



## Overfulfill the recycling rates

*What can processing technology achieve in the recycling of end-of-life vehicles?*

SCHOLZ Recycling GmbH operates a Processing Center for end-of-life vehicles, mixed and collected scrap at its location in Espenhain, near Leipzig. Even before the End-of-life Vehicles Act came into effect in Germany in 2006, a start had been made on the construction of an efficient system for the processing of shredder lights, with the aim of meeting the recycling rates demanded for end-of-life vehicle scrap. The aim during the succeeding years was to decisively reduce manual sorting by means of raising plant throughputs and to increase the yield of NF metals and alloyed steels using new plant-engineering concepts. Another target was that of producing easily marketable refuse-derived fuels (RDFs). In this context, it was necessary to take account of the possible future use of plastics and of changes taking place in automotive engineering. This article examines examples of the innovative plant-engineering concepts derived and the results achieved with them.

## Verwertungsquoten übererfüllt

*Was kann die Aufbereitung bei der Altfahrzeugverwertung leisten?*

Am Standort Espenhain bei Leipzig betreibt die SCHOLZ Recycling GmbH ein Aufbereitungszentrum für Altfahrzeug-, Misch- und Sammelschrotte. Bereits vor Inkrafttreten des Altfahrzeuggesetzes in Deutschland im Jahre 2006 hatte man begonnen, eine leistungsfähige Anlage zur Aufbereitung der Shredder-Leichtfraktion mit dem Ziel zu errichten, die geforderten Recyclingquoten für Altfahrzeugschrotte zu erfüllen. In den folgenden Jahren galt es, mit den steigenden Anlagendurchsätzen die Sortierung von Hand entscheidend zurückzudrängen und mit neuen Anlagenkonzeptionen das Ausbringen der NE-Metalle und der legierten Stähle zu erhöhen. Außerdem galt es, gut absetzbare Sekundärbrennstoffe zu erzeugen. Dabei mussten die mögliche künftige Nutzung der Kunststoffe und Veränderungen, die sich im Automobilbau vollzogen berücksichtigt werden. Im vorliegenden Artikel werden die abgeleiteten, innovativen Anlagenkonzeptionen und die damit erzielten Ergebnisse auszugsweise vorgestellt.

**Authors • Autoren:**

Prof. Gert Schubert \*; Volker Grunert\*\* Hans-Georg Jäckel \*; Kay Weißflog \*\*, Philip Gießner\*\*

\*TU Bergakademie Freiberg, Deutschland

\*\*SCHOLZ Recycling GmbH Essingen, Deutschland

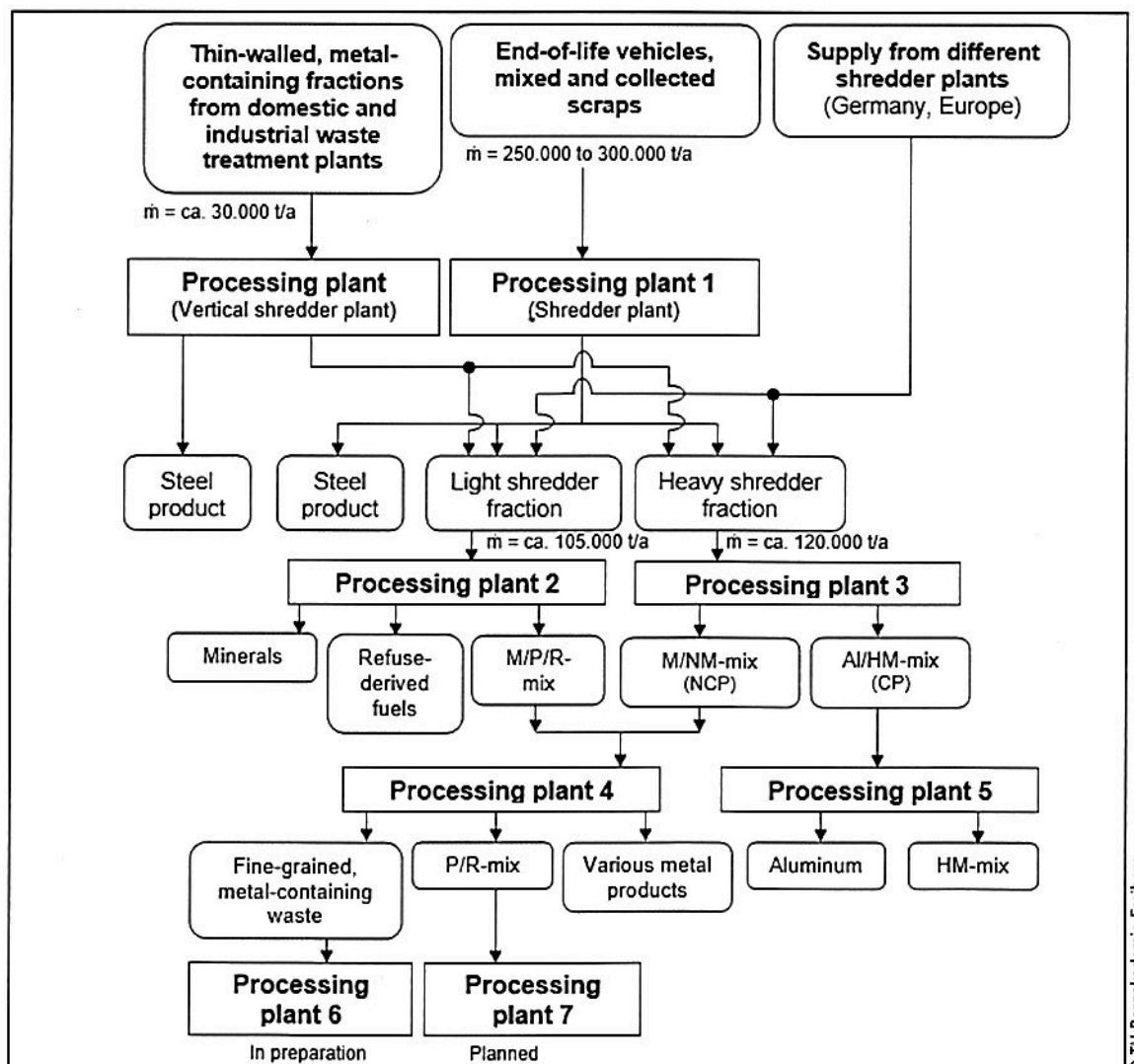


The processing of end-of-life vehicle scrap is governed in Germany by the End-of-life Vehicles Act (AltfahrzeugV). Article 5, Disposal Obligations, stipulates that, from 1 January 2006, not less than 80% of a vehicle's unladen weight must be routed to reuse or materials-route recycling and a total of 85% to at least some form of recycling (including energy-route valorisation). In 2015, the rates were raised to 85 and 95% by mass, respectively.

The end-of-life vehicles are firstly cleansed of pollutants and drained of fluids at a dismantling company (end-of-life vehicle recycler) – in other words, the battery and tyres are removed, the airbags are deactivated, and all operating fluids are drained off. In addition, the recycler may remove parts for reuse. The remaining body-shells

Die Verarbeitung von Altfahrzeugschrotten regelt in Deutschland das Altfahrzeuggesetz (AltfahrzeugV). Unter § 5 Entsorgungspflichten ist festgelegt, dass ab dem 01.01.2006 mindestens 80 % der Fahrzeugeleermasse einer Wiederverwendung bzw. stofflichen Verwertung und insgesamt 85 % einer Verwertung (einschließlich energetischer Verwertung) zugeführt werden müssen. Im Jahre 2015 stiegen die Quoten auf 85 bzw. 95 M-%.

Die Altfahrzeuge werden zunächst in einem Dementagebetrieb (Altfahrzeug-Verwerter) von Schadstoffen befreit und trockengelegt, d.h. Ausbau von Batterie und Reifen, Entschärfen der Airbags sowie Ablassen aller Betriebsflüssigkeiten. Darüber hinaus kann der Verwerter Ersatzteile für den Wiedereinsatz entnehmen. Die Restkarossen werden nachfolgend im Allgemeinen gepresst und an Aufbereitungsanlagen verkauft. Um die o.g. Recyclingquoten erfüllen zu können, hat die SCHOLZ Recycling GmbH am Standort Espenhain bereits vor Inkrafttreten der gesetzlichen Regelungen begonnen, leistungsfähige Aufbereitungsanlagen zu errichten. Dabei musste berücksichtigt werden, dass der Altfahrzeuganteil am gesamten zu verarbeitenden Stahlleichtschrott nur rd. ≤ 15 % (2005) bzw. rd. ≤ 34 % (2009) beträgt. Die überwiegende Schrottmenge besteht somit aus dem sog. Misch- und Sammelschrott (vorbehandelte Haushaltsgroßgeräte, außer Kühlschränke; Schrotte aus



