

# **Optische Sortiertechnik – Innovative Einsatzfelder in der Abfallwirtschaft Grenzen und Forschungsbedarf**

**Verena Faist, Arne Ragossnig**

Fachhochschulstudiengänge Burgenland GmbH / Pinkafeld, Österreich

## **Optical Sorting – Innovative Applicationfields for Waste Management Limits and demand in research**

### **Abstract**

In spite of separate collection of waste, most waste streams are still heterogeneous and do not match the required qualities for further recycling. To achieve the requested recycling rates for packaging waste, optical sorting has been used successfully since the middle of the 90ies. Today, optical sorting for glass in the VIS-spectra and plastics in the NIR-spectra is state-of-the-art. Special impurities, like black plastics are still a challenge for optical sorting, which cannot be solved adequately with conventional sorting systems.

According to an increasing relevance of climate protection and a stricter legal framework concerning waste, especially the thermal and energetic waste treatment of heterogeneous waste streams is gaining in importance. For example, Austria prohibits dumping of waste, if special criteria (caloric value criteria) are not achieved.

For energy recovery different quality standards have to be met, depending on the recovery process (mono- or co-incineration). To gain a dumpable fraction it is necessary to go below the caloric value criteria and sort out the high caloric fraction. This article evaluates the innovative application fields of the optical sorting technology. In addition technological limits and research demand will be shown.

### **Zusammenfassung**

Trotz separater Erfassung verschiedenster Abfallströme sind die einzelnen Abfallfraktionen oft sehr heterogen und bedürfen einer Nachsortierung. Anhand der Tatsache, dass durch manuelle Sortierung von Abfallströmen nicht die geforderten Durchsatzleistungen und teilweise auch nicht die Qualitätsanforderungen an die Sortenreinheit erzielt werden können, wird seit Beginn der 90er Jahre verstärkt auf optische Sortiertechnik gesetzt. Bis heute haben Systeme zur Kunststofftrennung im NIR – Spektrum oder Glassortierung im VIS – Spektrum die Marktreife erreicht und zählen zum Stand der Technik.

Aufgrund der zunehmenden Bedeutung des Klimaschutzes und der damit verbundenen rechtlichen Rahmenbedingungen, entwickelt sich die Bedeutung der thermischen Behandlung und energetischen Nutzung von Abfällen bzw. Abfallbrennstoffen in den letzten Jahren sehr rasant. Die Deponierung von Abfällen ist nur mehr unter Erfüllung definierter Voraussetzungen (in Österreich: u.a. Heizwertkriterium) möglich.

Im Bereich der energetischen Nutzung heizwertreicher Abfallbrennstoffe ist, abhängig vom Bestimmungsverwertungsprozess, die Einhaltung von entsprechenden Schadstoff-Grenzwerten wesentlich, im Bereich der Einhaltung des Heizwertkriteriums für die Deponierung ist die Unterschreitung eines Mindestheizwertes und damit die maximale Ausschleusung von energetisch nutzbaren Kunststoffen entscheidend. Beide Fragestel-

lungen stellen neue Einsatzbereiche der optischen Sortiertechnik dar.

Gewisse Verunreinigungen stellen die optische Sortiertechnik in der Abfallwirtschaft vor weitere Herausforderungen, die mit konventionellen Systemen nur unzureichend gelöst werden können.

Der vorliegende Beitrag soll eine grundlegende Evaluierung des innovativen Einsatzes der optischen Sortiertechnik darstellen und entsprechend die Grenzen dieses Verfahrens bzw. den sich eröffnenden Forschungsbedarf darstellen.

### **Keywords**

Optische Sortierung, NIR, Ersatzbrennstoff, Positivsortierung, Negativsortierung  
Optical sorting, RDF, positive sorting, negative sorting

## **1 Einführung**

Die Abfallwirtschaft in Europa hat in den letzten Jahrzehnten eine Wende weg von einer ausschließlichen Abfallbeseitigungswirtschaft hin zu einer „vernetzten Kreislaufwirtschaft“ bzw. zum Ressourcenmanagement erfahren. Eine der Kernentwicklungen ist hierbei die Reduzierung der Notwendigkeit der Abfalldeponierung durch Abfallvermeidung und -verwertung; Dies wurde im Zuge der Deponierichtlinie gesetzlich manifestiert (EC, 1999) Die Implementierung der Deponierichtlinie in nationales Recht, führte zu ausschlaggebenden Änderungen der Abfallwirtschaft auf nationaler Ebene. Die Abnahme der zu deponierenden Abfallmengen konnte nur durch eine drastische Ausweitung der getrennten Erfassung von verwertbaren Altstoffen sowie einem Technologiesprung der Abfallbehandlung verbunden mit der Ausschleusung von Wertstoffen erreicht werden. Im Bereich der Sortiertechnik kommt der Verwendung und Weiterentwicklung optischer Verfahren eine besondere Bedeutung zu.

