

## Ersatzbrennstoffe – Einsatzmöglichkeiten\*)

## Substitute Fuels – Potential Applications\*)

Combustibles de substitution – Utilisations possibles\*)

Posibilidades de utilización de combustibles de sustitución\*)

Von Prof. Dr.-Ing. Michael Beckmann, Weimar\*\*) und  
Prof. Dr.-Ing. Dr. H. c. Karl J. Thomé-Kozmienski, Neuruppin\*\*\*)

**Zusammenfassung** Der technische Einsatz von Ersatzbrennstoffen aus heizwertreichen Abfallfraktionen – vor allem aus der Behandlung von Siedlungsabfällen in mechanisch-biologischen Aufbereitungsanlagen – gewinnt sowohl aus wirtschaftlichen Gründen als auch wegen der Entsorgungssicherheit und des Umweltschutzes immer mehr an Bedeutung. Es müssen jedoch eine Reihe von Problemen gelöst werden, um eine möglichst breite und wirtschaftliche Anwendung zu erreichen. Der Beitrag befasst sich zunächst mit der Charakterisierung und der Erzielung bestimmter Qualitätsmerkmale der Ersatzbrennstoffe, die für eine erfolgreiche Nutzung erforderlich sind. Danach wird ihr Einsatz in konventionellen Kraftwerken, bei der Zementherstellung und in Monoverbrennungsanlagen unter Einbeziehung einiger Anlagenbeispiele in Deutschland beschrieben. Daraus werden Schlussfolgerungen für die weitere Qualitätsverbesserung und die Konkurrenzfähigkeit im Wettbewerb mit Regelbrennstoffen gezogen.

**Summary** The industrial application of substitute fuels derived from high-calorific waste fractions – especially from waste from human settlements treated in mechanical-biological processing plants – is becoming increasingly important for economic reasons as well as for reasons concerned with assured waste disposal and environmental protection. It is, however, associated with a number of problems that must be resolved to achieve a wide and cost-efficient application of these fuels. This paper begins by discussing the characterization and the achievement of certain quality characteristics of the substitute fuels, which are necessary for their successful application. Then their use in conventional power plants, in cement production and mono-combustion plants is described, with reference to selected examples in Germany. From this, conclusions are drawn with regard to further improvement of quality and competitiveness compared to market rivals in the form of standard fuels.

**Résumé** L'utilisation industrielle des combustibles de substitution en provenance de fractions de déchets à haut pouvoir calorifique – notamment par traitement des déchets urbains dans des installations de traitement mécano-biologique – prend de plus en plus d'importance, aussi bien pour des raisons économiques que de sécurité d'élimination et de protection de l'environnement. Une série de problèmes doivent toutefois être résolus pour assurer une utilisation dans la mesure du possible étendue et économique. L'article traite d'abord de la caractérisation et de l'obtention de propriétés de qualité déterminées nécessaires pour assurer une utilisation rationnelle des combustibles de substitution. Ensuite, il est donné une description de leur emploi dans les centrales thermiques traditionnelles, la fabrication du ciment et les installations d'incinération monocombustible à l'appui de quelques exemples d'installations en Allemagne. Des conclusions sont finalement tirées pour améliorer encore la qualité et la compétitivité par rapport aux combustibles standard.

**Resumen** La utilización técnica de combustibles de sustitución provenientes de fracciones residuales con un elevado valor calorífico – sobre todo del tratamiento de residuos urbanos en instalaciones de preparación mecánico-biológicas – cobra cada vez más importancia tanto por razones económicas como también debido a su seguridad de eliminación y a la protección del medio ambiente. No obstante, para conseguir una aplicación lo más extensa y económica posible deben solucionarse una serie de problemas. El artículo trata, en primer lugar, la caracterización y el alcance de determinadas características de calidad de los combustibles de sustitución que son necesarios para su utilización exitosa. Posteriormente se procede a describir su empleo en centrales eléctricas convencionales, en la fabricación de cemento y en instalaciones de monoincineración, incluyendo algunos ejemplos de instalaciones en Alemania. De ello se derivan las conclusiones para una ulterior mejora de la calidad y la competitividad en comparación con los combustibles normales.

### 1. Einführung

Das Interesse der Hersteller und Abnehmer von Ersatzbrennstoffen (EBS) an günstigen Vermarktungsmöglichkeiten einerseits und einem wirtschaftlichen Einsatz dieses Substitutionsproduktes für Regelbrennstoffe andererseits ist als Folge der Technischen Anleitung Siedlungsabfall stark gestiegen. Der Gesetzgeber verlangt, dass Siedlungsabfälle so weit wie möglich verwertet werden (KrW-/AbfG) und der Rest (Restabfälle) vor der Ablagerung

### 1. Introduction

In Germany, the interest of the producers and buyers of substitute or waste-derived fuels (WDF) in lucrative sales possibilities on the one hand and cost-efficient application of this substitute for standard fuels on the other hand has risen steeply as a consequence of the coming into effect of the Technische Anleitung Siedlungsabfall (TASI – Technical Instructions on Waste from Human Settlements). German law demands that as much as pos-

\*) Teil des Vortrags „Das Ersatzbrennstoffproblem – Aufkommen, Charakterisierung und Einsatz –“ auf der Berliner Abfallwirtschaftskonferenz am 22. und 23.11.2005 [1, 2]

\*\*) Bauhaus-Universität Weimar, Fakultät Bauingenieurwesen, Lehrstuhl für Verfahren und Umwelt (www.uni-weimar.de/Bauing)

\*\*\*) TK Verlag Karl Thomé-Kozmienski, Neuruppin (www.vivis.de)

\*) Part of the paper "The Substitute Fuel Problem – Volume, Characterization and Applications" presented at the Berlin Waste Management Conference on 22./23.11.2005 [1, 2]

\*\*) Bauhaus University of Weimar, Faculty for Civil Engineering, Chair of Process and Environmental Engineering (www.uni-weimar.de/Bauing)

\*\*\*) TK Verlag Karl Thomé-Kozmienski, Neuruppin (www.vivis.de)

behandelt wird. Bei der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung fallen heizwertangereicherte Fraktionen an, die als Ersatzbrennstoffe (EBS) verwertet werden sollen. Mit der technischen Erprobung der EBS auf verschiedenen Anwendungsgebieten treten aber immer neue Probleme auf, die gelöst werden müssen, um die gewünschten Effekte in wirtschaftlicher und umweltpolitischer Hinsicht zu erreichen. Eine umfassende Charakterisierung, die Festlegung anwendungsspezifischer Qualitätsparameter und die gezielte Herstellung von EBS mit ganz bestimmten Eigenschaften sind also Voraussetzungen für eine erfolgreiche Etablierung dieses Substitutionsproduktes auf dem Ersatzbrennstoffmarkt. Die Charakterisierung von EBS und Erfahrungen bei ihrem Einsatz in verschiedenen technischen Anlagen sind Gegenstand dieses Beitrags.

