

Einsatz eines Mogensen Sizers und des optoelektronischen Systems MikroSort bei der Aluminiumherstellung

Recours au classificateur Mogensen et au système optoélectronique MikroSort pour la production d'aluminium

Utilización de Mogensen Sizer y del sistema optoelectrónico MikroSort en la fabricación de aluminio

The Use of a Mogensen Sizer and MikroSort Optoelectronic System in Aluminium Production

Dipl.-Ing. Carsten Reinhardt, Lünen*)

Zusammenfassung Bei der zweistufigen Aufbereitung von Bauxit zu Aluminium werden in den einzelnen Verfahrensstufen Klassier- und Trenngeräte eingesetzt. Am Beispiel des Produktionsablaufs bei der Firma Corus in Voerde wird die erfolgreiche Einschaltung eines Mogensen Sizers und des optoelektronischen Systems MikroSort beschrieben.

Résumé Pour la production d'aluminium, le traitement en deux phases de la bauxite se fait par classificateurs et séparateurs. L'article décrit, à l'aide de l'exemple du processus de production chez la société Corus à Voerde, les bons résultats obtenus avec un classificateur Mogensen et le système optoélectronique MikroSort.

1. Vorkommen

Aluminium ist das dritthäufigste Element in der Erdkruste. Anders als Silber und Gold kommt es jedoch in der Natur nicht in reiner metallischer Form vor, sondern immer in engen chemischen Verbindungen wie z. B. im Smaragd oder Turmalin. Das bekannteste Erz, welches zur Aluminiumgewinnung genutzt und ausschließlich im Tagebau gewonnen wird, ist Bauxit.

Die wichtigsten Bauxit-Vorkommen befinden sich in Brasilien, Südfrankreich, Ungarn, China, Indien, Russland und Westafrika. Bauxit besteht im Wesentlichen aus Aluminiumoxid (40–60 Gew.-%), Eisenoxid (5–30 Gew.-%) und Siliziumoxid (1–15 Gew.-%) [5].

2. Aluminiumherstellung

Die Aufbereitung von Bauxit zu Aluminium erfolgt zweistufig. In der ersten Stufe wird der Bauxit getrocknet und fein gemahlen. Anschließend wird das Mineral mit einer Aufschlusslauge (NaOH) behandelt. Das bei diesem Vorgang entstandene Aluminiumhydroxid wird danach in Drehöfen mit einer Temperatur von 1200–1300 °C thermisch entwässert. Dabei entsteht Aluminiumoxid (Tonerde).

Im zweiten Arbeitsgang wird aus der Tonerde mithilfe der Schmelzflusselektrolyse ein rein metallisches Aluminium gewonnen. Da Aluminiumoxid einen Schmelzpunkt von etwa 2045 °C hat, müsste man sehr viel Energie aufwenden, um die Arbeitstemperatur aufrechtzuerhalten. Aus diesem Grund arbeiten die meisten Aluminiumhersteller nach dem Verfahren von *Héroult* (1886). Hierbei wird das Aluminiumoxid in einer Schmelze aus

Summary During the two-stage process for the production of aluminium from bauxite, sizing and separation equipment is used in the different process stages. This paper takes the German aluminium producer Corus in Voerde as a case study to describe the successful application of a Mogensen Sizer and MikroSort optoelectronic system.

Resumen Durante cada una de las fases de procesamiento de bauxita hasta la obtención del aluminio se utilizan sistemas de clasificación y separación. En el artículo se recurre al ejemplo del sistema de producción de la empresa Corus de Voerde para comentar la puesta en funcionamiento de un Mogensen Sizer y un sistema optoelectrónico tipo MikroSort.

1. Deposits

Aluminium is the third most abundant element in the earth's crust. Unlike silver and gold, however, it does not occur naturally in pure metallic form, but always in chemical compounds, e.g. in emerald or tourmaline. The best-known ore used for the extraction of aluminium is bauxite, which is won exclusively in surface mining.

