

Automatische Sortiersysteme für Anwendungen in der Abfallsortierung

Uwe Habich

Steinert Elektromagnetbau GmbH, Köln

Sensor-Based Sorting Systems in Waste Processing

Abstract

The technology of inductive, X-ray and color sorting systems is discussed. Principal operation, set-up and separation results are described.

Zusammenfassung

Die induktive Sortierung, Röntgensortierung und Farbsortierung werden diskutiert. Funktionsweise, Aufbau der Geräte und Separationsergebnisse werden beschrieben.

Keywords

automatische Sortierung, Sensorsortierung, induktive Sensoren, Röntgensortierung, Farbsortierung; sensor-based sorting, inductive sorting, X-ray sorting, color sorting

1 Einleitung

Automatische Sortiersysteme werden in der Abfallaufbereitung seit mehr als 10 Jahren in der Sortierung von Leichtverpackungen (z. B. DSD) eingesetzt. Diese Systeme arbeiten mit Nah-Infrarot- (NIR-) Sensoren und können unterschiedliche Kunststoffe unterscheiden. Für die bisherige Sortierung unzerkleinerter Verpackungsabfälle war eine Ortsauflösung von mehreren Zentimetern meist ausreichend. Im Zuge der zunehmenden Herstellung von Ersatzbrennstoffen aus Gewerbe- oder Mischabfällen werden mehr und mehr alternative Sensorsysteme zur Störstoffentfrachtung eingesetzt, die ihren Ursprung z. B. im Bereich Metallrecycling haben. Die zum Materialaufschluss notwendige Zerkleinerung des Ausgangsmaterials erhöht zudem die Anforderungen an die Ortsauflösung.

Störstoffe in EBS sind zum einen anorganische Materialien wie Steine, Keramik, Glas, oder Metalle, zum anderen schadstoffhaltige organische Materialien, wobei hier insbesondere das PVC mit einem hohen Chloranteil zwischen 30 und 50 Gewichtsprozenten zu nennen ist.

Neben der NIR-Sortierung, die bisher nur bei hellen oder transparenten Kunststoffen zuverlässig einsetzbar ist, sind die induktive Sortierung, die optische Sortierung (hauptsächlich nach Farbe) und die Röntgensortierung vielversprechende Technologien für die Aufbereitung von Abfällen.

In der Regel bestehen die zum Einsatz kommenden Sortiersysteme aus einer Bandstrecke zur Vereinzelung und Beruhigung des Materials, einem Detektor, der unter oder über dem Förderband oder im Bereich des Materialabwurfs angeordnet ist, und einer Ventilleiste, die die positiv zu sortierende Materialkomponente ausbläst (Abbildung 1).

Steinert bietet neben den bereits weit verbreiteten induktiven Sortiersystemen auch Röntgen- und Farbsortiersysteme an, die auf Grund steigender (Sekundär-) Rohstoffpreise zunehmend an Bedeutung gewinnen. Seit März 2007 rundet die Zusammenarbeit mit dem französischen Partner Pellenc bei der NIR-Sortierung diese Produktpalette ab.

