

## Processing of metallurgical slags with shock wave technology

- ▶ In a joint project between Mineral Projekt and ImpulsTec, the application of shock wave fragmentation technology for processing brittle materials and metallurgical slags was investigated. With the help of the innovative fragmentation solution from ImpulsTec GmbH, selective break-up of slags from the zinc metallurgy was tested. In this process, cyclic high-voltage discharges under water generate intensive, mechanical pressure waves, which effect fragmentation selectively at material interfaces and therefore mainly at transitions between the different mineralogical phases of the slag. The associated liberation and concentration of constituents containing recyclables enable downstream sorting of the multiphase systems by Mineral Projekt and therefore offers wide-ranging economic and ecological advantages for further processing and recycling of slag constituents.

## Aufbereitung metallurgischer Schlacken mit Schockwellentechnologie

- ▶ In einem gemeinsamen Projekt von Mineral Projekt und ImpulsTec wurde die Anwendung der Schockwellenzerkleinerungstechnologie für die Aufbereitung von spröden Materialien und metallurgischen Schlacken untersucht. Mit Hilfe der innovativen Zerkleinerungslösung der ImpulsTec GmbH wurde ein selektiver Aufschluss von Schlacken aus der sekundären Zinkmetallurgie erprobt. Dabei erzeugen zyklische Hochspannungsentladungen unter Wasser intensive, mechanische Druckwellen, die ihre fragmentierende Wirkung gezielt an Materialgrenzflächen und damit vorzugsweise an Übergängen unterschiedlicher mineralogischer Phasen der Schlacken entfalten. Die damit verbundene Freilegung und Anreicherung von wertstoffhaltigen Bestandteilen ermöglichte die nachgeschaltete Sortierung der Mehrphasensysteme durch Mineral Projekt und bietet damit vielfältige ökonomische und ökologische Vorteile bei der Weiterverarbeitung und Verwertung der Schlacke-Bestandteile.

### Authors/Autoren

Dipl.-Ing. Stefan Eisert, Geschäftsführer, ImpulsTec GmbH, Dresden; Dipl.-Min. Gunther Pieplow, Geschäftsführer, Mineral Projekt Gesellschaft für Planung und Konstruktion mbH, Chemnitz

### Introduction to zinc waelz slag

With reference to the example of a slag from secondary zinc metallurgy, that is zinc waelz slag (**Fig. 1**), the innovative process model developed by Mineral

### Einleitung zur Zinkwälzschlacke

Am Beispiel einer Schlacke aus der sekundären Zinkmetallurgie, der sogenannten Zinkwälzschlacke (**Bild 1**), wird der innovative Verfahrensansatz von



**Zinc waelz slag**

Zinkwälzschlacke

Credit/Quelle: Mineral Projekt

<sup>1</sup> ▲ Projekt and ImpulsTec GmbH is illustrated. This processing method can also be used for numerous other metallurgic intermediate products from iron, zinc and steel-refining metallurgy as well as for minerals. Zinc waelz slag is a waste material from rotary kilns operated in the SHDL process. Per year, maximum 240 000 t (producer capacities) of this slag is produced at three sites. The main components are on

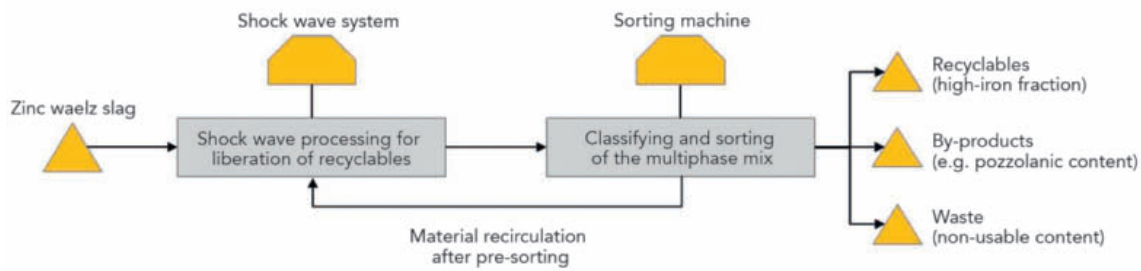
Mineral Projekt sowie der ImpulsTec GmbH veranschaulicht. Der Aufbereitungsprozess ist dabei auch für zahlreiche weitere metallurgische Zwischenprodukte aus der Eisen-, Zink- und stahlveredelnden Metallurgie sowie für Mineralien anwendbar. Die Zinkwälzschlacke ist ein Reststoff aus dem Drehrohrprozess nach dem SHDL-Verfahren. Pro Jahr fallen in Deutschland maximal 240 000 t (Erzeu-

