente zur Trenntechnologie im Bereich des Recyclings 2000 bis 2004 (Quelle: eigene Berechnungen Fraunhofer ISI, 2007).....	24
Abbildung 5-1:	Mengen an Siedlungsabfall EU-15 (Genter, 2003).....	26
Abbildung 5-2:	Mengen an Siedlungsabfall der neuen EU-Länder (Beitritt in 2004) (Genter, 2003)	26
Abbildung 5-3:	Produktlebenszyklus automatischer Sortieranlagen sowie der Aufbereitung und des Recyclings von Elektroaltgeräten (AMCG 2003).....	27
Abbildung 5-4:	Prognostiziertes Marktwachstum in Großbritannien (Selwyn/Leverett 2006).....	27
Abbildung 5-5:	Nachfragepotenziale nach Recycling Technologien – EU & U.S. (Johannessen, 2005)	28

Abbildung 5-6:	Marktanteile von TiTech (TOMRA, 2006).....	30
Abbildung 5-7:	Das Marktpotenzial im Segment von TiTech – der mittelfristige, weltweite Bedarf an optischen Sortieranlagen (in Anlageneinheiten) (Johannessen 2005).....	31
Abbildung 5-8:	Das Marktpotenzial in den Kernsegmenten von TiTech (in Prozent) (Johannessen 2005).	31
Abbildung 5-9:	Umsatz von 2006, unterteilt in unterschiedlichen Segmente (in Prozent) (Tomra, 2006)	32
Abbildung 5-10:	Akteursbeziehungen (MRF = Material Recovery Facilities) (Tomra, 2006).....	35
Abbildung 5-11:	Anzahl der Unternehmen in den einzelnen Technologiebereichen (Tomra, 2006)	36

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Unterschiedliche Fraktionen in LVP-Sortieranlagen (nach Harant/Kröger 2005).....	12
Tabelle 2-2:	Innovative Ansätze zur Abfallbehandlung (nach AMCG, 2003)	18
Tabelle 5-1:	Stofferkennungs- und -trennverfahren von Sortieranlagen (Tomra, 2006)	32
Tabelle 5-2:	System- und Technologieanbieter (nach Johannessen 2005 und TOMRA 2006)	35
Tabelle 6-1:	SWOT-Analyse.....	38

Zusammenfassung

Diese Fallstudie zum Handlungsfeld „Kreislaufwirtschaft, Abfall, Recycling“ mit dem Schwerpunkt „Technologien zur Stofferkennung und -trennung“ wurde im Rahmen des Forschungsprojektes des Umweltbundesamtes „Zukunftsmärkte – Innovative Umweltpolitik in wichtigen Handlungsfeldern“ erstellt.

Durch **Stofferkennungs- und -trennverfahren** wird die zielgerichtete Anreicherung von Stoffen anhand übereinstimmender Merkmale ermöglicht. Die einzelnen Verfahren sind modular in die Sortieranlagen integriert und materialspezifisch nach den zu trennenden Fraktionen sowie nach dem Reinheits- bzw. Verschmutzungsgrad konzipiert.

Automatisierte Verfahren beschleunigen die Trennung und ermöglichen höhere Reinheitsgrade; hierdurch wird die **Recyclingrate** sowohl qualitativ als auch quantitativ erhöht. Die somit wieder gewonnenen Sekundärrohstoffe können rohstofflich, werkstofflich bzw. zur energetischen Verwertung als Ersatzbrennstoff eingesetzt werden. Natur- und klimaschädliche bzw. gesundheitsgefährdende Reststoffe können durch diese Technologien ebenfalls aus dem Stoffkreislauf entfernt werden. Durch den vermehrten Sekundärrohstoffeinsatz kann der Verbrauch von Primärrohstoffen sowie fossiler Energieträger verringert werden, woraus eine **Ressourcenschonung** resultiert. Zudem wird hierdurch die vollständige und umweltverträgliche Verwertung von Siedlungsabfällen („Ziel 2020“) unterstützt.

Neben optoelektronischen, sensorgestützten Sortierverfahren (z. B. Nah-Infrarot-Technologie, NIR) werden neuen Technologien wie der RFID-Technologie große Entwicklungspotenziale zugeschrieben. Die **Innovationsdynamik** ist (noch) eng verknüpft mit politischen Regulierungen (Umweltgesetzgebung, Recycling-/Wiederverwertungsziele). Im Zuge der Preissteigerung von Primärrohstoffen ist mit einer verstärkten marktgetriebenen Weiterentwicklung zu rechnen.

In der EU fallen ca. 230 Mio. Tonnen Siedlungsabfälle pro Jahr an, die aktuell nur zu ca. 20 % recycelt werden. Der Umsatz im **Markt** für Abfall- und Recyclingdienstleistungen in der EU wird auf ca. 55 Mrd. € geschätzt. Die automatischen Sortieranlagen befinden sich in einem Wachstumsstadium; mit einem steigenden Bedarf ist weltweit zu rechnen. Aufgrund politischer Regulierungen hat sich in Deutschland bzw. in Europa eine international **konkurrenzfähige Akteurslandschaft** entwickelt. Deutschland befindet sich gemeinsam mit Japan und den Vereinigten Staaten an der Spitze bei den Patentanmeldungen. Mit der Verteuerung von Primärrohstoffen und Energie ist auch mit einer Erhöhung des Bedarfs an Sekundärrohstoffen zu rechnen.

Ansatzpunkte für Politikmaßnahmen sind die Stärkung der Akteurs- und Forschungslandschaft durch Unterstützung bei der Entwicklung und dem Transfer **neuer Technologien** (z. B. NIR, RFID) sowie bei der **Vernetzung** von Wissenschaft und Wirtschaft, bei der Diffusion verfügbarer Technologien sowie beim Transfer **ausgereifter Technologien** auf andere Anwendungsfelder in der Kreislaufwirtschaft. Darüber hinaus sollte eine Unterstützung bei der Finanzierung der **Investitionskosten** erfolgen (Zielgruppe: Finanzbranche). Zur weiteren Schließung der Kreislaufwirtschaftskette sollte die **Umweltgesetzgebung** unter Einbindung aller relevanter Akteure (insbesondere Produktion, Handel, Verbraucher, Abfall-/Recyclingwirtschaft) weiterentwickelt werden; hier ist auch auf eine **Erhöhung der Akzeptanz** für Sekundärrohstoffe in der Produktion sowie beim Verbraucher hinzuwirken.

Summary

This case study on "Closed-loop economy, waste, recycling" which focuses on "Technologies for material detection and separation" was done within the scope of the research project "Future markets – innovative environmental policy in important fields of action".

Material detection and separation processes make it possible to accumulate specific materials based on uniform characteristics. Automatic processes accelerate separation and allow higher levels of purity. The processes are integrated as modules into the sorting plants and designed to be material-specific according to the fractions to be separated or the level of purity or pollution.

Automatic processes increase **recycling rates** (qualitatively and quantitatively): The recovered secondary raw materials can be used as raw materials, materials or energetically as substitute fuels. Residues that are hazardous to nature, the climate or human health can be removed from the cycle using these technologies. The consumption of primary raw materials and fossil energy sources is reduced by the increased use of secondary raw materials which results in avoiding waste and **saving resources**. Furthermore, the complete and environmentally-compatible recycling of municipal solid waste is supported ("Ziel 2020", which is the specific strategy of the German government for the future of the municipal solid waste management).

Besides optoelectronic, sensor-based sorting processes (e. g. near infrared technology, NIR) large development potentials are attributed to new technologies such as RFID technology. **The innovation dynamics** are (still) closely linked with political regulations (environmental legislation, recycling/reuse targets). An increased market-driven development can be expected in the wake of price increases of primary raw materials.

The turnover on the **market** for waste and recycling services in the EU is estimated at approx. 55 billion €. About 230 million tonnes of municipal solid waste are produced each year in the EU, of which only approx. 20% are recycled. The market for automatic sorting plants is currently in a phase of growth; demand is expected to increase worldwide. A **scene of players** has developed in Germany and Europe who are internationally **competitive** as a result of political regulations. Germany shares the top position in patent applications with Japan and the USA. Price increases for primary raw materials and energy will also increase the demand for secondary raw materials.

Starting points for **policy measures** are strengthening the players and research landscape by supporting the development and transfer of new technologies (e. g. NIR, RFID) as well as the networking of science and industry, the diffusion of available tech-

nologies and the transfer of mature technologies to other fields of application in the waste management and recycling sectors. In addition, there should be support in financing investment costs (target group: financial sector). To close the recycling loop better, environmental legislation should be further developed, involving all the relevant players (especially production, trade, consumers, waste/recycling industry); this should also include raising the acceptance of secondary raw materials among producers and consumers.

1 Einführung

Der Umwelt- und Ressourcenschutz gewinnt national und international eine zunehmende Bedeutung. Damit verbunden wird sich die Nachfrage nach Umwelttechniken weltweit dynamisch entwickeln. Inzwischen hat sich aus dem Umwelt- und Ressourcenschutz auch ein maßgeblicher Treiber für Innovationen entwickelt. Umwelt- und Innovationspolitik wachsen dadurch immer stärker zusammen, moderne Umweltpolitik muss auch Innovationspolitik sein.

Um Wachstums- und Beschäftigungspotenziale zu mobilisieren ist es wichtig, Synergieeffekte zwischen der Verbesserung der Umweltsituation, der Schaffung zukunftsfähiger Arbeitsplätze und der Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit zu identifizieren und zu nutzen. Das Forschungsprojekt „Innovative Umweltpolitik in wichtigen Handlungsfeldern“ analysiert die Innovationsdynamik in wichtigen Handlungsfeldern systematisch und auf zusammenfassender Ebene. Diese Handlungsfelder bildeten die Basis, um elf Produktgruppen/Technologien auszuwählen, die in Fallstudien vertieft untersucht werden.

Jede Fallstudie enthält eine kurze Vorstellung der Grundlagen der entsprechenden Technologie. Anschließend folgt eine nähere Analyse des Zukunftsmarktes und seiner Innovationsdynamik. Besonderes im Blickpunkt stehen dabei die Entwicklung der Wettbewerbsfähigkeit deutscher und europäischer Unternehmen im internationalen Vergleich, ihr Umfeld sowie Ansatzpunkte für eine Stärkung des deutschen und europäischen Innovationssystems.

Innerhalb der Reihe „Umwelt, Innovation, Beschäftigung“ sind Fallstudien zu den folgenden Themen erschienen: Solarthermische Stromerzeugung, CO₂-Abscheidung und Speicherung, Elektrische Energiespeicherung, Solares Kühlen, Energieeffiziente Rechenzentren, Biokunststoffe, Synthetische Biokraftstoffe, Hybride Antriebstechnik, Dezentrale Wasseraufbereitung und Regenwassermanagement, Nachhaltige Wasserwirtschaft und Nanotechnologie, Stofferkennung und -trennung.

In dieser Fallstudie zum Handlungsfeld „Kreislaufwirtschaft, Abfall, Recycling“ werden Technologien zur Stofferkennung und -trennung vorgestellt und beschrieben sowie deren Bedeutung für Ökonomie, Ökologie und Gesellschaft dargelegt. Die Studie stellt weiterhin wichtige Zielländer sowie marktführende Unternehmen vor und geht auf die Patentlage sowie das Innovationssystem ein, das den Entwicklungen der Stofferkennungs- und -trenntechnologien zugrunde liegt. Die abschließende SWOT-Analyse bietet eine Zusammenfassung über den aktuellen Stand sowie die zukünftigen Herausforderungen dieses Technologiesegments.

2 Technische Potenziale

2.1 Ziele der Stofferkennung und -trennung

Abfall ist ein mehr oder weniger heterogenes Gemisch von Stoffen mit unterschiedlichen, individuellen Eigenschaften. Unter diesen Stoffen sind einerseits Wertstoffe, die einer weiteren Verwendung zugeführt werden können (Sekundärrohstoffe), sowie andererseits Störstoffe, die aus dem Stoffkreislauf entfernt werden sollen (z. B. umwelt- oder gesundheitsgefährdende Substanzen). Durch Sortierverfahren wird die zielgerichtete Anreicherung von Stoffen anhand übereinstimmender Merkmale ermöglicht.

Die Stofferkennungs- und -trennverfahren dienen der qualitativen Gestaltung der Abfälle, sodass die in Abfällen enthaltene Energie und Rohstoffe wieder verwertet werden können und die letztlich in der Biosphäre verbleibenden Reststoffe möglichst wenig natur- und klimaschädlich sind.¹ Sie sind die Vorstufen für sich daran anschließende, weitere Aufbereitungs- und Verwertungsprozesse.

Ziel der Abfallaufbereitung ist somit die definierte, sortenreine Trennung unterschiedlicher Abfallfraktionen, damit diese anschließend rohstofflich, werkstofflich oder energetisch verwertet bzw. die Störstoffe umweltfreundlich entsorgt werden können. Die Bereitstellung der Produkte (= Sekundärrohstoffe) in bestimmter Qualität und Menge soll zudem unter bestmöglichen wirtschaftlichen Bedingungen erfolgen. Die Abfallaufbereitung ist mit einem Produktionsbetrieb vergleichbar, da sich der Blick in Richtung des Produktabnehmers wendet, der eine gleichbleibende, konstante Produktqualität in Form von Sekundärrohstoffen erwartet.

Die auf die Sortierung folgende rohstoffliche bzw. werkstoffliche Verwertung kann in der Rohstoffindustrie oder im verarbeitenden Gewerbe erfolgen. Zur energetischen Verwertung können die jeweiligen Fraktionen als Ersatzbrennstoffe in Müllheizkraftwerken bzw. bei der Mitverbrennung in Kohlekraftwerken und in Zementwerken sowie bei der Vergärung, z. B. in Biomassekraftwerken, eingesetzt werden.²

Eine der größten Herausforderungen bei der Sortierung ist die z. T. sehr heterogene Zusammensetzung der Abfälle (v. a. bei Siedlungsabfällen bzw. den hausmüllähnlichen Industrieabfällen), die zudem z. T. großen Schwankungen unterliegen kann; die Abfallzusammensetzung stellt daher keine konstante Prozessgröße dar.