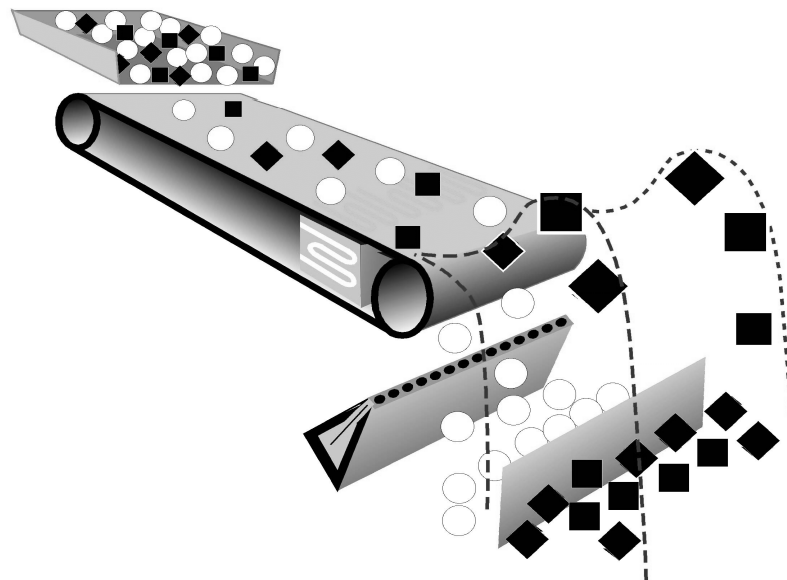


Abbildung 1: Prinzipieller Aufbau eines automatischen Sortiersystems, hier mit induktivem Sensor unter dem Förderband

2 Induktive Sortierung

Im Metallrecycling sind die Magnetscheidung und die Nichteisenmetall-Scheidung (NES) etablierte Technologien. Beides sind Massenstromverfahren, bei denen Stoffeigenschaften der Metalle (Magnetisierbarkeit bzw. elektrische Leitfähigkeit) durch ein andauernd über die ganze Breite des Materialstroms anliegendes (statisches oder zeitlich fluktuierendes) Magnetfeld ausgenutzt werden. Mit diesen Verfahren werden in Shredderbetrieben mehr als 95% des magnetisierbaren Stahls („Eisen“) und der Nichteisenmetalle zurück gewonnen. Neuere Untersuchungen ergaben eine Recyclingquote von 98% [FRANCOIS, 2003].

Bei den Metallanteilen, die bei der Magnet- und NE-Separation nicht erfasst werden, handelt es sich zu einem großen Teil um Edelstahl, der weder gut magnetisch noch gut elektrisch leitfähig ist. Außerdem werden NE-Metalle aus Kabeln oder in Verbunden nur unvollständig durch die o. g. Verfahren separiert. In der Vergangenheit erfolgte in den Abfallfraktionen von Metall-Aufbereitungsanlagen allenfalls eine Handklaubung größerer Metallstücke. Die Verluste dieser Handsortierung sind erheblich. In der Praxis können nur Korngrößen größer 40 mm erfasst werden, wobei die Effizienz bei Korngrößen kleiner 100 mm stark eingeschränkt ist. Die Einführung automatischer, sensorgestützter Sortiersysteme bietet für den Betreiber hier zum einen die Möglichkeit zur Kostenreduktion (Investitions- und Betriebskosten gegenüber Personalkosten), zum anderen die Aussicht auf höhere Einkünfte durch effektivere Rückgewinnung der Restmetalle.

Das induktive Sortiersystem ISS[®] von Steinert ist aus einem Förderband aufgebaut, unter dem in der Nähe der Kopffrolle eine Detektorleiste aus nebeneinanderliegenden Metalldetektoren mit je 25 mm Durchmesser eingebaut ist. Im Bereich des Abwurfs ist eine Düsenleiste angeordnet, deren Ventile abhängig von den Signalen der Detektoren angesteuert werden. Das Material wird mit einer Förderrinne auf das Gerät aufgegeben und durch das schnell laufende Band vereinzelt. Durch den Geschwindigkeitsunterschied zwischen Rinne (ca. 0,3 m/s) und Förderband (2,5 m/s) wird eine weitere Vereinzelnung erreicht. Das Förderband ist 4 m lang um eine ausreichende Beruhigung des Materials zu gewährleisten. Die Austragseinheit mit Trennscheitel ist so geformt, dass Fehlasträge durch rückprallende Teile minimiert werden.

Der mechanische Aufbau des ISS[®] orientiert sich am bewährten Design der Nichteisenmetallscheider, d. h. die Geräte sind insbesondere im Hinblick auf die rauen Betriebsbedingungen in Shredderbetrieben und Metallaufbereitungsanlagen ausgelegt.