**Intensive pressure waves are used for the material-selective break-up of the metallurgical waste**

average iron (42.4%), calcium oxide (15.3%), silicon dioxide (6.5%), magnesium oxide (4.8%), zinc oxide (5.3%, mainly spinel-bonded) as well as low contents of heavy metals. Usually, zinc waelz slag is used primarily in landfill construction or it is disposed of. Characteristic for this slag is the high abrasion hardness, which makes cost-efficient liberation of the individual constituents considerably more difficult and therefore presents the reason preventing metallurgical iron extraction. Above all, the impurities lead and copper have to be reduced for metallurgical use,

gerkapazitäten) dieser Schlacke an drei Standorten an. Hauptbestandteile sind im Durchschnitt Eisen (42,4%), Calciumoxid (15,3%), Siliziumdioxid (6,5%), Magnesiumoxid (4,8%), Zinkoxid (5,3%, hauptsächlich Spinell-gebunden) sowie geringe Anteile an Schwermetallen. Üblicherweise finden die Zinkwälzschlacken vor allem im Deponiebau Verwendung oder sie werden beseitigt. Charakteristisch für die Schlacke ist ihre hohe Abrasionshärte, was eine ökonomische Freilegung der Einzelbestandteile mit Hilfe konventioneller Mahlverfahren erheblich





◀ 2  
Process schematic of potential zinc waelz slag processing

Prozessschema einer potentiellen Zinkwaelzschlackeaufbereitung

Credit/Quelle: ImpulsTec

to recycle the iron-containing constituents as raw materials.

The goal of the new processing solution was therefore to produce a recyclable iron concentrate that can

erschwert und damit den Hinderungsgrund für die metallurgische Eisengewinnung darstellt. Vor allem die Störstoffe Blei und Kupfer müssen für die metallurgische Verwertung reduziert werden, um die eisenhaltigen Bestandteile zurück in den Rohstoffkreislauf zu bringen.

Die Zielstellung der neuen Aufbereitungslösung war es daher ein verwertbares Eisenkonzentrat herzustellen, welches direkt in der Eisenerzeugung wiederverwendet werden kann. Durch die besonders selektive Zerkleinerung des Kornverbundes

des mittels Schockwellen sollen die Einzelbestandteile der Zinkwaelzschlacke möglichst in großen Korngrößen (>0,1 mm) freigelegt werden, da damit eine nachgelagerte Sortierbarkeit vereinfacht wird. Mit-

## High material selectivity and targeted separation effect

be reused direct in iron production. With the very selective fragmentation of the particles by means of shock waves, the individual constituents of the zinc waelz slag have to be liberated as far as possible into large particle sizes (>0.1 mm), facilitating downstream sorting. With traditional classifying and sorting processes, the subsequent aim is to concentrate the iron-containing constituents in the products and separate them from the pozzolanic and metallurgical impurity phases (e.g. copper).

### The innovative processing method based on shock waves

Basis for the processing of zinc waelz slag is the innovative fragmentation process from ImpulsTec GmbH, which uses intensive pressure waves, so-called shock waves, for the necessary material-selective break-up of the metallurgical waste. These are generated with the selective electric discharges in an underwater spark gap with working voltages up to 50 kV. In contrast to the locally concentrated input of power in conventional fragmentation processes, the shock waves are distributed uniformly in a reactor filled with water, impact the slag agglomerate to be broken up and input the stress energy uniformly over the surface of the material.

Characteristic for the shock wave process is its high fragmentation selectivity. Because of the homogeneous energy input and the reflection and overlay effects of the shock waves at the interfaces between materials with different acoustic properties, fractures are induced not at the point of impact of the tool, as in the case of traditional mechanical fragmentation processes, but primarily at material interfaces or mechanical weak points. The partial conductivity of individual constituents can also be used for preferred energy input. The working principle in a liquid fragmentation medium, for example water, enables dust-free working and passivation of hazardous substances of the slag in the process liquid.