## 2. Charakterisierung von Ersatzbrennstoffen

Die Analysenmethoden für Regelbrennstoffe lassen sich nur eingeschränkt auf EBS übertragen. Entwicklung, Erprobung und Normung von Methoden zu ihrer Charakterisierung sind daher ein wichtiges Forschungsgebiet, dem sich eine Reihe von Arbeitsgruppen auf nationaler Ebene und innerhalb der Europäischen Kommission widmen. Wichtig ist bei diesen Arbeiten neben der Standardisierung die Beschreibung der Wechselwirkung zwischen definierten Parametern und dem Verhalten der EBS in verschiedenen Feuerungen. Daraus lassen sich die Anforderungen – d. h. die Qualitätsparameter – für den jeweiligen Einsatz ableiten. In Abhängigkeit von den Eigenschaften und brennstofftechnischen Kriterien eines Brennstoffes kann dieser in eine entsprechende Systematik eingeordnet werden.

Für den Einsatz fossiler Brennstoffe – Kohle, Erdöl, Erdgas usw. – in industriellen Hochtemperaturverfahren wie dem Brennen von

sible of the waste from human settlements is utilized (KrW-/AbFG – Act for Promoting Closed Substance Cycle Waste Management and Ensuring Environmentally Compatible Waste Disposal) while the rest (residual waste) must be treated prior to storage. In mechanical-biological waste treatment, fractions with a concentrated calorific value are produced, which are intended for use as substitute, i.e. waste derived fuels (WDF). In industrial trials with WDFs in various applications, new problems are constantly arising, which must be resolved to achieve the desired effects in economic and environmental protection terms. Comprehensive characterization, the definition of application-specific quality parameters and the selective production of WDFs with specific properties therefore constitute the preconditions for the successful establishment of this substitute product on the substitute fuels market. The characterization of WDFs and experience with their use in various industrial facilities are the subject of this paper.

## 2. Characterization of Waste-Derived Fuels

The analysis methods for standard fuels can only be applied to WDFs to a limited extent. The development, testing and standardization of methods for WDF characterization therefore represent an important area of research, which is addressed by a number of working groups on national level and within the European Commission. In addition to standardization, another important aspect of their work is the description of the interaction between defined parameters and the behaviour of the WDF in various firing systems. From this description, the requirements – i.e. the quality parameters – for the respective application can be derived. Depending on the properties and fuel-related criteria of the fuel, this can be classified in an appropriate system.

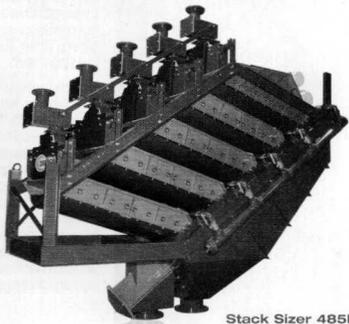
# The Most Efficient, Highest Capacity Wet Sizing Screen In The World

## The Derrick Stack Sizer™ – Fine Mineral Sizing from 6,2 mm to 75 Microns

*The Stack Sizer, a patented high volume wet sizing screen with up to five screen decks, offers mineral producers both high capacity and high separation efficiency within a relatively small footprint.*

*Over 200 Stack Sizer units have been sold throughout the world into a variety of applications for both ferrous and non-ferrous minerals. The Stack Sizer, coupled with Derrick's urethane screen surface technology, offers an extremely economical alternative to hydraulic classifiers, hydrocyclones, and less efficient low volume wet screening systems.*

*Derrick patented polyurethane screen surfaces, with openings as fine as 75 microns (200 mesh), typically last 6 to 12 months in abrasive duty.*



Stack Sizer 485R

**DERRICK**<sup>®</sup>  
CORPORATION

590 Duke Road • Buffalo, New York 14225  
Phone: (716) 833-3010 • Fax: (716) 833-4991  
E-mail: info@derrickcorp.com • www.derrickcorp.com

ACHEMA 2006  
Hall: 6.0 Stand F9-F10



## TREFFEN SIE DIE EXPERTEN

### 15 Jahre Schüttgut-Tag

Fachtagung, Vorträge und Branchentreff.  
Für alle Bereiche der Schüttgutindustrie.  
Aus der Praxis für die Praxis.

## 15. Schüttgut-Tag Wiesbaden

# 21./22.09.2006

Informieren Sie sich unter:

[www.schuettguttag.de](http://www.schuettguttag.de)

Zementklinker oder im Bereich der Energieumwandlung in Kraftwerksanlagen liegen umfangreiche Untersuchungen und Erfahrungen zur Optimierung der Prozessführung vor. Dabei konnten den einzelnen Prozessen entsprechende Kriterien zugeordnet werden, die die brennstofftechnischen Eigenschaften beschreiben und sich wie folgt unterteilen lassen (z. B. [3]):

