

Sortierung verschiedener Abfallströme mit Mogensen-Röntgensortiertechnik

Sorting Waste Streams with Mogensen X-Ray Sorting Systems

Tri de différents flux de déchets par la technique de tri aux rayons X Mogensen

Clasificación de distintos flujos de desechos con la tecnología de clasificación por rayos X de Mogensen

Dipl.-Ing. Eckhard Zeiger, Wedel*)

Zusammenfassung Im Zusammenhang mit neuen gesetzlichen Regelungen spielen Aufbereitungsverfahren im Bereich der Abfallwirtschaft eine immer wichtigere Rolle. Dabei werden auf Grund der Inhomogenität des Abfalls an Zerkleinerungs-, Klassier- und Sortiertechniken hohe Ansprüche gestellt. Im vorliegenden Beitrag wird ein neues Verfahren von Mogensen für die Sortierung verschiedener Abfallfraktionen und seine Anwendbarkeit für Siedlungs-, Gewerbe- und Bauabfälle vorgestellt. Es basiert auf der Nutzung von Röntgenstrahlen und deren materialabhängigen, unterschiedlichen Schwächung in verschiedenen Wellenlängenbereichen. Mit dieser Technik ist es möglich, eine Trennung in organische und anorganische Fraktionen sowie eine weitergehende Unterscheidung innerhalb der jeweiligen Fraktion zu erreichen. Aufbau und Funktionsweise der Mogensen-Röntgensortiergeräte MikroSort AR1200 und AQ1100 werden erläutert und praktische Ergebnisse vorgestellt.

Summary As a consequence of new statutory regulations in Germany, solids processing methods are playing an increasingly important role in waste management. On account of the inhomogeneity of the waste, the comminution, classification and separation methods applied must meet high requirements. This paper presents a new sorting process from Mogensen for sorting various waste fractions and its application for municipal, commercial and construction site waste. It is based on the application of X-rays and the material-dependent difference in the attenuation of the X-rays in various wavelength ranges. This system can be used for separating feed material into organic and inorganic fractions as well as further separation within the respective fractions. The set-up and operation of the Mogensen X-ray sorting devices MikroSort AR1200 and AQ1100 are explained and aspects of their application in the field presented.

Résumé Suite à de nouvelles réglementations légales, les procédés de traitement appliqués dans le cadre de la gestion des déchets jouent un rôle de plus en plus important. En raison de l'hétérogénéité des déchets, les techniques de fragmentation, de classement et de tri doivent satisfaire à des exigences élevées. Cet article présente un nouveau procédé de tri de Mogensen pour différentes fractions de déchets et son aptitude d'application aux déchets urbains, industriels et de construction. Il est basé sur l'emploi de rayons X et l'atténuation différente du rayonnement X dans diverses gammes d'onde en fonction du matériau. Cette technique permet d'obtenir une séparation en fractions organique et inorganique ainsi qu'une différenciation poussée au sein de la fraction respective. Conception et principe de fonctionnement des appareils de tri Mogensen MikroSort AR1200 et AQ1100 sont expliqués et des exemples pratiques présentés.

Resumen En relación con las nuevas regulaciones jurídicas, los procesos de preparación en el ámbito de la economía de desechos revisten cada vez una mayor importancia. En este contexto, las exigencias frente a las tecnologías de trituración, separación y clasificación son sumamente elevadas dada la no homogeneidad de los desechos. En el siguiente artículo se presenta un nuevo procedimiento de clasificación de Mogensen para la clasificación de diferentes fracciones de desechos y su aplicación en el ámbito de desechos urbanos, industriales y de construcción. Este procedimiento está basado en la aplicación de rayos X y de la debilitación variable de los rayos X en distintos ámbitos de longitudes de onda. Gracias a esta tecnología es posible alcanzar una separación entre fracciones orgánicas y anorgánicas así como realizar una diferenciación ulterior dentro de la respectiva fracción. Se explican el diseño y el funcionamiento de los aparatos de clasificación por rayos X de Mogensen MikroSort AR1200 y AQ1100, presentándose resultados prácticos.