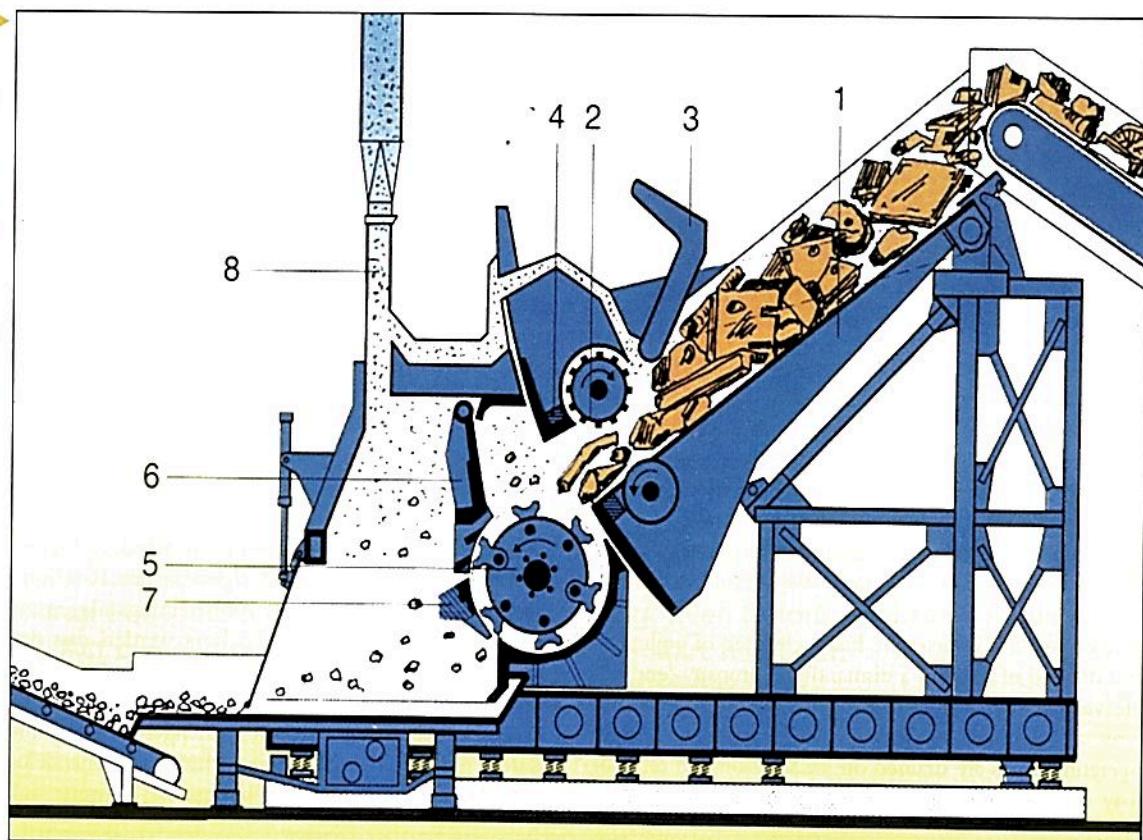
► 1 Processing technology concept for light steel scrap  
M – metals, total;  
Al – aluminium; HM – heavy metals, total; NM – non-metals; P – plastics;  
R – rubber; CP – conductive product; NLP – non-conductive product  
1 Aufbereitungskonzeption für Stahlleichtschrotte  
M – Metalle, gesamt;  
Al – Aluminium; SM – Schwermetalle, gesamt;  
NM – Nichtmetalle; K – Kunststoffe; G – Gummi;  
LP – leitfähiges Produkt;  
NLP – nichtleitfähiges Produkt

2 Kondirator-type swing-►

hammer shredder,  
manufacturer: METSO  
Lindemann Düsseldorf  
(source: Company brochure) (1) Movable feed chute; (2) Drive roller; (3) Movable pressure lid; (4) Pressure lever with anvil; (5) Rotor with impact elements; (6) Vertical screen (movable); (7) Horizontally movable anvil; (8) Exhauster duct

2 Hammerreißer,  
Bauart Kondirator,  
der Fa. METSO  
Lindemann Düsseldorf  
(Quelle:Firmenprospekt)

(1) Bewegliche  
Zuführschurre; (2)  
Treibrolle; (3) bewe-  
glicher Pressdeckel; (4)  
Druckschwinge mit  
Amboss; (5) Rotor mit  
Schlagelementen; (6)  
Vertikalrost (bewe-  
glich); (7) horizontal ver-  
schiebbarer Amboss; (8)  
Absaugkanal



are then generally press-compacted and sold to processing plants.

In order to be able to meet the above-mentioned recycling rates, SCHOLZ Recycling GmbH began, even before the legal provisions came into force, to construct high-throughput processing plants. It was necessary here to bear in mind that the end-of-life vehicle share of the total amount of light steel scrap was only some  $\leq 15\%$  (2005), and later around  $\leq 34\%$  (2009). The predominant quantity of scrap thus consists of so-called mixed and collected scrap (pre-treated large domestic appliances, with the exception of refrigerators; scrap from domestic waste collections; pre-treated small domestic appliances), plus commercial and industrial scrap.

A graduated processing route has been conceived to permit the processing of the many diverse forms of scrap. This necessarily results in a complex plant conception (Figure 1). A number of the relevant plant configurations are examined in more detail below.

### Processing Plant 1 – Production of a clean steel product

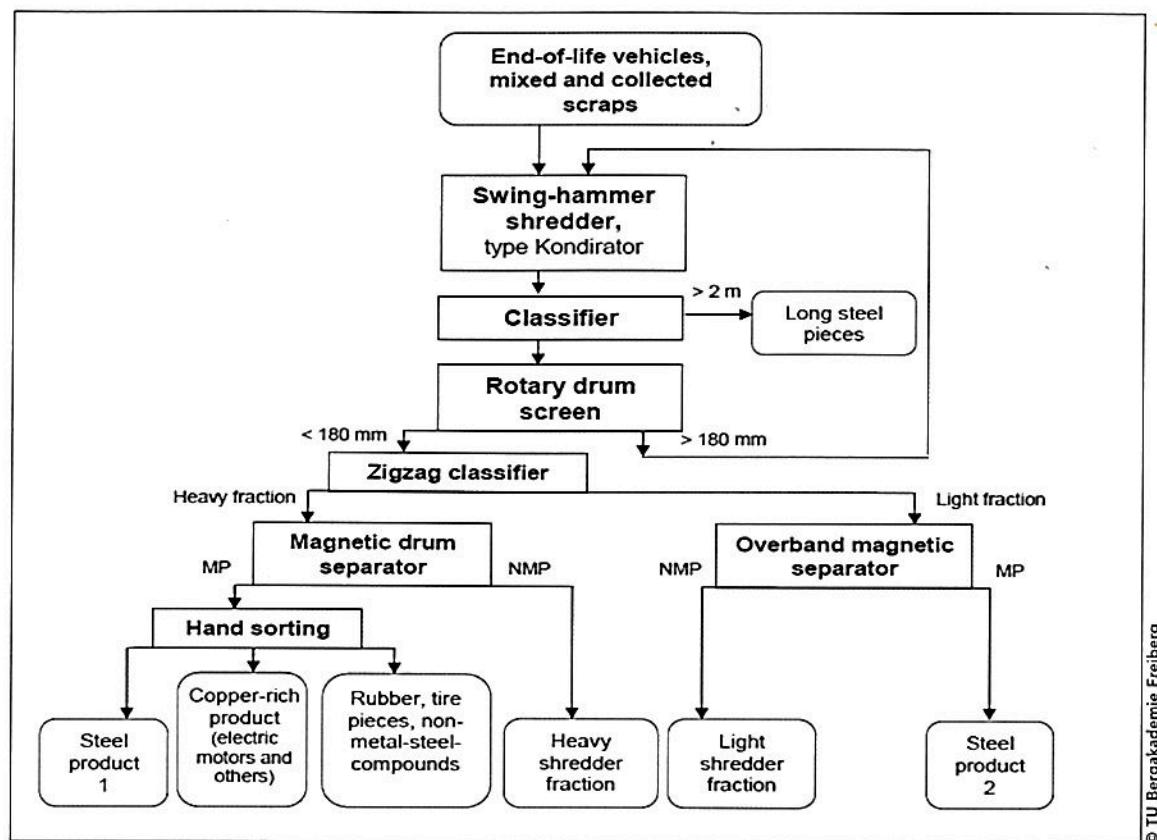
Preparation of light steel scrap firstly requires the greatest possible breakdown of the feed material into its individual components. Swing-hammer shredders with a horizontal or vertical rotor are suitable in principle for this purpose. Thanks to the complex stresses occurring in such a machine (tensile stress, in particular, combined with bending and torsion), a relatively good level of breakdown is achieved. The METSO Lindemann, Düsseldorf „Kondirator“ (Figure 2) installed at Espenhain is an appropriate route if the light steel scrap customarily used in motor-vehicles is to be processed simultaneously with

Haushaltsammlungen; vorbehandelte Haushaltkleingeräte) sowie Schrotten aus Gewerbe und Industrie.

Um die vielfältigen Schrotte aufzubereiten zu können, wurde eine stufenweise Aufbereitung konzipiert. Diese führt zwangsläufig zu einer komplexen Anlagenkonzeption (Bild 1). Nachfolgend wird auf einige der zugehörigen Anlagen näher eingegangen.