¹ Vgl. Definition von „Nachhaltige Abfallwirtschaft“ in Fritz (2005).

² Siehe z. B. „waste-to-energy“, Messe und Kongress, 09. bis 10. Mai 2007, Bremen, www.wte-expo.de.

Die lange Zeit übliche manuelle Sortierung ist heute in der Abfallaufbereitung weitestgehend verzichtbar. Automatisierte Stofferkennungs- und -trennverfahren optimieren die Sortierprozesse und erhöhen Recyclingraten, mit denen eine effektive Positiv- oder Negativauslese von Stoffen in einem definierten Reinheitsgrad erfolgen kann.

Diejenigen Stoffe, die keiner unmittelbaren Verwertung zugeführt werden können, werden – ggf. nach einer thermischen Behandlung (Müllverbrennung) oder Vergärung (mechanisch-biologische Aufbereitung) – umweltgerecht entsorgt.

Seit 1999 verfolgt das Umweltbundesamt das Ziel, Siedlungsabfälle bis spätestens zum Jahr 2020 so hochwertig zu verwerten, dass ihre direkte Ablagerung aus Klimaschutzgründen und unter Nachhaltigkeitsaspekten beendet werden kann („Ziel 2020“). Hierbei ist die technische Machbarkeit einer Umsetzung des Zieles 2020 gegeben, die mittels Modifikationen bestehender Entsorgungssysteme relativ zeitnah umgesetzt werden kann, d. h. eine Umsetzung ist weit vor dem Jahr 2020 möglich (Verbücheln u. a. 2003). In diesem Kontext wird auch die Frage nach der getrennten Erfassung unterschiedlicher Abfallfraktionen unmittelbar beim Abfallerzeuger (Haushalte bzw. Gewerbe) diskutiert. Nach einer Studie im Auftrag des UBA führt die getrennte Erfassung unterschiedlicher Abfallfraktionen (z. B. Verkaufsverpackungen, biologisch abbaubare Abfälle, Elektroaltgeräte) zwar zu einer deutlichen Reduzierung der Restmüllmenge sowie darüber hinaus auch zu einer Reduktion des Verbrauchs von Verkaufsverpackungen. Die Erreichung des „Ziels 2020“ wird allerdings als unabhängig von einer bestehenden oder nicht bestehenden haushalts- bzw. gewerbenahen Getrennterfassung gesehen, da diese – technisch betrachtet – nicht erforderlich ist (Verbücheln u. a. 2003).

2.2 Integration der Technologien in Sortierprozesse

Außer im Bereich des „Recycling“ (= Aufbereitung von Wertstoffgemischen) kommen Stofferkennungs- und -trennverfahren im Bereich des „Mining“ (= Gewinnung von Bodenschätzen) zum Einsatz. Diese Techniklinie ist daher nicht auf eine einzige Branche beschränkt, sondern ihr Einsatz erfolgt in verschiedenen Branchen, wie u. a. der rohstoffproduzierenden Industrie, der Abfallwirtschaft oder der Recyclingindustrie.

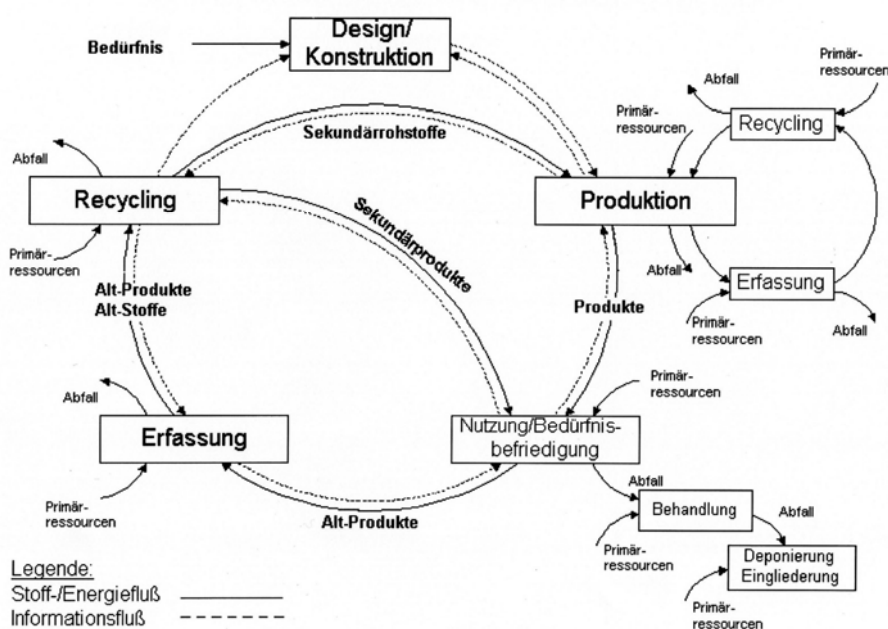
Die Stofferkennungs- und -trennverfahren sind in der Wertschöpfungskette der Kreislaufwirtschaft zwischen der Erfassung (= Sammlung) bzw. der Grobsortierung sowie der sich daran anschließenden Verwertung der Sekundärrohstoffe bzw. der Beseitigung der Störstoffe angesiedelt (vgl. Abbildung 2-1).

Eine Sortieranlage ist eine Kombination unterschiedlicher Sortierverfahren sowie weiterer Verarbeitungsschritte, die untereinander mit Förderbändern verbunden sind. Die

Stofferkennungs- und -trennverfahren sind modular in Sortieranlagen integriert. In den einzelnen Modulen erfolgen die spezifischen Aufbereitungs- bzw. Trennvorgänge, indem sie den Stoffstrom in zwei oder mehrere neue Ströme trennen.

Sortieranlagen sind materialspezifisch nach den jeweiligen zu trennenden Fraktionen (z. B. FE-Metalle, Kunststoffe, Ersatzbrennstoffe, etc.) sowie nach dem Reinheits- bzw. Verschmutzungsgrad (Industrieabfälle mit „definiertem“ Verschmutzungsgrad, heterogene Abfallmischungen der Siedlungsabfälle, etc.) konzipiert. Die Anlagen lassen sich i. d. R. durch Integration neuer Module bzw. den Austausch vorhandener Modulen beliebig aktualisieren, optimieren bzw. erweitern.

Abbildung 2-1: Darstellung der Stoff-/Energie- und Informationsflüsse in der Kreislaufwirtschaft (Fleischer, ohne Datum)



Die großtechnische Umsetzbarkeit der automatisierten Sortierverfahren wurde insbesondere durch die Entwicklung eines verfeinerten, optoelektronischen Detektorensystems im Nah-Infrarot-Bereich – welches Materialart, -größe, -form und -farbe auf dem Sortierband identifiziert – sowie die weiterentwickelte Geschwindigkeit der Rechnerprozessoren – die in Echtzeit der Detektion eine Trennung der Einzelstücke über präzise Druckluftimpulse vornehmen – ermöglicht (Keßler 2006).

In den letzten Jahren wurden vor allem für LVP-Abfälle³ automatische Sortieranlagen erstellt (EC – DG ENV 2006). Bei technischen Optimierungen wird insbesondere die Nah-Infrarottechnologie nachgerüstet (Deutscher Bundestag, 2004); inzwischen wird zudem insbesondere in die Röntgen-Technologie⁴ investiert.

Nachfolgend wird die Integration von Stofferkennungs- und -trennverfahren in den Sortierprozess anhand zweier Beispiele dargestellt.

Im **EKOCityCenter** in **Bochum** werden Hausmüll bzw. hausmüllähnliche Gewerbeabfälle mit dem Ziel der Bereitstellung von Holz, Metallen sowie Ersatzbrennstoffen behandelt.⁵ Die dortige Abfallbehandlung umfasst die folgenden Behandlungsstufen (vgl. Abbildung 2-2):

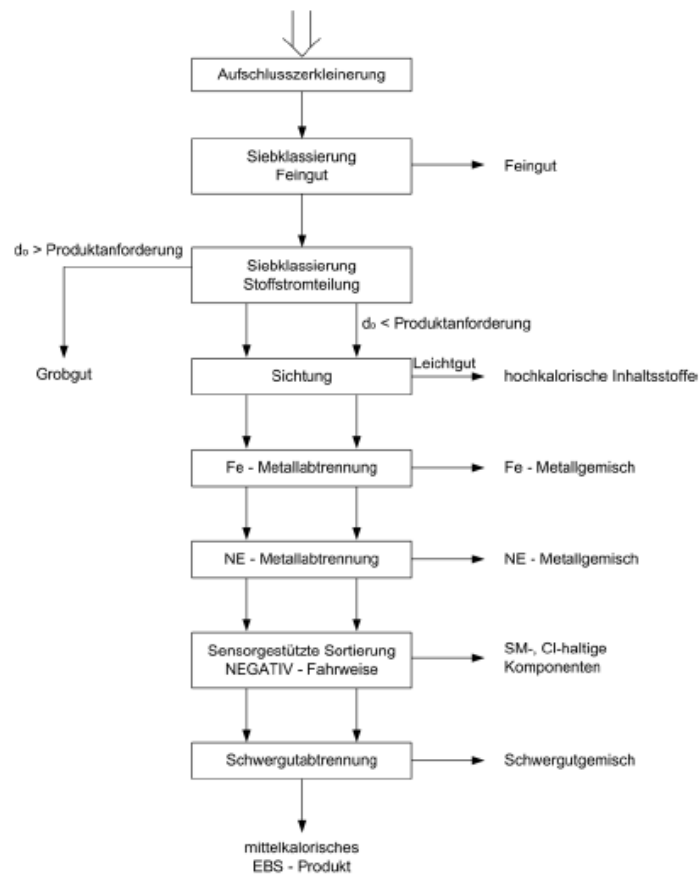
- **Vorsortieren:** Große Abfallteile, wie z. B. Möbel und Matratzen, werden durch Greifer manuell vorsortiert, sodass hierdurch sperrige und sonstige Teile frühzeitig entfernt werden, die die Funktion der Anlage beeinträchtigen können.
- **Zerkleinern:** Voraussetzung für eine effektive Stofftrennung ist eine gründliche Zerkleinerung. Dies geschieht in mehreren Schritten mit unterschiedlichen Maschinen bis auf eine Korngröße von wenigen Zentimetern.
- **Sieben:** Die zerkleinerten Stoffe werden nach der Größe sortiert.
- **Trennen:** Starke Elektromagnete (Magnetscheider) separieren eisenhaltige Metalle aus dem Stoffstrom. Leichte Stoffe lassen sich durch Wind sehr effizient von schwereren trennen (Windsichtung), hierdurch werden die – energiereichen – Kunststoffe separiert. Mit dem Wirbelstromscheider lassen sich nicht-magnetische Metalle – wie z. B. Aluminium – sortieren.
- **Verwertung bzw. Beseitigung:** Die vereinzelt Fraktionen *Ersatzbrennstoffe (EBS)*, *Holz/Biomasse* sowie *Metalle* werden zur energetischen Nutzung als Ersatzbrennstoff sowie zur Gewinnung von Energie aus regenerativen Rohstoffen in Biomassekraftwerken eingesetzt bzw. einer werkstofflichen Wiederverwendung zugeführt. Die Reststoffe aus dem Sortierprozess werden thermisch behandelt (Müllverbrennung) und anschließend entsorgt.

³ LVP: Leichtverpackungen.

⁴ Z. B. Röntgen-Detektoren zur Metallerkennung bei Elektrokleingeräten in der Gelben Tonne Plus.

⁵ EKOCityCenter – Moderne Abfallentsorgung in Bochum, Imagebroschüre, USB Umweltservice Bochum GmbH, 2005, siehe außerdem www.usb-bochum.de/ecc/info.shtml.