Zur Erreichung von geforderten Verwertungsquoten bei getrennt erfassten Verpackungsabfällen wird die optische Sortiertechnik seit Mitte der 90er Jahre erfolgreich eingesetzt und zählt heute zum Stand der Technik. Durch die gesteigerte Wertschätzung der Ressource „Abfall“ entweder als Sekundärrohstoff oder als Sekundärenergieträger gewinnt auch die Aufbereitung von Abfallgemischen heute zunehmend an Bedeutung. Gerade in Bezug auf Mischabfälle würde ein erhebliches Potential zur Verfügung stehen, das heute zum größten Teil aus Gründen der Wirtschaftlichkeit ungenutzt bleibt. Grundsätzlich kann die Aussage getroffen werden, dass sich die Verwertung von Abfällen in den letzten Jahren sehr positiv entwickelt hat, jedoch noch weitere Ressourcen zur Verfügung stehen, welche bestmöglich ausgeschöpft werden sollten. Allein in Europa kann bei Siedlungsabfällen von einem gemischten Abfallaufkommen von über 250 Mio. Tonnen jährlich mit Aufwärtstrend ausgegangen werden (EUROSTAT, 2007).

Die Herausforderung besteht in der Identifikation und Weiterentwicklung von Abfallaufbereitungstechnologien im Sinne ökonomisch attraktiver und ökologisch vorteilhafter Verwertungsoptionen für einen möglichst großen Anteil der anfallenden Abfälle. Der

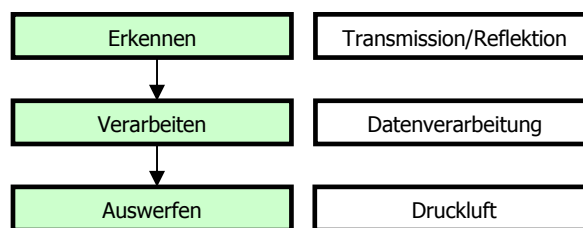
Fokus wird hier mehr auf der Entwicklung und Verbesserung geeigneter Anlagenkonzepte und weniger auf der Optimierung von Einzelaggregaten liegen.

## 2 Prozess / Prinzip der optischen Sortiertechnik

Jeder Sortierprozess hat das Ziel ein Stoffgemisch in mindestens zwei verschiedene Ströme, deren Komponenten sich hinsichtlich der verwendeten Trennkriterien unterscheiden, zu teilen (SCHUBERT, 1989). Im Sinne des tatsächlichen Realisierungspotentials ist wesentlich, dass mindestens ein Produkt mit einem höheren Wertschöpfungspotential als das Gemisch dabei erzeugt wird. Die erzielte Wertschöpfung dieses Vorganges beschreibt damit den erlaubten technischen und wirtschaftlichen Aufwand für die Sortierung. Daraus lässt sich auch der stets geforderte Kompromiss zwischen Ausbringung und Qualität des Sortierproduktes ableiten, der stets im Mittelpunkt einer jeden automatischen sensor-basierten Sortierung zu sehen ist (FELBER, 2007).

Bevor es zur eigentlichen optischen Sortierung kommt, ist eine Voraufbereitung des Abfalls notwendig. Die Erzeugung einer konstanten Korngröße und Gewährleistung einer entsprechenden Vereinzelnung garantiert, dass dem optischen Sortierschritt eine einheitliche Oberfläche ohne Überlagerungen zur Erkennung zur Verfügung steht. Nur durch eine entsprechende Voraufbereitung kann gewährleistet werden, dass einzelne Objekte optimal ausgeblasen werden und nicht Körnerkollektive die Erkennung verfälschen und damit die Sortierqualität negativ beeinflusst wird.

Der eigentliche sensorgestützte Sortierablauf wird anhand von drei Schritten aufgebaut (siehe Abbildung 1).