Due to the high material selectivity and the targeted separation effect of the process at the interfaces of different materials, low concentrations of constituents can be liberated purely mechanically from complex material aggregates and concentrated. This enables the

tels klassischer Klassier- und Sortierprozesse ist es anschließend das Ziel, die eisenhaltigen Bestandteile in den Produkten anzureichern und von den puzzolanischen sowie metallurgisch störenden Phasen (z.B. Kupfer) abzutrennen.

## Especially suitable for the treatment of abrasive materials with high purity requirements

downstream separation of the extracted recyclables by means of standard physical separation processes and their feed to material-specific recycling.

Processing of the zinc waelz slag is shown in simplified form in **Fig. 2**. The waste from the secondary zinc metallurgy is exposed during the process to a number of cyclically generated shock waves. This is followed by pre-classification of the treated material, after which the coarse material or not completely broken-up material aggregates (residual aggregates) are fed back to the shock wave system for further treatment. To keep the material filling level in the fragmentation reactor largely constant, new material is added. During the cyclic treatment process, the recording of various process parameters like the elec-

### Der innovative Aufbereitungsprozess mittels Schockwellen

Grundlage für den Aufbereitungsprozess der Zinkwälzschlacke bildet das innovative Zerkleinerungsverfahren der ImpulsTec GmbH, welches für den notwendigen materialelektiven Aufschluss der metallurgischen Reststoffe intensive Druckwellen, sogenannte Schockwellen, nutzt. Diese werden durch gezielte elektrische Entladungen in einer Unterwasserfunkenstrecke mit Arbeitsspannungen bis zu 50 kV erzeugt. Im Gegensatz zu dem bei konventionellen Zerkleinerungsverfahren meist lokal konzentrierten Krafteintrag, breiten sich die Schockwellen gleichmäßig in einem mit Wasser gefüllten Reaktor aus, treffen dabei auf den zu zerkleinernden Schlackeverbund und tragen die Beanspruchungsenergie gleichmäßig über die Oberfläche des Materials ein.

Charakteristisch für das Schockwellenverfahren ist dabei dessen hohe Zerkleinerungsselektivität. Durch den homogenen Energieeintrag sowie durch Reflexions- und Überlagerungseffekte der Schockwelle an Übergängen von Materialien mit unterschiedlichen akustischen Eigenschaften werden Brüche nicht am Auftreffort des Werkzeuges, wie bei klassischen mechanischen Zerkleinerungsverfahren, sondern vorzugsweise an Materialgrenzflächen bzw. mechanischen Schwachstellen hervorgerufen. Auch lässt sich die partielle Leitfähigkeit von Einzelbestandteilen für einen bevorzugten Energieeintrag nutzen. Die Arbeitsweise in einem flüssigen Zerkleinerungsmedium, beispielsweise Wasser, ermöglicht eine staubfreie Arbeitsweise und eine Passivierung von Gefahrstoffen der Schlacke in der Prozessflüssigkeit.