- Chemische Eigenschaften:
  - Anteil an Brennbarem
  - Anteil an Unbrennbarem (Asche- und Wassergehalt)
  - Gehalt an H, C, O, N (Elementaranalyse)
  - Spurenbestandteile (Schwermetalle, Cl, P, S)
  - Anteil an gebundenem (fixem) C
  - Gehalt an Flüchtigen Bestandteilen
- Mechanische Eigenschaften:
  - Dichte des Brennbaren und des Unbrennbaren
  - Schüttguteigenschaften (Schüttdichte, und -winkel, Fließfähigkeit)
  - Mahlbarkeit
  - Korngrößenverteilung
  - Lagerfähigkeit und Flugfähigkeit (Fluidität)
- Kalorische Eigenschaften:
  - Heizwert und Brennwert
  - Spezifischer Mindestluftbedarf
  - Spezifische Mindestabgasmenge
  - Adiabatische Verbrennungstemperatur
  - Wärmekapazität, Wärme- und Temperaturleitfähigkeit
- Reaktionskinetische Eigenschaften:
  - Zünd- und Ausbrandverhalten
  - Korrosionspotenzial

Die Ermittlung der chemischen Eigenschaften lässt sich ohne weiteres auf EBS übertragen, wobei hier eine weitere Unterteilung des Brennbaren in Kunststoffe mit hohem Gehalt an Flüchtigen Bestandteilen und in sonstige organische Materialien sinnvoll ist. Das ist z. B. für Vergleichsvergleiche oder Prozessoptimierungen von Bedeutung.

Bei den mechanischen Eigenschaften sind die Schüttgutmerkmale wichtig, da sie Transport, Zuführung und Zwischenlagerung in unterschiedlichen Bunkersystemen stark beeinflussen (u. a. Anbackungen, Agglomeration). Auch hier ist eine Übertragbarkeit auf EBS möglich.

Die reaktionstechnischen Eigenschaften sind eng mit dem Zünd- und Ausbrandverhalten verbunden und somit ein wichtiges Kriterium für den Einsatz dieser Brennstoffe. Das Zünd- und Ausbrandverhalten ist von einer Reihe von Parametern (Tabelle 1) abhängig. Ebenso lässt sich das Korrosionspotenzial nicht durch eine Größe allein ausdrücken, sondern ist ein Summenparameter, der durch die chemischen, mechanischen und kalorischen Eigenschaften beeinflusst wird (z. B. [4]). Die Lagerfähigkeit ist eine weitere Einflussgröße, die eng mit den reaktionstechnischen Eigenschaften zusammenhängt und somit auch entsprechend betrachtet werden muss.

Bei der Beurteilung der Eigenschaften eines Brennstoffes sind selbstverständlich die jeweiligen prozesstechnischen Randbedingungen einzubeziehen, d. h., bestimmte Kriterien werden immer im Zusammenhang mit dem Einsatzgebiet, dem technischen Prozess und den jeweiligen Apparaten festgelegt.

Für EBS müssen die entsprechenden Charakterisierungsmethoden und Bewertungskriterien von denen für unterschiedliche Primärbrennstoffe abgeleitet und z. T. neu formuliert und entwickelt werden. Bei den chemischen, mechanischen und kalorischen Eigenschaften gibt es in dieser Hinsicht erste Erfolge. Schwierig sind im Vergleich dazu die Ermittlung reaktionstechnischer Parameter und die Ableitung entsprechender Kriterien. Auf nationaler Ebene haben die Arbeiten der Gütegemeinschaft für Sekundärbrennstoffe und Recyclingholz e.V. (z. B. [5]) einen wesentlichen Beitrag zur Erarbeitung einheitlicher Methoden der Probenahme, Analytik und Festlegung von Richtwerten für umweltrelevante Para-

Nutzen Sie unsere Erfahrung in der Schüttgut-Lagertechnik



## Kies-/Schotter- Siloanlagen



SIT-Reihen-Siloanlagen werden überall dort eingesetzt, wo unterschiedliche Kornfraktionen zu lagern oder aufzubereiten sind.

Wir bauen seit vielen Jahren Norm-Silos in geschraubter oder geschweißter Ausführung mit unterschiedlichsten Konus-/Neigungen, bis zu ca. 1000 m<sup>3</sup> Inhalt.

Sprechen Sie einmal mit uns und fragen Sie auch nach detaillierten Unterlagen.

**SILOBAU-THORWESTEN** GmbH · D-59269 Beckum  
Daimiering 39 · Telefon 02521/9333-0 · Fax 02521/9333-33  
[www.thorwesten.com](http://www.thorwesten.com) · [sit@thorwesten.com](mailto:sit@thorwesten.com)

With regard to the use of fossil fuels – coal, mineral oil, natural gas, etc. – in high-temperature industrial processes, e.g. the firing of cement clinker, or in energy conversion in power plants, comprehensive studies and experience are available on process optimization. Criteria could be assigned to the individual processes, which describe the fuel properties and can be subdivided as follows (e.g. [3]):

- Chemical properties:
  - Content of combustible matter
  - Content of non-combustible matter (ash and water content)
  - Content of H, C, O, N (elemental analysis)
  - Traces (heavy metals, Cl, P, S)
  - Content of combined (fixed) C
  - Content of volatile constituents
- Mechanical properties:
  - Density of the combustible and non-combustible matter
  - Bulk solids properties (bulk density, and angle of repose, flowability)
  - Grindability
  - Particle size distribution
  - Storage properties and dispersability (fluidity)
- Calorific properties:
  - Heating value and calorific value
  - Specific minimum air requirement
  - Specific minimum flue gas amount
  - Adiabatic combustion temperature
  - Thermal capacity, thermal conductivity and temperature diffusivity
- Reaction kinetics properties:
  - Ignition and burnout behaviour
  - Corrosion potential

The determination of the chemical properties can be easily applied to WDFs. In this context, a further subdivision of the combustible matter into plastics with a high content of volatile constituents and into other organic materials is sensible. That is important, for example, for process comparisons or process optimizations.

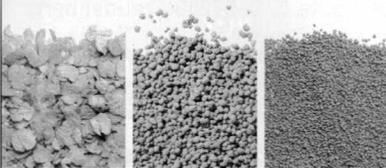
With regard to the mechanical properties, the bulk solids properties are particularly important as they have a considerable influence on transport, feeding and intermediate storage in different bin systems (e.g. in respect of caking and agglomeration). Here too, it is possible to apply these to WDFs.