**Abbildung 1** Einzelschritte der optischen Sortierung

**Erkennen:** Um das Material identifizieren zu können, wird eine Strahlungsquelle eingesetzt und ein Sensor der entweder die Intensität der Transmission (Durchlichtverfahren) oder Reflektion (Auflichtverfahren) detektiert.

**Verarbeiten:** Der Sensor liefert die detektierten Informationen an den Rechner. Innerhalb weniger Millisekunden werden die Objekte klassifiziert und das entsprechende Signal wird an die Düsenleiste gesendet, um die Druckluftventile korrekt anzusprechen.

**Auswerfen:** Mittels Druckluft werden die auszuwerfenden Objekte, welche sich im freien Fall befinden aus ihrer Standardflugbahn in den Auswurf ausgelenkt. Der Druckluft-

impuls wird so festgelegt, dass er Position, Größe, Materialzusammensetzung berücksichtigt. Zusätzlich kann auch ein größeres Ausblasfenster gewählt werden, um die Treffsicherheit zu erhöhen.

### 3 Einsatzfelder der optischen Sortierung

#### 3.1 Optische Sortierung für homogene Abfälle

Trotz separater Erfassung verschiedenster Abfallströme sind die einzelnen Abfallfraktionen oft sehr heterogen und bedürfen einer Nachsortierung. Anhand der Tatsache, dass durch manuelle Sortierung von Abfallströmen nicht die geforderten Qualitätsanforderungen und Durchsatzleistungen erzielt werden können, wird seit Beginn der 90er Jahre verstärkt auf optische Sortiertechnik gesetzt. Bis heute haben Systeme zur Aufbereitung getrennt erfasster Abfallströme die Marktreife erreicht und zählen zum Stand der Technik. Abbildung 2 zeigt für die Bereiche Glas, PPK (Papier, Pappe, Karton) und Kunststoff die häufigsten Aufgabenstellungen und technischen Lösungen.