### Aufbereitungsanlage 1 – Herstellung eines sauberen Stahlprodukts

Die Aufbereitung der Stahlleichtschrotte verlangt zunächst einen weitestgehenden Aufschluss des Aufgabematerials in die Einzelkomponenten. Dafür sind prinzipiell Hammerreißer mit einem horizontal oder vertikal angeordneten Rotor geeignet. Infolge der darin auftretenden komplexen Beanspruchungen (insbesondere Zugbeanspruchung in Verbindung mit Biegung und Torsion) wird ein relativ guter Aufschlussgrad erreicht. Sollen mit dem in Automobilen üblicherweise eingesetzten Stahlleichtschrott gleichzeitig auch dickwandigere Stahlschrotte aufbereitet werden, so bietet sich dafür der in Espenhain installierte Kondirator, Bauart METSO Lindemann, Düsseldorf (Bild 2) an. Dieser besitzt jedoch gegenüber dem klassischen Hammerreißer (Shredder) mit 175 mm deutlich größere Rostöffnungen, die zwangsläufig zu einem größeren Anteil von nicht aufgeschlossenen Metall-Metall- und Metall-Nichtmetall-Verbunden im Zerkleinerungsprodukt führen. Um Störungen in den nachfolgenden Ausrüstungen zu vermeiden und die obere Stückgröße zu begrenzen, wurden dem Kondirator ein spezielles Klassiergerät für sehr lange Stücke und eine Trommelsiebmaschine nachgeschaltet (Bild 3). Die der Klassierung nachfolgende Aerostromsortierung vollzieht sich in einem Zick-Zack-Sichter bei einer



3 Process flow sheet for production of clean steel scrap, schematic. MP – magnetic product; NMP – non-magnetic product  
3 Verfahrensfließbild für die Herstellung eines sauberen Stahlschrotts, schematisch. MP – magnetisches Produkt; NMP – unmagnetisches Produkt

© TU Bergakademie Freiberg

thicker-walled types of steel scrap. Compared to a conventional swing-hammer shredder, this machine features significantly larger screen-deck apertures, at 175 mm, however, which inevitably result in a larger portion of non-broken-down metal/metal and metal/non-metal composites in the comminution product. In order to avoid problems in the downstream equipment and to limit the upper particle size, a special classifier for extremely large particles and a screening drum were installed downstream the Kondirator (Figure 3). The air-flow sorting installed downstream the classifying equipment takes place in a zigzag classifier at an average air velocity of around 15 m/s. The thin walled steel scrap is extracted from the floats thus produced by means of an overbelt magnetic separator, resulting in a relatively low-metal shredder lights fraction. The sinks from the zigzag classifier then pass to a bottom-feed magnetic drum separator, the steel product from which is then manually picked. The shredder heavy fraction then forms the non-magnetic product (see Table 1).

Extensive analysis of the resultant steel scrap indicated that there is only a relatively low Cu content present in the steel. Some 65 % of the particles of steel in the 35 to 60 mm (bar sizer) particle-size class had, for example, a Cu content of < 0.02% and only 10 % a Cu content of > 0.10% (Figure 4), while the average Cu content was 0.051%.

Similar results were also obtained with other particle-size classes. There are thus orientation points for a process for the decisive reduction of the Cu content of the steel scrap. Automatic picking of the steel scrap based solely on X-ray fluorescence analysis achieved only partial successes.

mittleren Luftgeschwindigkeit von ca. 15 m/s. Aus dem entstehenden Steiggut wird mittels eines Überbandmagnetscheiders der dünnwandige Stahlschrott abgetrennt, wodurch eine relativ metallarme Shredder-Leichtfraktion entsteht. Das Sinkgut des Zick-Zack-Sichters gelangt zu einem Trommelmagnetscheider mit unterer Aufgabe, dessen Stahlprodukt nachfolgend von Hand geklaubt wird. Das unmagnetische Produkt bildet die Shredder-Schwerfraktion (Tab. 1).

Aufwändige Untersuchungen des entstehenden Stahlschrotts ergaben, dass nur ein relativ geringer Cu-Inhalt im Stahl gelöst vorliegt. So besaßen 65 % der Stahlstücke der Stückgrößenklasse 35 – 60 mm (Stangensizer) einen Cu-Gehalt von < 0,02 % und nur 10 % einen von > 0,10 % (Bild 4), der mittlere Cu-Gehalt betrug 0,051%.

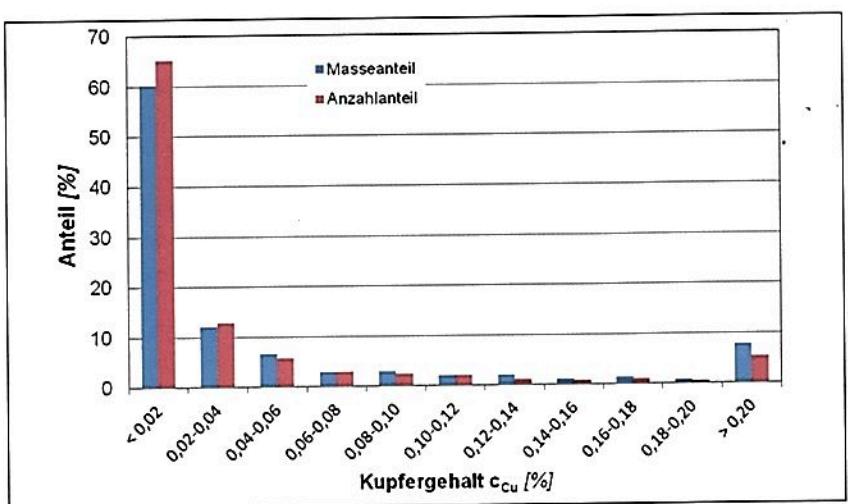
Mit anderen Stückgrößenklassen ergaben sich ähnliche Ergebnisse. Somit liegen Ansatzpunkte für ein Verfahren vor, den Cu-Gehalt der Stahlschrotte entscheidend zu reduzieren. Eine automatische Klaubung der Stahlschrotte allein auf Basis der Röntgenfluoreszenz-Analyse führt nur zu Teilerfolgen.

Table 1: Mass balance for Processing Plant 1 (2018)

– End-of-life vehicle content 19.8%

Tabelle 1: Massebilanz für die Aufbereitungsanlage 1 (2018) – Altfahrzeuganteil 19,8 %

| Produkte   | Masseanteil [%]        | Anfall [t/a]   |
|--|------------------------|----------------|
| Products   | Percentage by mass [%] | Yield [t/a]    |
| Stahlschrott<br>Steel scrap                        | 72,7                   | 154.531        |
| Shredder-Leichtfraktion<br>Shredder lights         | 14,3                   | 30.482         |
| Shredder-Schwerfraktion<br>Shredder heavy fraction | 13,0                   | 27.707         |
| <b>Aufgabegut<br/>Feed input</b>                   | <b>100,0</b>           | <b>212.720</b> |



Voraussetzung für den langfristigen Betrieb der Konditoranlage war das Einhalten der Emissionswerte in der Abluft der Anlage. Durch das Eindüsen von Wasser in den Zerkleinerungsraum, die Optimierung des Venturiwäschers sowie eine umfassende Abwasserreinigung mittels Druckentspannungsflotation u.a. Maßnahmen gelang es, die vorgegebenen Grenzwerte in der Abluft einzuhalten (Tabelle 2).

#### Aufbereitungsanlage 2 – Aufbereitung der Shredder-Leichtfraktion

Das konzipierte Verfahren berücksichtigt den häufig sehr hohen und stark schwankenden Anteil an Misch- und Sammelschrotten im Aufgabegut des Konditors. Durch diesen gelangen gegenüber den „reinen“ Alt-fahrzeugschrotten deutlich höhere Anteile an mineralischen Bestandteilen in die Shredder-Leichtfraktion. Davon ausgehend wurde ein Anlagenkonzept entwickelt, das folgende Zielstellungen verfolgt:

a) **Herstellung eines deponiefähigen mineralischen Produkts**  
Entscheidend für eine maximale Abtrennung der mineralischen Bestandteile ist eine weitestgehende Auflockierung der Shredder-Leichtfraktion, verbunden mit dem Auflösen der Verfilzungen, dem Lösen von feinkörnigen Anhaftungen sowie dem Zerkleinern der grobkörnigen mineralischen Bestandteile (Glas u.a.). Eine nachfolgende Siebklassierung bei  $w \approx 3 \text{ mm}$  führt zu einem Siebdurchgang mit  $> 80\% < 1 \text{ mm}$ , der als Deponieersatzbaustoff Anwendung findet. Grundsätzlich ist auch denkbar, aus dem Feingut mittels Schwachfeld-Magnetscheidung ein Fe-Konzentrat für den Hochofeneinsatz zu gewinnen.

b) **Erzeugung eines Sekundärbrennstoffs für den Einsatz in Zementwerken und Ersatzbrennstoff-Kraftwerken**  
Das Ziel, einen heizwertreichen, weitestgehend metallfreien Brennstoff zu erzeugen, gelingt mittels Aerostromsortierung. Bei geringen Luftgeschwindigkeiten werden in einem Zick-Zack-Sichter vor allem Flusen, Schaumstoffe, Folien, Holz und dünnwandige Kunststoffe im Steiggut ausgetragen (Bild 5a). Ihre weitestgehend quantitative Abtrennung gelingt bei relativ niedrigen Feststoffbeladungen ( $< 0,5 \text{ kg/m}^3$ ) und durch zweistufige Sichtung. Unvermeidlich ist der gleichzeitige Austrag sehr geringer, meist drahtförmiger Metallanteile, die nur nach ihrer Verkugelung in einer Turborotormühle abgetrennt werden können. Der entstehende Ersatzbrenn-

4 Cu content in particles of steel (measuring method: laser-induced plasma spectroscopy (LIPS); number of particles of steel examined: 788  
4 Cu-Gehalt der Stahlstücke (Messmethode: laserinduzierte Plasmaspektroskopie (LIPS); Anzahl der untersuchten Stahlstücke: 788

#### Processing Plant 2 – Processing technology for shredder lights

The conceptual process takes account of the frequently extremely high and greatly fluctuating mixed and collected scrap content in the material fed to the „Konditor“. Thanks to this, significantly higher amounts of mineral constituents pass into the shredder lights, compared to „pure“ end-of-life vehicle scrap. On this basis, a plant-engineering concept pursuing the following objectives was developed:

a) **Production of a landfill-suitable mineral product**  
The decisive factor in maximum separation of the mineral constituents is the largest possible „fluidisation“ of the shredder lights, combined with the breakdown of clogging, the detachment of fine-particled adhering matter and the comminution of the coarse-particled mineral components (glass, etc.). Subsequent screen classifying at  $w \approx 3 \text{ mm}$  results in a screen underflow of  $> 80\% < 1 \text{ mm}$ , which is used as landfill construction material. The recovery of an Fe concentrate from the

Table 2: Results of emissions analyses by the independent DEKRA technical inspectorate

Tabelle 2: Ergebnisse der Abluftuntersuchungen der Prüfgesellschaft DEKRA

| Substanz  | durchschnittliche Konzentration [mg/Nm <sup>3</sup> ] | maximale Konzentration [mg/Nm <sup>3</sup> ] | Grenzkonzentration [mg/Nm <sup>3</sup> ]  |
|---|---|--|---|
| Substance   | Average concentration [mg/Nm <sup>3</sup> ]           | Maximum concentration [mg/Nm <sup>3</sup> ]  | Limit concentration [mg/Nm <sup>3</sup> ] |
| Staub Particulates  | 1,4   | 2,1  | 20  |
| Flüchtige organische Verbindungen (VOC)<br>Volatile organic compounds (VOC) | 32,5  | 44,4   | 50  |
| Benzol<br>Benzene   | < 0,11  | 0,15   | 1   |
| Toluol<br>Toluene   | < 0,91  | 4,41   | 20  |

fines for use in blast furnaces using weak-field magnetic separation is also conceivable in principle.