The reaction-related properties are closely connected with the ignition and burnout behaviour and therefore represent an important criterion for the application of these fuels. The ignition and burnout behaviour is dependent on a number of parameters (Table 1). In the same way, the corrosion potential cannot be expressed by one value alone, but constitutes a cumulative parameter influenced by the chemical, mechanical and calorific properties (e.g. [4]). Storability is another parameter that is closely associated with the reaction-related properties and therefore must be taken into consideration appropriately.

In an evaluation of the properties of a fuel, the relevant process conditions must, of course, also be taken into account – i.e. certain criteria are always defined in connection with the respective application, the industrial process and the respective equipment. For WDFs, the corresponding characterization methods and evaluation criteria must be derived from those for various primary fuels and, in certain instances, newly formulated or developed. For the chemical, mechanical and calorific properties, initial successes have been achieved in this respect. Difficult in comparison is the determination of the reaction-related parameters and the derivation of corresponding criteria. On a national level, the work of the Gütegemeinschaft für Sekundärbrennstoffe und Recyclingholz e.V., that is the German Quality Association for Secondary Fuels and Recycled Wood Regd, (e.g. [5]), has made an important contribution to elaborating uniform methods for

## Your bulk goods in best hands.

Drying, cooling, fractionating.



### Fluidised-bed driers

Foodstuffs, chemical and pharmaceutical products, mineral substances, processes such as drying, cooling, agglomeration, granulating, coating

### Drum driers

Mineral and organic substances such as sand, clay, limestone, fertilizers, animal food, waste material processing



### Tumbler screening machines

Powders, finest goods of all types, granules, products which are difficult to screen



### Vibration screening machines

Wet and dry goods, protective and control screening, dewatering

### Vibratory conveyors

Vibratory conveyors and vibratory screener, open or dust-tight designs for dry bulk solids of all types

Achema  
hall 6  
stand F 18 - F 21



ALLGAIER WERKE GmbH

Ulmer Straße 75  
73066 UHINGEN  
Germany

phone +49 7161 301-353  
fax +49 7161 34268

# ALLGAIER

www.allgaier.de  
trockner@allgaier.de  
siebtechnik@allgaier.de

# AJOtec

AJO tec GmbH  
Silberkaute 5, D-57258 Freudenberg

Tel.: +49 - (0) 27 34 - 50 60, Fax: +49 - (0) 27 34 - 50 6-20

E-Mail: ajotec@ajotec.com

Ihr Partner für Silotechnik  
seit mehr als 40 Jahren

## Nutzen Sie unsere Erfahrung im Silobau...

von der Lieferung einzelner  
Anlagenkomponenten bis hin zur  
schlüsselfertigen Siloanlage,  
ob Anlagenerweiterung  
oder Umbau

- verschraubte Silos für Steine und Erden bis zu einem Volumen von 3.000 m<sup>3</sup>
- geschweißte Silos für Stäube
- Großraumsilos mit Drehbrückentechnik für schwerfließende Produkte



## EMDE

WUTRA

### Kompetenz in Schüttgut

- ▶ WUTRA Becherwerke für leistungsfähigen Vertikaltransport
- ▶ EMDE Trog- und Rohrförderschnecken zum staubdichten Materialtransport
- ▶ Kontinuierlich Mischen, Anfeuchten, Agglomerieren usw. mit EMDE Doppelschneckenmischern
- ▶ Absperren, Austragen und Verteilen mit EMDE Flachschiebern, EMDE Zellenradschleusen und Verteilerweichen
- ▶ Ex-geschützte Anlagen nach Richtlinie 94/9/EG für den Staub- und Gas-Ex-Bereich
- ▶ Schlüsselfertige Förder- und Dosieranlagen



EMDE Industrie-Technik GmbH • Lüpfitzer Str. 24c • D-04808 Wurzen  
Tel.: +49 (0) 34 25-81 98-0 • Fax: +49 (0) 34 25-81 98-11 • www.emde.de

Tabelle 1: Typische Zusammensetzung einer Fettkohle und eines EBS  
Steinkohle mit 1.260° C (ET) und 1.400° C (FT)  
erheblich höher

Parameter	Fettkohle	EBS
Feuchtigkeit [Gew.-%]	1,1	22,5
Flüchtige Bestandteile [% Tr.]	35,6	75,82
gebundener Kohlenstoff [% Tr.]	52,3	9,7
Asche [% Tr.]	9,1	14,52
freier Kohlenstoff [% Tr.]	73,5	39,03
Wasserstoff [% Tr.]	4,65	6,37
Stickstoff [% Tr.]	1,33	0,95
Schwefel [% Tr.]	0,99	0,11
Sauerstoff [% Tr.]	10,61	39,02
Chlor [ppm]	<0,5	1.500
unterer Heizwert h <sub>u</sub> [MJ/kg]	28,67	9,23

meter geleistet. Aber auch in der EU bestehen Bemühungen im Rahmen der Arbeitsgruppe CEN/TC 343 Solid Recovered Fuels. Diese betreffen Festlegungen zu folgenden Problemfeldern, die von entsprechenden Arbeitsgruppen (working groups, WG) bearbeitet werden:

- Terminologie,
- Klassifizierung, Spezifizierung,
- Beschreibung von Probenahmeverfahren,
- physikalische einschließlich mechanische Tests,
- chemische Tests.

Mit der Fertigstellung der technischen Spezifikationen und der Abstimmung mit den nationalen Normungseinrichtungen wird Mitte bis Ende 2006 gerechnet.

Aufgabe der Terminologie ist die Definition sowie die Beschreibung von Anforderungen an die Qualität von EBS – eine Voraussetzung für ihre gezielte Herstellung und Vermarktung. Grundlage für die Beschreibung der Qualität von EBS ist das durch die entsprechende WG erarbeitete Klassifikationsschema. Für die grobe Klassifizierung werden gemäß dem derzeitigen Stand drei Parameter herangezogen: Heizwert, Cl- und Hg-Gehalt. Für diese sind fünf Klassen vorgesehen. Darüber hinaus sind Angaben zur Herstellung der EBS, zur Partikelform und -größe sowie zum Gehalt an Wasser, Asche und Schwermetallen entsprechend der Abfallverbrennungsrichtlinie zu machen.