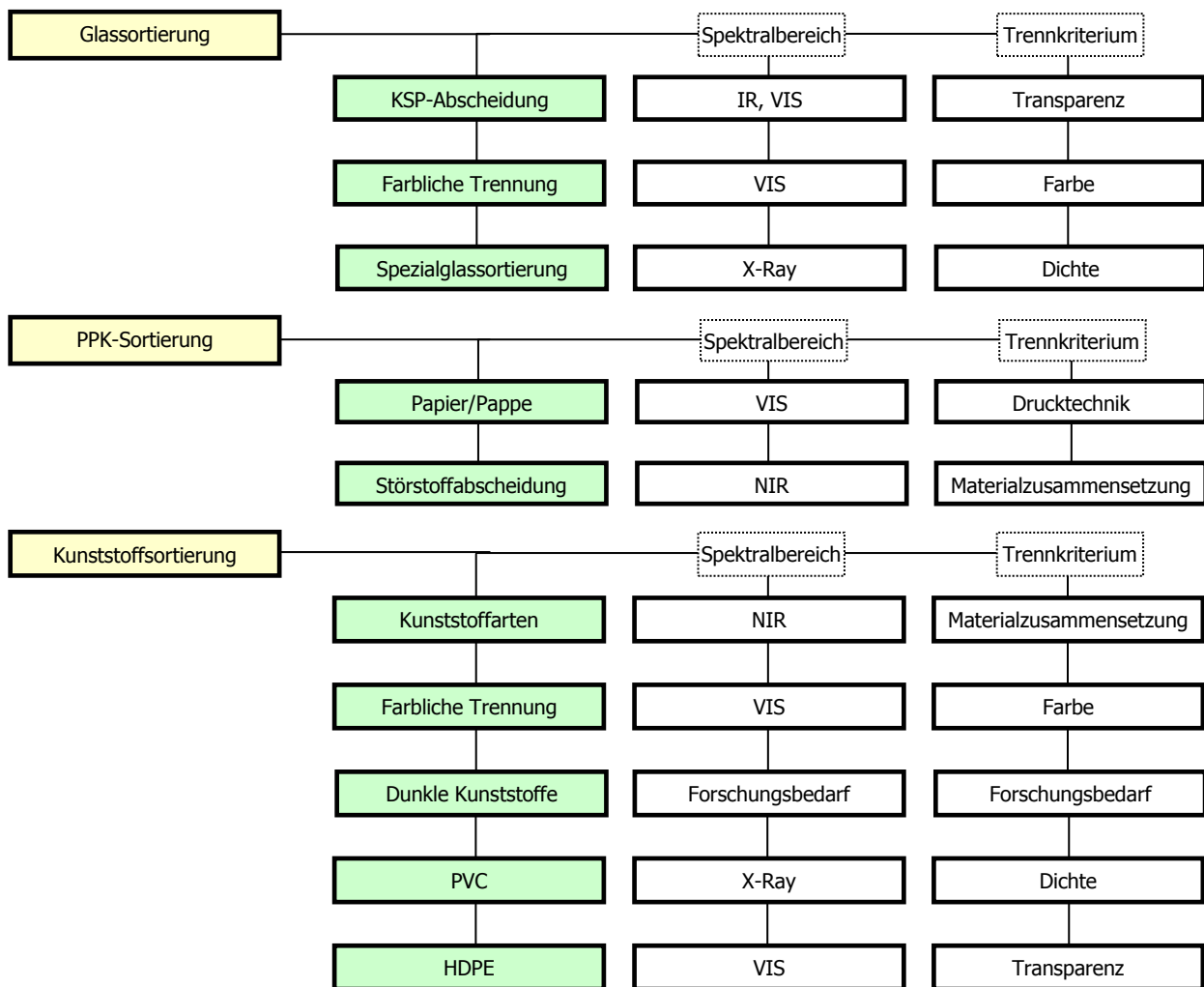


Abbildung 2 Einsatzfelder der sensorgestützten Sortierung für homogene Abfälle

Das größte Problem für die sensorgestützte Sortierung von sortenrein erfassten Abfällen stellt die Erkennung von dunklen Kunststoffen dar. Um einzelne Kunststofftypen (PE, PA, PP, PET, etc.) aus dem Kunststoffmix sortenrein zu gewinnen, wird im Spektrum des nahen Infrarot gearbeitet. In diesem Spektralbereich (700 – 1000 [nm]) ist durch die hohe Absorptionsrate dunkler Objekte kein verwertbares Spektrum für dunkle Kunststoffe zu detektieren. Für dieses Problem steht heute noch keine praktisch einsetzbare Technologie zur Verfügung.

### **3.2 Optische Sortierung für heterogene Abfälle**

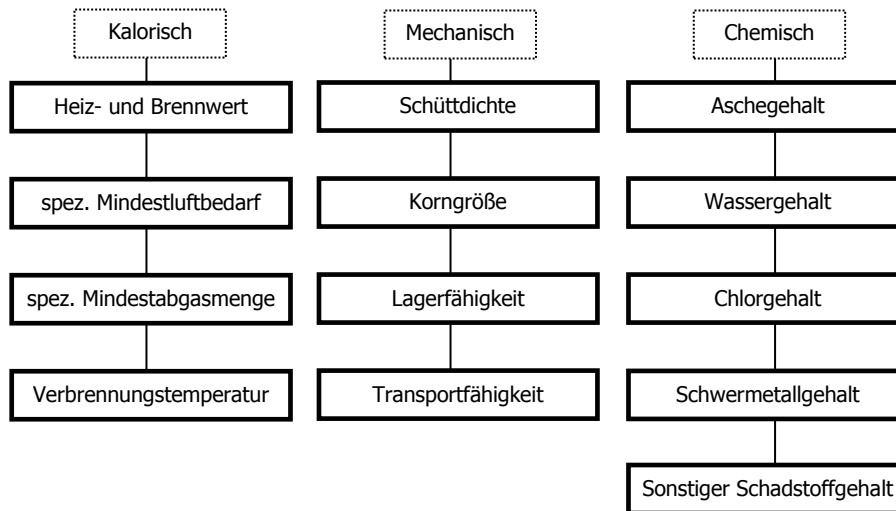
Gemischte Abfälle werden durch ihre oft sehr heterogene Zusammensetzung charakterisiert, dabei bestimmen Stoffgruppen wie Kunststoffe, PPK, Holz, Metalle, organisches und mineralisches Feingut, Textilien oder Konglomerate aus den Einzelkomponenten die Zusammensetzung (PRETZ, 2006). Auch die bereits genannte Abfallart „Kunststoffabfälle“ müsste aufgrund der unterschiedlichen Zusammensetzung der einzelnen Kunststoffarten im engeren Sinne zu den heterogenen Abfällen gezählt werden.