The most important bauxite deposits are found in Brazil, Southern France, Hungary, China, India, Russia and West Africa. Bauxite consists essentially of alumina (40–60 wt. %), iron oxide (5–30 wt. %) and silicon oxide (1–15 wt. %) [5].

2. Aluminium Production

The processing of bauxite to produce aluminium is a two-stage process. In the first stage, the bauxite is dried and finely ground. The mineral is then dissolved in caustic soda (NaOH) and the resulting aluminium hydroxide liquor is thermally dewatered in rotary kilns, at a temperature of 1200–1300 °C. Aluminium oxide (alumina) is formed.

In the second stage, fusion electrolysis is used to obtain a pure metallic aluminium from the alumina. As aluminium oxide has a melting point of around 2045 °C, considerable energy is required to maintain the working temperature. For this reason, most aluminium producers use the *Héroult* process (1886). In this process, the aluminium oxide is electrolysed in a bath of molten cryolite. The electric current required for this electrolysis is supplied to the molten bath by a submerged electrode made of high-purity carbon (anode).

*) Mogensen GmbH & Co. KG, Wedel

*) Mogensen GmbH & Co. KG, Wedel

Kryolith zersetzt. Der elektrische Strom, der für die Zersetzung benötigt wird, wird dem Schmelzbad mit einer eingetauchten Elektrode aus hochreiner Kohle (Anode) zugeführt.

Der Sauerstoff geht zur Anode und verbrennt mit ihr. Das Aluminium setzt sich an den Wänden und am Boden des mit Kohlenstoffsteinen ausgekleideten Elektrolyseofens ab, der die Kathode bildet. Die Schmelze besteht aus etwa 80 Gew.-% Kryolith, 8 Gew.-% Aluminiumoxid sowie 12 Gew.-% Aluminium- und Lithiumfluorid. Durch das *Héroult*-Verfahren lässt sich die Temperatur der Schmelze auf etwa 940–960 °C absenken; sie kann allein durch die Stromwärme der Elektrolyse flüssig gehalten werden [1, 3, 4, 5].

Für die Gewinnung von 1 t Aluminium benötigt man 1,92 t Tonerde, 0,45 t Anodenkohle, Kryolith und 13.000–16.000 kWh [1].

3. Anodenaufbereitung

Die Firma Corus in Voerde bereitet ihre abgebrannten Anodenreste, die noch etwa 30 Gew.-% Kohlenstoff enthalten und an denen 150–200 kg Kryolith anhaften, wieder auf. Hierzu wird die Anode in einem sogenannten „Cleaning Room“ mit Metallkugeln beschossen, um das anhaftende Kryolith abzuschlagen.

Durch dieses Aufbereitungsverfahren gelangen allerdings auch Anodenstücke (Kohlenstoff) in das Badmaterial. Da das Kryolith der Schmelze wieder zugefügt wird, müssen die Anodenstücke entfernt werden, da sie im Elektrolyt der Aluminiumelektrolyse nachteilig für die Effizienz des Prozesses sind. So führt z. B. mit Kohlenstoff verunreinigtes Kryolith zum Aufschäumen der Schmelze und zu Wirkungsgradverlusten sowie zu einer Verschlechterung der Stromleitfähigkeit.

Daher bricht man das Badmaterial, welches noch etwa 6 Gew.-% Kohlenstoff enthält, nach Abtrennung der Metallkugeln mithilfe eines Walzenbrechers auf Korngrößen < 80 mm auf.

Dieser Materialstrom gelangt über ein Becherwerk zu einer Schwingrinne mit Magnetscheider und weiter zu dem Siebssystem

The oxygen goes to the anode and burns with it. The aluminium settles on the walls and bottom of the carbon-brick-lined electrolysis cells or “pots” which form the cathode. The melt consists of around 80 wt. % cryolite, 8 wt. % aluminium oxide and 12 wt. % aluminium- and lithium fluoride. With the *Héroult* process, the melt can be lowered to around 940–960° C and can be kept in liquid form solely with the Joule heat of the electrolysis [1, 3, 4, 5].