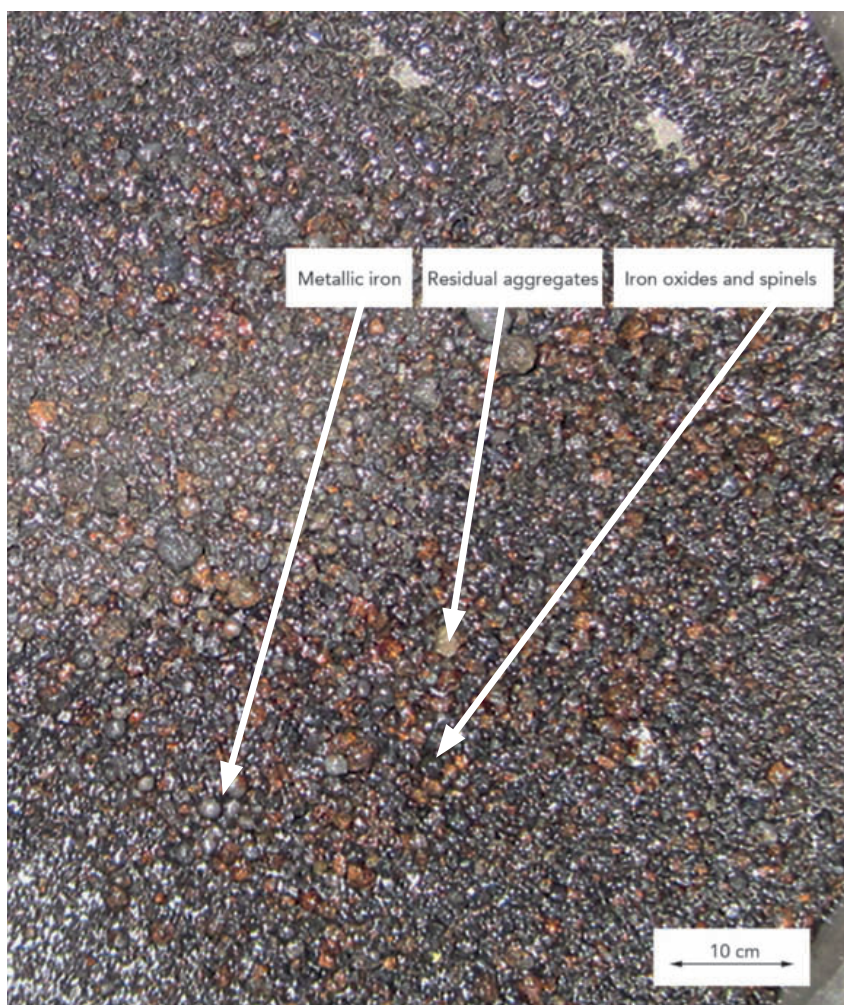
Dank der hohen Materialelektivität und der gezielten Trennwirkung des Verfahrens an Grenzflächen unterschiedlicher Materialien können auch gering konzentrierte Bestandteile aus komplexen Materialverbunden auf diese Weise rein mechanisch freigelegt und angereichert werden. Dies ermöglicht es, die so extrahierten Wertstofffraktionen im Nachgang mittels gängiger physikalischer Separationsverfahren, wie einer Siebklassierung und magnetischer Sortierprozesse, voneinander abzutrennen und damit einer materialspezifischen Verwertung zuzuführen.

Der Aufbereitungsprozess der Zinkwälzschlacke ist in **Bild 2** vereinfacht dargestellt. Der Reststoff aus der sekundären Zinkmetallurgie wird während des Prozesses mit einer Anzahl an zyklisch generierten Schockwellen behandelt. Anschließend erfolgt eine Vorklassie-

3 ▼  
Zinc waelz slag after shock wave treatment

Zinkwälzschlacke nach der Schockwellenbehandlung

Credit/Quelle: ImpulsTec



#### ImpulsTec GmbH

ImpulsTec GmbH is a high-tech company focussing on the development and production of shock wave fragmentation systems for material separation of complex industrial materials, e.g. solar modules, scrap from electric and electronic equipment, metallurgical slags, high-purity semiconductor materials and minerals. The range of products and services of the Dresden-based company comprises classic plant engineering as well as the design and fabrication of customized integrated systems and the conducting of studies and test campaigns.

#### ImpulsTec GmbH

Die ImpulsTec GmbH ist ein HighTech-Unternehmen mit Fokus auf der Entwicklung und Produktion von Schockwellenzerkleinerungsanlagen für die stoffliche Trennung von komplexen Industriematerialien wie z.B. Solarmodulen, Elektroschrott, metallurgischen Schlacken, hochreinen Halbleitermaterialien und Mineralien. Das Leistungsspektrum des Dresdner Unternehmens umfasst dabei neben dem klassischen Anlagenbau auch die Projektierung von kundenspezifischen Kompletanlagen sowie die Durchführung von Studien und Testkampagnen.

trical characteristics of the discharges, the electrical conductivity of the process liquid and the produced fines enables continuous monitoring and qualification of the fragmentation process.

The fines produced consist of a mix of various individual constituents of the zinc waelz slag. **Fig. 3** shows the medium particle size range between 0.1–1 mm of the finished product. The individual constituents like the metallic iron and the zinc-iron spinels are largely liberated after shock wave treatment.

This multiphase mix was classified downstream on a finer screen. By means of weak-field magnetic separation, the non-iron-containing phases could be removed from the individual fractions recovered. The analysis of the products confirmed the effectiveness of the fragmentation process for break-up of the multiphase system and of the sorting process for concentration of the materials. The high-iron phases could be concentrated in the coarse fraction (>1 mm) and the crystalline zinc-iron spinels in the medium fraction (0.1–1 mm). On account of their high brittleness, the pozzolanic phases could, as expected, be concentrated in the fine fraction (<0.1 mm). Metallurgically undesirable heavy metals (e.g. copper) were also concentrated in the fine fraction. The effective concentration processes are currently the subject of mineralogical study.