**b) Production of a refuse-derived fuels for use in cement plants and alternative-fuelled power-generating plants**

The aim of producing a high-energy, very largely metal-free, fuel is achieved by means of air-flow sorting. Fluff, foams, films, wood and thin plastic items in the floats are extracted in a zigzag classifier at low air velocities (Figure 5a). The most extensive quantitative separation is achieved at relatively low solids burdens ( $< 0.5 \text{ kg/m}^3$ ) and by means of two-stage classifying. The simultaneous extraction of extremely small metal contents, generally in the form of wire, which could be separated out only after its spheroidization in a turbo-rotor mill, is unavoidable. The resultant substitute fuel (Floats 1 and 2) has a calorific value (H<sub>l</sub>) of 18 MJ/kg DM (dry matter) with a Cl content of around 1%.

**c) Most complete possible accumulation of the thick-walled plastic items, steels, all NF metals and their composites in an intermediate product**

The relatively low average air velocity in the second zig-zag classifier, too, inevitably results in a high metal yield in the resultant sinks (steels, NF metals, metal-containing composites – mixture of metal/plastics/rubber). The 2 to 0 mm particle-size class was analysed at a low solids burden in a laboratory zigzag classifier.

The process flow sheet developed on the basis of the above-mentioned objectives and of extensive analyses and tests is shown in Figure 6, and corresponding results in Table 3.

### Processing technology for the shredder heavy fraction

#### Processing Plant 3 – Production of an aluminium/heavy metals mixture

The shredder heavy fraction must firstly be classified (Figure 7) in order to achieve high efficiency in the downstream sorting processes. This is accomplished in multiple stages, a high moisture level having negative effects on the separation intensity of classifying at 2 mm. Tried-and-proven equipment is used for magnetic separation and eddy-current sorting. Practically all the resultant products, with the exception of the < 2 mm screen fraction and the magnetic products, are further processed in downstream facilities.

| Produkte   | Masseanteil [%]            | Anfall [t/a]    |
|--|----------------------------|-----------------|
| Products   | Percentage by mass [%]     | Yield [t/a]     |
| Mineralisches Produkt<br>Mineral product   | 56,5                       | 59.000          |
| Sekundärbrennstoff (Steiggut 1 und 2)<br>Refuse-derived fuel (Floats 1 and 2)  | 28,4                       | 29.600          |
| Metall/Kunststoff/Gummi-Gemische<br>• davon Metalle, ges.<br>Metals/plastics/rubber mixtures<br>• of which metals, total | 14,4<br>4,14 <sup>1)</sup> | 15.060<br>4.320 |
| Filterstaub<br>Filter dust   | 0,2                        | 230             |
| Kunststoffe, handgeklaubt<br>Plastics, manually picked   | 0,5                        | 480             |
| Summe<br>Total   | 100,0                      | 104.370         |

stoff (Steiggut 1 und 2) weist einen Brennwert (H<sub>l</sub>) von 18 MJ/kg TS bei einem Cl-Gehalt von rd.1% auf.

**c) Weitestgehend vollständige Anreicherung der dickwandigen Kunststoffe, der Stähle, aller NE-Metalle und ihrer Verbunde in einem Zwischenprodukt**

Die relativ geringe mittlere Luftgeschwindigkeit auch im zweiten Zick-Zack-Sichter führt zwangsläufig zu einem hohen Metallausbringen (Stähle, NE-Metalle, metallhaltige Verbunde) in den entstehenden Sinkgütern (Metall/Kunststoff/Gummi-Gemisch). Untersucht wurde die Stückgrößenklasse: 2 – 0 mm in einem Labor-Zick-Zack-Sichter bei geringer Feststoffbeladung. Das auf der Grundlage der o.g. Zielstellungen und umfangreicher Untersuchungen entwickelte Verfahrensfließbild zeigt Bild 6, entsprechende Ergebnisse Tabelle 3.

▲ Table 3: Mass balance of the processing plant for shredder lights (2018 results)

1) 2,27% Stahl; 1,87% NE-Metalle, ges.

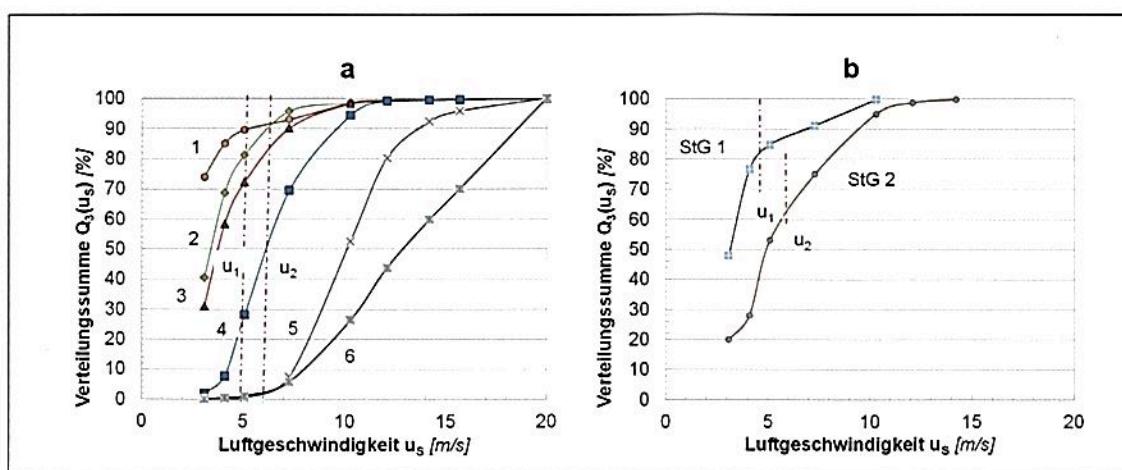
Tabelle 3: Massebilanz der Aufbereitungsanlage für die Shredder-Leichtfraktion (Ergebnisse von 2018)

1) 2.27% steel; 1.87% NF metals, total

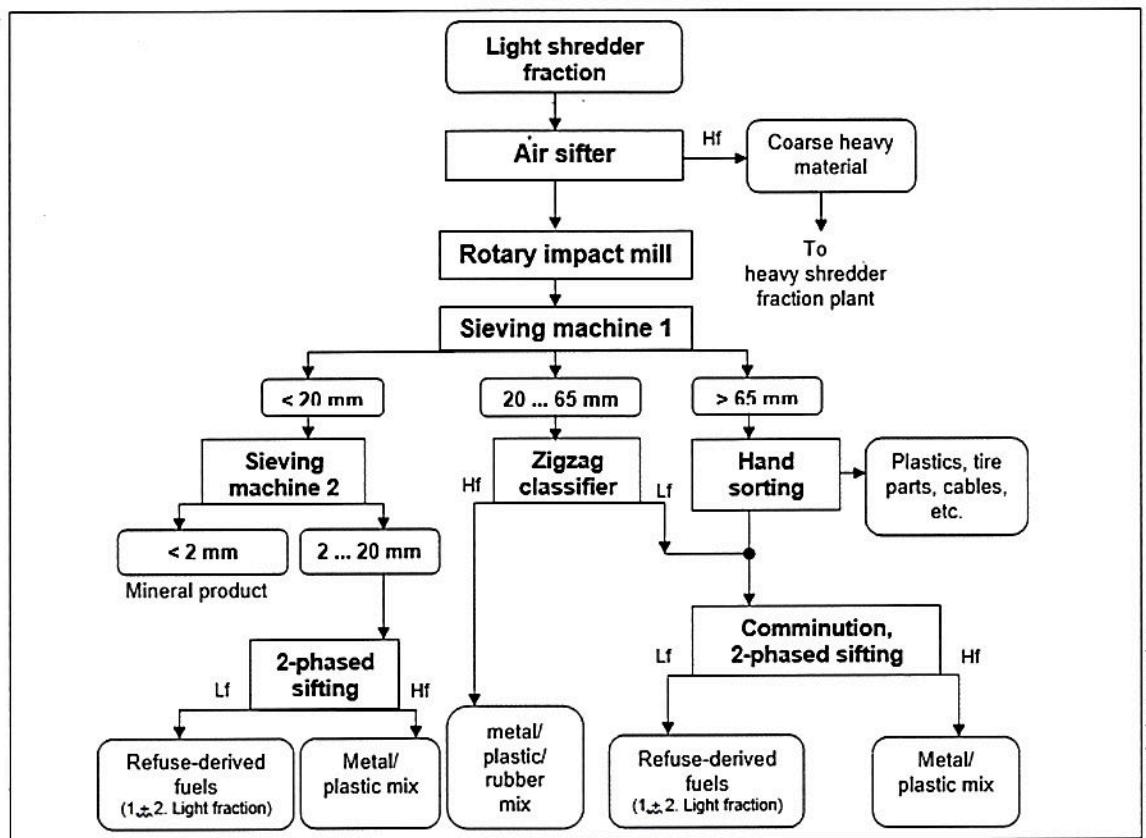
▼ 5 Distributions of sink velocities of the principal constituents of the shredder lights (Figure 5a) and floats (Figure 5b) at average air velocities ( $u_1 = 5.4 \text{ m/s}$  – Floats 1 and  $u_2 = 6.5 \text{ m/s}$  – Floats 2) 1 – product < 2 mm; 2 – Fluff; 3 – Foam; 4 – Wood; 5 – Plastics; 6 – Metals