For the refining of 1 t aluminium, the following are required: 1.92 t alumina, 0.45 t anode carbon, cryolite and 13,000–16,000 kWh [1].

3. Anode processing

The Voerde-based company Corus recycles its spent anode waste, which still contains around 30 wt. % carbon. For this purpose, the anodes are shot peened in a cleaning room to remove the 150–200 kg cryolite sticking to them.

With this processing method, however, fragments of the anode (carbon) find their way into the bath material. To allow the cryolite to be reused in the melt, the anode fragments must be removed since they have an adverse effect on the efficiency of the aluminium electrolysis. Cryolite contaminated with carbon leads, for example, to a foaming of the melt, lower efficiency and a deterioration in the electric conductivity.

For this reason, once the shot has been removed, the bath material, which contains around 6 wt. % carbon, is comminuted to particle sizes < 80 mm in a roll crusher.

The crushed material is transferred in a bucket conveyor to a vibrating trough equipped with a magnetic separator and then to the Mogensen Sizer screening system, in which the material is separated into four fractions (0–4, 4–12, 12–50 and > 50 mm).

The two material fractions 4–12 mm and 12–50 mm are fed to the MikroSort optoelectronic sorting system developed by Mogensen in cooperation with the system engineering company CommoDaS and the carbon is removed from the cryolite [1] (Fig. 1).

4. The Mogensen Sizer

The Mogensen Sizer developed by Dr. *Fredrik Mogensen* at the beginning of the 1950s is already regarded a classic among screening systems. The only thing remaining from this time, however, is its operating principle. Ongoing development of the Mogensen Sizer has resulted in an optimal, sophisticated screening system, which has been installed over 8000 times worldwide.