Abbildung 2-2: Beispiel für ein Verfahrensschema der Brennstoffaufbereitung aus Gewerbeabfall (Pretz 2006)



Die **A.R.T.-Sortieranlage** in **Trier** dient zur trockenmechanischen Sortierung von Leichtverpackungen (Alu-, Weißblech-, Kunststoff- und Verbundverpackungen) und gehört seit ihrer Modernisierung zu den fortschrittlichsten LVP-Sortieranlagen in ganz Deutschland (Abbildung 2-3). Kernstück ist die automatisierte Trennung von vier Kunststoffarten durch Nah-Infrarottechnik-Aggregate (Abbildung 2-4). Einen Überblick über die unterschiedlichen Fraktionen in LVP-Sortieranlagen sowie deren Behandlungs- und Verwertungsarten bietet Tabelle 2-1

Abbildung 2-3: Vereinfachtes Blockfließbild der A.R.T.-Sortieranlage in Trier, Stand: 2001 (A.R.T. GmbH, pers. Korrespondenz, 2007)

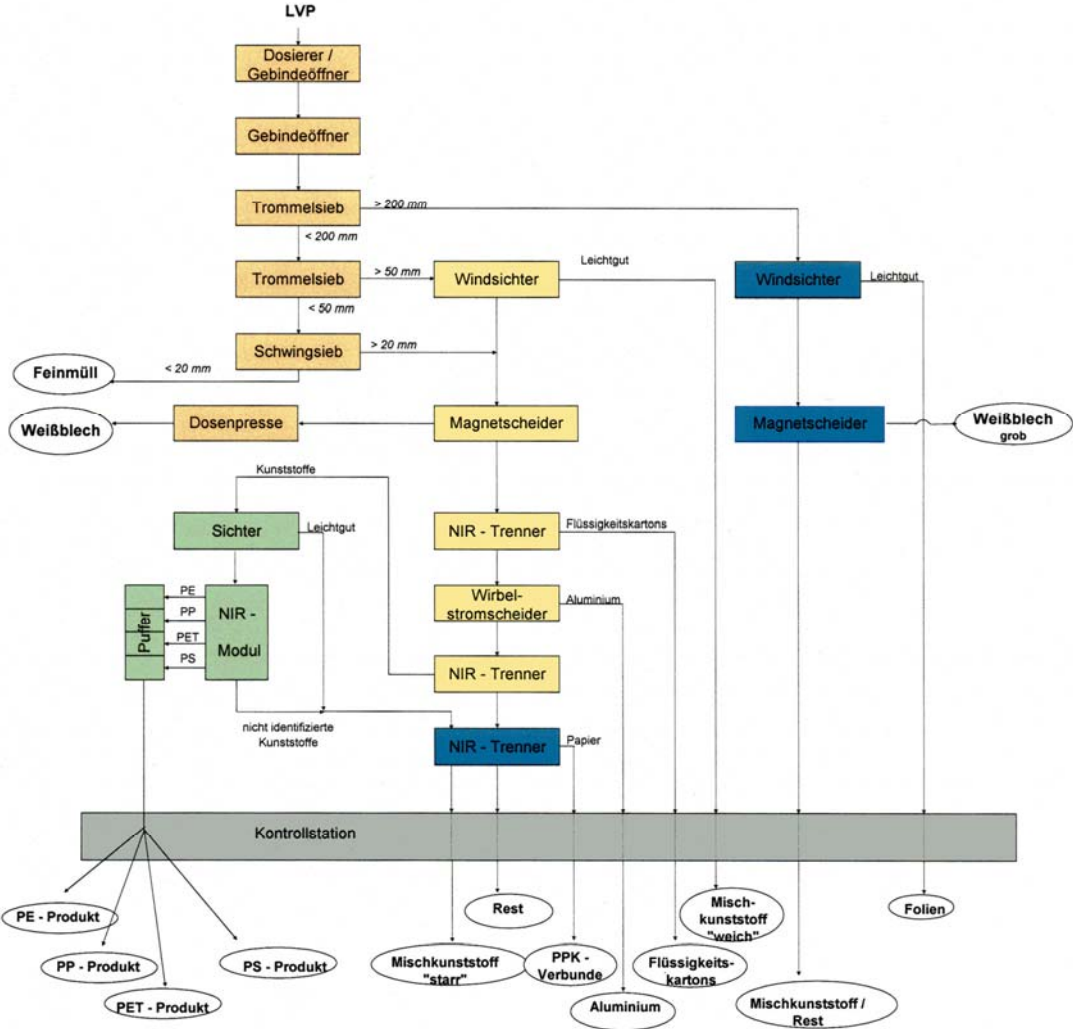


Abbildung 2-4: Nah-Infrarottechnik-Aggregate der A.R.T.-Sortieranlage.⁶



Tabelle 2-1: Unterschiedliche Fraktionen in LVP-Sortieranlagen (nach Harant/Kröger 2005)

	Massenprozent	Sortierung	Verwertung
Kunststoffe: Gemisch	20–27	NIR-Modul	energetisch
Kunststoffe: Folien	5–12	Windsichter	werkstofflich/energetisch
Kunststoffe: PET	3–5	NIR-Modul	werkstofflich
Weißblech	6–19	Magnet	werkstofflich
Getränkeverbunde	10–11	NIR-Modul	werkstofflich/energetisch
Aluminium	2–3	Wirbelstrom	werkstofflich
Glas	0–3	---	werkstofflich
Sonstige Verbunde	2–4	---	energetisch
Sortierreste	25–30	---	energetisch

⁶ Quelle: Bilddatenbank der Duales System Deutschland GmbH, <http://www.gruener-punkt.de> (abgerufen am 13.03.07).

2.3 Sortiertechnologien

Die Sortiertechnologien nutzen die unterschiedlichen physikalisch-chemischen Eigenschaften der verschiedenen Fraktionen wie Dichte, Kornform, Rollfähigkeit, Sprungverhalten, Leitfähigkeit, magnetische Suszeptibilität und Oberflächen- bzw. Materialeigenschaften wie z. B. das IR-Spektrum oder die Farbe.

Stofferkennungs- und -trennmodule bestehen i. d. R. aus einem Beschleunigungsband zur Materialvereinzelung, aus einer Detektionseinheit sowie einem Ventilblock zum Auslenken der Komponente je nach Informationsauswertung (Materialeigenschaft, Position).

Anforderungen an automatisierte Sortiertechnologien sind vor allem ein hoher Durchsatz (= hohe Mess- und Reaktionsgeschwindigkeit), die sichere Identifizierung aus großen Entfernungen sowie die Unempfindlichkeit gegenüber Verunreinigungen und der Oberflächenstruktur. Voraussetzung für eine sensorgestützte Sortierung sind trockene und saubere Oberflächen sowie eine vollständige Vereinzelung, damit jedes Abfallstück nach Lage einzeln detektiert werden kann. Den Stofferkennungs- und -trennverfahren gehen daher bei Bedarf eine Waschung, Trocknung sowie eine Zerkleinerung (z. B. mittels Schredder oder Brechwerk) voraus.

In einer einzigen Trennoperation lassen sich auch mehrere Trennmerkmale (Eigenschaftsunterschiede) nutzen (= Multisensorik). Die Möglichkeiten reichen schon heute von optischer Erkennung (Farberkennung, Bildanalyse) über Nah-Infrarotdetektion bis hin zur Röntgendetektion und Induktionsmessung. Hier ist nach Einschätzung der Fachwelt ein breites noch nicht überschaubares Anwendungspotential gegeben, da die trenntechnischen Möglichkeiten sich vom Grundsatz her nicht mehr von den analytischen Möglichkeiten der Materialerkennung unterscheiden. Die Notwendigkeit der Komponentenvereinzelung bei automatischen Sortierverfahren allerdings bedingt sowohl eine relative Durchsatzschwäche als auch eine hohe Abhängigkeit des Trennergebnisses von Details der Integrationsplanung und betrieblicher Randbedingungen (Deutscher Bundestag, 2004).

In den letzten Jahren hat sich bei der Sortierung der LVP-Fraktion eine technische Optimierung vollzogen, die zu einer vermehrten Sortenreinheit sowie zu einer erhöhten Ausbeute der Wertstoffe geführt hat. Diese vollautomatische Sortierung der LVP-Fraktion ist Stand der Technik und wird in sieben LVP-Sortieranlagen angewandt (Stand: 2004). Dies entspricht etwa 15 % der Gesamtkapazitäten (Deutscher Bundestag, 2004).

Bei Versuchen zur Optimierung der LVP-Sortierung zur Herstellung eines optimierten Brennstoffes wurde festgestellt, dass sich Eigenschaften wie Heizwert, Schadstoffgehalt (Cadmium, Antimon und Chlor) sowie der Heizwert mittels Nah-Infrarotverfahren in einer definierten Schwankungsbreite so einstellen lassen, dass die von der Industrie (Zementindustrie, Kraftwerke, Kalkindustrie) geforderten Vorgaben an Brennstoffe zur energetischen Verwertung eingehalten werden (Deutscher Bundestag, 2004). Die einzelnen Fraktionen können daher – entsprechende Qualität vorausgesetzt – problemlos in Wirtschaftskreisläufe einfließen.

Eine auf LVP-Sortierung ausgerichtete Anlage ist aufgrund ihrer spezifischen Konzeption nur bedingt zur Restabfallsortierung aus den Haushalten einsetzbar. Dies beginnt bei der Auslegung und reicht über fördertechnische Erfordernisse angesichts z. B. hoher Inputfeuchte bis zur Systemmodifikation wegen restmüllspezifischer Relevanz der Überlagerung gewisser zur Detektion genutzter Spektren (z. B. Flüssigkeitskartons/Windeln bei NIR-Dektekktion) (Deutscher Bundestag, 2004).

Die wichtigsten Sortierverfahren werden nachfolgend kurz vorgestellt.⁷ Die optischen, sensorgestützten Verfahren werden als Schlüsseltechnologien angesehen; ihnen wird das derzeit größte Entwicklungspotenzial zugesprochen.

Die **Siebklassierung** ist ein mechanischer Trennprozess, der auf der Grundlage der Korngröße erfolgt. Sie teilt effizient große Volumenströme quantitativ und bereitet damit für weitere Trenntechniken verfahrenstechnisch vor. Siebe und Rütteltische dienen dabei zur Reinigung bzw. zur Trennung in grobe und feinere Fraktionen.

Bei der **Windsichtung** trennt ein künstlicher Luftstrom leichte Stoffe von schweren, zum Beispiel Papier von Erde und Steinen.

Bei der **Magnetabscheidung** ziehen starke Elektromagneten Eisenteile und Weißblech aus dem Stoffstrom.

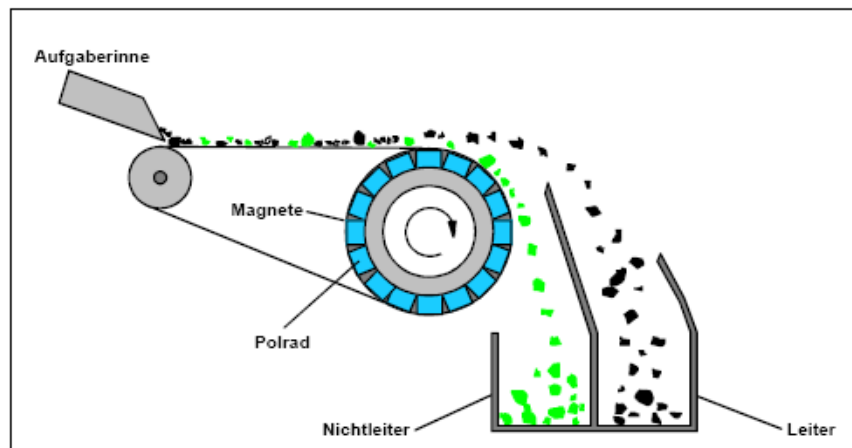
Mit Hilfe **triboelektrischer Verfahren** können z. B. PVC von PET durch elektrostatische Aufladung voneinander getrennt werden.⁸

Beim **Wirbelstromverfahren** induziert ein rotierender Kugelmagnet elektrische Ströme in den verbleibenden Nicht-Eisen-Metallen wie Aluminium, sodass diese Teile abgestoßen werden (Abbildung 2-5).

⁷ In der Studie „Best Available Techniques for the Waste Treatments Industries“ (EC 2006) werden Technologien zur Abfallbehandlung detailliert präsentiert.

⁸ Recycling Magazin online (2006): PVC-freie PET-Flakes, 09.10.2006.

Abbildung 2-5: Funktionsweise eines Wirbelstromscheiders (Hoberg 1998)



Bei **sensorgestützten, optischen Sortierverfahren** können neben der Art der zu detektierenden Teile gleichzeitig auch die Lage, Größe und Form als Sortierkriterium herangezogen werden. Die Klassifizierung der Teile erfolgt durch einen Auswertungsrechner innerhalb kürzester Zeit. Die Sortierentscheidung wird an mechanische oder pneumatische Aktoren (z. B. sehr schnell arbeitende Druckluftventile) weitergeleitet, die die Teile nach festgelegten Kriterien aussortieren (Abbildung 2-6). Optoelektronische Sortierprozesse ermöglichen eine schnelle sowie verlässliche Sortierung. Die Anlagen können bis zu 10 t/h sortieren mit einer Trefferquote von 90–98 % sowie einem Reinheitsgrad von bis zu 98 % (Tomra, 2006).

Röntgensortiertechniken basieren auf der materialabhängigen, unterschiedlichen Schwächung von Röntgenstrahlung in verschiedenen Wellenbereichen. Mit dieser Technik ist es möglich, eine Trennung in organische und anorganische Fraktionen sowie eine weitergehende Unterscheidung innerhalb der jeweiligen Fraktion zu erreichen.⁹

Insbesondere mit der **Nah-Infrarot-Spektroskopie (NIR)** detektierbare Materialeigenschaften haben verbreitet Eingang in die Trenntechnologie gefunden. Bereits 1994 wurde ein NIR-Gerät zur automatischen Identifikation von Kunststoffen in LVP-Abfällen vorgestellt. Systeme auf Basis der NIR-Spektroskopie haben sich vergleichsweise rasch etablieren können (BIfA 2001). Sie stellen neben der Wirbelstromtechnik die aktuellen Entwicklungsstufen der abfallspezifischen Trenntechnik dar:

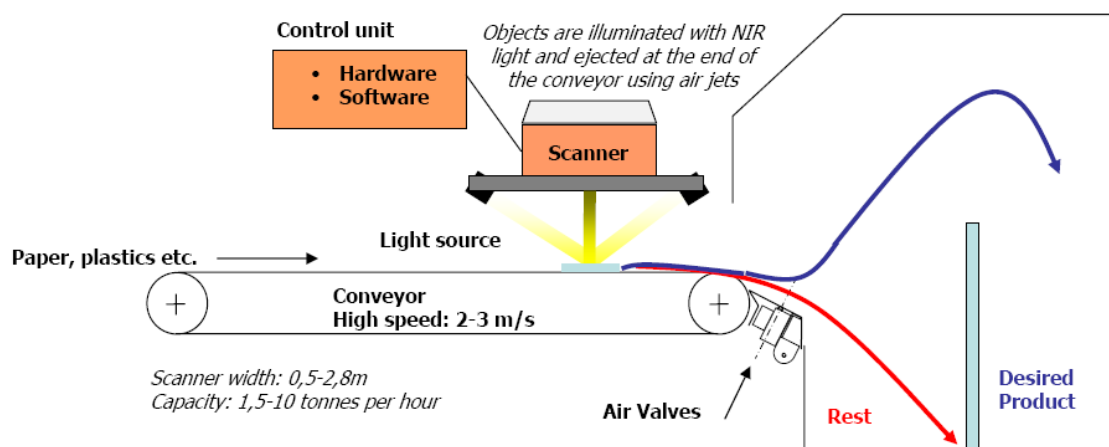
⁹ Zeiger (2006): Zeiger, E. (2006): Sortierung verschiedener Abfallströme mit Mogensen-Röntgensortiertechnik. Aufbereitungstechnik 47 (2006) Nr. 3.