In den letzten Jahren stand in Mitteleuropa die thermische Abfallbehandlung von heterogenen Abfällen im Vordergrund. Heute wird vielfach versucht die Abfallgemische dahingehend aufzubereiten, dass Sekundärrohstoffe für eine werkstoffliche Verwertung oder Ersatzbrennstoffe für die energetische Verwertung erzeugt werden können.

Die Entwicklung der Energie- und Rohstoffpreise in den letzten Jahren und auch zukünftig zeigt/e einen steigenden Trend und wird begleitet von einer Steigerung der Wirtschaftlichkeit von Ersatzbrennstoffen gegenüber immer teurer werdender Primärenergie. Diese Entwicklung führte dazu, dass nicht nur die im letzten Jahrzehnt wichtig gewordene werkstoffliche Verwertung im Vordergrund der Recyclingindustrie steht, sondern eine Forcierung der energetischen Verwertung von Abfällen als Ersatzbrennstoff z.B. in Produktionsprozessen stattfindet (RAGOSSNIG ET AL., 2006). Um Abfälle nicht thermisch behandeln zu müssen, sondern als Ersatzbrennstoff energetisch zu verwerten, ist es notwendig das heterogene Abfallgemisch so aufzubereiten, dass geforderte Qualitäten gewährleistet werden können. Die Bereitstellung einer gleichbleibenden Qualität und gleichzeitig konstanter Quantität zählt zu der obersten Prämisse für den Einsatz von Ersatzbrennstoffen (RAGOSSNIG ET AL., 2005).

Abbildung 3 zeigt die wesentlichen kalorischen, mechanischen und chemischen Parameter, welche sowohl in der Aufbereitung für die anschließende Co- als auch Monoverbrennung eine wichtige Rolle spielen.

Die Beschränkung der Chlorfracht ist in der Praxis die am häufigsten geforderte Qualitätsanforderung für die Nutzung von Ersatzbrennstoffen sei es in Co- oder Monoverbrennungsanlagen.



**Abbildung 3** kalorisch, mechanisch und chemisch relevante Parameter für die EBS-Qualität (BECKMANN, 2005)

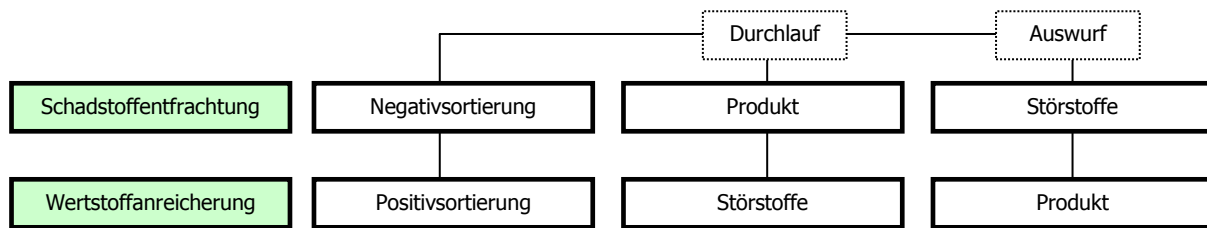
Für die optische Sortierung von Mischabfällen wird hauptsächlich die sensorgestützte Sortierung im NIR-Bereich genutzt. Größter Unterschied zu homogenen Abfällen ist definitiv die sehr heterogene und stark variierende Abfallzusammensetzung, die das gesamte Anlagenkonzept in den Vordergrund stellt, um eine optische Sortierung überhaupt zu ermöglichen. Voraufbereitungsschritte wie Materialaufschluss und Vereinzelung haben gerade hier großen Einfluss, da sie sich auf den Gesamtwirkungsgrad der Anlage auswirken und einer Überlastung der Anlage entgegenwirken können (PRETZ, 2005). Damit ist die Aufbereitung von heterogenen Abfällen anspruchsvoller, aber mit der gleichen Technologie wie sie von der Aufbereitung von getrennt erfassten Abfallströmen bekannt ist, zu bewerkstelligen.