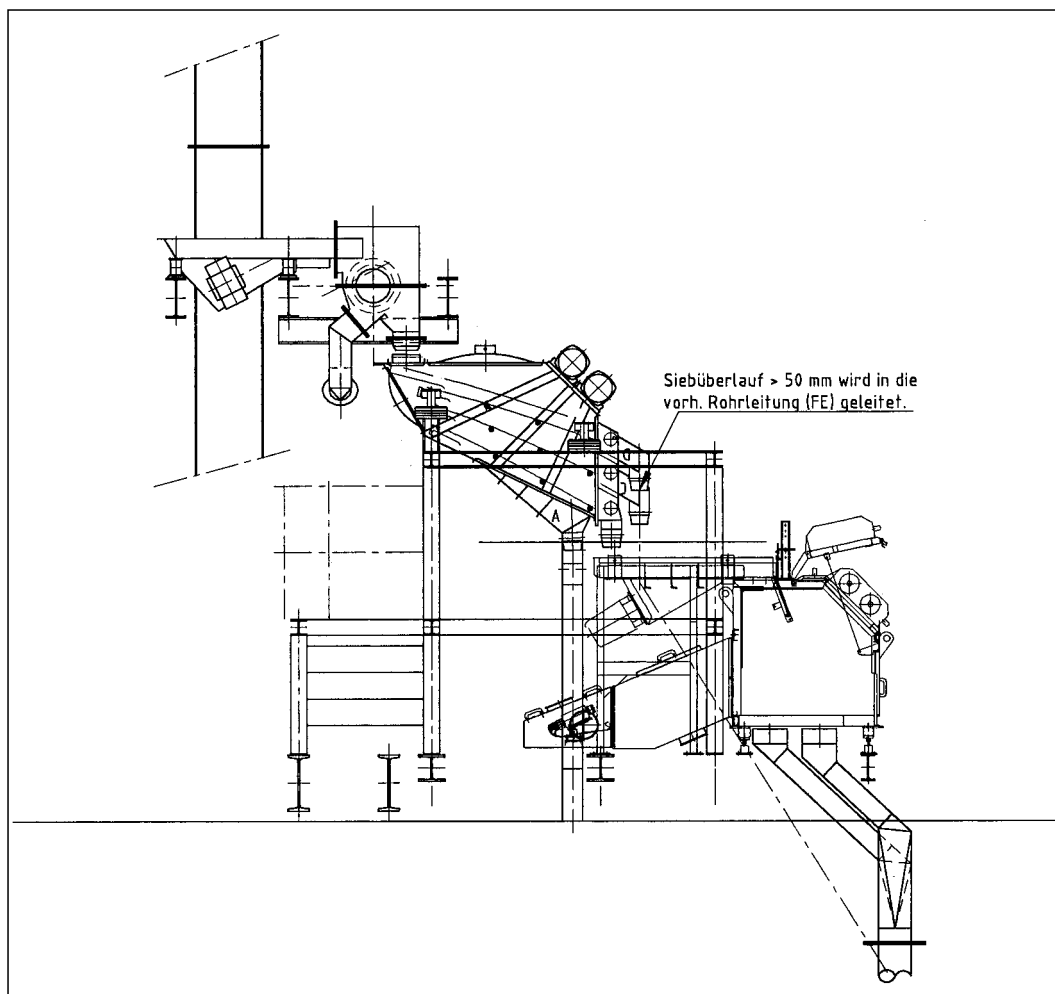


Bild 1: Einbausituation Mogensen Sizer und MikroSort bei der Firma Corus in Voerde

Fig. 1: Installation of a Mogensen Sizer and MikroSort system at Corus in Voerde

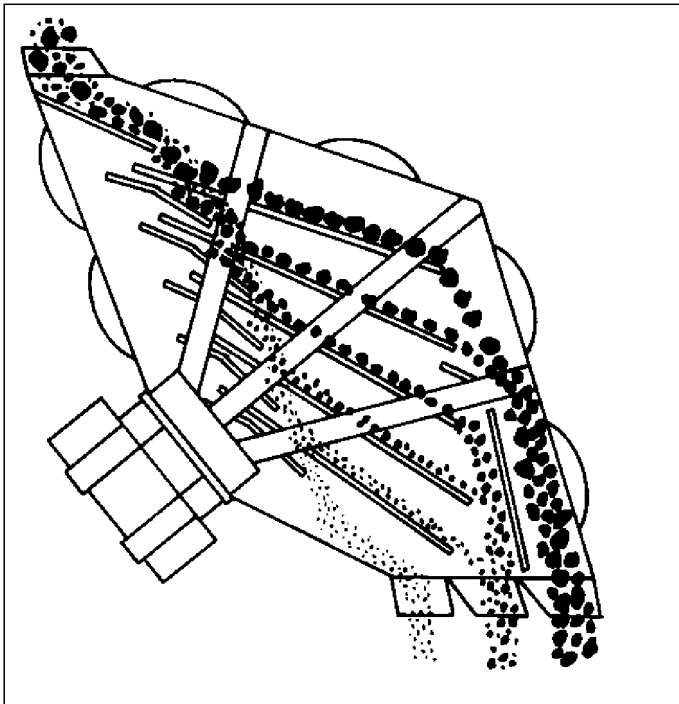


Bild 2: Schnittbild eines Mogensen Sizers
 Fig. 2: Sectional drawing of a Mogensen Sizer

Mogensen Sizer, auf dem das Material in vier Fraktionen (0–4, 4–12, 12–50 und > 50 mm) abgeseibt wird.

Die beiden Teilströme 4–12 mm und 12–50 mm werden dem von Mogensen in Zusammenarbeit mit dem Systemtechnik-Haus CommoDaS entwickelten optoelektronischen Sortiersystem MikroSort zugeführt und Kryolith wird von der darin enthaltenen Kohle befreit [1] (Bild 1).

4. Der Mogensen Sizer

Der am Anfang der 50er-Jahre von Dr. *Fredrik Mogensen* entwickelte Mogensen Sizer wird heute bereits als „Klassiker“ unter den Siebssystemen bezeichnet. Aus dieser Zeit ist heute jedoch lediglich das Funktionsprinzip geblieben. Eine kontinuierliche Weiterentwicklung führte zu dem optimal ausgereiften Siebssystem, das weltweit über 8000 Mal installiert wurde.