5 Verteilungen der Sinkgeschwindigkeit der Hauptbestandteile der Shredder-Leichtfraktion (Bild 5a) und der Steiggüter (Bild 5b) bei mittleren Luftgeschwindigkeiten ( $u_1 = 5.4 \text{ m/s}$  – StG 1 und  $u_2 = 6.5 \text{ m/s}$  – StG 2)

1 – Podukt < 2 mm; 2 – Flusen; 3 Schaumstoff; 4 – Holz; 5 – Kunststoff; 6 – Metalle



6 Process flow sheet for preparation of shredder lights, schematic  
 6 Verfahrensfließbild für die Aufbereitung der Shredder-Leichtfraktion, schematisch



© TU Bergakademie Freiberg

#### Processing Plant 4 – Recovery of the remaining metals and preparation of a high-plastics product

Several metal-containing, high-plastics waste flows of greatly differing composition were produced in the course of the previous processing of shredder light and heavy fractions. Further processing of these needed to attain the following aims:

die Trennschärfe der Klassierung bei 2 mm auswirken. Für die Magnetscheidung und Wirbelstromsortierung wurden bewährte Ausführungen eingesetzt. Fast alle entstehenden Produkte, ausgenommen die Siebfraktion < 2 mm und die magnetischen Produkte, werden in nachfolgenden Anlagen weiter aufbereitet.

- ▶ Maximum recovery of the metals content in the form of saleable products
- ▶ Production of a plastics/rubber mixture suitable for further sorting of plastics
- ▶ Preparation of a refuse-derived fuel containing as little as possible of the recyclable plastics

#### Aufbereitungsanlage 4 – Gewinnung der restlichen Metalle und Herstellung eines kunststofffreien Produkts

Im Verlaufe der bisherigen Aufbereitung der Shredder-Leicht- und -Schwerfraktion entstanden mehrere, sehr unterschiedlich zusammengesetzte metallhaltige, kunststofffreie Abfälle. Ihre weitere Aufbereitung hatte folgende Zielstellungen zu erfüllen:

- ▶ Maximale Rückgewinnung des Metallinhalts in Form verkaufsfähiger Produkte
  - ▶ Herstellung eines Kunststoff/Gummi-Gemisches, das für eine weitere Kunststoffsortierung geeignet ist
  - ▶ Erzeugung eines Sekundärbrennstoffs, der möglichst wenige der verwertbaren Kunststoffe enthält
- Umfangreiche Voruntersuchungen ließen erkennen, dass mit Hilfe der Schwimm-Sink-Sortierung gute Voraussetzungen geschaffen werden, die o.g. Zielstellungen zu erfüllen.

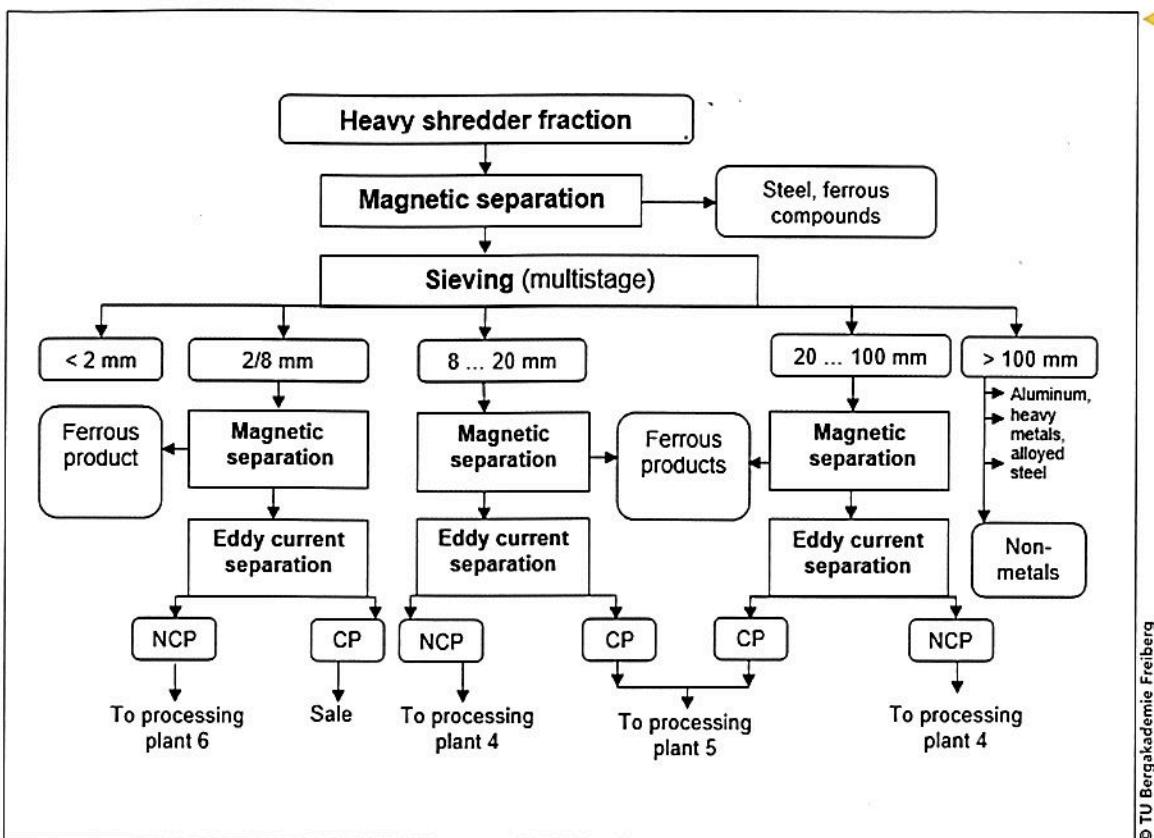
Die Schwimm-Sink-Sortierung, durchgeführt in einer Magnettrübe bei einer Trübedichte von  $r_T = 1,5 \text{ g/cm}^3$ , führt zu einem sehr metallarmen Schwimmgut. Bei der Sortierung der Stückgrößenklasse 5 – 20 mm ergeben sich Metallgehalte < 0,5%, in den größeren Stückgrößenklassen treten durch Verhakungen der Kupferdrähte etwas höhere Cu-Verluste auf. Der Gehalt an brennbaren Bestandteilen im Sinkgut liegt bei 10%. Durchgeführte Dichteanalysen zeigten, dass die im Sinkgut enthaltenen

Table 4: Recycling rates for end-of-life vehicle scrap (2018)

according to official definitions  
 Tabelle 4:  
 Verwertungsquoten für die Altfahrzeugschrotte (2018)

laut behördlicher Festlegungen

|  | Masseanteil [%]        |                           |
|--|------------------------|---------------------------|
|  | Stoffliche Verwertung  | Energetische Verwertung   |
|  | Percentage by mass [%] | Energy-route valorisation |
| Demontagebetriebe / vehicle dismantling company          | 7,5                    | -                         |
| Metalle (Stahl, NE-Metalle)<br>Metals (steel, NF metals) | 70,0 <sup>1)</sup>     | -                         |
| NE-Metalle, legierter Stahl<br>NF metals, alloyed steel  | 5,3                    | -                         |
| Deponieersatzbaustoff<br>landfill construction material  | 6,3                    | -                         |
| Kunststoffe<br>Plastics                                  | 0,8                    | -                         |
| Sekundärbrennstoff<br>Refuse-derived fuel                | -                      | 7,0                       |
| <b>Summe/ Total</b>                                      | <b>89,9</b>            | <b>96,9</b>               |



7 Process flow sheet for the processing plant for production of an Al/heavy-metal mixture, schematic CP – conductive product; NCP – non-conductive product  
7 Verfahrensfließbild der Aufbereitungsanlage für die Herstellung eines Al/Schwermetallgemisches, schematisch CP – leitfähiges Produkt; NCP – nichtleitfähiges Produkt

© TU Bergakademie Freiberg

Extensive preliminary tests indicated that float/sink sorting creates good preconditions for the attainment of the above-mentioned objectives.

Float/sink sorting performed in a magnetite medium at a density of  $r_T = 1.5 \text{ g/cm}^3$  supplies an extremely low-metals float fraction. Metal contents of  $< 0.5\%$  occur in sorting of the 5 to 20 mm particle-size class, while slightly higher Cu losses occur in the coarser particle-size classes as a consequence of „catching“ of copper wires. Combustible-constituent content in the sinks is close to 10 %. Density analyses indicated that the combustible constituents contained in the sinks were almost exclusively of a density of  $> 1.55 \text{ g/cm}^3$ . The very high separation intensity of the float/sink process was thus confirmed. The magnetite losses which occurred were definitively determined by the foam content in the floats product; losses of  $< 1 \text{ kg/t}$  are associated with the sinks. Technical implementation of the above-mentioned targets was accomplished in two separate systems, for the 5 to 20 mm and 20 to 100 mm particle-size classes. Figure 11 shows the process flow sheet for the 20 to 100 mm particle-size class. It proved possible to design the equipment for the 5 to 20 mm particle-size class rather more simply.