- Mittels NIR können unterschiedliche **Kunststoff-Fractionen** identifiziert und anschließend separiert werden.
- Ein **Graustufen-Separator** sortiert helle oder dunkle Verunreinigungen aus (z. B. Sortierung von PVC beim Recycling von Fensterrahmen mit Verunreinigungen durch Dichtgummis).
- Ein **Farb-Separator** ermöglicht die Trennung z. B. verschiedenfarbiger PET-Flakes.

Durch den Einsatz von NIR-Modulen können sowohl die Trennleistung – z. B. bei der Sortierung von Kunststoffarten – als auch die Wirtschaftlichkeit von Sortieranlagen – vor allem durch verringerten Personalbedarf für die manuelle (Nach)Sortierung – deutlich optimiert werden (Harant/Kröger 2005).

Schnelle Rechenprozessoren ermöglichen bei den optoelektronischen Sortierverfahren nahezu in Echtzeit der Detektion (in dem Augenblick der Erkennung der Abfallbestandteile durch die Sensoren) eine Trennung der Einzelstücke über präzise Druckluftimpulse (Positivauslese für Wertstoffe, Negativauslese für Störstoffe wie PVC).

Abbildung 2-6: Optoelektronische Sortierung am Beispiel des NIR-Verfahrens (Johannessen 2005)



2.4 Fazit und Entwicklungspotenziale

Die derzeit verfügbaren Abfallbehandlungs- und Sortiertechnologien sind im Rahmen ihrer aktuellen Leistungswerte (Geschwindigkeit, Trefferquote, Reinheitsgrad) technisch ausgereift. Diese Technologien werden alle großmaßstäblich eingesetzt und haben Marktreife erlangt (Deutscher Bundestag, 2004).

Aus verfahrenstechnischer Sicht liegen in der LVP-Sortierung keine größeren offenen Problemstellungen mehr vor, da die Möglichkeiten der Prozessautomatisierung umfassend gegeben sind und die Betreiber je nach Bedarf auf betriebsbewährte Lösungen

modular zugreifen können. Hiermit sind die Möglichkeiten einer deutlichen ökonomischen und ökologischen Optimierung der Verwertungskette gegeben (Deutscher Bundestag, 2004).

Für andere Abfallgemische als reines LVP-Material, wie z. B. Hausmüll oder Hausmüll-LVP-Mischungen, gibt es allerdings bislang keine Anlage, die Hausmüll mit Abtrennung werkstofflich verwertbarer Kunststoff- und Verbundfraktionen im Dauerbetrieb erfolgreich automatisch sortieren kann (Deutscher Bundestag, 2004). Hierfür seien jedoch in erster Linie politische bzw. wirtschaftliche Gründe ausschlaggebend; die technische Machbarkeit wurde mehrfach nachgewiesen.¹⁰

Die Entwicklungspotenziale liegen daher insbesondere bei der Optimierung verfügbarer Technologien, bei der Nutzung neuer Technologien, beim Transfer auf andere Abfallarten sowie bei der Diffusion der ausgereiften automatisierten Stofferkennungs- und -trennverfahren (vgl. Tabelle 2-2):

- Entwicklungspotenziale verfügbarer Technologien:
 - Optimierungen der Anlagengestaltung, z. B. Optimierung der Trennschnitte, größere Prozessautomatisierung,
 - Erhöhung der Trefferquote, z. B. durch 3D-Sensorik, Stofferkennung trotz Verunreinigungen,
 - Erhöhung der Reinheit der getrennten Stoffe, z. B. durch Verbesserung der Trennschärfe (bessere Trennung von unterschiedlichen Stoffen mit sehr ähnlichen Eigenschaften), Integration komplexer Algorithmen zur Merkmals-Identifikation (z. B. Multisensorsysteme),
 - Erhöhung des Durchsatzes, z. B. durch Multisensorik sowie Fortschritte in der Computertechnologie,
 - Weiterentwicklung etablierter, aussichtsreicher Technologien, wie z. B. der NIR-Technologie hinsichtlich Stoffgruppen, Trennschärfe, Reinheit und Ausbeute,
- Integration „neuer“ Technologien:
 - Automatisches Sortieren mit Hilfe von RFID-Technologien,
- Diffusion:
 - Vermehrter Einsatz von Nah-Infrarotgeräten sowie von Überbandmagneten und Nicht-Eisenmetallabscheidegeräten,

¹⁰ Sortierversuche des Umweltbundesamtes, des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW sowie des Ministeriums für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland Pfalz.

- Transfer:
 - Technologische Entwicklungen einzelner Sortierverfahren können auf andere Anwendungsfelder übertragen und angepasst werden, z. B. bei der Sortierung anderer Abfallgemische. Die automatischen Trennaggregate der LVP-Sortierung können z. B. auch bei der Ersatzbrennstoffaufbereitung (heizwertreiche Fraktion) eingesetzt werden.

Tabelle 2-2: Innovative Ansätze zur Abfallbehandlung (nach AMCG, 2003)

Innovative concepts Intelligent products/services	Waste handling		Waste recycling		
	Automated sorting plants	Electronic scrap handling and recycling	Mechanical biological treatment	Optimization of grate incinerators	New incineration technologies
Services		<ul style="list-style-type: none"> • New collection systems 			
Plants/vehicles	<ul style="list-style-type: none"> • Sorting plants 	<ul style="list-style-type: none"> • Integrated plants 	<ul style="list-style-type: none"> • Turn-key plants 	<ul style="list-style-type: none"> • Plants with water-cooled grates 	<ul style="list-style-type: none"> • Pyrolysis • Thermoselect • Fluidized bed incineration
Equipments	<ul style="list-style-type: none"> • NIR instruments • Optical recognition systems • Laser instruments • Separators 	<ul style="list-style-type: none"> • Shredders • Metal separators • Sorting equipment • Cathode ray tube processing • etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • Shredders • Sieves • Airstreaming sorting • Composting • Automation 		
Components			<ul style="list-style-type: none"> • Sensors for humidity • NIR sensors 	<ul style="list-style-type: none"> • Infrared sensors 	

3 Die Bedeutung für Ökologie, Ökonomie und Gesellschaft

3.1 Ökologische Aspekte

Die Stofferkennungs- und -trennverfahren werden als Schlüsseltechnologien für die Kreislauf- und Recyclingwirtschaft angesehen, da sie eine schnellere und sauberere Trennung der einzelnen Abfallfraktionen ermöglichen. Durch eine vermehrte Nutzung der in diesen Verfahren erzielten Sekundärrohstoffe¹¹ kann somit der Verbrauch von Primärrohstoffen einschließlich fossiler Energieträger verringert werden, woraus eine Ressourcenschonung resultiert.

Die durch die Verwertung von Abfällen ersetzten fossilen Energieträger und Rohstoffe gehen als Gutschriften in die Klimabilanz ein und führen so zu Entlastungen bzw. Einsparungen klimawirksamer Emissionen und fossiler Energieträger (Dehoust u. a. 2005). Die im Jahr 2005 durch stoffliche und energetische Verwertung von Siedlungsabfällen in Baden-Württemberg indirekt erzielte Minderung von Treibhausgasemissionen beläuft sich insgesamt auf eine Größenordnung von 1,5 Mio. t CO₂-Äquivalenten, fast 2 % der derzeit im Lande verursachten Treibhausgasemissionen (Büringer/Stenius 2006).

Durch eine Abtrennung von umwelt- und gesundheitsgefährdenden Stoffen lassen sich zudem (Deponie-)Altlasten reduzieren, wenn nicht gar vermeiden. Darüber hinaus wird das Deponievolumen deutlich reduziert.

3.2 Ökonomische Aspekte

Alle Arten der stofflichen und energetischen Verwertung sind wirtschaftlicher gegenüber den Beseitigungsverfahren, da mit der Automatisierung und der damit verbundenen Leistungssteigerung ein stetiger Rückgang der Sortierkosten einhergeht (Deutscher Bundestag, 2004).

Hochselektive Stofferkennungs- und -trennverfahren ermöglichen die Bereitstellung von besonders reinen Abfallfraktionen, die einerseits durch ein hochwertiges Recyclat die Grundlagen für Wirtschaftlichkeit schaffen und andererseits die regulatorischen Forderungen hinsichtlich der Recyclingquoten bedienen. Auf Basis einer Schätzung

¹¹ Aus den Restabfällen der grauen Tonne können bis zu 40 % an Wertstoffen in hohen Mengen und Qualitäten gewonnen werden (Keßler, 2005).

entstand im Jahr 2005 durch den Einsatz von Sekundärrohstoffen eine Wertschöpfung in Höhe von 3,7 Mrd. € (Bardt 2006).

Auch für die ökonomischen Aspekte können daher die automatisierten Stofferkennungs- und -trennverfahren als Schlüsseltechnologie für die Kreislauf- und Recyclingwirtschaft gewertet werden. Mit automatisierten Stofferkennungs- und -trennverfahren können die Qualität (= Reinheit) sowie die Quantität (= Trefferquote + Mengendurchsatz) deutlich erhöht werden; zudem kann die Gesamtkapazität der Anlage hierdurch vergrößert werden. Darüber hinaus wird der Prozess weniger personalintensiv.

Beim Einsatz von automatisierten Sortieranlagen findet eine Kostenverlagerung von den laufenden Kosten (v. a. Personalkosten) zu den Investitionskosten bei der Anlagengenerierung statt. Die Investitionskosten werden zum bedeutendsten ökonomischen Posten. Sortieranlagen sind – bei relativ geringen laufenden Kosten – bei der Errichtung kapitalintensiv; die Finanzierungskosten (z. B. durch Kredite) besitzen daher einen großen Einfluss auf die Profitabilität der Anlagen. Je automatisierter die Anlagen ausgestaltet werden, desto höher sind i. d. R. die Investitions- und somit auch Kapitalkosten (EC – DG ENV 2006).¹²

Durch die Einführung automatisierter Sortiertechnologien wird eine Verringerung der Beschäftigungszahlen in diesem Segment befürchtet; gleichzeitig geht man auch von einer Verlagerung dieser Wertschöpfungsstufe in Niedriglohnländer aus, um die laufenden Kosten (insbesondere Personalkosten) zu reduzieren. Eine Weiterentwicklung der automatisierten Sortiertechnologien böte somit die Option, diesen Teil der Wertschöpfungskette nicht in andere Länder verlagern zu müssen und gleichzeitig den Umbau dieser Branche zu unterstützen (EC – DG ENV 2006). Durch den verstärkten Einsatz von wissensbasierten, forschungsintensiven Technologien würden Innovationsimpulse in Forschung und Entwicklung zur Weiterentwicklung der automatisierten Stofferkennungs- und -trennverfahren ausgelöst, die in diesem Bereich positive Arbeitsplatzeffekte auslösen können.

Neue, wirtschaftlich interessante Geschäftsfelder können sich durch automatisierte Sortiertechnologien entwickeln, wie z. B. bei der Aufbereitung von Elektroaltgeräten. Diese Strukturanpassung kann jedoch mit Änderungen in anderen Bereichen einhergehen: soziale Einrichtungen haben sich in der Vergangenheit mit der Sammlung und Aufbereitung von Elektroaltgeräten beschäftigt¹³; seitdem die Entsorgung auch öko-

¹² Die Kosten für die Erstellung dieser Anlagen betragen von ca. 1,5–2,5 Mio. € bis zu 6–10 Mio. € pro Anlage. Die Kapazität der Anlagen variiert von einigen tausend Tonnen bis zu über 150.000 Tonnen pro Jahr (Johannessen 2005).

¹³ Z. B. www.werkstatt-frankfurt.de.

nomisch attraktiv geworden ist, stehen diese sozialen Einrichtungen nun in Konkurrenz mit kommerziellen Unternehmen.

Zudem bewirken eine Ressourceneinsparung sowie der Einsatz von Sekundärrohstoffen bei sich verteuernenden Primärressourcen ebenfalls kostenentlastende Effekte.

3.3 Gesellschaftliche/soziale Aspekte

Die manuelle Sortierung war aus der Perspektive der politischen Akzeptanz, der Arbeitsbedingungen (v. a. Gesundheitsbelastung) und der Kosten lange Zeit ein Ansatzpunkt für Kritik. Die außerordentlich schnelle technische Entwicklung im Bereich automatischer Sortieraggregate hat jedoch den manuellen Sortieraufwand in Anlagen mit heutiger Standardtechnik im Vergleich zu Anlagen nach dem Stand von vor 10 Jahren um 80 % reduziert. Solche teilautomatisierten Anlagen decken mehr als 70 % der Gesamtkapazität der LVP-Sortierung ab. Moderne manuelle Sortierarbeitsplätze genügen heutzutage industriellen Standards bezüglich Keim- und Geruchsbelastung sowie Belüftung. (Deutscher Bundestag, 2004), sodass die gesundheitlichen Gefahren deutlich verringert bzw. sogar ganz vermieden werden können.

Sofern bei effektiven, automatisierten Stofferkennungs- und -trennverfahren keine – auf freiwilliger Basis durchgeführte – Getrennthaltung der unterschiedlichen Abfallfraktionen durch den Verbraucher mehr erfolgt (bzw. zu erfolgen braucht), kann dies ggf. mit einem Sinken der Konsumentenverantwortung einhergehen. In aktuellen Untersuchungen werden die verschiedenen Abfallströme unmittelbar beim Verbraucher zusammengeführt, die zu einer Optimierung der Sortiervorgänge führen sollen; darunter alternative Möglichkeiten wie „GiG“ („gelb-in-grau“ bzw. „grau-in-gelb“, „Zebra“-Tonne), die trockene Wertstofftonne bzw. die „Gelbe Tonne Plus“.¹⁴

Trotz entsprechender Qualität wird in der Recyclingindustrie die z. T. mangelnde Akzeptanz durch die produzierende Industrie bei einigen Sekundärrohstoffen und Produkten aus Abfällen beklagt. Zudem unterliegt die Nutzung bei einigen aufbereiteten Sekundärmaterialien der Chemikalienrichtlinie REACH; dies würde ihre Vermarktung zusätzlich erschweren.¹⁵

¹⁴ Z. B. Abfallentsorgung mit geringeren Lasten für Haushalte, Umweltministerium Baden-Württemberg, Heft 78 der Schriftenreihe Luft, Boden, Abfall; www.gelbetonneplus.de.