Für die sensorgestützte Aufbereitung und Mischabfällen stehen zwei Alternativen zur Auswahl:

- Reinigung des Stoffstroms (Schadstoffentfrachtung)
- Gewinnung einer heizwertreichen Fraktion (Wertstoffanreicherung)

Wie Abbildung 4 zeigt wird dies durch Negativ- bzw. Positivsortierung durchgeführt. Ist das Ziel die Gewinnung einer heizwertreichen Fraktion so werden ausgewählte heizwertreiche Abfälle aus dem Abfallstrom mittels Positivsortierung ausgeschleust. Dem Vorteil des hohen Reinheitsgrades steht der Nachteil der geringen Ausbeute dieses Verfahrens gegenüber.

Soll der Abfallstrom von Verunreinigungen gereinigt werden, wird die Negativsortierung eingesetzt, um meist PVC, auszusortieren. Tritt der Fall ein, dass es sich beim Chlorträger um dunkle Objekte handelt, so verbleiben diese aufgrund der Nichterkennung im Abfallstrom. Damit können mit diesem Verfahren nicht mit der Positivsortierung vergleichbare Brennstoffqualitäten erzielt werden. Dem gegenüber steht jedoch der positive Aspekt einer hohen Ausbeute bzw. einer geringen Restfraktion.



**Abbildung 4** Negativsortierung und Positivsortierung

Eine Kombination dieser beiden Verfahren lässt sich mit Hilfe einer sogenannten 3-Wege Maschine umsetzen. Eine 3-Wege Maschine wird so konstruiert, dass sie über zwei Auswürfe verfügt, somit wird es möglich in einem Sortierschritt drei unterschiedliche Fraktionen zu erzeugen.

Grundsätzlich sind die Ausbeuten der Aufbereitung heterogener Abfälle im Gegensatz zu homogenen Abfällen gering. Können bei der Aufbereitung von produktionsspezifischen Abfällen Ausbeuten von 95 % erreicht werden, beträgt die Ausbeute für Hausmüll lediglich 35 – 45 % (ECKARDT, 2003). Um den Anforderungen der Deponieverordnung zu entsprechen, bedarf die Restfraktion daher meist einer zusätzlichen thermischen oder biologischen Behandlung. Dies stellt bei der Aufbereitung von Siedlungsabfällen einen enormen Kostenfaktor dar, der die Wirtschaftlichkeit der Abfallaufbereitung wesentlich beeinflussen kann.

Speziell für Österreich ist die Behandlung der Restfraktion von besonderem Interesse. Laut Deponieverordnung besteht für Abfälle aus der mechanischen bzw. mechanisch-biologischen Behandlung mit einem Heizwert > 6.600 kJ/kg und einem TOC-Gehalt > 8 M-% bzw. > 5 M-% Deponierungsverbot (DeVO, 2008). Da eine thermische Behandlung der Restfraktion im Vergleich zur Deponierung mit hohen Kosten verbunden ist, stellt die sensorgestützte Sortierung in diesem Bereich möglicherweise eine wirtschaftliche Alternative dar. Dabei liegt der Fokus nicht wie bereits erwähnt auf der Wertstoffanreicherung, sondern auf der Schaffung einer deponierungsfähigen niederkalorischen Restfraktion und damit zur Vermeidung einer kostenintensiven thermischen Behandlung. Inwiefern in diesem Bereich noch Potentiale vorhanden sind, gilt es zu ermitteln. Erste praktische Versuche die optische Sortiertechnik für diese Fragestellung heranzuziehen (Integration eines Sortieraggregat mit NIR-Technologie in das bestehende Anlagenkonzept) zeigten, dass durch die starke Verschmutzung des Abfalls durch Staubanhaftungen und Feuchtigkeit, speziell für Holz und Kunststoff Probleme in der Erkennung auftraten. Besonders war, dass es sich beim Abfallstrom, um Material handelte, welches zuvor die Vorrote durchlaufen hatte (Haider, 2008).

## 4 Grenzen und Forschungsbedarf

Die optische Sortiertechnik hat sich erst in den letzten 10 Jahren am Recyclingmarkt etabliert und leistete damit einen wesentlichen Beitrag zur Innovation und Weiterentwicklung der Aufbereitungstechnik.

Aufgabenstellungen, in denen es um die Sortierung von homogenen Abfallströmen geht, können heute mit guten Sortiererergebnissen und Durchsatzleistungen durchgeführt werden und zählen damit zum Stand der Technik. Doch auch hier gibt es weiteren Forschungsbedarf aufzuzeigen. Der Einsatz der optischen Sortierung für Spezialanwendungen, die Probleme der Erkennung von dunklen Kunststoffen oder die sichere Ausscheidung von chlorhaltigen Kunststoffen stehen hier im Mittelpunkt.