In einem vibrierenden Siebgehäuse sind 3–6 übereinander progressiv geneigte Siebdecks angeordnet. Hierbei verringern sich die Maschenweiten von oben nach unten, was den Vorteil hat, dass das Feingut ungehindert und sehr schnell durch die grobmaschigen Gewebe fließen kann, während die groben Partikel von den oberen Decks ausgetragen werden (Bild 2).

Des Weiteren ist auf Grund der größeren projizierten Sieböffnung bei gleicher Korntrennung ein verstopfungsfreies Sieben möglich (Bild 3).

Daraus ergeben sich folgende Vorteile:

- Kürzere Siebbeläge
- Weniger Verschleiß
- Höhere Durchsatzmengen
- Größere Betriebssicherheit durch verstopfungsfreies Sieben

Hinzu kommen bei siebschwierigen Gütern optimale Siebhilfen, wie

- Elektrische Siebdeckheizung
- Pneumatische Siebreinigung
- Siebruchüberwachung (Bild 4)

Der Mogensen Sizer kommt in der Aluminiumindustrie weltweit für verschiedenste Aufgabenstellungen zum Einsatz. Dazu zählen:

- Tonerde-Fremdkörperabscheidung
- Klassierung von Bauxit

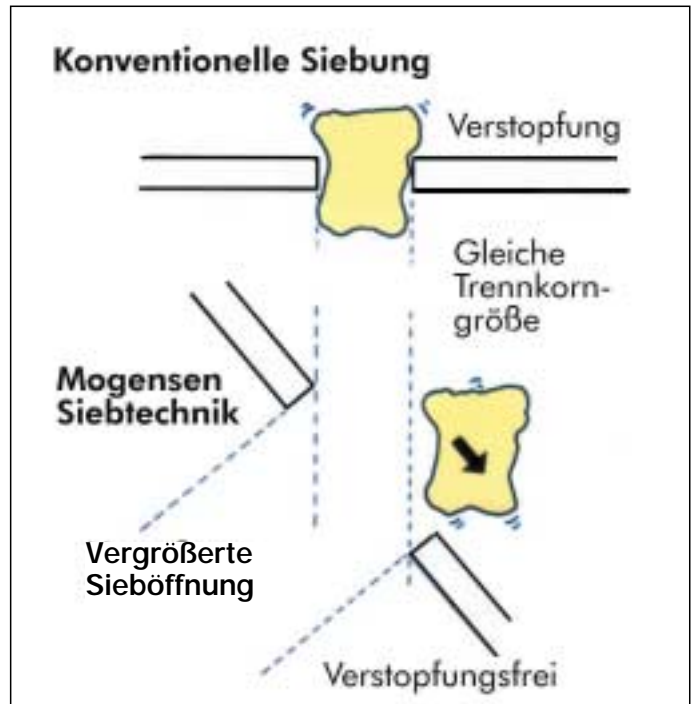


Bild 3: Auswirkung der Siebneigung
 Fig. 3: Effect of the screen pitch



Bild 4: Rückseite eines Mogensen Sizers bei geöffneter Maschine mit pneumatischer Siebdeckreinigung, Siebüberwachung und Siebdeckheizung
 Fig. 4: Rear side of an opened Mogensen Sizer with pneumatic screen deck cleaning, screen monitoring and screen deck heating