¹⁵ bvse, persönliche Mitteilung, 08.03.07.

4 Innovationsdynamik

Die Patentdynamik der Bereiche „Recycling“ sowie „Waste disposal“ wird nachfolgend als Indikator für die technologische Entwicklung in der Kreislaufwirtschaft genutzt (Stand: September 2006, OECD Patent Database) (Abbildung 4-1, Abbildung 4-2). Deutschland befindet sich dabei jeweils an zweiter Position hinter Japan und vor den Vereinigten Staaten, Frankreich und Italien.

Die Anteile der Patente zur Trenntechnologie sind Abbildung 4-3 dargestellt. Deutschland hat die meisten Patente angemeldet, gefolgt von den USA. Die anderen Länder sind im einstelligen Prozentbereich. Der Anteil der EU beträgt ca. 56 %. Auch bei den relativen Patentanteilen zeigt sich eine Spezialisierung Deutschlands auf Patente zum Trennen. Dies gilt auch für Kanada, Großbritannien, Italien und die Niederlande. Japan und die USA sind unterrepräsentiert (Abbildung 4-4).

Abbildung 4-1: Länderanteile für Anmeldungen von Patenten zur Recycling Technologien am Europäischen Patentamt, 1999-2003, (OECD 2006)

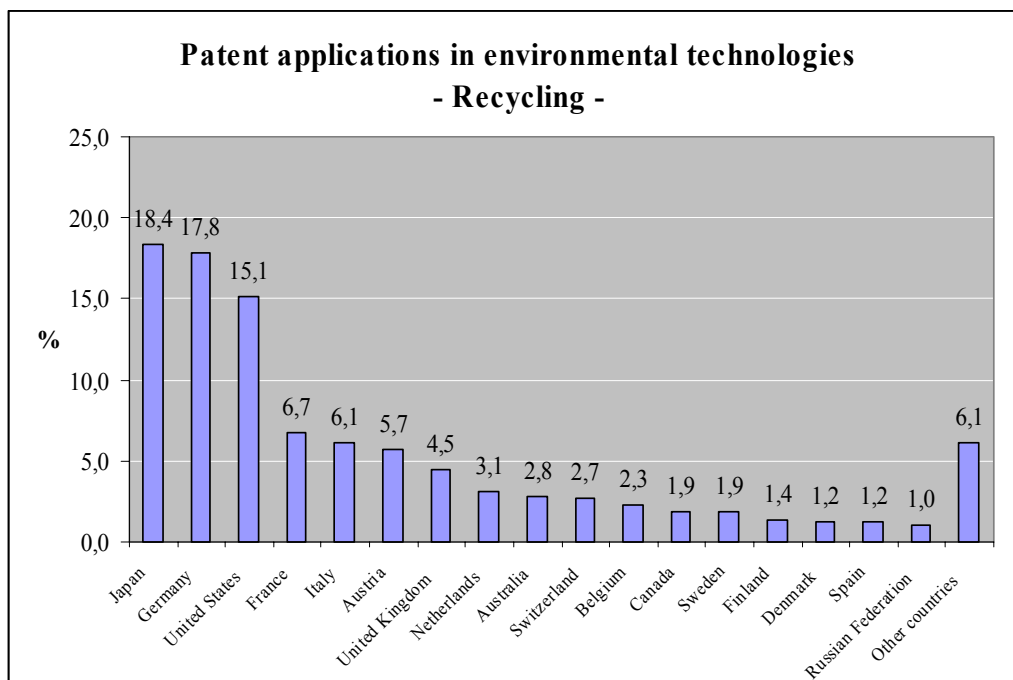


Abbildung 4-2: Länderanteile für die Anmeldung von Patenten zu Abfallbeseitigungs-Technologien am Europäischen Patentamt, 1999–2003, (OECD 2006)

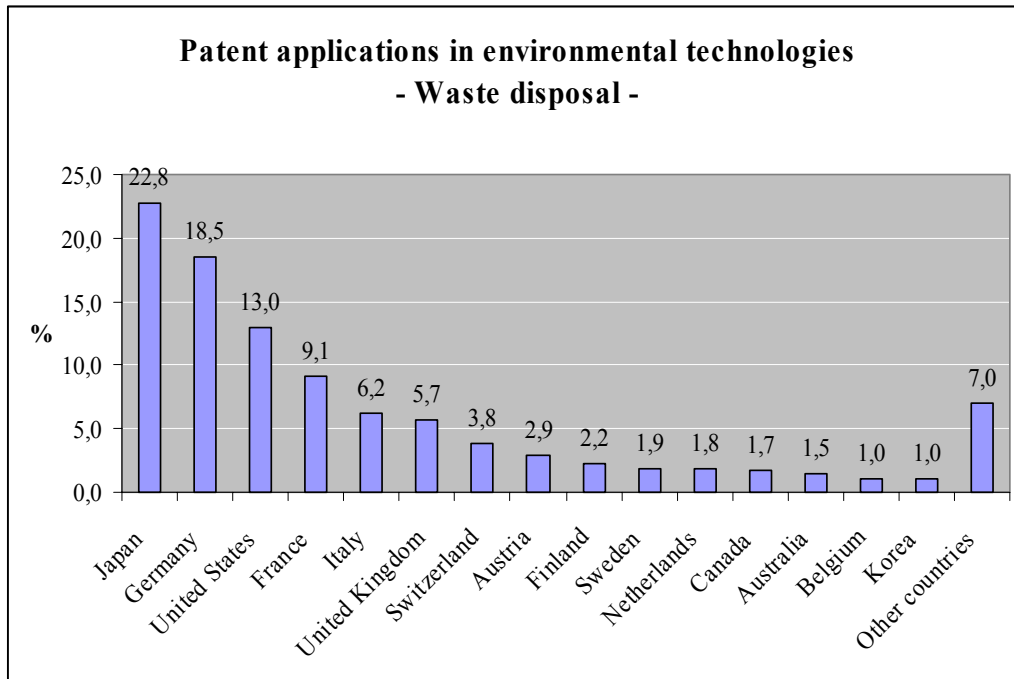


Abbildung 4-3: Patentanteile für Patente zur Trenntechnologie im Bereich des Recyclings 2000 bis 2004 (Quelle: eigene Berechnungen Fraunhofer ISI, 2007)

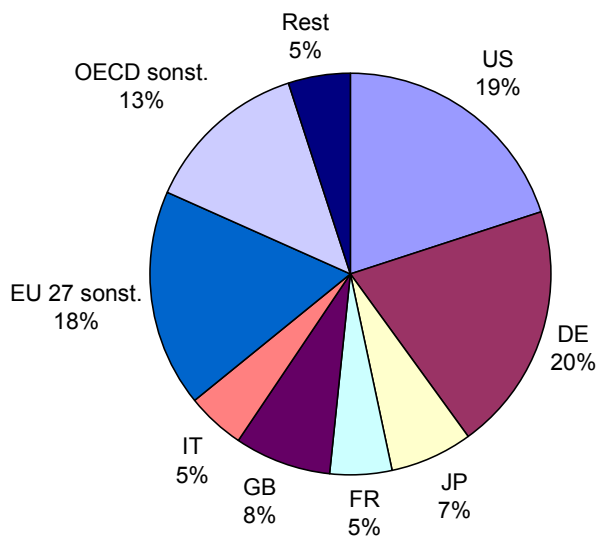
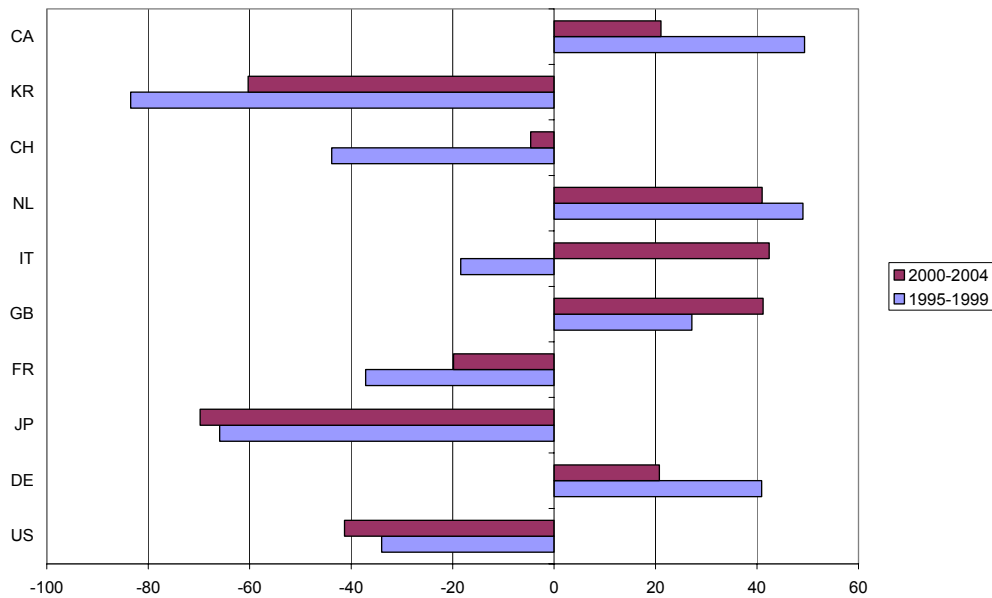


Abbildung 4-4: RPA¹⁶ für Patente zur Trenntechnologie im Bereich des Recyclings 2000 bis 2004 (Quelle: eigene Berechnungen Fraunhofer ISI, 2007)



¹⁶ Der RPA (Relativer Patent-Anteil oder Revealed Patent Advantage) gibt die Spezialisierung eines bestimmten Landes im spezifischen Kompetenzfeld in Relation zu den Patentanteilen des Landes bei allen Patenten wieder. Ist der Patentanteil für das Kompetenzfeld überdurchschnittlich hoch, dann nimmt der RPA einen positiven Wert an. Dies bedeutet, dass innerhalb des betreffenden Landes überproportional viel im Kompetenzfeld patentiert wird und daher überdurchschnittliche nationale Kenntnisse bestehen. Für jedes Land i und jedes Kompetenzfeld j wird der RPA nach folgender Formel berechnet:

$$RPA_{ij} = 100 \cdot \tanh \ln \left[\frac{(p_{ij} / \sum_i p_{ij})}{(\sum_j p_{ij} / \sum_{ij} p_{ij})} \right]$$

5 Wirtschaftliche Potenziale

5.1 Marktpotenzial – aktuell und Perspektive 2020

Eine gesamthafte Übersicht über wirtschaftliche Daten zu Stofferkennungs- und -trenntechnologien liegt bislang nicht vor.¹⁷ Daher wird nachfolgend auf die beispielhafte Darstellung bzw. auf höher aggregiertes Zahlenmaterial zurückgegriffen.

Die Marktpotenziale sind unmittelbar abhängig von der Menge der anfallenden, zu trennenden Stoffe. Folgende Abfallarten sind dabei von größerem Interesse:

- konsumentennah: LVP-Verpackungen, Auto- und Elektroschrott, Siedlungsabfälle (Abbildung 5-1, Abbildung 5-2); die Zusammensetzung ist z. T. sehr heterogen.
- industrielle Abfälle, z. B. Abfälle, die bei der Produktion anfallen; diese Abfälle lassen sich hinsichtlich der Zusammensetzung einschließlich der potenziellen Gefährdungstoffe relativ eindeutig definieren.

Maßnahmen zur Abfallvermeidung wirken sich unmittelbar auf die Mengen und damit auch auf die Marktgröße aus.

Ein Exportmarkt existiert ausschließlich für recyclingfähige Abfälle. Eisenhaltige Metalle, Aluminium, Papier-Pappe-Karton (PPK) sowie Glas werden größtenteils getrennt gesammelt und zu einem großen Teil als recycelte Materialien von der produzierenden Industrie in Europa abgenommen. Für nicht-eisenhaltige Metalle besteht bereits ein globaler Markt, da hier die Transportkosten in Bezug auf deren Wert i. d. R. relativ gering sind (EC – DG ENV 2006).

Die Recyclingkette bei Eisen und Nicht-Eisenmetallen, bei Papier und Glas sowie den industriellen Kunststoffen konkurriert dabei mit der rohstoffproduzierenden Industrie. Die (Zweit-) Sortierung und das Recycling erfolgen zunehmend auch in internationalem Ausmaß (EC – DG ENV, 2006).

¹⁷ Ergebnis eigener Recherche sowie Anfrage u. a. bei Verbänden (bvse, BDE) und der DIHK.