With the processing method realized in cooperation of Mineral Projekt and ImpulsTec GmbH for zinc waelz slag, the high selectivity of the shock wave treatment could be shown based on the example of different crystallographic phases. This makes sorting of the broken-up multiphase system and separation of impurities sensible before metallurgical further processing of the main mass flow (iron). The initial precondition for material further processing and cost-efficient recycling of the slag is therefore given. The cost efficiency of the complete process, however, depends crucially on the quality and possibilities for the recycling of the finished products and must be verified in large-scale tests. The realization of a pilot process for processing of slags from secondary zinc metallurgy is planned by Mineral Projekt for the first quarter of 2018.

In the scope of the cooperation between Mineral Projekt and ImpulsTec GmbH, in addition to the zinc waelz slag, other applications in metallurgical

zung des behandelten Materials, nach der das Grobkorn bzw. die noch nicht vollständig aufgelösten Materialverbunde (Restverbunde) in die Schockwellenanlage zur Weiterbehandlung zurückgeführt werden. Um den Materialfüllstand im Zerkleinerungsreaktor weitestgehend konstant zu halten, wurde zusätzlich Neumaterial nachdosiert. Während des zyklischen Behandlungsprozesses ermöglichte die Erfassung verschiedener Prozesskenngrößen wie der elektrischen Charakteristik der Entladungen, der elektrischen Leitfähigkeit der Prozessflüssigkeit und der erzeugte Feinkornanteil eine fortlaufende Überwachung und Qualifizierung des Zerkleinerungsprozesses.





Slag material with very high grinding hardness

Schlackenmaterial mit sehr hoher Mahlhärte

Credit/Quelle: ImplusTec

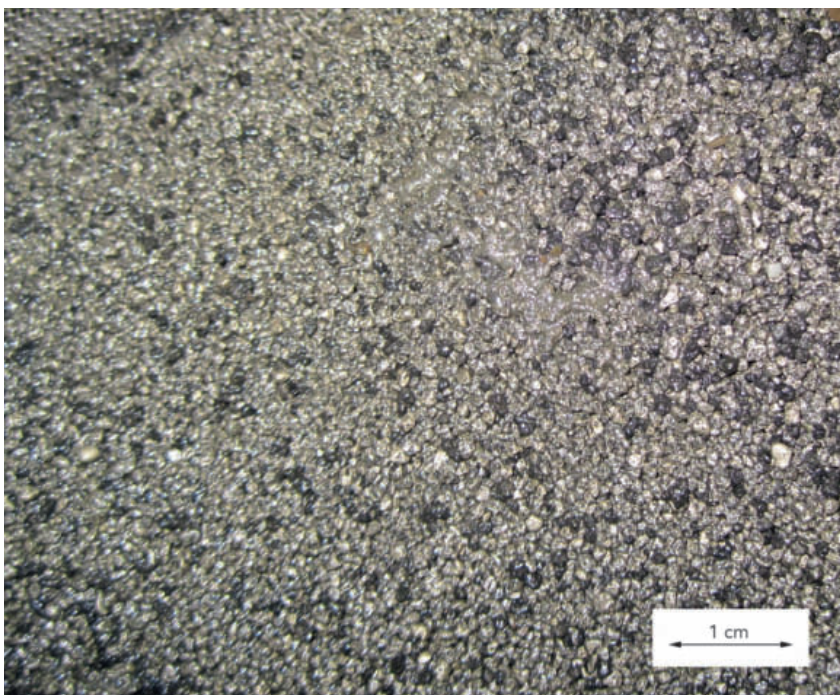
4 ▲ waste and minerals for shock-wave based processing could be demonstrated. Slags and other smelter intermediates with very high abrasiveness could be mentioned as examples (Fig. 4). In the series of tests, with the liberation of material constituents with the shock wave fragmentation process, a preliminary separation of recyclables-free content and the increase in the active surface for the downstream hydrometallurgical treatment (Fig. 5).