1. Einführung

Gesetzliche Vorgaben und wirtschaftliche Aspekte haben in den letzten Jahren zur Entwicklung ausgefeilter Aufbereitungstechniken im Bereich der Abfallwirtschaft geführt. Eine wesentliche Rolle spielen hierbei die konsequente Umsetzung der Technischen Anleitung Siedlungsabfall und die Deponieverordnung. Danach dürfen seit dem 01.06.2005 in Deutschland nur noch Siedlungs- und ähnliche Abfälle auf Deponien abgelagert werden, die be-

*) Mogensen GmbH & Co. KG, Wedel
(www.mogensen.de)

1. Introduction

In recent years, statutory requirements and economic aspects have led to the development of sophisticated solids processing systems for application in waste management. An important part in this has been played by the systematic implementation of Germany's Technical Instructions on Waste from Human Settlements and its Landfill Ordinance. In accordance with these statutory regulations, as of 01.06.2005 in Germany it is only permissible to

*) Mogensen GmbH & Co. KG, Wedel
(www.mogensen.de)

stimmte Zuordnungskriterien erfüllen. Das bedeutet praktisch, dass die Abfälle vor ihrer Ablagerung vorbehandelt werden müssen. Dem Gebot und der Hierarchie des Kreislaufwirtschaftsgesetzes „Vermeiden – Verwerten – Beseitigen“ folgend, wird bei der Vorbehandlung der Abfälle das Ziel verfolgt, einen hohen Anteil an verwertbaren Fraktionen zu erzeugen. Besondere Bedeutung kommt dabei der Sortiertechnik zu, denn es gilt, aus einem inhomogenen Stoffgemisch verwertbare Fraktionen zu erhalten. Die Inhomogenität bezieht sich sowohl auf die stoffliche Zusammensetzung als auch auf die Abmessung der Einzelteile [1].

Ein wichtiges Potenzial, das für die Verwertung von Abfällen zur Verfügung steht, ist die sogenannte heizwertreiche Fraktion (Kunststoffe, biogene Organik). Ziel von mechanisch-physikalischen (MPA) und mechanisch-biologischen Vorbehandlungsverfahren (MBA) ist es, diese Fraktion in möglichst guter Qualität bei hoher Ausbeute zu erzeugen und als Ersatzbrennstoff (EBS) oder zur chemischen Verwertung auf den Markt zu bringen. Daher muss die Organik von unbrennbaren Schwerstoffen wie Steinen, Glas, Porzellan, Keramik, Beton sowie Fe- und NE-Metallen abgetrennt werden.

Für die positive Ausschleusung einer heizwertreichen Fraktion aus verschiedenen Abfallströmen wird seit einigen Jahren Sortiertechnik auf Basis der Nahinfraroterkennung (NIR) als Alternative und in Ergänzung zur Windsichtung eingesetzt. Hierbei werden vor allem helle Kunststoffe, Rohholz und verschiedene Textilien ab einer Teilgröße von etwa 50 mm erkannt und ausgeschleust.

Als Restfraktionen bleiben nach diesen Verfahrensschritten jedoch die unbehandelte Fraktion 0–50 mm und die Schwerstofffraktion mit vielen dunklen Kunststoffteilen, beschichtetem und behandeltem Holz sowie Mischmaterialien übrig, die weder mit vorhandener Sichterntechnik noch mit optischer oder NIR-Sortierung wirtschaftlich aufbereitet werden können. Nach den derzeitigen gesetzlichen Rahmenbedingungen erfüllt dieses Material nicht die Ablagerungsverordnung und muss über die Sondermüllverbrennung entsorgt werden.

Bild 1 zeigt die Probe einer gesichteten Schwerfraktion (30–60 mm) mit organischen und anorganischen Bestandteilen. Offensichtlich ist es nicht möglich, durch eine Farbdefinition (Sortierung mit Hilfe von sichtbarem Licht) oder durch Windsichtung eine ausreichende Selektivität in Richtung Organik oder Anorganik zu erreichen.

Ein weiterer Problemfall ist die Aufbereitung von Baumischabfällen. Die in diesem Material enthaltene Organik (überwiegend Holz und Kunststoffe, aber auch Papier, Leder und ähnliches) behindert den Wiedereinsatz des inertes Bauschutts im Baubereich und wird gegenwärtig mit aufwändiger Sichterntechnik entfernt. Für die Trennung dieser Materialgemische in eine ablagerungsfähige inerte und eine heizwertreiche Fraktion bzw. für die Herstellung eines weiterverarbeitbaren Bauschutts steht seit 2004 die von Mogensen und CommoDas entwickelte neuartige Röntgensortierung zur Verfügung.