Abbildung 5-1: Mengen an Siedlungsabfall EU-15 (Genter, 2003)

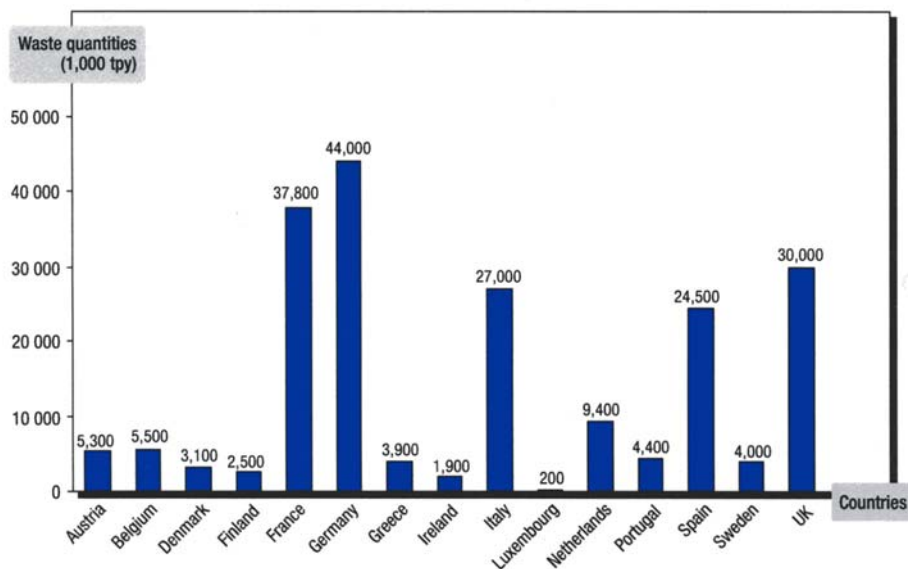
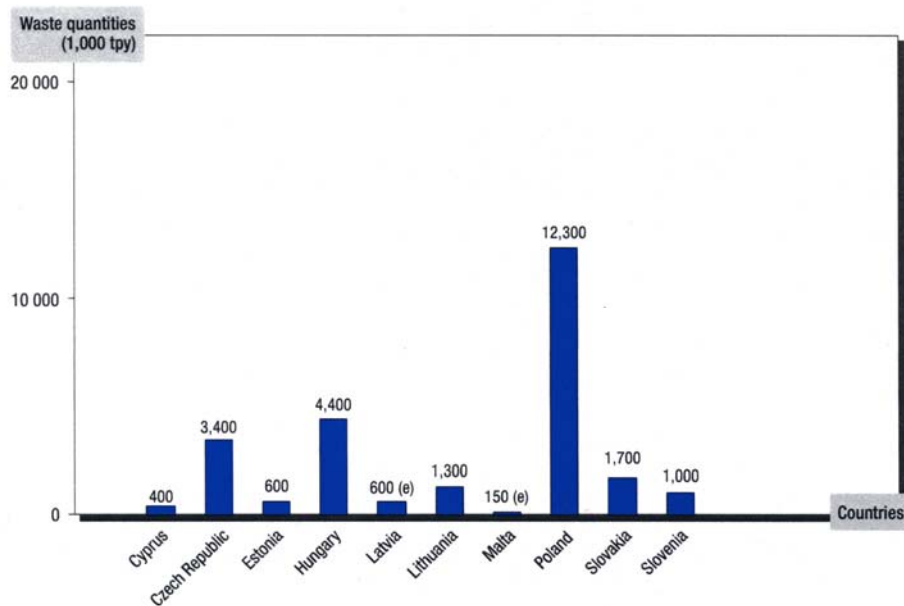


Abbildung 5-2: Mengen an Siedlungsabfall der neuen EU-Länder (Beitritt in 2004) (Genter, 2003)



Nach einer Studie zum Marktpotential der finnischen Abfallindustrie (AMCG, 2003) befinden sich sowohl die automatischen Sortieranlagen als auch die Aufbereitung und das Recycling von Elektroaltgeräten im Wachstumsstadium (Abbildung 5-3). Der Markt für die gesamte Abfallbehandlung könnte sich dabei in Großbritannien im Zeitraum von 2005–2015 sogar verdoppeln (Abbildung 5-4).

Abbildung 5-3: Produktlebenszyklus automatischer Sortieranlagen sowie der Aufbereitung und des Recyclings von Elektroaltgeräten (AMCG 2003)

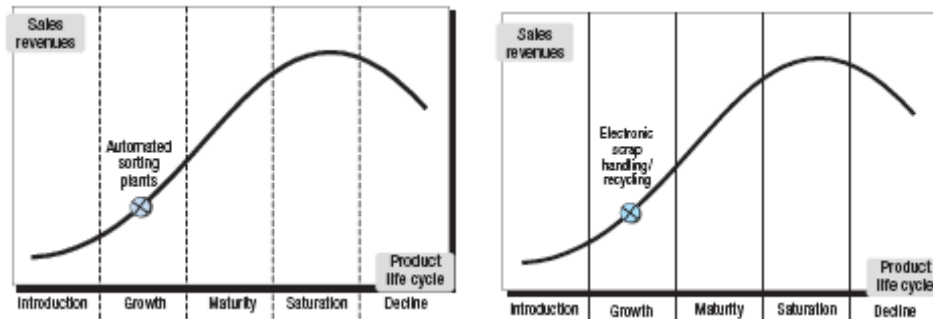
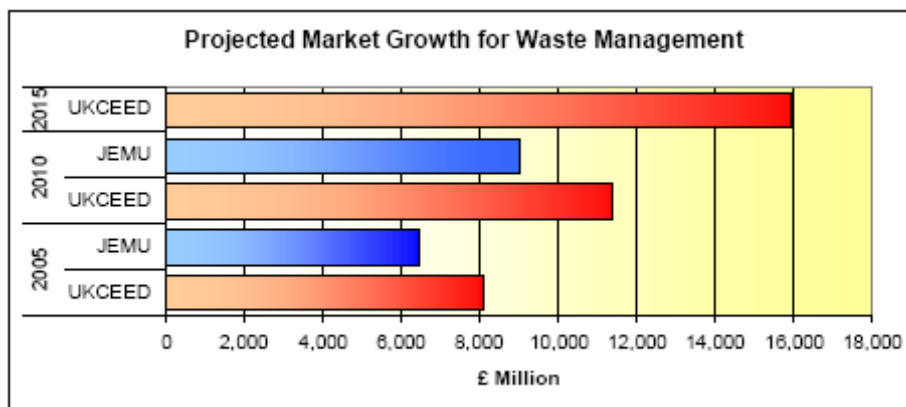
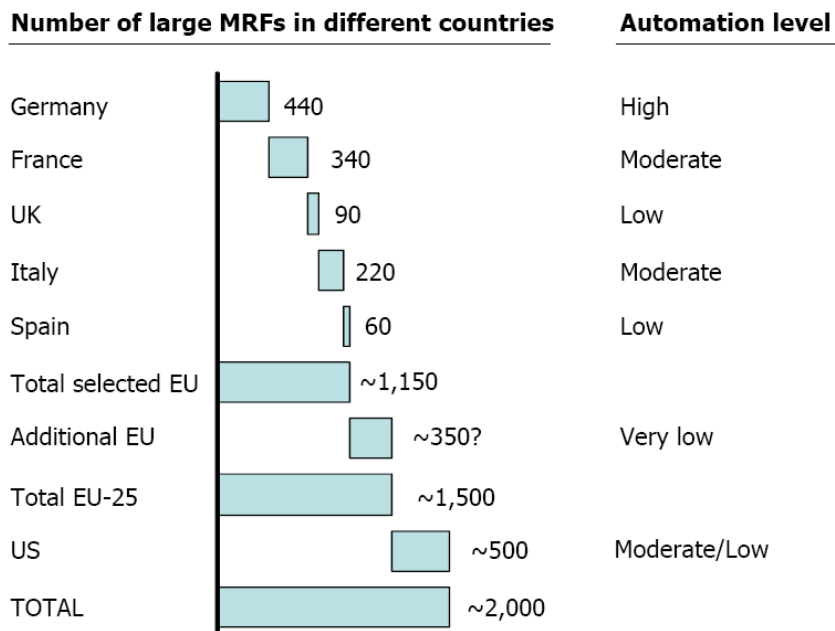


Abbildung 5-4: Prognostiziertes Marktwachstum in Großbritannien (Selwyn/Leverett 2006)



Aktuell existieren in Europa und den USA ca. 2.000 große Recyclinganlagen – größtenteils mit einem relativ geringen Automatisierungsgrad –, daneben befindet sich eine große Anzahl an kleinen Anlagen sowie eine wachsende Anzahl von Anlagen auch in anderen Regionen. Jede dieser Anlagen benötigt ca. 1 bis 10 automatisierte Sortiermodule (Johannessen, 2005) (Abbildung 5-5).

Abbildung 5-5: Nachfragepotenziale nach Recycling Technologien – EU & U.S.¹⁸ (Johannessen, 2005)



Das aktuelle Marktvolumen für automatische Sortieranlagen beträgt ca. 100 Mio. €/Jahr, wobei der größte Teil in neue Anlagen und nur zu einem kleineren Teil in die Aufrüstung bereits vorhandener Anlagen investiert wird. Der Hauptsektor ist der Bereich der Verpackungsabfälle und des Kunststoffrecyclings. Die Aufbereitung beispielsweise von PET ist demnach ein florierendes Geschäft in Deutschland, Frankreich, Italien und in Spanien (Genter 2003).

Attraktive Märkte für automatische Sortieranlagen für das Glasrecycling könnten zukünftig Frankreich, Italien und Großbritannien werden (Genter 2003).

5.2 Markteigenschaften und -struktur sowie Entwicklungspotenziale

Die Markteigenschaften und -struktur sowie die Entwicklungspotenziale werden nachfolgend anhand des Beispiels des Unternehmens *TiTech* dargestellt.

¹⁸ MRF = Material Recovery Facilities

Kurzinfo TiTech¹⁹

TiTech startete 1993 in Norwegen als internes Projekt bei ELOPAK, einem Hersteller von kunststoffbeschichteten Getränkekartonagen. Als diese Verpackungsart auf den Markt kam, forderte die norwegische Gesetzgebung, dass es Möglichkeiten geben müsse, sie vom restlichen Abfallstrom zu trennen. Dies wurde zum Anlass genommen, das erste optische Abfallsortiersystem auf Grundlage der Nah-Infrarot-Spektroskopie zu konzipieren.

Das entwickelte Sortiermodul war so erfolgreich, dass TiTech Visionsort 1996 als Unternehmen gegründet wurde. Seitdem wurden kontinuierlich weitere Sortiersysteme entwickelt und mit ihnen die optische Erkennungstechnologie für unterschiedliche Anwendungsgebiete nutzbar gemacht. Bereits vorhandene Systeme wurden hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit enorm gesteigert.

Im Jahr 2002 übernahm TiTech Visionsort die Real Vision Systems GmbH (Deutschland), die ebenfalls optische Sortiersysteme für die Abfallwirtschaft entwickelte. Seitdem vereinen beide Unternehmen die fortschrittlichsten Technologien für die Sortierung von Wertstoffen unter einem Dach und kombinieren unter anderem Technologien wie NIR-Spektroskopie mit Farbbildanalyse. Die Fusion führte zu einer Stärkung der Position von TiTech als Marktführer und Pionier. Seit 2004 gehört TiTech zur Tomra Gruppe.

Kurzinfo Tomra

Die Unternehmensgruppe Tomra hat ihren Hauptsitz in Norwegen mit Filialen und Aktivitäten in weltweit über 45 Ländern. Tomra kann auf eine über 30-jährige Erfahrung im Recycling-Bereich zurückblicken. Tomra hat über 50.000 Rücknahmeautomaten in mehr als 50 Ländern im Einsatz, um benutzte Getränkegebinde für die Wiederverwendung oder das Recycling zu sammeln und zu sortieren. Das durchschnittliche Wachstum seit 2001 betrug laut eigenen Angaben 33 % (Stand: 2004). Tomra hat seinen Bereich in sieben Tätigkeitsfelder eingeteilt: fünf Regionen („Nordic Region“, Deutschland, Westeuropa, Osteuropa und Nordamerika) sowie „Industrial Processing Technology“ und „Non-deposit Solutions“. Im Bereich „Industrial Processing Technology“ sind seine Stofferkennungs- und -trenntechnologien der Tochterunternehmen TiTech sowie CommoDaS angesiedelt.

Laut eigenen Angaben ist TiTech Weltmarktführer auf dem Gebiet der automatischen Abfallsortierung und bietet hierfür eine Kombination von NIR-, Farbanalyse und Bildanalysetechnologien an. 2002 wurde das deutsche Unternehmen „Real Vision Systems

¹⁹ www.titech.com/default.asp?V_ITEM_ID=542 (abgerufen am 15.03.07)

GmbH“ übernommen und fungiert seitdem als deutsche Niederlassung mit dem Namen TiTech Visionsort GmbH in Andernach (Rheinland-Pfalz). Seine Kunden sind Anlagenbauer bzw. die Eigentümer der Recyclinganlagen (z. B. die Entsorgungsunternehmen).

TiTech unterhält Märkte in insgesamt 15 Ländern in Europa, USA, Asien und Australien, wobei TiTech in der Vergangenheit 60 % seiner Verkäufe in Deutschland getätigt hat (vgl. Abbildung 5-6). Weitere wichtige Märkte sind Italien und Spanien; aufkommende Märkte sind die USA sowie Großbritannien (Tomra, 2006).

Als externe Markttreiber sieht TiTech insbesondere (Johannessen 2005, Tomra 2006)

- die erhöhte Pro-Kopf-Abfallproduktion,
- erhöhte Energie- und Rohstoffpreise,
- erhöhte Deponierungskosten (EU Deponierichtlinie),
- höhere, nationale Recyclingquoten,
- Regulierungen zur Arbeitsplatzsicherheit
- verbunden mit einer breiten Akzeptanz der von TiTech angebotenen Technologien.

Die Weiterentwicklung von TiTech erfolgt durch geographische Expansion, einer Expansion in neue Marktsegmente, mit einem erweitertem Produktangebot sowie neuen Geschäftsmodellen (Johannessen 2005, Tomra 20).

Abbildung 5-6: Marktanteile von TiTech (TOMRA, 2006)



Den mittelfristigen Bedarf an optoelektronischen Sortiertechnologien sieht TiTech in einer Größenordnung von 4.000 bis 6.000 Sortiereinheiten weltweit (Abbildung 5-7). Geographisch steht dabei die EU mit 55 % des Marktpotenzials im Kernfokus (Abbildung 5-8).