Die Metalldetektoren können entweder als Allmetall- oder VA-Sensoren ausgeführt sein. Allmetall-Detektoren erkennen unspezifisch alle Metallteile oberhalb der Detektionsgrenze von ca. 3 mm (Kugel). Drähte werden bis zu einem Durchmesser von 0,4 mm zuverlässig detektiert. Mit den aufwendigeren VA-Detektoren kann aus der Restfraktion oder aus einem mit Allmetall-Detektoren aufbereitetem Konzentrat gezielt der Edelstahlanteil separiert werden. Beide Detektorvarianten können Signale von noch vorhandenen Eisenteilen unterdrücken, um die Verunreinigung der Metallfraktion durch Reifenteile mit Stahlverstärkungen zu verhindern.

Die Mehrzahl der induktiven Sortiersysteme ISS[®] wird z. Z. in Shredder-Anlagen in Nordamerika betrieben. In den dortigen Shreddern wird im Vergleich zu europäischen Anlagen weniger leichtes Material abgesaugt oder durch Windsichtung separiert, was zu einer anderen Zusammensetzung der Shredder-Reste führt. Außerdem wird dort nur ein kleiner Anteil des Materials Schwimm-Sink-Anlagen zugeführt. Mit einem der ersten

Geräte wurden innerhalb eines Jahres mehr als 2300 t Metalle mit einer Reinheit > 90% aus den Abfällen zurückgewonnen, die ohne Einsatz des ISS[®] deponiert worden wären [MOSEBACH, 2006]. Dies entspricht einem Gegenwert, der den Kaufpreis des Geräts weit übersteigt.

In Europa werden die induktiven Sortiersysteme ISS[®] mehr und mehr in Altholz- und Ersatzbrennstoff-Aufbereitungsanlagen eingesetzt. Im Unterschied zum Metallrecycling ist hier nicht das Ziel eine möglich saubere Metallfraktion zu gewinnen, sondern ein metallfreies Produkt zu erzeugen um nachfolgende Maschinen zu schützen. Wegen der erforderlichen hohen Volumendurchsätze ist hierbei das Förderband des ISS[®] nicht mit einer Einkornschicht sondern mit einer Schichthöhe von einigen Zentimetern belegt. Produktverluste beim Ausschleusen eines Metallteils werden in Kauf genommen. Diese Verluste können durch den Einsatz eines Sensors mit 12,5 mm Spurbreite reduziert werden, da dann nach Erkennen eines Metallteils deutlich weniger nichtmetallisches Material mit ausgeblasen wird.

3 Röntgensortierung

Bei der Röntgensortierung wird das von einem Förderband transportierte Material mit Röntgenstrahlung durchleuchtet und die Intensität der transmittierten Strahlung wird durch Röntgenzeilendetektoren gemessen. Da die Absorption der Strahlung sowohl von der Dichte des durchleuchteten Objekts als auch von der Materialstärke abhängt wird i. a. die Strahlungsintensität in zwei unterschiedlichen Energiebereichen der Röntgenstrahlung gemessen („dual energy“). Dadurch kann die Dickenabhängigkeit eliminiert werden und das durchstrahlte Material kann anhand der Dichte identifiziert werden. Dieses Verfahren entspricht prinzipiell dem Durchleuchten von Gepäckstücken an Sicherheitsschleusen z. B. an Flughäfen. Röntgenscanner werden außerdem verbreitet in der Lebensmittelindustrie zur Fremdkörperdetektion eingesetzt. Das Dual-Energy-Verfahren ist zudem aus der medizinischen Radiographie bekannt, z. B. zur Herstellung getrennter Knochen- und Weichteilaufnahmen.

Da das zu identifizierende Objekt komplett durchstrahlt wird, wird die Information zur Charakterisierung des Materials aus dem gesamten Volumen des Körpers gewonnen und nicht nur von der Oberfläche, wie z. B. bei der NIR- oder Farbsortierung. Feuchtigkeit oder Staub führen zu keiner merkbaren Beeinflussung des Messergebnisses.