Da es sich gerade im Bereich der Ersatzbrennstoffe um einen relativ jungen Markt handelt, gibt es noch weitere Probleme zu lösen. Dies sind einerseits Problemstellungen, welche durch technologische Grenzen des Verfahrens auftreten, aber auch durch politisch/rechtliche (politische Zielsetzungen, rechtliche Vorgaben) und wirtschaftliche (Marktwert der hergestellten Fraktionen im Vergleich zu den Opportunitätskosten) Rahmenbedingungen ausgelöst werden.

In Bezug auf die Erkennung von dunklen Kunststoffen ist die sensorgestützte Sortierung an ihre Grenzen gestoßen und es bedarf einer Weiterentwicklung oder Innovation, um diese Aufgabenstellung zu lösen.

Eine Möglichkeit stellt hier die Erkennung der Reflektion dunkler Kunststoffe im mittlerem Infrarotspektrum (MIR) dar. Versuche im Bereich des MIR zeigten, dass es in diesem Spektralbereich möglich ist, die direkte Reflektion zu detektieren. Transmissionspektren konnten aber auch hier nicht identifiziert werden (WAGENER, 2007).

Eine weitere Lösungsmöglichkeit für diese aber auch neue Aufgabenstellungen kann der Einsatz von „Multisensorik“ sein. Durch die Kombination mehrerer Sensoren und mathematischen Verknüpfung der Ergebnisse wird es möglich, mit neuen Trennkriterien zu arbeiten oder konventionelle Sensoren abzulösen. Im Bereich der „Multisensorik“ herrscht jedoch noch Forschungsbedarf und es ist zu berücksichtigen, dass die Weiterentwicklung von Sensorkombinationen immer mit einer Weiterentwicklung des Verarbeitungssystems einhergeht, um aufgrund erhöhter Datenfluten keine Verlangsamung des Prozesses herbeizuführen (PRETZ, 2007).

Gerade im Bereich der Aufbereitung heterogener Abfälle wird es hinsichtlich Flexibilität der Anlagenkonzepte Weiterentwicklungen benötigen. Aufgrund fehlender rechtlichverbindlicher Qualitätsanforderungen für Ersatzbrennstoffe, werden die Anlagen dahingehend konzipiert, dass sie sich an den unterschiedlichsten Abnehmeranforderungen je nach Bestimmungsverwertungsprozess orientieren. Schon bei der Konzeptplanung soll-



te berücksichtigt werden, dass es langfristig betrachtet zu Veränderungen einerseits in der Abfallzusammensetzung und andererseits bezüglich der geforderten Qualitäten kommen kann. Durch eine flexiblere Gestaltung des Anlagenkonzeptes wäre es möglich, den Aufbereitungsprozess unabhängig vom Abnehmer zu gestalten, um somit rechtzeitig auf Qualitätsschwankungen des Inputs reagieren zu können, aber trotzdem ein Produkt zu erzeugen, welches definierte Anforderungen erfüllt. Die wirtschaftliche Abhängigkeit des Abfallbehandlers gegenüber den Verwertern reduziert sich dadurch ebenfalls erheblich.

Somit wird auch die Forderung nach geregelten Qualitätsanforderungen für Ersatzbrennstoffe offensichtlich. Dies würde zu einer erheblichen Erleichterung für die Betreiber von Aufbereitungsanlagen führen, da sie ein standardisiertes Produkt am Markt handeln könnten und nicht wie zurzeit von einem oder einigen wenigen Abnehmern abhängig wären. Aus diesem Grund wurden sowohl auf nationaler als auch auf europäischer Ebene Arbeitsgruppen gebildet, um eine einheitliche Qualitätssicherung zu erreichen. So setzen sich die Gütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe und Recyclingholz und das Europäische Komitee für Normung (CEN/TC 343: Solid recovered fuels) stark für eine europaweite Standardisierung von Sekundärbrennstoffen ein. Das Ziel soll eine erhöhte Akzeptanz von Sekundärbrennstoffen sein, um damit die Nachfrage zu steigern (BGS, 2008). Eine rechtliche Verpflichtung zur Erfüllung der standardisierten Qualitätsanforderungen wird damit jedoch nicht umgesetzt.