#### Processing Plant 5 – Float/sink sorting of the aluminium/heavy metal mixture

Float/sink sorting and automatic picking on the basis of X-ray transmission analysis are processes available for the sorting of aluminium/heavy metal mixtures. A two-stage float/sink sorting process was selected on the basis of the separation results obtained in commercial-scale studies using the two sorting processes, the desired throughput and potential use for other separation tasks (Figure 8).

brennbaren Bestandteile fast ausschließlich eine Dichte  $> 1.55 \text{ g/cm}^3$  besaßen. Damit bestätigte sich die sehr hohe Trennschärfe des Schwimm-Sink-Prozesses. Die aufgetretenen Magnetitverluste werden entscheidend durch den Schaumstoffgehalt im Schwimmprodukt bestimmt, mit dem Sinkgut sind Verluste von  $< 1 \text{ kg/t}$  verbunden. Die technische Umsetzung der vorgenannten Ziele erfolgte für die Stückgrößenklasse 5 – 20 mm und 20 – 100 mm in zwei getrennten Anlagen Bild 11 zeigt das Verfahrensfließbild für die Stückgrößenklasse 20 – 100 mm. Die Anlage für die Stückgrößenklasse 5 – 20 mm konnte in ihrem Ausrüstungsaufwand etwas einfacher gestaltet werden.

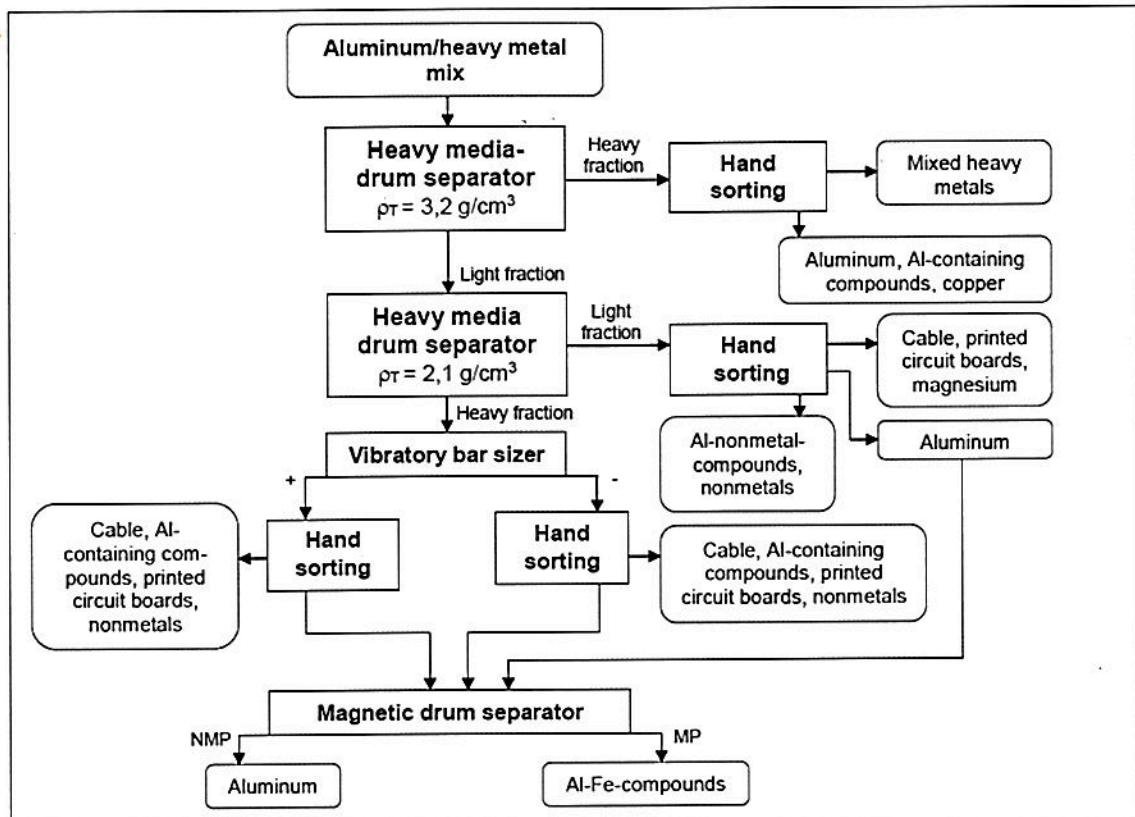
#### Aufbereitungsanlage 5 – Schwimm-Sink-Sortierung des Aluminium-Schwermetall-Gemisches

Für die Sortierung von Aluminium/Schwermetall-Gemischen bieten sich die Schwimm-Sink-Sortierung und die automatische Klaubung auf der Basis der Röntgentransmissionsanalyse an. Auf der Grundlage der mit beiden Sortierprozessen im Rahmen großtechnischer Untersuchungen erreichten Trennergebnisse, der geplanten Durchsätze und des möglichen Einsatzes für andere Trennaufgaben wurde eine zweistufige Schwimm-Sink-Sortierung gewählt (Bild 8).

Die erste Stufe erfolgt in einer FeSi-Schwertrübe mit einer Trübedichte von etwa  $3.2 \text{ g/cm}^3$ . Wird diese unterschritten, gelangen zu viel Aluminium und aluminiumhaltige Verbunde in das Sinkgut (Bild 9). Die FeSi-Verluste betragen 4 bis 6 kg/t, wovon ca. 85 % auf Anhaftungen sowie nicht bzw. nur teilweise entleerte Rohre und gefaltete Bleche zurückzuführen sind. Das entstehende Sinkgut wird nachfolgend

8 Process flow sheet for the float/sink machine for sorting of the Al/heavy-metals mixture, schematic  
 MP – magnetic product;  
 NMP – non-magnetic product

8 Verfahrensfließbild der Schwimm-Sink-Anlage für die Sortierung des Al/Schwermetall-Gemisches, schematisch  
 MP – magnetisches Produkt; NMP – unmagnetisches Produkt



© TU Bergakademie Freiberg

The first stage takes place in an FeSi dense medium with a medium density of around  $3.2 \text{ g/cm}^3$ . If this density is not attained, too much aluminium and aluminium-containing composites will be transferred into the sinks (Figure 9). FeSi losses amount to 4 to 6 kg/t, about 85 % being attributable to adhering fouling, as well as piping and folded sheet metal either not or only partially drained of liquids. The resultant sinks are then cleansed of aluminium and aluminium-containing composites and picked for copper, in order to achieve higher revenue. The product designated as „mixed metal“ consists of the remaining copper, brass, zinc, lead, alloyed steel and heavy-metal-containing composites. A magnetite suspension with a density of around  $2.1 \text{ g/cm}^3$  is a suitable medium for the second sorting stage. Magnetite losses are of the same order of magnitude as in the first stage. The resultant sinks (density class 2.1 to  $3.2 \text{ g/cm}^3$ ) are classified using a bar sizer, in order to facilitate downstream manual picking. A screen overflow to screen underflow ratio of around 2/3 to 1/3 by mass proved to be highly advantageous in terms of picking efficiency. The floats (density class up to  $2.1 \text{ g/cm}^3$ ) consist predominantly of Al/NF metal composites and non-metals, and also of free „fluidised“ Al malleable and cast alloys featuring corresponding open and closed cavities. The latter are sorted out manually and subjected to magnetic separation together with the „clean“ 2.1 to  $3.2 \text{ g/cm}^3$  density class. This supplies an Al product with a very low Fe content.

Analyses of the particle density of printed-circuit boards (PCBs) with no, with few and with many electronic components demonstrated that the PCBs have a broad density distribution (Figure 10). They are predominantly in the 2.1 to  $3.2 \text{ g/cm}^3$

von Aluminium und aluminiumhaltigen Verbunden befreit sowie auf Kupfer geklaubt, um höhere Erlöse gewinnen zu können. Das als Mischmetall ausgewiesene Produkt besteht aus dem restlichen Kupfer, aus Messing, Zink, Blei, legiertem Stahl sowie schwermetallhaltigen Verbunden.

Für die 2. Sortierstufe eignet sich eine Magnetitrübe mit einer Trübedichte von rd.  $2.1 \text{ g/cm}^3$ . Die Magnetitverluste liegen in der gleichen Größenordnung wie in der 1. Stufe. Das entstehende Sinkgut (Dichteklasse 2.1 –  $3.2 \text{ g/cm}^3$ ) wird mittels Stangensizer klassiert, um die nachfolgende Handklaubung zu erleichtern. Ein Masseverhältnis Siebüberlauf zu Siebdurchgang von etwa 2/3 zu 1/3 erwies sich hinsichtlich der Klaubeleistung als sehr vorteilhaft.

Das Schwimmigut (Dichteklasse –  $2.1 \text{ g/cm}^3$ ) besteht überwiegend aus Al/NE-Metall-Verbunden und Nichtmetallen, aber auch aus aufgeschlossen frei vorliegenden Al-Knet- und –Gusslegierungen mit entsprechenden offenen und geschlossenen Hohlräumen. Letztere werden von Hand aussortiert und gemeinsam mit der „sauberen“ Dichteklasse 2.1 bis  $3.2 \text{ g/cm}^3$  einer Magnetscheidung unterzogen. Diese liefert ein Al-Produkt mit einem sehr niedrigen Fe-Gehalt.