2. Grundlagen

Röntgenstrahlung wird schon seit langem in der Medizintechnik und in der zerstörungsfreien Materialprüfung eingesetzt. Diese kurzwellige elektromagnetische Strahlung ist in der Lage, Materie zu durchdringen.

landfill waste from human settlements and similar waste providing this waste meets certain allocation criteria. In practical terms, this means that the waste has to be pre-treated prior to landfilling. In accordance with the principle and hierarchy of Germany's Act for Promoting Closed Substance Cycle Waste Management – i. e. Avoidance – Recovery – Disposal of Waste, the aim of waste pre-treatment is to secure a high percentage of recyclable fractions. A particularly important part in this is played by the separating system as the aim is to obtain recyclable fractions from an inhomogeneous material mix. This inhomogeneity affects both the material composition as well as the dimensions of the individual components [1].

Considerable potential is available for waste recycling in the form of the high-calorific fraction (plastics, biogenic organic matter) contained in waste. The objective of mechanical-physical (MPT) and mechanical-biological pre-treatment processes (MBT) is to recover the maximum possible yield of this fraction with optimum quality and market this as a substitute, waste-derived fuel (WDF) or for chemical recycling. The organic matter must therefore be separated from the non-combustible high-gravity materials such as stones, glass, porcelain, ceramic, concrete as well as Fe and NF metals.

For the removal of a high-calorific fraction from various waste streams, sorting systems on the basis of near-infrared detection (NIR) have been used for several years as an alternative and supplement to air separation. In these systems, mainly light-coloured plastics, untreated wood and various textiles from a piece size of around 50 mm are detected and removed.

The residual materials from this process step consist of the untreated material in the size range 0–50 mm and the high-gravity fraction with a large number of dark plastic components, coated and treated wood as well as mixed materials, which cannot be cost-efficiently processed with the available separator systems nor with optical or NIR sorting systems. According to current statutory regulations in Germany, this material does not meet the conditions of the Landfill Ordinance and must be disposed of as special waste by incineration.

Fig. 1 shows a sample of a separated high-gravity fraction (30–60 mm) with organic and inorganic components. It is clearly not possible to use colour definition (sorting with the help of visible light) or air separation to achieve sufficient selectivity with regard to the organic or inorganic fractions.

Another problem is the processing of mixed construction waste. The organic matter (mainly wood and plastics, but also paper and

leather, etc.) contained in this material prevents the reuse of the inert construction site rubble in the building sector and at present it must be removed with sophisticated separating systems.

In 2004 Mogensen and CommoDas launched a new X-ray sorting system for the separation of these material mixes into an inert fraction for landfilling and a high-calorific fraction or a fraction for the production of processible building rubble.

2. Basic Principles

X-rays have been used for a long time in medical systems and in non-destructive material testing. These short wave electromagnetic rays are able to penetrate matter. This penetration is



Bild 1: Probe einer gesichteten Schwerfraktion (30–60 mm) mit organischen und anorganischen Bestandteilen

Fig. 1: Sample of a separated high-gravity fraction (30–60 mm) with organic and inorganic components

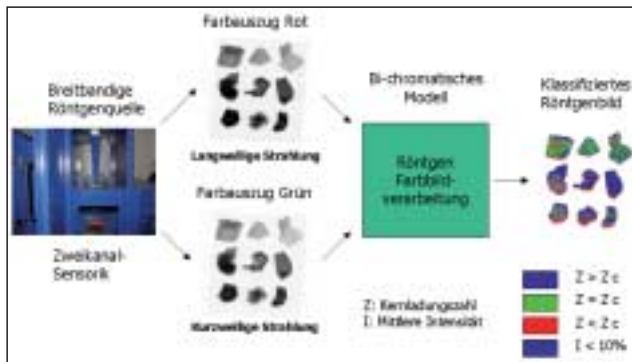


Bild 2: Prinzip der Röntgen-Bildverarbeitung mit spektraler Auflösung

Fig. 2: Principle of X-ray image processing with spectral resolution

Hierbei tritt ein Schwächungseffekt auf, der weitgehend von der atomaren, aber auch von der werkstofflichen Dichte der durchstrahlten Materie abhängt. Diese Schwächung der Röntgenstrahlung wird von bildgebenden Zeilensensoren aufgenommen und mit den klassischen Methoden der Bildverarbeitung ausgewertet.