Abbildung 5-7: Das Marktpotenzial im Segment von TiTech – der mittelfristige, weltweite Bedarf an optischen Sortieranlagen (in Anlageneinheiten) (Johannessen 2005)

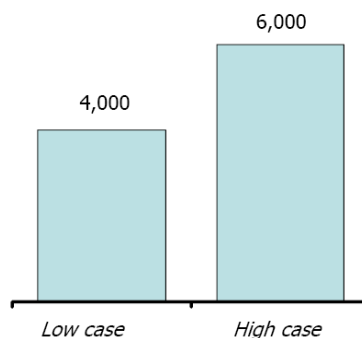
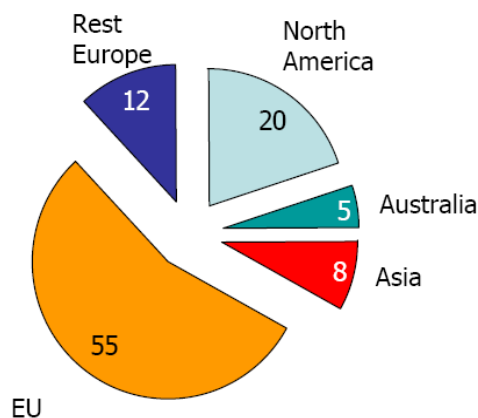


Abbildung 5-8: Das Marktpotenzial in den Kernsegmenten von TiTech (in Prozent) (Johannessen 2005).

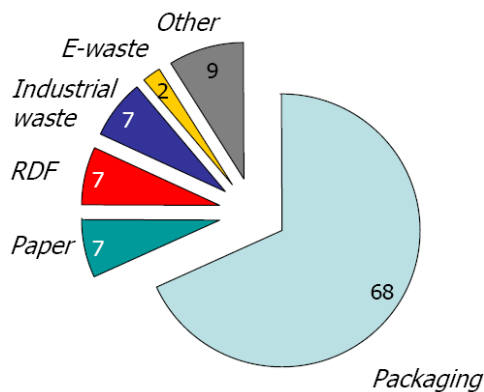


Als wichtigste Mitbewerber sieht TiTech vor allem folgende Unternehmen (Tomra, 2006):

- Pellenc (F): ca. 150–200 installierte Anlagen, starke Präsenz in Frankreich, weitere Märkte in Großbritannien, Japan, Italien und Spanien.
- RTT (D): ca. 120–140 installierte Anlagen, Erlöse von ca. 3–4 Mio. €, starke Präsenz in Deutschland.
- MSS (USA): Tochterunternehmen eines Anlagenbauers (CP Manufacturing), ca. 40–60 installierte Anlagen, starke Präsenz in den USA; versucht aktuell, wieder auf den europäischen Markt vorzudringen.

Verpackungsabfälle sind für TiTech noch immer das dominierende Marktsegment. Als weitere Segmente sind zudem Industrieabfälle, Papier, Ersatzbrennstoffe, Papier sowie Elektroabfälle von Interesse (Abbildung 5-9) (Tomra, 2006).

Abbildung 5-9: Umsatz von 2006, unterteilt in unterschiedlichen Segmente (in Prozent) (Tomra, 2006)



TiTech sieht die optoelektronischen Sortiertechnologien in der Anfangsphase ihrer Entwicklung und verknüpft mit ihnen ein großes Wachstumspotenzial (Tabelle 5-1) (Tomra, 2006).

Tabelle 5-1: Stofferkennungs- und -trennverfahren von Sortieranlagen (Tomra, 2006)

Product	Application	Margins
Sorting cabinets	Manual separation	low/medium
Trommels/drum/bucket screens	Removal of small items	low/medium
Inclined sorting machine/horizontal shakers	Mechanical separation	medium
Disc/ballistic screens	Mechanical separation	medium
Magnets and ECS	Sorting of metals	medium
Optical sorting equipment	Optical separation	high

Als potentieller Abnehmer von automatischen Stofferkennung- und -trennverfahren wird nachfolgend ein Anlagenbetreiber kurz charakterisiert:

SITA ist ein Entsorgungsunternehmen mit weltweit 223 Sortieranlagen, in denen über 50 Mio. t/a Abfälle behandelt werden, von denen 26 % verwertet werden (Sortierung,

Recycling, energetische Verwertung). In Deutschland ist SITA drittgrößter privater Entsorger mit 44 Sortieranlagen und einer Kapazität von 760.000 t/a.²⁰

5.3 Identifikation wichtiger Zielländer aktuell und perspektivisch

Als Zielländer sind diejenigen Länder interessant, die einerseits ein großes Potenzial an Sekundärrohstoffen besitzen (großes Abfallaufkommen) und in denen andererseits relevante Akteure ihr Sitzland haben.

Als EU-Länder mit relativ hohem Abfallaufkommen sind daher – neben Deutschland – Frankreich, Großbritannien, Italien, Polen und Spanien sowie Rumänien²¹ von Interesse (vgl. Abbildung 5-1 und Abbildung 5-2). In den Niederlanden haben zudem relativ viele Akteure ihren Firmensitz (vgl. Tabelle 5-2). Da das Abfallaufkommen nur punktuell von der wirtschaftlichen Entwicklung entkoppelt werden konnte, rücken daher vor allem auch die Schwellenländer in den Fokus des Interesses.

Nachfolgend werden einige ausgewählte Länder kurz charakterisiert:

Deutschland: In Deutschland sind derzeit zahlreiche Sortieranlagen in Betrieb, die für die Hausmüllsortierung (stofflich verwertbare Fraktionen, in hochwertige Ersatzbrennstoffe und in zu beseitigende Reste) geeignet sind, darunter Sortieranlagen für Leichtstoffverpackungen, mechanische Sortieranlagen im Zusammenhang mit mechanisch biologischen Anlagen, Vorschaltanlagen vor Müllverbrennungsanlagen sowie Sortieranlagen für alternative Verfahren z. B. für die Trockenstabilatgewinnung (Deutscher Bundestag, 2004).

Finnland: Im Rahmen einer Potenzialanalyse (Genter 2003) wurden für Finnland attraktive Technologielinien des Bereiches Abfallbehandlung erarbeitet. Demnach sind Technologien wie Abfall-Ansaugsysteme für das Einsammeln oder den weiteren Transport, die mechanisch-biologische Behandlung – bei der ebenfalls eine Stofftrennung stattfindet – sowie allgemein die Abfallaufbereitung und das Abfallrecycling mit Hilfe elektronischer Technologien – zu denen u. a. auch die sensorgestützte Sortierung zu zählen ist – besonders attraktiv.

²⁰ SITA Deutschland GmbH, Präsentation September 2005, [www.sita-deutschland.de/C12570F300305DF2/ywbase_internet.nsf/812B6A28A339F4FBC1257114004C2518/\\$File/SITA_Deutschland.pdf](http://www.sita-deutschland.de/C12570F300305DF2/ywbase_internet.nsf/812B6A28A339F4FBC1257114004C2518/$File/SITA_Deutschland.pdf) (abgerufen am 05.03.07).

²¹ Aufkommen von Siedlungsabfällen in 2002: 8,4 Mio. t, Quelle: Schweighofer, J., Frühwirth, W., Stark, W. (2006): Chancen österreichischer Unternehmen in der Abfallwirtschaft in Rumänien, Bulgarien, Kroatien und einigen Städten Russlands, www.umwelttechnik.co.at/download/Endbericht_GUA_Abfallwirtschaftsstudie.pdf (abgerufen am 15.03.07).

Großbritannien: Der Abfall-/Recyclingmarkt in Großbritannien investiert merklich in Recycling- und Aufbereitungsanlagen, wobei dabei weniger in Innovationen investiert wird als vielmehr in verfügbare Technologien und Prozesse. Die Bedeutung dieses Marktes macht sich durch vielfältige, gesteigerte Investitionen in Abfallbehandlungstechnologien bemerkbar. Von 2004–2020 werden zwischen 1.500 und 2.300 neue Anlagen zur Abfallbehandlung und zum Abfallrecycling in einer finanziellen Größenordnung zwischen 10 Mrd. £ und 30 Mrd. £ prognostiziert, um die EU-Deponierichtlinie (Verringerung der zur Deponierung bestimmten biologisch abbaubaren Abfälle²²) umzusetzen. Obwohl eine erhöhte Investorenaktivität zu verzeichnen ist, gilt hier die Abfallwirtschaft als unterfinanziert. Großbritannien hat derzeit eine der geringsten Recyclingraten bei Siedlungsabfällen in Europa und besitzt daher ein großes Potenzial für Abfallbehandlungsanlagen. Zudem ist Großbritannien in der Metall-Recyclingindustrie gut aufgestellt und wird hier als einer der „Hauptplayer“ in Europa angesehen. Die Abnehmermärkte liegen dabei eher außerhalb von Großbritannien (Selwyn/Leverett 2006).

5.4 Innovationssystem und marktführende Unternehmen in den führenden Ländern

Abbildung 5-10 bietet einen Überblick über die Beziehungen der unmittelbar integrierten Akteursgruppen im Hinblick auf die automatisierten Stofferkennungs- und -trennverfahren in der Abfallwirtschaft. Das Akteursumfeld des Unternehmens TOMRA ist in Tabelle 5-2 dargestellt und präsentiert die wichtigsten Marktakteure²³; es stellt damit ein repräsentatives Abbild der aktuellen internationalen Akteurssituation dar.

²² Eines der Hauptziele der EU-Deponierichtlinie ist, das Entstehen von Methangas in Deponien zu verhindern.

²³ Auch nach Ansicht der Studienersteller.

Abbildung 5-10: Akteursbeziehungen (MRF = Material Recovery Facilities) (Tomra, 2006)

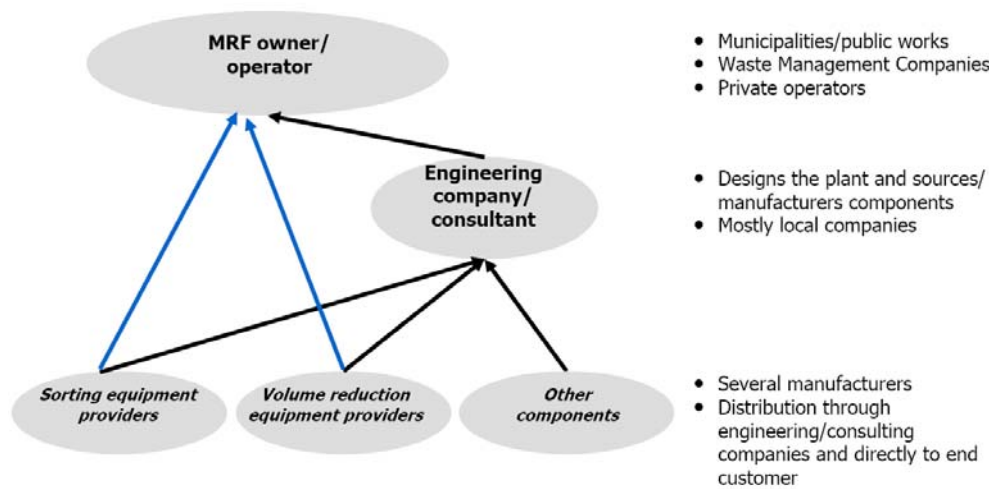
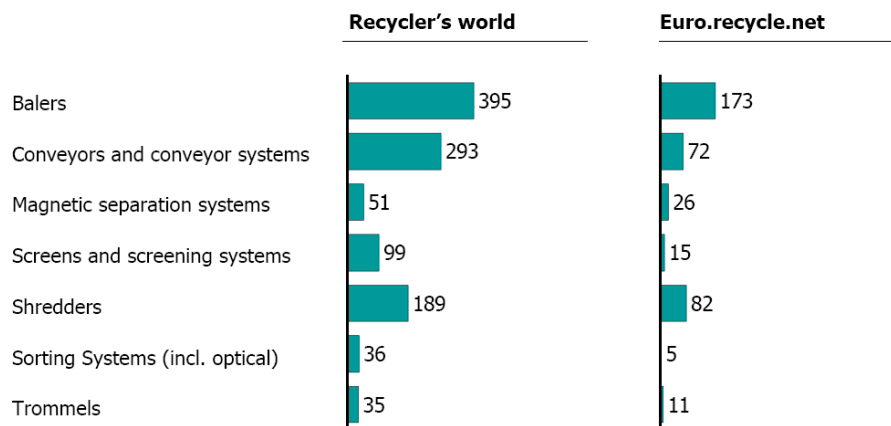


Tabelle 5-2: System- und Technologieanbieter (nach Johannessen 2005 und TOMRA 2006)

	Examples	Description
Full service/system providers	- CP Manufacturing (USA) - Synmet (NL) - Bollegraaf (NL)	Turnkey suppliers with inhouse engineering and equipment manufacturing
Recognition and sorting providers	- TiTech (NO) - CommoDaS (D) - Pellenc (F) - RTT (D) - Bollegraaf (NL) - LUBO (NL) - Mogensen (D) - S+S (USA)	Manufacturers of advanced sorting equipment needed to obtain clean fractions
Engineering/consulting companies (plant builders)	- Stadler (D) - OK.Engineering (GB) - SUTCO (D) - Vauché (F)	Designs and manufactures turnkey plants, but limited stand-alone component sale

Automatische Sortieranlagen sowie deren technologische Ausstattung (u. a. die einzelnen Sortiermodule) werden von zahlreichen, vorwiegend mittelständisch ausgerichteten Unternehmen (KMU) angeboten (Genter 2003), wobei diese z. T. mit großen Unternehmen eng verknüpft sind, wie das Beispiel des Marktführers TiTech (= Tochterunternehmen von TOMRA) zeigt. Dabei ist die Angebotsseite hinsichtlich der Stofferkennungs- und -trennverfahren relativ fragmentiert (Abbildung 5-11).