Untersuchungen zur Stückdichte von Leiterplatten ohne, mit wenigen und mit vielen Bauelementen ergaben, dass die Leiterplatten in einer breiten Dichteverteilung vorliegen (Bild 10). Überwiegend gelangen sie jedoch in die Dichteklasse 2.1 –  $3.2 \text{ g/cm}^3$ , so dass sie statt von Hand auch automatisch mit Hilfe einer Farb-CCD-Kamera geklaubt werden könnten.

**Aufbereitungsanlage 6 – Metallgewinnung aus den feinkörnigen, metallarmen, mineral-**

density class, however, with the result that they can also be picked automatically using a colour CCD camera, instead of manual picking.

### Processing Plant 6 – Recovery of metals from the fine-particle, low-metal, high-mineral, plastics-containing waste flows

Low-metals waste flows with greatly fluctuating mineral and organic component contents are produced in Processing Plants 3 and 4. The development of a process both suitable for this and, at the same time, cost-efficient, constituted an enormous challenge. This plant was, nonetheless, commissioned in December 2018. The process, developed in the course of many years, was ultimately patented in May 2019.

### Processing technology for plastics/rubber mixtures

The plastics/rubber mixtures produced in Processing Plant 4 contain 50 to 70 % plastics, 20 to 30 % rubber and 5 to 10 % wood. The Cl content of the mixture is between 1.5 and 3%, with both plastics (PVC etc.) and types of rubber containing chlorine. The calorific value of the mixture reaches figures of > 28 MJ/kg DM.

Before any activity for the further processing of the plastics/rubber mixtures is started, orientation points for sale of the high-chlorine products inevitably generated must be defined, since the recovery of a high-quality plastic (PP, PE, ABS, PS, etc.) and/or of a low-chlorine refuse-derived fuel (RDF) is necessarily linked to the accumulation of Cl in the remaining matter.

Automatic picking on the basis of X-ray transmission and float/sink sorting at a medium density of  $r_T = \text{approx. } 1.20 \text{ g/cm}^3$  is a route suitable for the production of a low-chlorine RDF. The resultant product (density class -1.20 g/cm<sup>3</sup>) could also be used as granulate in blast furnaces. Where the emphasis is on the recovery of high-quality plastics mixtures, only density separation at a medium density of  $r_T = 1.08 \text{ g/cm}^3$  could be considered up to now. Automated picking of the economically valuable plastics has not up to now been possible at a rational level of effort and expense, since these plastics are predominantly black when used in automotive applications.

### Overall result

It has been shown that the processing plants constructed in Espenhain have made it possible to overfulfill the recycling rates legally stipulated for end-of-life vehicles since 2015 (Table 4).

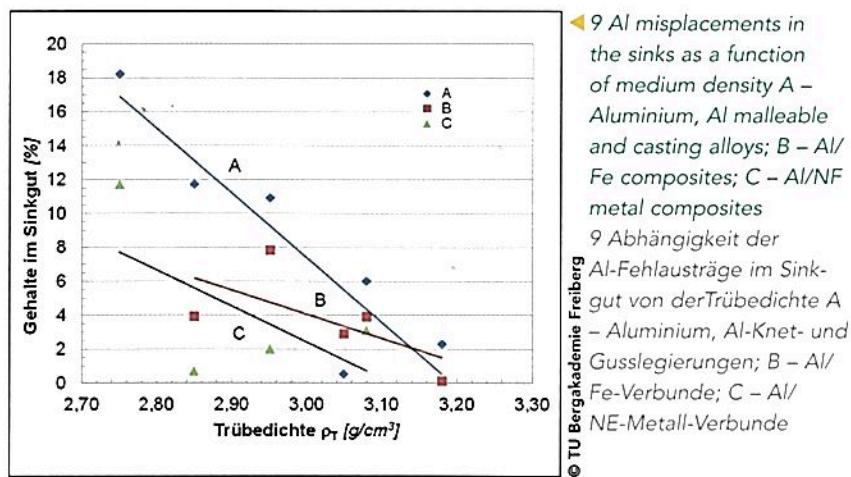
The extremely good results obtained are explained by the plant-engineering concepts selected, which

- permit an extremely high metals yield
- transfer the glass content of the end-of-life vehicles entirely to the mineral product and
- deliver a saleable refuse-derived fuel

Only around 3% by mass need to be counted as losses; in other words, the targets of the circular economy are met to a high degree.

### Future prospects

Recycling organisations are currently being confronted with ever more new challenges, thanks to increasing



◀ 9 Al misplacements in the sinks as a function of medium density A – Aluminium, Al malleable and casting alloys; B – Al/Fe composites; C – Al/NF metal composites

9 Abhängigkeit der Al-Fehlasträge im Sinkgut von der Trübedichte A – Aluminium, Al-Knet- und Gusslegierungen; B – Al/Fe-Verbunde; C – Al/NF-Metall-Verbunde

© TU Bergakademie Freiberg

### reichen und kunststoffhaltigen Abfällen

In den Aufbereitungsanlagen 3 und 4 entstehen metallarme Abfälle mit stark wechselnden Anteilen an Mineral- und Organik-Komponenten. Die Entwicklung eines dafür geeigneten, gleichzeitig wirtschaftlichen Aufbereitungsverfahrens stellte eine enorme Herausforderung dar. Im Dezember 2018 konnte die Aufbereitungsanlage in Betrieb genommen werden. Das über viele Jahre entwickelte Verfahren wurde schließlich im Mai 2019 patentiert.

### Aufbereitung der Kunststoff/Gummi-Gemische

Die in der Aufbereitungsanlage 4 entstehenden Kunststoff/Gummi-Gemische enthalten 50 bis 70% Kunststoffe, 20 bis 30% Gummi und 5 bis 10% Holz. Der Cl-Gehalt des Gemisches liegt zwischen 1,5 und 3%, wobei als Chlorträger sowohl Kunststoffe (PVC u.a.) als auch Gummisorten auftreten. Der Brennwert des Gemisches erreicht Werte > 28 MJ/kg TS.

Vor Beginn jeder Aktivität, die Kunststoff/Gummi-Gemische weiter aufzubereiten, müssen Ansatzpunkte für einen Absatz der zwangsläufig entstehenden chlorreichen Produkte bestehen, denn die Gewinnung eines hochwertigen Kunststoffs (PP, PE, ABS, PS u.a.) bzw. eines chlorarmen Sekundärbrennstoffs (SBS) ist mit einer Cl-Anreicherung im verbleibenden Rest verbunden.

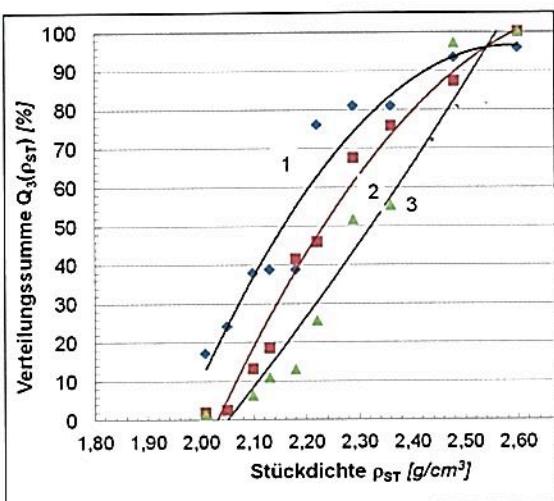
Für die Herstellung eines chlorarmen SBS bietet sich die automatische Klaubung auf der Basis der Röntgentransmission und die Schwimm-Sink-Sortierung bei einer Trübedichte von  $r_T = \text{ca. } 1,20 \text{ g/cm}^3$  an. Das entstehende Produkt (Dichteklasse -1,20 g/cm<sup>3</sup>) könnte auch als Hochofengranulat eingesetzt werden. Steht die Gewinnung hochwertiger Kunststoffgemische im Vordergrund, kommt bisher nur die Dichtetrennung bei einer Trübedichte von  $r_T = 1,08 \text{ g/cm}^3$  in Betracht. Die automatische Klaubung der ökonomisch wertvollen Kunststoffe gelingt bisher mit verträglichem Aufwand nicht, da diese in automobilen Anwendungen überwiegend eine schwarze Farbe besitzen.

### Gesamtergebnis

Es konnte gezeigt werden, dass mit den in Espenhain errichteten Aufbereitungsanlagen die seit 2015 für Altfahrzeuge gesetzlich geforderten

the  
ne  
A  
8  
fü  
Sc  
F

10 Particle-density distribution of printed-circuit boards with no (1), with few (2) and with many electronic components (3)  
10 StückdichteVerteilung der Leiterplatten ohne (1), mit wenigen (2) und vielen Bauelementen (3)



Verwertungsquoten übererfüllt werden können (Tabelle 4).

Die sehr guten Ergebnisse liegen in den gewählten Anlagenkonzeptionen begründet, die

- ein sehr hohes Metallausbringen ermöglichen
- den Glasinhalt der Altfahrzeuge vollständig in das mineralische Produkt überführen und
- einen absetzbaren Sekundärbrennstoff liefern

Nur rund 3 M.-% müssen als Verlust gerechnet werden, d. h. die Ziele der Kreislaufwirtschaft sind in hohem Maße erreicht worden.