Da Recyclingmaterialien eine hohe Inhomogenität bezüglich ihrer werkstofflichen Eigenschaften und ihrer Materialstärke aufweisen, war bei der einfachen Röntgentransmission der Einsatz zusätzlicher Siebtechnik in vielen Fällen zwingend erforderlich. Durch die Erweiterung der Analysemöglichkeiten beim Röntgen mit spektraler Auflösung (RSA) steht jetzt ein sehr viel selektiveres Verfahren zur Unterscheidung von inhomogenem Recyclingmaterial zur Verfügung (Bild 2).

Bei diesem Verfahren wird die Schwächung der Röntgenstrahlung durch zwei Messkanäle in unterschiedlichen Wellenbereichen aufgenommen. Durch mathematische Verknüpfung der Messwerte kann die Materialstärke herausgerechnet werden. Als Sortierkriterium steht damit die materialspezifische Dichte, unabhängig von Partikelgröße, Teilchenform, Stückgewicht oder Oberflächenfarbe zur Verfügung [2].

3. Funktionsweise

Je nach Aufgabenstellung stehen eine Röntgensortiermaschine mit Bandzuführung (AR1200) für großflächiges und eigenartig geformtes Material oder eine kompakte Schurrenmaschine (AQ1100) für stückiges und gut vereinzelungsfähiges Material zur Verfügung (Bild 3). Ziel ist es, dass alle Teile möglichst vollständig vereinzelnd und voneinander unbeeinflusst die Abtastebene durchlaufen.

Die Bestrahlung des Materials erfolgt durch eine punktförmige Röntgenquelle mit einem Öffnungswinkel von 80° (quer zur Förderichtung), die im Bereich der Detektionsebene installiert ist. Die Röntgentransmission wird durch zwei schnelle zeilenförmige Sensoren mit unterschiedlichem Spektralverhalten gemessen. Es stehen eigens für Mogensen entwickelte Zeilensensoren zur Verfügung

Tabelle: Anlagenkenndaten der Röntgensortiermaschinen AR 1200 und AQ 1100

Durchsatz	etwa 5–20 m ³ /h
Abweisanteil	bis 50 Gew. %
Druckluftverbrauch	bis 120 Nm ³ /h
Schüttdichte	0,2–0,75 t/m ³
Korngrößenbereich AQ	10–40 mm
Korngrößenbereich AR	30–100 mm
Leistungsaufnahme	7,5 kW



Bild 3: Mogensen MikroSort AQ für stückiges und gut vereinzelungsfähiges Material

Fig. 3: Mogensen MikroSort AQ for lumpy, easily isolated material

accompanied by an attenuation effect, which depends to a large extent on the atomic, but also the material density of the irradiated matter. This attenuation of the X-rays is recorded by imaging line sensors and evaluated with classical methods of image processing.

As waste materials for recycling exhibit high inhomogeneity in respect of their material properties and material thickness, with simple X-ray transmission the use of additional screens was often essential. With the extension of the analysis possibilities for X-raying with spectral resolution (RSA), a much more selective process is now available for differentiating between the inhomogeneous recycling material (Fig. 2).

In this process the attenuation of the X-rays is recorded by two measurement channels in different wavelength ranges. By mathematical combination of the measured values, the material thickness can be calculated. The separating criterion is therefore the material-specific density, independent of particle size, particle shape, piece weight or surface colour [2].

3. Operation

Depending on the application, Mogensen supplies an X-ray sorting machine with belt feed (AR1200) for large-area and bizarrely shaped material or a compact chute machine (AQ1100) for lumpy material with easily isolated components (Fig. 3). The aim is for the all components to be completely isolated when they pass the scanning level so that they are not influenced by each other.