Wesentlich für die genaue Bestimmung der brennstofftechnischen Eigenschaften von EBS sind eine einwandfreie Probenahme und -aufbereitung. Es ist eine repräsentative Probe von wenigen Milligramm bis Gramm < 200 µm erforderlich. (WG „Probenahme, Probenaufbereitung und zusätzliche Testmethoden“).

Die eigentlichen Untersuchungsmethoden werden in den zwei WG „Physikalische einschließlich mechanische Tests“ und „Chemische Tests“ erarbeitet. Im Einzelnen sind das Methoden zur Bestimmung

- physikalischer einschließlich mechanischer Parameter
  - o Heizwert
  - o Gehalt an flüchtigen Bestandteilen
  - o Aschegehalt
  - o Wassergehalt
  - o Ascheschmelzverhalten
  - o Korngröße und Korngrößenverteilung
  - o Schüttdichte
  - o Dichte und Festigkeit von Pellets und Briketts
- und
- chemischer Parameter
  - o Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>
  - o Spurenanalyse
  - o Gehalt an S, Cl, F, Br
  - o Elementaranalyse (C, H, N).

Table 1: Typical composition of a fat coal and a WDF  
 Coal much higher with 1,260° C (ET) and 1,400° C (MP)

Parameter	Fat coal	WDF
Moisture content [wt %]	1.1	22.5
Volatile constituents [% dry]	35.6	75.82
Combined carbon [% dry]	52.3	9.7
Ash [% dry]	9.1	14.52
Free carbon [% dry]	73.5	39.03
Hydrogen [% dry]	4.65	6.37
Nitrogen [% dry]	1.33	0.95
Sulphur [% dry]	0.99	0.11
Oxygen [% dry]	10.61	39.02
Chlorine [ppm]	<0.5	1.500
Net calorific value $h_u$ [MJ/kg]	28.67	9.23

sampling, analysis and definition of standard values for environmentally relevant parameters. But in the EU too, efforts are being made in the scope of the working group CEN/TC 343 Solid Recovered Fuels. These concern definitions regarding the following problems, which are addressed by appropriate working groups (WG):

- terminology,
- classification, specification,
- description of sampling processes,
- physical, including mechanical tests,
- chemical tests.

Completion of the technical specifications and harmonization with national standards institutes is expected by the middle to the end of 2006.

The objective of the terminology is the definition and description of the quality requirements for WDFs – a precondition for their selective production and marketing. The basis for describing the quality of WDFs is the classification scheme elaborated by the relevant WG. For rough classification, three parameters are currently used: calorific value, Cl and Hg content. Five classes have been defined for these parameters. In addition, details must be specified on the production of the WDF, the particle shape and size, and the content of water, ash and heavy metals in compliance with the directive on waste combustion.

Important for the accurate determination of the fuel properties of WDFs are effective sampling and sample preparation. A representative sample of a few milligrams to a gram < 200 µm is necessary (WG "Sampling, Sample Preparation and Additional Test Methods").

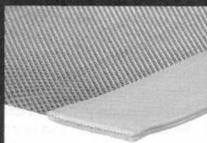
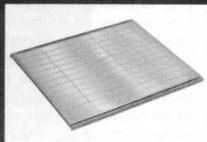
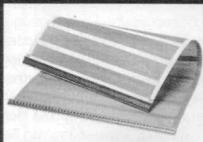
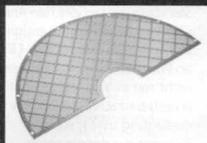
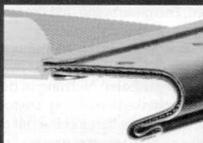
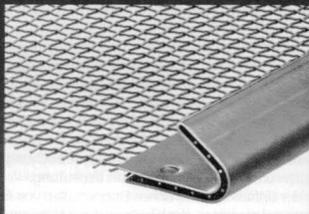
The actual test methods are elaborated in two WGs "Physical, including mechanical tests" and "Chemical tests". In detail, the methods are for the determination of:

- physical including mechanical parameters
  - o calorific value
  - o content of volatile constituents
  - o ash content
  - o water content
  - o ash fusibility
  - o particle size and particle size distribution
  - o bulk density
  - o density and strength of pellets and briquettes

and

- chemical parameters
  - o Al<sup>±0</sup>
  - o trace analysis
  - o content of S, Cl, F, Br
  - o elemental analysis (C, H, N).

# Industriesiebe, Siebrahmen und Spannservice für Siebmaschinen aller Art



## HAVER & BOECKER

Drahtweberei und Maschinenfabrik  
 Engerlöhner Straße 64 • D-59302 OELDE  
 Tel.: +49 (0) 25 22-300 • Fax: +49 (0) 25 22-30 404  
 E-Mail: [dw@haverboecker.com](mailto:dw@haverboecker.com)  
 Internet: [www.haverboecker.com](http://www.haverboecker.com)