Das Röntgensortiersystem XSS von Steinert ist in Abbildung 2 dargestellt. Der Röntgenscanner am vorderen Ende des Förderbandes ist in ein - dem bewährten induktiven Sortiersystem ISS[®] ähnlichen - Gesamtsystem aus Zuführung (Schwingförderer), Förderband und Abwurf incl. Ventilleiste integriert. Die Röntgenquelle mit einer Strahlungs-

energie von bis zu 160 keV befindet sich unterhalb des Förderbandes. Die Röntgendetektoren sind oberhalb des Bandes angebracht. Die Arbeitsbreite des XSS beträgt 1000 mm. Die wartungsfreie Scannereinheit ist zur Abschirmung der von der Röhre emittierten direkten Röntgenstrahlung mit Blei gekapselt. Die durchstrahlten Objekte und das Förderband erzeugen Streustrahlung, die in alle Raumrichtungen abgestrahlt wird. Diese Streustrahlung ist etwa einen Faktor hundert schwächer als die primäre Röntgenstrahlung, so dass zur Abschirmung einige mm Stahl ausreichen. Das XSS ist deshalb vollständig mit Stahlblechen verkleidet und entspricht in seiner Ausführung einem Hochschutzgerät nach der deutschen Röntgenverordnung. Die außerhalb des Gerätes noch messbare Strahlung unterschreitet die Grenzwerte für Vollschutzgeräte. Damit sind keinerlei Zugangsbeschränkungen zum jeweiligen Betriebsort des XSS erforderlich.

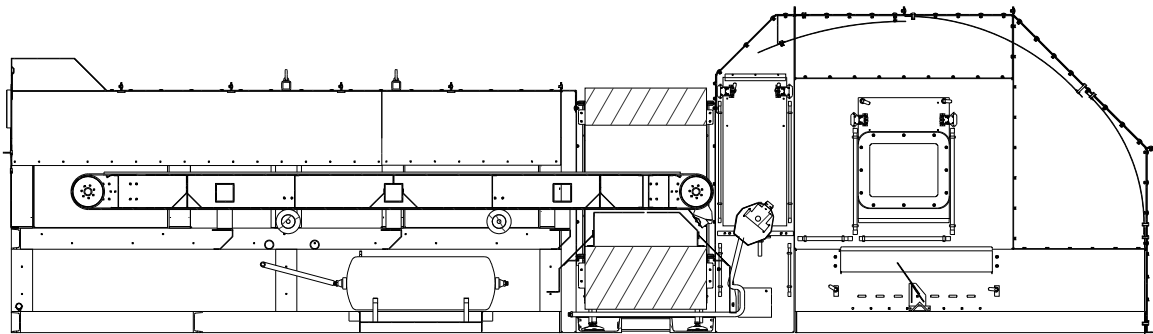


Abbildung 2: Röntgensortiersystem XSS. Der eigentliche Scanner ist schraffiert dargestellt.

Im Metallrecycling kann das XSS vor allem für die Trennung von leichten Nichteisenmetallen (Aluminium, Magnesium) von schwereren NE-Metallen (Kupfer, Messing, Zink, Edelstahl) verwendet werden. Hier können Aluminiumreinheiten > 95% bei Durchsätzen von bis zu 10 t/h erreicht werden. Die zu verarbeitende Korngröße beträgt ca. 5 – 200 mm. In Europa werden hierfür zur Zeit hauptsächlich aufwändige Schwimm-Sink-Anlagen eingesetzt. Darüber hinaus ist eine Trennung zwischen bestimmten Guss- und Knet-Legierungen möglich. Erste Ergebnisse ergaben auch hier Reinheiten über 95%. Voraussetzung ist, dass die jeweiligen Legierungsanteile (z. B. Silizium und Kupfer) zu einem ausreichenden Dichteunterschied führen.