The material is irradiated by a point X-ray source with an aperture angle of 80° (crossways to the direction of transport), which is installed close to the detection level. The X-ray transmission is measured by two high-speed line sensors with different spectral behaviour. The line sensors available have been developed espe-

Table: Specifications of the X-ray sorting machines AR 1200 and AQ 1100

Capacity	around 5–20 m ³ /h
Reject content	up to 50 wt. %
Compressed air consumption	bis 120 Nm ³ /h
Bulk density	0.2–0.75 t/m ³
Particle size range AQ	10–40 mm
Particle size range AR	30–100 mm
Power consumption	7.5 kW

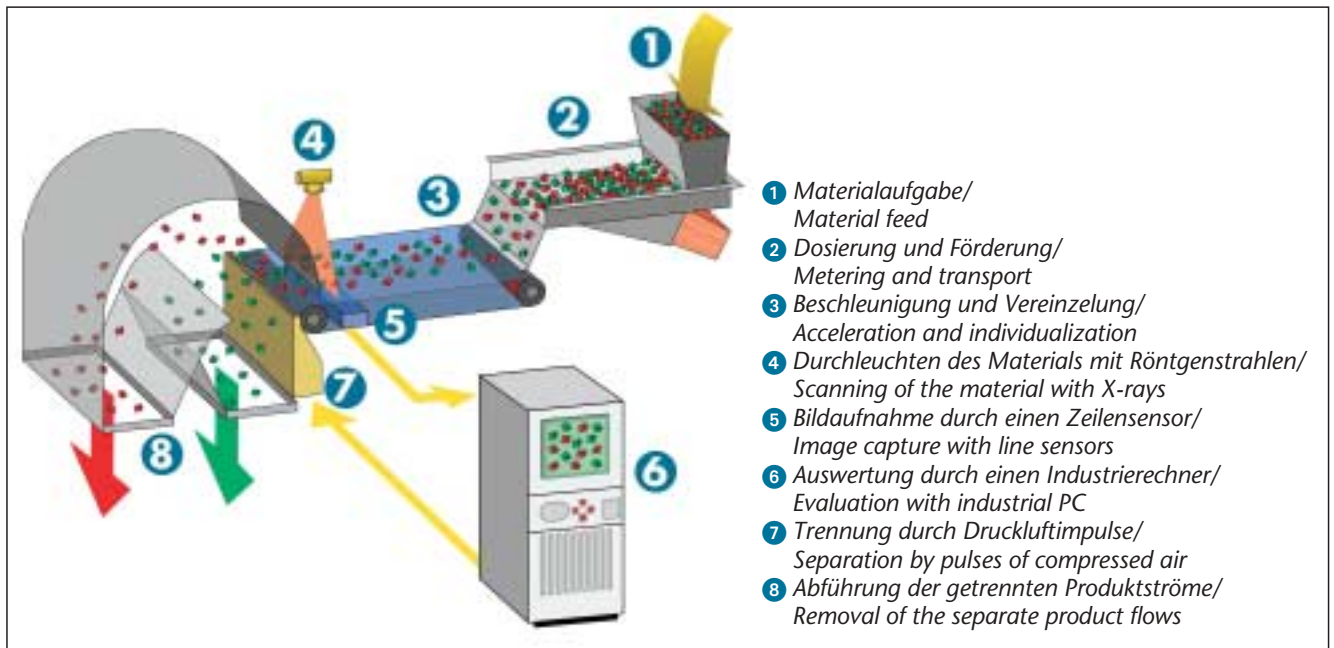


Bild 4: Funktionsprinzip der Sortierung mit Röntgenstrahlen
Fig. 4: Principle of operation of X-ray sorting

gung, die mit ihrer Auflösung von 0,8 mm und der Verarbeitungstiefe von 10 bit der Geschwindigkeit und der Auflösung einer CCD-Zeilensensorkamera in die Farbsortierung entsprechen. Damit kann neben der Schwächung der Röntgentransmission auch die Lage, Größe und Form der Teilchen als Sortierkriterium herangezogen werden. Die Klassifizierung der Teile erfolgt durch einen Auswerterechner innerhalb weniger ms und wird als Sortierentscheidung an sehr schnell arbeitende Druckluftventile weitergeleitet. Die Ventile werden entsprechend der Größe und der Lage der Abweisteile so angesteuert, dass die Partikel zielgenau und mit geringsten Verlusten an Gutmaterial ausgeschleust werden (Bild 4). Die Tabelle zeigt die Anlagenkenndaten der Röntgensortiermaschinen AR 1200 und AQ 1100.

4. Strahlenschutz

Die Röntgen-Schutzausstattung wurde in Zusammenarbeit mit dem TÜV Hannover entwickelt. Die Röntgensortierer AR1200/AQ1100 sind nach den Vollschutzrichtlinien aufgebaut und arbeiten im normalen Betrieb weit unterhalb der zulässigen Grenzwerte.