Auch wenn mit diesen Merkmalen die Eigenschaften von Brennstoffen – also auch von EBS – größtenteils beschrieben werden, reichen sie alleine für eine umfassende brennstofftechnische Charakterisierung nicht aus. Gerade im Hinblick auf eine Mitverbrennung müssen zusätzliche Kenngrößen für die Charakterisierung der reaktionstechnischen Eigenschaften im Zusammenhang mit dem Einfluss auf die jeweilige Prozessführung ermittelt werden. Daher stellt das Klassifikationssystem zunächst einen wichtigen Ansatz dar; es muss aber in Verbindung mit den Erfahrungen beim Einsatz von EBS und weiteren Charakterisierungsmethoden bezüglich der reaktionstechnischen Kenngrößen ergänzt werden. Die Untersuchung der reaktionskinetischen Eigenschaften von EBS steht zurzeit noch am Anfang. Zu nennen sind hier Methoden und Apparaturen wie der Verschlackungsreaktor [3], die thermogravimetrische Analyse [6, 7], Batch-Reaktoren (z. B. [8, 9]) und Zündreaktoren [3]. Des Weiteren sind Untersuchungen zum Mahlverhalten und zur Flugfähigkeit von Bedeutung. Wichtig ist auch der Einfluss der kalorischen Eigenschaften von EBS auf den Mitverbrennungsprozess, der bereits jetzt mit Hilfe vereinfachter, für die Praxis tragfähiger, mathematischer Modelle mit den Wechselwirkungen der Haupteinflussgrößen deutlich gemacht werden kann [10]. Darüber hinaus können zusätzliche Überlegungen hinsichtlich einer Prozessoptimierung oder aber auch zur Energieerückgewinnung auf der Basis der Bilanzierung von Feuerungen und Industrieöfen angeschlossen werden (z. B. [11]). Berücksichtigt werden muss weiterhin das Potenzial einer Anpassung der Prozessführung in den für den Einsatz von EBS vorgesehenen Prozessen der Grundstoffindustrie und des Energiewandlungsbereiches.

### 3. Einsatz von Ersatzbrennstoffen

EBS sollen Regelbrennstoffe ersetzen, d. h. der Anwendungsprozess soll dabei hinsichtlich Produktionsleistung, Produktqualität, Standzeit der technischen Anlagen, Energieaufwand und der Emission von Schadstoffen möglichst nicht verändert werden. Der mit dem Einsatz von EBS verbundene Nutzen – Einsparung an Primärenergie, Verminderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen usw. – darf nicht nur in Verbindung mit der unmittelbaren Nutzung in dem jeweils betrachteten Prozess (Zementklinkerherstellung, Energieerzeugung usw.), sondern muss vielmehr in Verbindung mit der Bilanzierung der gesamten Verfahrenskette bewertet werden (z. B. [12, 13]). Bisher erfolgten dazu weitgehend nur theoretische Betrachtungen auf der Basis von Planungsdaten für die Erzeugung von heizwertangereicherten Fraktionen (HWRV) verschiedener mechanisch-biologischer Aufbereitungskonzepte und der möglichen Mitverbrennung der HWRV, z. B. in Kraft- oder Zementwerken. Es müssen jedoch – wie bei den Kosten – die tatsächlichen Umweltauswirkungen bei der Erzeugung von EBS durch weitere Aufbereitung, Zwischenlagerung, Behandlung von Restfraktionen usw. überprüft und bewertet werden. Im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen für die Mitverbrennung von EBS in den nachfolgend aufgeführten Anlagen stellen die Bilanzen zunächst für die chemischen Eigenschaften, besonders für die Schwermetallgehalte, eine wesentliche Grundlage dar. Anhand von Stoffflussanalysen, bei denen u. a. mit Transferfaktoren die Verteilung der Schadstoffe in die Umwelt – Abgas, Produkt, Abwasser und Reststoffe – ermittelt wird, werden durch die Bundesgemeinschaft Sekundärbrennstoffe e.V. (BGS) [14] und durch die Landesregierung Nordrhein-Westfalen [13] Spezifikationen für Schwermetallgehalte in EBS für die Mitverbrennung in verschiedenen Anlagen angegeben. Die Transferfaktoren werden aus der Betrachtung einer Vielzahl von gleichen oder ähnlichen Rohstoffen oder Anlagen gebildet. Sie besitzen daher die Eigenschaft eines Mittelwertes und sind nur für Überschlagsrechnungen geeignet. Mit Transferfaktoren können keine Bilanzierungen an konkreten Anlagen durchgeführt werden, da sich dabei Widersprüche ergeben können. Aus der Untersuchung des Verbrennungsverhaltens von Abfällen ist bekannt, dass lokale

Even if the properties of fuels – i.e. also of WDFs – can be described to a large extent with these characteristics, they are not sufficient for comprehensive fuel characterization. Particularly with regard to co-combustion, additional characteristics must be determined for the characterization of the reaction-related properties in conjunction with their influence on the respective process. For this reason, the classification system represents an important starting point; it must, however, be supplemented with findings from experience with the use of WDFs and other characterization methods for reaction-related properties. The study of the reaction kinetic properties of WDF is still only at the beginning. Worth mentioning in this context are methods and equipment such as slagging reactors [3], thermogravimetric analysis [6, 7], batch reactors (e.g. [8, 9]) and ignition reactors [3]. Studies on grinding behaviour and dispersability are also important. The influence of the calorific properties of WDF on the co-combustion process is also significant, which can already be illustrated with the help of simplified, practicable mathematical models based on the interactions of the main influencing variables [10]. Additional considerations in respect of process optimization or also energy recovery on the basis of the balancing of firing systems and industrial kilns and furnaces could be added (e.g. [11]). The potential of the adaptation of the process control in the processes of the basic industry and the energy conversion sector considered for the use of WDF should also be taken into account.

### 3. The Use of Substitute Fuels

WDFs are designed to substitute standard fuels, i.e. the application processes should remain as far as possible unchanged in respect of production rate, product quality, service lifetime of the industrial equipment, energy requirement and the emission of pollutants.

The benefit associated with the use of WDFs – saving of primary energy, reduction of the CO<sub>2</sub> emissions, etc. – should not only be evaluated in connection with their direct use in the specific process in question (cement clinker production, energy generation, etc.), but far more in the context of the balance for the entire process chain (e.g. [12, 13]). Up to now, there were largely only theoretical considerations on the basis of planning data for the production of high-calorific fractions (HCF) based on various mechanical-biological processing concepts and the possible co-combustion of HCF, e.g. in power plants or cement works. However – as for the costs – the actual environmental impact of WDF production as a result of further processing, intermediate storage, treatment of residual fractions, etc. must be examined and evaluated.