Ein weiteres Anwendungsfeld für die Röntgensortierung ist die Störstoffentfrachtung in der „nichtmetallischen“ Sekundärrohstoffaufbereitung. In der Ersatzbrennstoffaufbereitung kann das XSS zur Separation von PVC verwendet werden. Durch den hohen Chloranteil zwischen 30% und 50% hat PVC eine signifikant höhere Röntgenabsorption

als andere Kunststoffe. Dabei können auch dunkle Kunststoffe sicher identifiziert werden. In der Aufbereitung von Altholz kann das XSS zur Separation von anorganischen Fremdkörpern wie Steinen oder Metallstücken verwendet werden, die ansonst zu Schäden in nachfolgenden Maschinen oder zu Produktbeeinträchtigungen führen können. Bei dieser Anwendung können größere Schichthöhen des Materials toleriert werden.

Für den Betrieb einer Röntgeneinrichtung sind in der Regel Zulassungsvorschriften zu beachten. In Deutschland muss der Betrieb von Hochschutzgeräten der zuständigen Behörde zwei Wochen vor Inbetriebnahme angezeigt werden. Der Betreiber braucht einen Strahlenschutzbeauftragten, wobei für Hochschutzgeräte eine eintägige Ausbildung ausreicht. Außerdem müssen die Anlagen bei Inbetriebnahme und danach alle 5 Jahre durch einen Sachverständigen überprüft werden.

4 Farbsortierung

Farbsortiersysteme werden in großer Stückzahl z. B. im Glas-Recycling und in der Lebensmittelindustrie eingesetzt. Die Farbsortierung ist wie die NIR-Sortierung ein Oberflächen-sensitives Verfahren. Das bedeutet, dass beschichtete oder lackierte Objekte prinzipiell nicht materialspezifisch identifiziert werden können. Trotzdem gibt es im Recycling Aufgabenstellungen, für die eine Farbsortierung eine wirtschaftliche Lösung darstellt. Dies ist insbesondere dort der Fall, wo die zu untersuchenden Materialien vorher Zerkleinerungsstufen durchlaufen haben (z. B. Shredder in der Metallaufbereitung), die vorher vorhandene Oberflächenbeschichtungen abtragen oder das Material so aufbrechen, dass mit hoher Wahrscheinlichkeit unbeschichtete Bruchflächen beobachtet werden können.

Farberkennungssysteme sind aus vielen Bereichen der Produktionstechnik und Lebensmitteltechnik bekannt. In der Regel bestehen sie aus einer Beleuchtungseinheit und einer Farbkamera mit CCD-Chip (ähnlich den Digitalkameras im Consumer-Bereich) oder einer Farbzeilenkamera. Letztere besteht aus einer linienförmigen Anordnung einzelner Farbdetektoren. Detektorzeile und zu Messobjekt werden mit konstanter Geschwindigkeit zueinander bewegt. Das Objekt wird in einzelnen Zeilen abgescannt und die jeweils gemessenen Zeilen können wieder zu einem zweidimensionalen Bild zusammengesetzt werden. Dieses Prinzip wird auch in Farbkopierern und Scannern eingesetzt.

Das Steinert-Farbsortiersystem FSS verwendet einen kompakten Auflichtsensor, der in dem die jeweils erforderliche Anzahl von Farbkameras und die Beleuchtung integriert sind. Die Beleuchtung besteht aus zwei Zeilen weißer Hochleistungs-Leuchtdioden (LED), deren Licht mit Zylinderlinsen auf die Beobachtungsebene fokussiert wird. LEDs