5. Einsatzgebiete

Typische Einsatzgebiete für die Röntgensortierer AR1200/AQ1100 sind:

- Für die Herstellung von Ersatzbrennstoffen werden Störstoffe wie Anorganik und PVC entfernt. Damit steht ein hochkalorischer, ascheärmer und chlorfreier (< 0,6 % Cl) Ersatzbrennstoff zur Verfügung.
- Bei der Schwerstofffraktion aus der Haus- und Gewerbemüllaufbereitung wird das Material in eine verwertungsfähige Organikfraktion und eine ablagerungsfähige Anorganikfraktion (< 5 % Glühverlust) getrennt.
- Bei Holzabfällen aus dem gewerblichen Bereich werden Störstoffe wie Eisenbeschläge, Steine und PVC entfernt. Somit steht ein Altholzmisch zur Verfügung, das als hochwertiger Ersatzbrennstoff eingesetzt werden kann.
- Bei Baumischabfällen werden organische Verunreinigungen, wie Bauholz, Spanplatten, Kunststoffkartuschen, Lederhandschuhe usw. entfernt.

cially for Mogensen; they have a resolution of 0.8 mm and a processing depth of 10 bit, corresponding to the speed and resolution of the CCD line cameras used in colour sorting. Consequently, in addition to the attenuation of the X-ray transmission, the position, size and shape of the particles can be used as a sorting criterion.

The components are classified by an evaluation computer within just a few ms and the results are transmitted as the sorting decision to extremely fast-actuated compressed air valves. The valves are actuated in line with the size and position of the reject pieces so that the particles can be targeted and removed with minimized loss of acceptable material (Fig. 4). The Table lists the specifications of the X-ray sorting machines AR 1200 and AQ 1100.

4. Radiation Protection

The X-ray protection equipment was developed in cooperation with the TÜV Hanover (technical control board). The AR1200/AQ1100 X-ray sorters are engineered in accordance with the full protection directives and, in normal operation, work well below the permissible limits.

5. Applications

Typical applications for the X-ray sorters AR1200/AQ1100 are:

- The removal of impurities such as inorganic matter and PVC in the production of waste-derived fuels. This enables the production of a high-calorific, low-ash and chlorine-free (< 0.6 % Cl) waste-derived fuel.
- The separation of the high-gravity fraction from domestic and commercial waste processing; the material is separated into a recyclable organic fraction and an inorganic fraction suitable for landfilling (< 5 % loss on ignition).
- In the separation of waste wood from commercial applications, impurities such as iron fittings, stones and PVC are removed. This leaves a waste wood mix that can be used as high-quality waste-derived fuel.
- In the case of mixed construction waste, organic impurities such as construction timber, chip board, plastic cartridges, leather gloves, etc. are removed.

Die ersten Röntgensortiermaschinen stellen ihre Leistungsfähigkeit im laufenden 4-Schicht-Betrieb unter Beweis.

6. Wirtschaftlichkeit

Im Abfallsektor ergibt sich die Wirtschaftlichkeit der Röntgensortierung im Wesentlichen aus der oft sehr großen Einsparung nachfolgender Entsorgungs- oder Behandlungskosten. Das gegenwärtige Preisgefüge auf dem Entsorgungsmarkt erlaubt deshalb Amortisationszeiten (ROI) von weniger als einem halben Jahr. Auch die Betriebskosten – je nach Einsatzfall zwischen 0,50 und 1,50 €/t – liegen in der Größenordnung hochwertiger Aufbereitungstechnik.

Schrifttum/References

- [1] *Fleischer, U. u. Bergmann, J.:* Sortierung von Abfällen mit dem Mogensen Röntgensortierer. *Aufbereitungs Technik* 46 (2004) Nr.11., S. 5/10
- [2] *Harbeck, H.:* Vortrag auf dem 4. Kolloquium Sortieren 2005, 6./7.10.2005, Berlin
- [3] *Zeiger, E.:* Das muss geröntgt werden. *UmweltMagazin* (2006) Nr. 1-2

The first X-ray sorting machines have already been supplied and demonstrate their efficiency in continuous 4-shift operation.

6. Cost Efficiency

In the waste sector, the cost efficiency of X-ray sorting is derived essentially from the often very large saving in the downstream disposal or treatment costs. The current price structure on the disposal market allows a ROI of less than six months. The operating costs too range between 0.50 and 1.50 €/t depending on the specific application and are in the same order as those of high-quality processing systems.