In respect of the definition of requirements for the co-combustion of WDF in the plants described below, the balances for the chemical properties, especially for the heavy metal content, provide an important basis. On the basis of material flow analyses, in which e.g. with transfer factors the distribution of pollutants in the environment – waste gas, product, waste water and residual materials – is determined, the specifications for the heavy metal content of WDF for co-combustion in different plants are defined by the Bundesgütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe e.V. (BGS – Federal Quality Association for Secondary Fuels) [14] and the government of the German state of North Rhine Westphalia [13]. The transfer factors are formed based on consideration of a large number of identical or similar raw materials or plants. They are therefore similar to an average and are suitable for rough estimates. Transfer factors cannot be used to draw up balances for concrete plants as contradictions can result. From the analysis of the combustion behaviour of waste, it is known that local changes to the process conditions – especially temperature, O<sub>2</sub> and Cl concentration – have a considerable influence on the release of heavy metals (e.g. [15]).

Änderungen der Prozessbedingungen – besonders Temperatur, O<sub>2</sub>- und Cl-Konzentration – einen erheblichen Einfluss auf die Freisetzung von Schwermetallen ausüben (z. B. [15]).

Für Hersteller und Verwerter von EBS sind diese Spezifikationen derzeit eine wichtige Orientierungshilfe. Darüber hinaus werden inzwischen weitere Anforderungen aus brennstofftechnischer Sicht für den Einsatz in den verschiedenen Anlagentypen genannt. Zunächst sind Mitverbrennungsraten von etwa 1 M.-% festgelegt worden, die sich nun in der Praxis beweisen müssen. Für höhere Raten sind die Anforderungen hinsichtlich der reaktionstechnischen Eigenschaften mit Sicherheit noch festzulegen.

### 3.1 Einsatz in konventionellen Kraftwerken

Bei bestehenden Kesselanlagen, die für die Kohleverbrennung ausgelegt sind, ist das Verhalten des Regelbrennstoffs bezüglich Zündfähigkeit, Flammenbild, Verschlackung, Belagbildung, Kohlenstoffanteil in der Asche, Ausbrandverhalten, Emissionen (NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO, Staub usw.) weitgehend bekannt.

Bei der Mitverbrennung von EBS sind für Kraftwerksbetreiber besondere Gesichtspunkte zu beachten. Aus den bisher vorliegenden Erfahrungen lassen sich erste Aussagen zu den Anforderungen treffen, die insgesamt für die Mitverbrennung wichtig erscheinen und je nach Kraftwerkstyp unterschieden werden müssen. Die häufig heterogene Zusammensetzung der EBS, die immer eine veränderte Verbrennungscharakteristik bedingt, muss den Ansprüchen der für die Kohleverbrennung ausgelegten Kesselanlage genügen. Einen ganz erheblichen Einfluss haben der Gehalt an flüchtigen Bestandteilen und die Aschezusammensetzung, die sich für beide Brennstoffe erheblich unterscheiden (Tabellen 1 und 2).

For the producers and users of WDFs, these specifications currently represent an important guide. Moreover, additional fuel-related requirements are specified concerning the use of fuels in various types of plant. Initially co-combustion rates of around 1 mass % have been defined, which must now be proven in the field. For higher rates, specifications in respect of the reaction properties must still be conclusively defined.

### 3.1 Use in conventional power plants

For existing boiler plants designed for coal combustion, the behaviour of the standard fuel in respect of ignition quality, flame aspect, slagging, scaling, carbon percentage in the ash, burnout behaviour, emissions (NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO, dust, etc.) is largely known. With regard to the co-combustion of WDFs, power plant operators must take special aspects into account. Based on available experience, initial conclusions can be made with regard to the requirements which appear important for co-combustion overall but must be separately defined for each type of power plant as shown in the following. The frequently heterogeneous composition of the WDFs, which results in varying combustion characteristics, must meet the requirements for the boiler plant designed for coal combustion. The content of volatile constituents and the ash composition have a considerable influence, these differ considerably for the two fuels (Tables 1 and 2).

Experience has shown (e.g. [16, 17]) that the combustion characteristics of a fuel mixture consisting of standard fuel and WDF cannot be estimated based on the mass percentages in the mixture as on account of, for example, the different times for the release of the volatile constituents, non-definable interactions result (e.g. [18]). Similarly, this also applies to the burnout behaviour.



LEADING IN THE MINERAL PROCESSING AND ENVIRONMENTAL TECHNIQUE



www.akwauv.com

## EQUIPMENT + PROCESS DESIGN

We welcome you  
**ACHEMIA 2006**

15-19 May, Frankfurt  
Stand no: 6.0 / F7-F8

AKW Apparate+Verfahren GmbH  
Dienhof 26  
92242 Hirschau/Germany  
Phone: +49(0)9622/7039-0  
Fax: +49(0)9622/7039-376  
www.akwauv.com  
akwauv@akwauv.com

With our very advanced process engineering we acquire an individual plant conception for your tasks. From problem identification to engineering and commissioning – all done from one supplier. To secure the process we carry out tests with your representative product samples in our technical laboratory or on site.

Tabelle 2: Oxidgehalte von Kohle- und EBS-Asche

Oxide	Kohlenasche [%]	EBS-Asche [%]
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24,8	17,8
CaO	5,01	30,6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,40	1,0
K <sub>2</sub> O	2,61	1,40
MgO	3,12	2,50
Na <sub>2</sub> O	0,4	1,40
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,16	–
SO <sub>3</sub>	5,14	1,60
SiO <sub>2</sub>	44	42,50
TiO <sub>2</sub>	1,47	1,10

Die Erfahrung hat gezeigt (z. B. [16, 17]), dass die Verbrennungseigenschaften einer Brennstoffmischung nicht aus Regelbrennstoff und EBS gemäß den Massenanteilen in der Mischung beurteilt werden kann, da u. a. auf Grund der zeitlich unterschiedlichen Freisetzung der flüchtigen Bestandteile nicht bestimmbare Wechselwirkungen auftreten (z. B. [18]). Ähnliches gilt auch für das Ausbrandverhalten.

Die unterschiedliche Aschezusammensetzung der beiden Brennstoffarten (Tabelle 2) hat Auswirkungen auf die Erweichungs- (ET) und Fließpunkttemperatur (FT). Während diese Temperaturen bei EBS im Bereich von 1.100 bis 1.200 °C (ET) bzw. von 1.180 bis 1.250 °C liegen, sind sie bei Steinkohle mit 1.260 °C (ET) und 1.400 °C (FT) erheblich höher [19].