bieten gegenüber der konventionellen Beleuchtung mit einer Vielzahl von Leuchtstoffröhren neben dem deutlich kompakteren Aufbau die wesentlichen Vorteile längere Lebensdauer und stabilere Farbtemperatur bei Schwankung der Umgebungstemperatur. Die Kameras, die jeweils eine Breite von 200 mm abscannen, verwenden statt der älteren CCD-Technik als Farbdetektoren CMOS-Chips, die als Zeilendetektoren ausgelesen werden. Im Unterschied zu CCD-Chips ist bei der CMOS-Technik die Auswertelektronik mit auf dem Chip integriert und die einzelnen Pixel sind direkt auslesbar. Durch eine besondere Anordnung der RGB-Pixel („Bayer-Pattern“) tritt kein Farbversatz an Objekträndern auf. Zudem ermöglicht die nichtlineare Kennlinie der CMOS-Sensoren auch dann noch eine sichere Farberkennung, wenn einzelne Bereiche des Messobjekts große Helligkeitsunterschiede aufweisen. Die Ortsauflösung des Farbsortiersystems FSS beträgt ca. 0,6 mm. Objekte mit Abmessungen ab ca. 5 mm x 5 mm können damit sortiert werden.

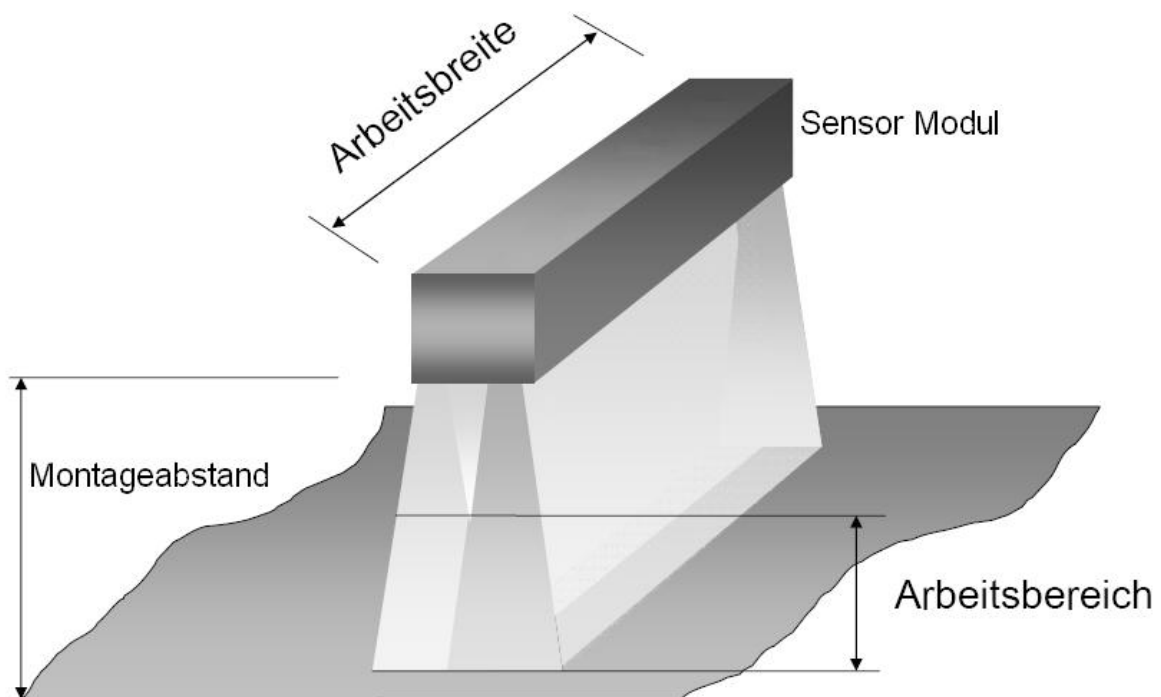


Abbildung 3: Prinzip des kompakten Aufsichtssensors. Die Kameras sind zwischen den linienförmigen LED-Einheiten angeordnet. Der Montageabstand beim Farbsortiersystem FSS beträgt 470 mm. Der Arbeitsbereich, in dem die Kameras ausreichend scharf „sehen“, beträgt mehr als 100 mm.

Der Aufsichtssensor ist über der Abwurfparabel des Material zuführenden Förderbandes angeordnet und betrachtet den Materialstrom gegen einen dunklen Hintergrund. Die Farbpixel der Kameras im roten, grünen und blauen Spektralbereich (RGB) besitzen unterschiedliche Empfindlichkeiten; zudem ist die Lichtintensität der LEDs über dem

betrachteten sichtbaren Spektralbereich nicht konstant. Zur Abstimmung dieser Parameter wird deshalb ein sogenannter Weißabgleich durchgeführt, der im Bedarfsfall vom Bediener wiederholt werden kann.