Slag material with very high grinding hardness after shock wave treatment

Schlackenmaterial mit sehr hoher Mahlhärte nach der Schockwellenbehandlung

Credit/Quelle: ImplusTec

5 ▼ Besides its high separation selectivity, the shock wave process offers a promising solution approach for the low-contamination processing of high-purity materials. Due to its contactless fragmentation mechanism, the material is stressed only by electrically generated pressure waves and not a mechanical tool, the ImplusTec process is especially



Das so erzeugte Feinkorn besteht aus dem Gemisch der verschiedenen Einzelbestandteile der Zinkwälschlacke. Bild 3 stellt den mittleren Korngrößenbereich zwischen 0,1-1 mm des Endproduktes dar. Die Einzelbestandteile wie das metallische Eisen und die Zink-Eisen-Spinelle liegen dabei nach der Schockwellenbehandlung weitgehend frei vor.

Dieses Mehrphasengemisch wurde im Nachgang mit einer verfeinerten Siebung klassiert. Mittels Schwachfeldmagnetscheidung konnten daraufhin aus den erhaltenen Einzelfractionen die nichteisen-haltigen Phasen aussortiert werden. Die Analyse der Produkte bestätigte die Wirksamkeit des Zerkleinerungsprozesses für den Aufschluss des Mehrphasensystems und des Sortierprozesses zur Anreicherung der Materialien. Die eisenreichen Phasen konnten in der Grobfraction (>1 mm) und die kristallinen Zink-Eisen-Spinelle in der Mittelfraction (0,1-1 mm) angereichert werden. Aufgrund der hohen Sprödigkeit konnten die puzzolanischen Phasen erwartungsgemäß in der Feinfraction (<0,1 mm) angereichert werden. Metallurgisch störende Schwermetalle (z.B. Kupfer) wurden ebenfalls in der Feinfraction angereichert. Die wirksamen Anreicherungsprozesse befinden sich derzeit in mineralogischer Untersuchung.

Durch den in Kooperation von Mineral Projekt und ImplusTec GmbH realisierten Aufbereitungsprozess für die Zinkwälschlacke konnte die hohe Selektivität der Schockwellenbehandlung auf unterschiedliche kristallographische Phasen beispielhaft dargestellt werden. Dies macht eine Sortierung des aufgeschlossenen Mehrphasensystems und damit die Abtrennung von Störelementen vor einer metallurgischen Weiterverarbeitung des Hauptmassenstroms (Eisen) erst sinnvoll. Die Anfangsvoraussetzung für die stoffliche Weiterverarbeitung und wirtschaftliche Verwertung der Schlacke ist somit gegeben. Die Wirtschaftlichkeit des Kompletzprozesses hängt allerdings entscheidend von der Qualität und den Verwertungsmöglichkeiten der Endprodukte ab und muss in weiterführenden großtechnischen Untersuchungen bestätigt werden. Die Realisierung eines Pilotprozesses zur Aufbereitung von Schlacken aus der sekundären Zinkmetallurgie ist von Mineral Projekt für das erste Quartal 2018 geplant. Im Rahmen der Zusammenarbeit von Mineral Projekt und ImplusTec GmbH konnten zusätzlich zu den Zinkwälschlacken weitere Anwendungen im Bereich metallurgischer Reststoffe und Minerale für den schockwellenbasierten Aufbereitungsprozess aufgezeigt werden. Beispielhaft können hier Schlacken und andere Hüttenzwischenprodukte mit sehr hoher Abrasivität benannt werden (Bild 4). Bei den Testreihen konnte durch die Freilegung der Materialbestandteile mittels des Schockwellenzerkleinerungsprozesses eine Vorabscheidung von wertstofffreien Anteilen sowie die Erhöhung der aktiven Oberfläche für die nachgelagerte hydrometallurgische Behandlung erzielt werden (Bild 5).

Neben seiner hohen Trennselektivität bietet das Schockwellenverfahren auch für die verunreinigungsarme Aufbereitung von hochreinen Materialien einen vielversprechenden Lösungsansatz. Durch seinen

suitable for treatment of abrasive materials with high purity requirements.

The only source of contamination in the pulsed power process is erosion at the high-voltage electrodes. This fine-particulate loss of contact material can be minimized comparatively easily with appropriate process adjustment or material selection. The main factors influencing the final purity of the product are, besides the electrode material and the treatment duration, the required size of the product. In the case of crystalline quartz, in a very short processing time with only few discharges, the crystals could

## The shock wave process offers high flexibility

be liberated and separated into low-iron and high-iron constituents. It has been proven that with the application of shock wave technology on quartz and ceramic materials, impurity contents in the range of purity of the starting material of less than 10-20 g/t can be achieved.