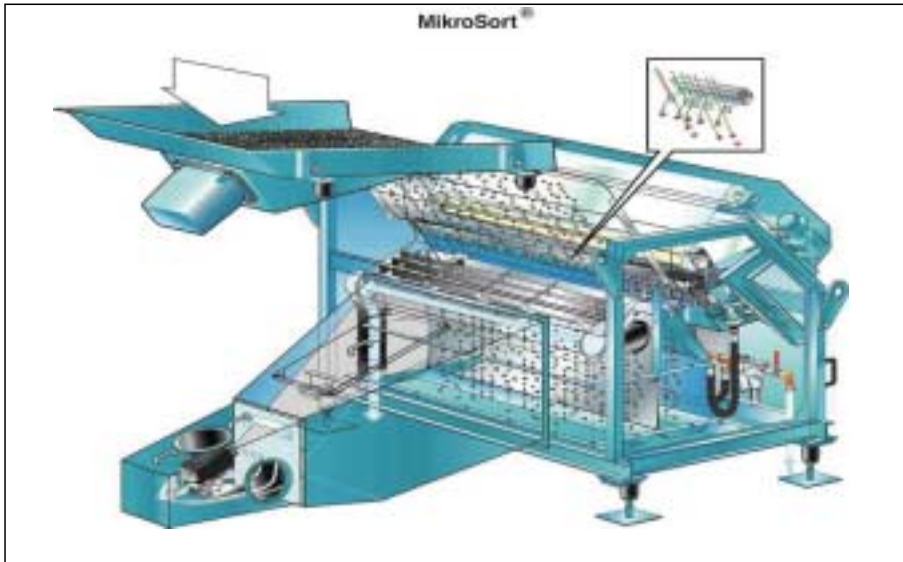


Bild 5: Systembild MikroSort
Fig. 5: Diagram showing the MikroSort system

- Anodenaufbereitung (Siebung der Kohle aus Restanoden)
- Kryolithsiebung (von Restanoden in der Anodenaufbereitung) als Vorbereitung für die optische Sortierung
- Klassierung der Salzschlacke und des Gießereisandes

5. Funktionsweise MikroSort

Das verunreinigte Kryolith wird mit einer Fördermenge in den Körnungsbereichen 4–12 mm und 12–50 mm und einer Förderleistung von 4 t/h mit einer geteilten Schwingrinne zu einer Beschleunigungsstrecke in den freien Fall zum MikroSort überführt (Bild 5).

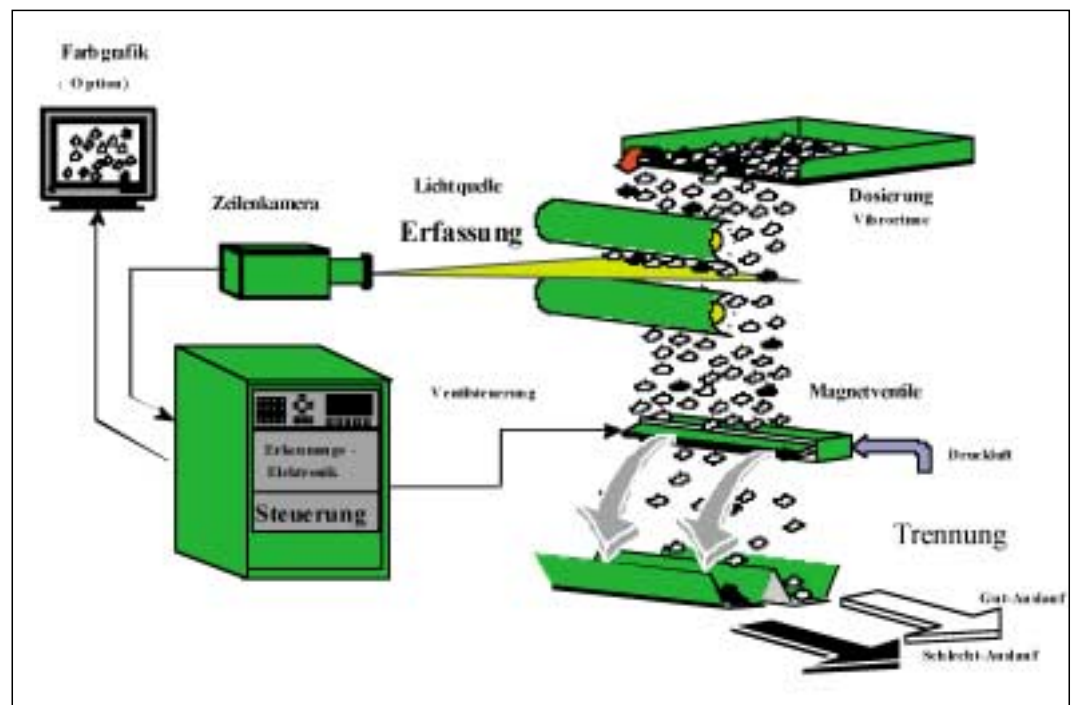
Durch Beleuchtungsmodule, je nach Aufgabenstellung als Auflicht oder Durchlicht, wird der Materialstrom sichtbar gemacht. Eine hochauflösende CCD-Farbzeilenkamera detektiert den Materialstrom und erkennt Farbabweichungen. Die Bildauswertung erfolgt durch Parallelprozessortechnologie. Von hier kommt das Signal zur Produktauslese durch präzise Druckluftimpulse. Dabei werden im vorliegenden Fall bis zu 256 Druckluftdüsen auf einer Breite von 1,2 m einzeln angesteuert.