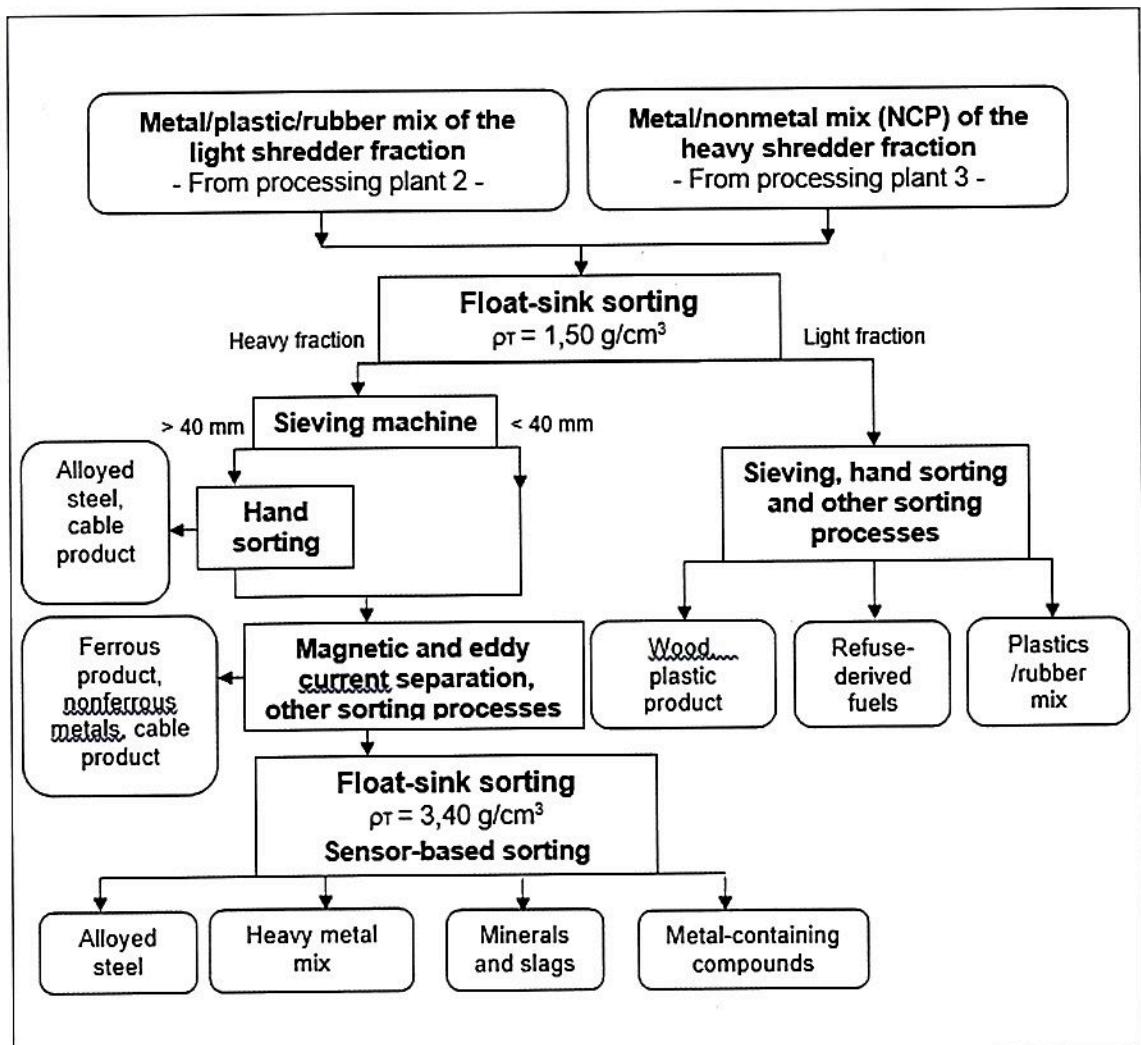
electromobility and the rising use of Li-ion batteries in numerous mobile devices and other equipment. The increasing use of carbon-fibre-reinforced plastics (CFRP) in automotive engineering, as well as their use in some cases as metal/CFRP composites, is generating new demands on comminution and sorting equipment, and, above all, on analytical methods. Scholz Recycling GmbH is pleased to face these challenges and has already initiated corresponding research into a number of the tasks requiring solution in the future.

### Ausblick

Durch die zunehmende Elektromobilität und den steigenden Einsatz von Li-Ionen-Batterien in vielen netzunabhängigen Geräten und Apparaten werden die Aufbereitungsbetriebe aktuell vor neue Herausforderungen gestellt. Besonders der verstärkte Einsatz von kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen (CFK) im Automobilbau und ihre teilweise Anwendung als Metall/CFK-Verbund führen zu neuen Anforderungen an die Zerkleinerungs- und Sortiertechnik, aber vor allem auch an die Analytik. Die Scholz Recycling GmbH stellt sich diesen Anforderungen und hat bereits mit entsprechenden Forschungsarbeiten zu einigen der künftig zu lösenden Aufgaben begonnen.

11 Process flow sheet for preparation of metal-containing, high-plastics waste flows, greatly simplified

11 Verfahrensfließbild für die Aufbereitung der metallhaltigen, kunststoffreichen Abfälle, stark vereinfacht



# Importance of secondary raw materials early recognized

Prof. Dr.-Ing. habil. em. Gert Schubert, TU Bergakademie Freiberg University of Resources, reaches 80

## Bedeutung der Sekundärrohstoffe früh erkannt

Prof. Dr.-Ing. habil. em. Gert Schubert,  
TU Bergakademie Freiberg, wurde 80

More than 50 years ago, Prof. Heinrich Schubert, director of the Institute of Mechanical Process Engineering and Mineral Processing (MVTAT) at the TU Bergakademie Freiberg University of Resources, recognised the great importance of the useful and recyclable materials found in scrap and metal-containing waste.

Logically enough, he initiated, as early as 1974, the establishment of a lectureship for „secondary resources“ at his institute. This field was further promoted during 1991/92 and from then on formed the core of research in the separate department of „Mineral Processing / Recycling“ at the Institute for MVTAT. Upon the retirement of Prof. H. Schubert in 1992, his pupil Gert Schubert, of the TU Bergakademie Freiberg University of Resources, was appointed professor and entrusted with the leadership of this department. He successfully continued the ongoing research work with Prof. Heinrich Schubert's process-orientated focus with great commitment and far-ranging detailed knowledge on, in particular, processes for breakdown comminution of metal-containing composite structures and the sorting of the material mixtures thus created. It was, not least of all, his practical, industrially orientated understanding, and the recognition that the recovery of secondary resources would gain even more importance in the future, that resulted in the fact that many of his test results could be directly implemented in industry in the form of new process developments. With more than fifty degree, bachelor's and masters theses, Prof. Gert Schubert shaped and promoted, in particular, cooperation with SCHOLZ Recycling GmbH Espenham, the results of which are today reflected in many large-scale facilities, both already implemented and also continuously further optimised, for the processing of even only slightly metal-containing mixed products. Even after his retirement, Prof. Gert Schubert continued to provide his knowledge to the company as a consultant, a function which he still performs.

We wish here, retrospectively, to sincerely congratulate Prof. Gert Schubert on his 80<sup>th</sup> birthday, to wish him all health and the continuation of his great creative powers for the benefit of science and industry. The prepended article, we trust, will shed more light on Prof. Gert Schubert's many scientific achievements.

Authors: Dr.-Ing. H.-Georg Jäckel; Dr. rer. nat. Brigitte Hoffmann

Vor mehr als 50 Jahren hat Prof. Heinrich Schubert als Direktor des Institutes für Mechanische Verfahrenstechnik und Aufbereitungstechnik (MVTAT) der TU Bergakademie Freiberg die große Bedeutung der in Schrotten und metallhaltigen Abfällen enthaltenen Wertstoffe erkannt.

Folgerichtig initiierte er schon 1974 die Einrichtung einer Dozentur „Sekundärrohstoffe“ in seinem Institut. In den Jahren 1991/92 wurde das Fachgebiet weiter aufgewertet und bildete fortan den Schwerpunkt der Forschung am separaten Lehrstuhl „Aufbereitungstechnik und Recycling“ des Institutes für MVTAT. Mit der Emeritierung von Prof. H. Schubert 1992 wurde dessen Schüler Gert Schubert von der TU Bergakademie als Professor berufen und mit der Leitung des genannten Lehrstuhls beauftragt. Mit großem Engagement und einem umfangreichen Detailwissen insbesondere zu den Prozessen der Aufschlusszerkleinerung metallhaltiger Verbundstrukturen sowie der Sortierung der entstandenen Werkstoffgemische führte er die Forschungsarbeiten im prozessorientierten Sinne Prof. Heinrich Schuberts erfolgreich fort. Nicht zuletzt sein praktisches, industrienahes Verständnis und die Erkenntnis, dass die Bedeutung der Gewinnung von Sekundärrohstoffen in Zukunft noch mehr zunehmen wird, führten dazu, dass außerordentlich viele seiner Versuchsergebnisse in Form von Verfahrensentwicklungen direkt in die Industrie umgesetzt werden konnten. Durch über 50 Diplom-, Bachelor- und Master-Arbeiten förderte Prof. Gert Schubert konzeptionell vor allem die Zusammenarbeit mit der SCHOLZ Recycling GmbH Espenham, deren Ergebnisse sich heute in vielen realisierten und ständig weiter optimierten Großanlagen zur Aufbereitung selbst geringfügig metallhaltiger Mischprodukte widerspiegeln. Auch nach seiner Emeritierung stellte Prof. Gert Schubert sein Wissen dem Unternehmen als Berater zur Verfügung und ist immer noch in dieser Funktion tätig.

Wir gratulieren nachträglich herzlich zu seinem achtzigsten Geburtstag, wünschen ihm beste Gesundheit und noch recht viel Schaffenskraft zum Wohle der Wissenschaft und der Wirtschaft. Der vorangestellte Beitrag möge ein Licht auf die wissenschaftliche Leistung von Prof. Gert Schubert werfen.

Autoren: Dr.-Ing. H.-Georg Jäckel; Dr. rer. nat. Brigitte Hoffmann