Another advantage of the processing method is the high flexibility of the shock wave process. The fragmentation parameters can be selectively adapted to the material composition and the specific requirements of the feed material. With reference to the example of zinc waelz slag, embedded impurities could be liberated and then simply separated, as a result of which a wide range of new approaches result for metallurgical post-processing and cost-efficient recycling of the materials.

### Summary

With the joint work of Mineral Projekt and ImpulsTec GmbH, the advantages of the application of shock wave fragmentation for metallurgical slags and for hard and brittle materials could be shown. With the selective break-up of metallurgical multiphase systems at material interfaces, the individual constituents can be liberated, which leads to simplified sorting and therefore to improved further processing of the products in hydro- or pyrometallurgical follow-on processes.

#### Mineral Projekt Gesellschaft für Planung und Konstruktion mbH

Mineral Projekt is an engineering company with many years of experience in mining, building construction, civil engineering and hydraulic engineering as well as in the processing of primary and secondary resources.

Mineral Projekt develops amongst other things system solutions for integrated utilization of mass residues and is working intensively on their material recycling.

berührungsfreien Zerkleinerungsmechanismus – die Materialbeanspruchung erfolgt lediglich durch elektrisch generierte Druckwellen und nicht durch ein mechanisches Werkzeug – ist das ImpulsTec-Verfahren besonders geeignet für die Behandlung von abrasiven Materialien mit hohen Reinheitsanforderungen.

Die einzige Kontaminationsquelle des Hochspannungsimpulsprozesses stellt die Erosion an den Hochspannungselektroden dar. Dieser feinstpartikuläre Abbrand lässt sich allerdings vergleichsweise gut durch eine entsprechende Prozessanpassung minimieren bzw. durch eine entsprechende Werkstoffauswahl beeinflussen. Haupteinflussfaktoren auf die Endreinheit des Produktes sind neben dem Elektrodenwerkstoff und der Behandlungsdauer auch die benötigte Größe der Zielkörnung. Bei kristallinem Quarz konnte innerhalb einer besonders kurzen Beanspruchungsdauer von nur wenigen Entladungen die Kristalle bereits aufgeschlossen und in eisenarme- und eisenreiche Bestandteile zerlegt werden. Nachweislich konnte durch die Anwendung der Schockwellentechnologie auf Quarz- und keramische Materialien Verunreinigungsgehalte im Bereich der Reinheit des Ausgangsrohstoffes von kleiner 10-20 g/t erzielt werden.

Ein weiterer Vorteil des Aufbereitungsprozesses stellt die hohe Flexibilität des Schockwellenverfahrens dar. So können die Zerkleinerungsparameter gezielt an die stoffliche Zusammensetzung und die spezifischen Anforderungen des jeweiligen Aufgabegutes angepasst werden. Am Beispiel der Zinkwälzschlacken konnten damit eingelagerte Störstoffe freigelegt und anschließend einfach abgetrennt werden, wodurch sich vielfältige neue Ansätze bei der metallurgischen Nachbearbeitung und der wirtschaftlichen Verwertung der Materialien ergeben.

### Zusammenfassung

Durch die gemeinsamen Arbeiten von Mineral Projekt und ImpulsTec GmbH konnten die Anwendungsvorteile der Schockwellenzerkleinerung für metallurgische Schlacken und für harte und spröde Materialien aufgezeigt werden. Durch den gezielten Aufschluss von metallurgischen Mehrphasensystemen an den Materialgrenzflächen können die Einzelbestandteile freigelegt werden, was zu einer vereinfachten Sortierung und damit zu einer verbesserten Weiterverarbeitung der Produkte in hydro- oder pyrometallurgischen Folgeprozessen führt.

#### Mineral Projekt Gesellschaft für Planung und Konstruktion mbH

Mineral Projekt ist eine Ingenieurgesellschaft mit langjähriger Erfahrung im Bergbau, im Hoch-, Tief- und Wasserbau sowie in der Aufbereitung von primären und sekundären Rohstoffen.

Mineral Projekt entwickelt unter anderem Systemlösungen für die ganzheitliche Verwertung von industriellen Masserückständen und arbeitet intensiv an deren stofflicher Verwertung.