Die beiden Produktströme werden danach getrennt abgeführt (Bild 6).

5.1 Sortierkriterien

Das optoelektronische System MikroSort bietet verschiedene Sortierkriterien. Die Leistungsfähigkeit dieses Systems besteht in der Kombination dieser Kriterien. Dadurch lassen sich alle Schüttgüter auftrennen, die auf Grund ihrer optischen Ausprägung eindeutig klassifizierbar sind.

Bild 6: Verfahrenssequenz beim MikroSort-System
Fig. 6: Processing sequence of the MikroSort system



In a vibrating screen housing, 3–6 progressively inclined screen decks are arranged on top of each other. The mesh sizes decrease from the top to the bottom decks, which has the advantage that the fines can flow very quickly and unhindered through the coarse-meshed screen cloth while the coarse particles are discharged from the upper decks (Fig. 2).

Moreover, the larger projected screen apertures enable screening without pegging while maintaining the required separation efficiency (Fig. 3).

This gives the following advantages:

- shorter screening surfaces
- less wear
- higher throughput rates
- improved operational reliability thanks to clog-free screening

For difficult-to-screen materials, effective screening aids can be incorporated, e. g.

- electrical screen deck heating
- pneumatic screen cleaning
- screen tear monitoring (Fig. 4)

Mogensen Sizers are used to perform a

wide range of duties in the aluminium industry all over the world. These include:

- the removal of impurities from alumina
- bauxite sizing
- anode recycling (screening carbon from anode waste)
- cryolite screening (from anode waste in anode recycling) in preparation for optical sorting
- sizing the salt slag and the foundry sand

5. Operating Principle of the MikroSort

The contaminated cryolite in the size ranges 4–12 mm and 12–50 mm is fed at rate of 4 t/h on a divided vibrating trough and accelerated prior to passing the MikroSort system in a free fall (Fig. 5).

Illumination modules – incident or transmitted light depending on the application – are used to make the material flow visible. A high-resolution CCD line camera captures the material flow and detects any differences in colour. The image captured is evaluat-

Echtfarbe

Die Bilderfassung erfolgt durch CCD-Farbzeilensensorik mit drei Farbkanälen für die Grundfarben Rot, Grün und Blau. Jeder Farbkanal hat eine Auflösung von 10 Bit, sodass bis zu 1 Milliarde Farben abgebildet werden können. Auch wenn diese Auflösung in der Praxis durch externe Störeinflüsse nicht voll nutzbar ist, so ist doch eine sehr exakte Erfassung der Farben möglich.

Korngröße

Für alle erfassten Partikel werden die Fläche sowie die horizontale und vertikale Ausdehnung bestimmt. Daraus ergeben sich klassische Selektionsmerkmale; MikroSort übernimmt die Funktion eines elektronischen Siebes.