Abbildung 5-11: Anzahl der Unternehmen in den einzelnen Technologiebereichen (Tomra, 2006)



6 Schlussfolgerungen und Ausblick

6.1 Rahmenbedingungen und Regulierung

Abfallwirtschaftliche Regulierungen wie z. B. Recyclingquoten, die Verminderung bzw. Beseitigung von gesundheits- oder umweltgefährdenden Stoffen aus dem Materialstrom sowie die EU-Deponierichtlinie sind Beispiele für die politik-getriebene Weiterentwicklung von automatisierten Sortierverfahren. Prominentes Beispiel hierfür sind Gründung und Entwicklung von TiTech (siehe Kap. 5.4); auch in Deutschland waren politische Regulierungen für die Entwicklung und Etablierung zahlreicher neuer Technologien ausschlaggebend.²⁴ Auch das duale System, das seit Anfang der 90er Jahre die Aufgabe übernommen hat, die Recyclingziele der Verpackungsverordnung umzusetzen, hat technische Innovationen ausgelöst (Pretz 2003).

Durch Erhöhung der Kosten für Primärrohstoffe und Energie werden Sekundärrohstoffe verstärkt konkurrenzfähig, sodass eine Weiterentwicklung von Sortiertechnologien im Zuge dieser Kostensteigerung in zunehmendem Maße auch markt-getrieben erfolgen wird.

Die aktuelle Weiterentwicklung der Sortiertechnologien wird in hohem Maße von den politischen Rahmenbedingungen abhängig gemacht. Sofern die qualitativen oder quantitativen Vorgaben an die Verwertung von Verpackungen gesenkt werden, beziehungsweise deren Einhaltung nicht kontrolliert und gewährleistet wird, würde eine technische Weiterentwicklung von Recycling nicht stattfinden. Von unmittelbarer Bedeutung sind auch Entscheidungen darüber, inwieweit die Beseitigung tatsächlich zugunsten einer hochwertigen Verwertung eingedämmt werden kann (Einhaltung der Abfallablagerungsverordnung 2005) und wie der Verwertungsbegriff in Zukunft politisch definiert wird (Deutscher Bundestag, 2004). Eine Beschränkung von Quotenmengen oder der Vertragslaufzeit können sich darüber hinaus hemmend auf Investitionen auswirken (v. a. kartellrechtliche Auflagen) (vgl. Deutscher Bundestag, 2004).

Zentral für die Weiterentwicklung dieser Technologien werden insbesondere Investitionen in Forschung und Entwicklung sowie der Förderung von Demonstrationsobjekten mit hoch effizienten Sortiertechnologien angesehen (EC – DG ENV 2006).²⁵

²⁴ Z. B. Technologien der Erneuerbare Energien, wie die Windkraftenergie.

²⁵ Als ein Beispiel für die Förderung der Stofferkennungs- und -trenntechnologien sei hier der diesjährige Eurobot^{open} 2007 genannt, bei dem eine Müll-Trennungs-Party stattfindet, auf der Roboter im Wettbewerb Abfall sortieren sollen. EUROBOT^{Open} ist ein internationaler Wettbewerb für Teams von jungen Leuten, 17. bis 20. Mai 2007, La Ferté-Bernard (F), www.eurobot.org.

6.2 Fazit: SWOT-Analyse

Innovationsdynamik

- Die politische Regulierung, wie z. B. Recycling- oder Wiederverwertungsziele, ist derzeit der wichtigste Markttreiber und spielt eine Schlüsselrolle bei der Technologieentwicklung.
- Neben optoelektronischen, sensorgestützten Sortierverfahren werden neuen Technologien wie der RFID-Technologie große Entwicklungspotenziale zugeschrieben.

Marktpotenzial

- Mit der Kostensteigerung bei Primärrohstoffen und Energie erhöht sich der Bedarf an Sekundärrohstoffen.
- Durch Wirtschaftswachstum ist in den entwickelten Ländern sowie in den Schwellenländern zunächst auch mit einem erhöhten Abfallaufkommen zu rechnen.

Wettbewerbsfähigkeit

- Aufgrund politischer Regulierungen hat sich in Deutschland bzw. in Europa eine international konkurrenzfähige Akteurslandschaft entwickelt.

Tabelle 6-1: SWOT-Analyse

Stärken	Chancen
<ul style="list-style-type: none"> • Gut entwickelte Akteurs- und Forschungslandschaft mit z. T. gut vernetzten Akteuren (v. a. zwischen Wissenschaft und Wirtschaft). • Langjährige Erfahrung mit automatisierten Sortiertechnologien. • Etablierte, ausgereifte Technologien mit Entwicklungspotenzial. 	<ul style="list-style-type: none"> • Zunehmender Bedarf an Sekundärrohstoffen aufgrund steigender Rohstoff- und Energiekosten. • „Intelligente“ Regulierung kann weitere Innovationen fördern. • Öffentliche Förderung in F&E sowie von Demonstrationsanlagen unterstützen den Branchenumbau. • Branchenübergreifende Dialoge können zur Optimierung der Stoffflüsse beitragen.
Schwächen	Herausforderungen
<ul style="list-style-type: none"> • Die Kreislaufbranche ist derzeit nur in einigen wenigen Bereichen markgetrieben. • Die Kreislaufbranche stößt bei Investoren nur punktuell auf Interesse. 	<ul style="list-style-type: none"> • Maßnahmen zur Müllvermeidung (z. B. Abkoppelung des Wirtschaftswachstums von der Abfallerzeugung) können zur Reduktion des Marktvolumens führen. • Der Umbau der Recyclingbranche kann den Umbau weiterer Branchen auslösen (z. B. Sammlung und Verwertung von Elektroaltgeräten durch soziale Einrichtungen). • Mangelnde Unterstützung des Transfers von der Wissenschaft in die Wirtschaft sowie bei der Diffusion ausgereifter Technologien lässt aussichtsreiche Potenziale ungenutzt. • Der Branchenumbau kann mit Verhaltensänderungen auf Seiten der Verbraucher und der Hersteller verknüpft sein (= Verantwortung für den eigenen Abfall).

Literatur

- AMCG (2003): European survey – Prospects for intelligent waste management products and services (MSW – municipal solid waste) – Executive Summary, AMCG Unternehmensberatung GmbH International Management Consultants, elaborated for TEKES – National Technology Agency of Finland, Helsinki, September 16th, 2003,
http://websrv2.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/Kaynnissa/Streams/fi/Dokumenttiarkisto/Viestinta_ja_aktivointi/Seminaarit/2003/16-9-2003/2-Genter.pdf (abgerufen am 08.03.07).
- Bardt, H. (2006): Die gesamtwirtschaftliche Bedeutung von Sekundärrohstoffen, IW-Trends – Vierteljahresschrift zur empirischen Wirtschaftsforschung aus dem Institut der deutschen Wirtschaft Köln, 33. Jahrgang, Heft 3/2006.
- Büringer, H. & Stenius, W. (2006): Beitrag der Abfallwirtschaft zur Verringerung der Treibhausgasemissionen in Baden-Württemberg, Statistisches Monatsheft Baden-Württemberg 12/2006.
- Dehoust, G. u. a. (2005): Statusbericht zum Beitrag der Abfallwirtschaft zum Klimaschutz und mögliche Potentiale, Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt; Naturschutz und Reaktorsicherheit, Forschungsbericht 205 33 314, UBA-FB III, im Auftrag des Umweltbundesamtes.
- Deutscher Bundestag (2004): Antworten der öffentlichen Anhörung „Mülltrennung vereinfachen – Haushalte entlasten“, Ausschuss für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Ausschussdrucksache 15(15)325* Teil 1, Öffentliche Anhörung am 01.12.2004, Berlin,
www.bundestag.de/ausschuesse/archiv15/a15/a15_anhoerungen/09_Hausmuell/04_Antw.pdf (abgerufen am 06.03.07).
- EC – DG ENV (2006): Eco-industry, its size, employment, perspectives and barriers to growth in an enlarged EU. European Commission, DG Environment, Final Report, produced by Ernst & Young Environment and Sustainability Services (France) and by RDC-Environment, on behalf of the European Commission, September 2006.
- EC (2006): Best Available Techniques for the Waste Treatments Industries, Reference Document, Integrated Pollution Prevention and Control.

- Fleischer, G.: Darstellung der Stoff-/Energie und Informationsflüsse in der Kreislaufwirtschaft, TU Berlin, Institut für Technischen Umweltschutz, http://itu301.ut.tu-berlin.de/portrait/vaw_portrait_kreislaufwirtschaft.htm (abgerufen am 30.01.07).
- Fritz, P., Gundert-Remy, U., Zeddies, J. u. a. (2005): Der Beitrag der Abfallwirtschaft zu einer nachhaltigen Entwicklung in Baden-Württemberg, Sondergutachten, Der Nachhaltigkeitsbeirat der Landesregierung Baden-Württemberg (NBBW), Stuttgart.
- Genter, C. (2003): Innovative waste management products – European market survey, www.tekes.fi/julkaisut/Innovative_waste.pdf (abgerufen am 23.02.07)
- Harant, M. & Kröger, W. (2005): Sortierung von Abfällen aus Haushalten, Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, www.bayern.de/lfu/tat_bericht/tb_200x/tb_2004/pdf/sortierung_abfaelle.pdf (abgerufen am 07.03.07).
- Hoberg H., Wolf S., Schneider C., Buntenbach S., Meier-Kortwig J. (1998): Recycling von aluminiumhaltigen Verpackungen – Stoffströme und technische Recyclingquoten, RWTH Aachen, Lehrstuhl für Aufbereitung und Recycling fester Abfallstoffe, www.iar.rwth-aachen.de/www/upload/Publikationen/download/bis1999/v02_sfb525.pdf, (abgerufen am 09.03.07).
- Johannessen, T. (2005): Recycling Technology, SVP Business Development, <http://hugin.info/162/R/1019997/160553.pdf> (abgerufen am 08.03.07).
- Keßler, H. (2006): Müll ist wertvoll – Optimierung der Siedlungsabfallverwertung bis spätestens zum Jahr 2020, Kommunalpolitische Blätter Nr. 6/2006.
- Keßler, H. (2005): Ist Nachhaltigkeit meßbar – (Nachhaltigkeits-)Indikatoren in der Abfallwirtschaft, in Schug, H. et. al. (2005): Nachhaltigkeit in der Abfallwirtschaft, Zukünftige Technologien Band 56, Hrsg. VDI Technologiezentrum GmbH, Düsseldorf.
- OECD (2006): Compendium of patent statistics, 2006, www.oecd.org/dataoecd/5/19/37569377.pdf (abgerufen am 07.03.07).
- Pretz, T. (2006): Möglichkeiten und Grenzen der automatischen mechanischen Trennung von Abfallgemischen, Deponietechnik 2006, Hamburger Berichte Bd. 29, www.iar.rwth-aachen.de/www/upload/Publikationen/download/2006/Vortrag%20Hamburg%202006-TEXT.pdf (abgerufen am 07.03.07).

- Pretz, Th. & Killmann, D. (2006): Einsatz von sensorgestützten Sortiersystemen bei der Aufbereitung fester Abfallstoffe, Vortrag „Aufbereitung und Recycling“, 8.–9. November 2006, Freiberg, www.iar.rwth-aachen.de/www/upload/Publikationen/download/2006/Vortrag_Freiberg_Killmann_2006-11-09.pdf (abgerufen am 08.03.07).
- Pretz, T. (2003): Was leisten maschinelle Trennverfahren? Vortrag auf dem 81. Abfallwirtschaftlichen Kolloquium 25.11.2003, Universität Stuttgart, www.iar.rwth-aachen.de/www/upload/Publikationen/download/2003_2002/stuttgart_81awkol_1103.pdf (abgerufen am 08.03.07).
- Skarholt, A. (2005): TOMRA in Europe, Capital Markets Day 2005 presentation, <http://hugin.info/162/R/1020030/160564.pdf> (abgerufen am 09.03.07).
- Selwyn, J. & Leverett, B. (2006): Emerging Markets in the Environmental Sector, UK Centre for Economic and Environmental Development (UK CEED), prepared for the Department of Trade and Industry, Environmental Industry, London.
- TOMRA (2006): Capital Markets Day presentation material, 9.11.2006, Felix Konferan-sesenter, Oslo, <http://hugin.info/162/R/1087211/190366.pdf> (abgerufen am 05.02.07).
- Verbücheln, M., Hansen, W., Neubauer, A., Kraemer, R. A., Leipprand, A. (2003): Strategie für die Zukunft der Siedlungsabfallentsorgung (Ziel 2020), Kurzfassung, FuE-Vorhaben 201 32 324 für das Umweltbundesamt im Rahmen des UFOPLAN 2003.

In der Reihe „Umwelt, Innovation, Beschäftigung“ sind bisher die folgenden Bände erschienen:

- 01/07 Wirtschaftsfaktor Umweltschutz: Vertiefende Analyse zu Umweltschutz und Innovation
- 02/07 Umweltpolitische Innovations- und Wachstumsmärkte aus Sicht der Unternehmen
- 03/07 Zukunftsmarkt Solarthermische Stromerzeugung
- 04/07 Zukunftsmarkt CO₂-Abscheidung und –Speicherung
- 05/07 Zukunftsmarkt Elektrische Energiespeicherung
- 06/07 Zukunftsmarkt Solares Kühlen
- 07/07 Zukunftsmarkt Energieeffiziente Rechenzentren
- 08/07 Zukunftsmarkt Biokunststoffe
- 09/07 Zukunftsmarkt Synthetische Biokraftstoffe
- 10/07 Zukunftsmarkt Hybride Antriebstechnik
- 11/07 Zukunftsmarkt Dezentrale Wasseraufbereitung und Regenwassermanagement
- 12/07 Zukunftsmarkt Nachhaltige Wasserwirtschaft und Nanotechnologie
- 13/07 Zukunftsmarkt Stofferkennung und -trennung

Alle Veröffentlichungen können kostenlos auf www.umweltbundesamt.de heruntergeladen werden.