In einem Teach-in-Prozess muss dem Kamerasystem einprogrammiert werden, welche Farben welcher Materialklasse zuzuordnen sind. Hierzu werden die Intensitätswerte der jeweiligen Farbpixel (RGB-Darstellung) in die HSV-Darstellung umgerechnet (**h**ue = Farbton, **s**aturation = Farbsättigung, **v**alue = Helligkeit). Farbton und Farbsättigung können dann als Farbkreis dargestellt werden, in dem unterschiedliche Bereiche den einzelnen Materialklassen zugeordnet werden. Dies erfolgt durch die Vermessung eindeutig zuordenbarer Musterobjekte.

Beim Recycling von geshredderten Metallen liegt nach Magnet-, NE- und Röntgen-Separation (alternativ zur Schwimm-Sink-Trennung) eine Mischung der schweren Nichteisenmetalle Kupfer („rot“), Messing („gelb“) und Zink/Edelstahl („grau“) vor. Die Sortierung mit dem Farbsystem FSS erzielt bei dieser Anwendung Reinheiten von > 95 % bei einem Ausbringen von deutlicher > 90%. Der Durchsatz beträgt mehr als 10 t/(h*m). Dabei werden auch Objekte; die mit bloßem Auge nicht oder nur schwer einem bestimmten Material zugeordnet werden können, sicher identifiziert. Als Oberflächenverfahren hat die Farbsortierung aber auch ihre Grenzen: z. B. können rostige Eisenstücke kaum von Kupfer unterschieden werden. Bei einer wirksamen Eisen-Vorseparation sollte sich diese Verunreinigung allerdings in Grenzen halten lassen.

Bei der Aufbereitung von Elektronik-Schrott kommt der Einsatz der Farbsortierung zur Abtrennung von Leiterplatten aus einer „metallischen“ Fraktion in Frage.

5 Zusammenfassung

Neben den in der Abfallaufbereitung etablierten NIR-Sortierern sind mittlerweile weitere sensorgestützte Sortiersysteme verfügbar, die zunächst für andere Anwendungsfelder im Recyclingbereich entwickelt wurden und mehr und mehr Einzug in Ersatzbrennstoff-Aufbereitungsanlagen halten. Dazu gehören induktive Sortiersysteme, die Metalldetektoren mit hoher Ortsauflösung zur Separation von metallischen und nichtmetallischen Schüttgutanteilen verwenden. Das Steinert ISS ist hierfür mit Allmetall- und selektivem VA-Sensor verfügbar. Zur Trennung von leichten und schweren Nichteisenmetallen kann das Röntgensortiersystem XSS eingesetzt werden, bei dem das über ein Förderband zugeführte Material von Röntgenstrahlung durchleuchtet wird und anhand der spezifischen Strahlungsabsorption eine Materialcharakterisierung vorgenommen wird. Dieses Gerät eignet sich zur Abreicherung von PVC in der Abfallaufbereitung. Mit Hilfe

des Farbsortiersystem FSS können Buntmetalle untereinander separiert werden oder Leiterplatten optisch aus einer Metallfraktion abgetrennt werden.

6 Literatur

- | | | |
|--------------|------|--|
| Francois, O. | 2003 | International Automobile Recycling Congress
Genf, 12. – 14. März 2003 |
| Mosebach, J. | 2006 | Tagung Sensorgestützte Sortierung,
Aachen, 28. – 30. März 2006 |

Anschrift des Verfassers

Dr. Uwe Habich
Steinert Elektromagnetbau GmbH
Widdersdorfer Straße 329-331
D-50933 Köln
Telefon +49 221 4984 190
Email: habich@steinert.de
Website: www.steinert.de