Von größerer Bedeutung wird auch eine online Qualitätssicherung sein, welche sich durch den gesamten Prozess zieht und es ermöglicht, auf unterschiedliche Abfallzusammensetzungen flexibel zu reagieren, um so den Prozess zu steuern. Die Wertsteigerung des dabei erzeugten Produktes bzw. die Kostenreduktion bei der Weiterbehandlung/Entsorgung der erzeugten Fraktionen wird hier den erlaubten wirtschaftlichen Aufwand für die Adaptierung / Optimierung des Anlagenkonzeptes vorgeben.

## 5 Literatur

- |                                       |      |  |
|---------------------------------------|------|--|
| Beckmann, M., Thomé-Kozmiensky, K. J. | 2005 | Das Ersatzbrennstoffproblem – Aufkommen, Charakterisierung und Einsatz, Tagung Berlin, November 2005, In: Ersatzbrennstoffe 5 – Herstellung und Verwertung   |
| BGS (Hrsg.)                           | 2008 | Gütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe und Recyclingholz e.V. (BGS),<br><a href="http://www.bgs-ev.de/600/620d_Mitteilungen.html">http://www.bgs-ev.de/600/620d_Mitteilungen.html</a> , abgerufen am 25.02.2008 um 15:00 Uhr |
| DeVO                                  | 2008 | Verordnung über die Ablagerung von Abfällen (Deponieverordnung), BGBl. II Nr. 39/2008  |

- Eckardt, S. 2003 Kurzdarstellung Dissertation: Einsatz von Ersatzbrennstoffen aus Siedlungsabfällen und produktionsspezifischen Abfällen zur Mit- und Monoverbrennung - Potentiale, Qualitätsanforderungen und Aufbereitung, [http://www.tu-dresden.de/fghh/iaa/Forschung/Diss\\_Eckardt\\_Kurz0803.pdf](http://www.tu-dresden.de/fghh/iaa/Forschung/Diss_Eckardt_Kurz0803.pdf), abgerufen am 25.02.2008 um 12:00 Uhr
- Eurostat (Hrsg.) 2007 Siedlungsabfallaufkommen, <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>, abgerufen am 21.01.2008 um 12:00 Uhr
- EU Council 1999 Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste
- Felber, J. 2007 Kompromiss Qualität und Ausbeute, persönliche Mitteilung, Österreich
- Haider, R. 2008 Praxiserfahrungen aus großtechnischem Versuch, persönliche Mitteilung, Österreich
- Pretz, Th. 2005 Brennstoffproduktion aus Gewerbeabfällen, Müll und Abfall, 07/05, S. 344 ff
- Pretz, Th. 2006 Möglichkeit und Grenzen der automatischen mechanischen Trennung von Abfallgemischen, Deponietechnik 2006, Hamburger Berichte Bd. 29
- Pretz, Th. 2007 Innovative Sortiertechnologien zur Gewerbeabfallsortierung, Müll und Abfall, 11/07, S. 546 ff
- Ragoßnig, A.M. & Lorber, K.-E. 2005 Combined incineration of industrial wastes with in-plant residues in fluidized bed utility boilers – decision relevant factors. Waste Management & Research, 23, pp. 448–456.
- Ragoßnig, A.M., Wartha, C., Lorber, K.-E., Pomberger, R. & Curtis A. 2006 What to do with the high caloric fraction from mechanical biological residual waste treatment? – Assessment of the climate relevance of various alternatives. In: Proceedings of the ISWA Annual Congress, Copenhagen, October 1st–5th 2006. International Solid Waste Association, Copenhagen, Denmark.
- Schubert, H. 1989 Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe, Band I, 4. Auflage, Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie S. 80 – 200
- Wageneder, J. 2007 Sortierung dunkler Kunststoffe, persönliche Mitteilung, Österreich

**Anschrift der Verfasser(innen):**

DI(FH) Verena Faist  
Fachhochschulstudiengänge GmbH  
Steinamangerstrasse 21  
A-7423 Pinkafeld  
Telefon +43 3357 45370  
Email verena.faist@fh-burgenland.at

Prof.(FH) DI Dr. Arne Ragossnig  
Fachhochschulstudiengänge GmbH  
Steinamangerstrasse 21  
A-7423 Pinkafeld  
Telefon +43 3357 45370  
Email arne.ragossnig@fh-burgenland.at  
Website: <http://www.fh-burgenland.ac.at/default.asp>