Helligkeit

Es werden die Helligkeitsinformationen ausgewertet, die bei transparenten Partikeln das Reflexionslicht der Partikeloberfläche zurückliefern. Die Helligkeit wird in 256 Stufen gemessen und nach verschiedenen Kriterien klassifiziert.

Formen

Es ist eine einfache Formerkennung für Schüttgüter möglich, sofern sich die Unterscheidungsmerkmale mit vertretbarem Rechenaufwand aus den Sensordaten gewinnen lassen.

Entscheidend ist hier die Anzahl der Objekte, die in der zur Verfügung stehenden Zeit im freien Fall ausgewertet werden müssen.

5.2 Leistungsdaten

- Sortiermenge bis 200 t/h je nach Material und Fraktion
- Korngröße 3–250 mm bei Trennung durch Druckluft im freien Fall
- Abweisstrom (Schlechtanteil) bis zu 40 %
- Erkennung und Auswertung von mehr als 7000 Objekten je Sekunde
- Hohe Auflösung von bis zu 0,5 mm bei 1000 mm Arbeitsbreite
- Arbeitsbreiten bis 1200 mm
- Ansteuerung von 256 Trennkanälen
- Statistikfunktion
- Farbliche Darstellung des Produktstromes in Echtzeit
- Mehrseitige Betrachtung als Option
- Produktionsüberwachung
- Feldbus – Netzwerkanbindung an die Leitzentrale
- Fernwartung mit Diagnosedienst
- Leichte Adaptierbarkeit bei Produktumstellung

7. Schrifttum/References

- [1] *Pawlowski*: Corus Aluminium Voerde GmbH, Voerde (2000) (mündl.)
- [2] *Sauer, H.P.*: Optoelektronische Sortierung und Siebung von Steinsalz; Vortrag beim 8th World Salt Symposium in Holland (Mai 2000)

Internethinweise:

- [3] www.omikron-online.de/cyberchem/cheminfo/2509-lex.htm
- [4] www.corus-voerde.de
- [5] www.home.t-online.de/home/steffen.witt/aluher.htm

ed by means of parallel processor technology. This sends a signal for product selection by high-precision compressed air pulses. In the MikroSort system used at Corus, up to 256 compressed air jets are individually controlled over a width of 1.2 m. The two product flows are then removed separately (Fig. 6).

5.1 Sorting criteria

The MikroSort optoelectronic system can sort materials based on different criteria. The efficiency of this system lies in the combination of these criteria. This enables the separation of all bulk materials that can be clearly classified on the basis of their visual appearance.

Real colour

The image is captured by means of CCD line scan sensors with three colour channels for the basic colours red, green and blue. Each colour channel has a resolution of 10 bits, so up to one billion colours can be detected. Even if external interference sometimes prevents full utilization of this resolution in practical applications, very accurate colour detection is still possible.

Particle size

The surface area as well as the horizontal and vertical dimensions of all imaged particles are determined. Classic selection characteristics are derived from these values; the MikroSort thus operates like an electronic screen.

Brightness

The brightness information which, in the case of transparent particles, is returned by the light reflected by the particle surfaces is evaluated. The brightness is measured in 256 grades and classified according to different criteria.

Shapes

Simple shape recognition is possible for bulk materials providing the characteristics required for differentiation can be obtained from the sensor data with reasonable computing effort.

Decisive here is the number of objects that must be evaluated in free fall in the time available.

5.2 Performance data

- sorting throughput up to 200 t/h depending on the material and size
- particle size 3–250 mm for separation by compressed air in free fall
- rejects up to 40 %
- detection and evaluation of more than 7000 objects per second
- high resolution of up to 0.5 mm at a working width of 1000 mm
- working widths up to 1200 mm
- control of 256 separation channels
- statistics function
- colour display of the product flow in real time
- multisided image capture available as an option
- production monitoring
- field bus network connection to the control centre
- remote maintenance with diagnosis service
- easily adapted to product changes