Auf Grund der unterschiedlichen Schmelzpunkte von EBS und Regelbrennstoffen können erhebliche Belagbildungen in der Verbrennungsanlage auftreten. Die Folge ist ein erhöhtes Korrosionspotential. Verstärkt wird die Korrosion durch hohe Chlorgehalte in Verbindung mit niedrigen Schwefelgehalten, hohen Alkali- und Schwermetallgehalten. Für ein Verhältnis S/Cl > 4 wird das Korrosionspotential als gering, für S/Cl < 2 als hoch eingeschätzt [4]. Aus Untersuchungen in Abfallbehandlungsanlagen ist bekannt, dass infolge einer äußeren bleihaltigen Sperrschicht, die sich durch Kondensation von Abgasbestandteilen an den Berührungsoberflächen bildet, unmittelbar in Rohrwandnähe hohe Chlor- und niedrige Sauerstoffpartialdrücke (Mikromilieus) auftreten [20]. Dies führt zu einer sehr schnell verlaufenden wannenförmigen Korrosion (Behinderung der Diffusion durch Sperrschicht). Im Hinblick auf die Korrosionsgefahr werden auf Grund der geringen EBS-Substitutionsrate (rund 1 M.-%), der Begrenzung des Cl-Gehaltes und der Vermeidung von Störstoffen wie Metalle, Steine, Holz, Styropor und Hartkunststoff kaum Auswirkungen im Brennverhalten erwartet.

Im Braunkohlekraftwerk (BKW) Jämschwalde ergibt sich bei Ausschöpfen der genehmigten Kapazität von 400.000 t/a eine durchschnittliche Substitutionsrate von 1,8 M.-%. Die obere zulässige Korngröße von nicht pelletiertem Material beträgt 25 mm (Überkorn 3 M.-% < 50 mm), wobei die EBS gemeinsam mit der Braun-

Tabelle 3: Parameter für Braunkohle und Anforderungen für EBS, Braunkohlekraftwerk Jämschwalde gemäß [21]

Parameter	Braunkohle		EBS	
	min.	max.	min.	max.
Heizwert [kJ/kg]	8.000	9.000	11.000	25.000
Asche [M.-%]	8,00	11,00	10,00	35,00
Wasser [M.-%]	51,00	54,00	1,50	25,00
Schwefel [M.-%]	0,80	1,20	0,05	1,00
Chlor [M.-%]	0,01	0,015	0,15	1,00

Table 2: Oxide content of coal and WDF ash

Oxides	Coal ash [%]	WDF ash [%]
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24.8	17.8
CaO	5.01	30.6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.40	1.0
K <sub>2</sub> O	2.61	1.40
MgO	3.12	2.50
Na <sub>2</sub> O	0.4	1.40
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.16	–
SO <sub>3</sub>	5.14	1.60
SiO <sub>2</sub>	44	42.50
TiO <sub>2</sub>	1.47	1.10

The different ash composition of the two types of fuel (Table 2) has consequences on the softening (SP) and melting point (MP) temperatures. While for WDFs, these temperatures lie in the range from 1,100 to 1,200 °C (SP) or from 1,180 to 1,250 °C (MP), the values for coal at 1,260 °C (SP) and 1,400 °C (MP) are much higher [19].

On account of the different melting points of WDF and standard fuels, considerable scaling can be formed in the combustion plant. The result is an increased corrosion potential. Corrosion is aggravated by the high chlorine content in combination with a low sulphur content, high alkali and heavy metal content. For a ratio S/Cl > 4, the corrosion potential is estimated as low, for S/Cl < 2 as high [4]. From studies in waste treatment plants, it is known the formation of an external lead-containing barrier layer as a result of the condensation of flue gas components on the contact heating surfaces leads to high chlorine and low oxygen partial pressures (micro-environment) [20]. This results in rapid dish-like corrosion (prevention of the diffusion by the barrier layer). In respect of the danger of corrosion, owing to the low WDF substitution rate (around 1 mass %), the limitation of the Cl content and the avoidance of impurities such as metals, stones, wood, polystyrene and hard plastic, hardly any effects on the combustion behaviour can be expected. In the Jämschwalde brown coal power plant (BCPP), for the utilization of the approved capacity of 400,000 t/a, an average substitution rate of 1.8 mass % is calculated. The maximum permissible particle size of non-pelletized material is 25 mm (oversize 3 mass % < 50 mm); the WDF is ground together with the brown coal. Other requirements are listed in Table 3.

With the specified substitution rates for the Jämschwalde BCPP, no changes in the calorific value, S/Cl ratio, etc. have resulted. In the trials with a substitution rate of around 1 mass %, no effects on the operating performance of the steam generator and no changes in the emissions have been observed. The results for continuous operation are, however, not yet available.

For operation in coal power plants, the same requirements for the content of impurities have to be met. In respect of the calorific values, however, comparatively high requirements must be met. In

Table 3: Parameters for brown coal and requirements for WDF, Jämschwalde Brown Coal Power Plant according to [21]

Parameter	Brown coal		WDF	
	min.	max.	min.	max.
Calorific value [kJ/kg]	8,000	9,000	11,000	25,000
Ash [mass %]	8.00	11.00	10.00	35.00
Water [mass %]	51.00	54.00	1.50	25.00
Sulphur [mass %]	0.80	1.20	0.05	1.00
Chlorine [mass %]	0.01	0.015	0.15	1.00

kohle gemahlen werden. Weitere Anforderungen sind in **Tabelle 3** aufgeführt.

Im BKW Jänischwalde haben sich bei der genannten Substitutionsrate keine nennenswerten Änderungen von Heizwert, S/Cl-Verhältnis usw. ergeben. Bei der Erprobung zeigten sich bei einer Substitutionsrate von rund 1 M.-% keine Auswirkungen auf das Betriebsverhalten des Dampferzeugers und keine Veränderungen der Emissionen. Die Ergebnisse im Dauerbetrieb stehen allerdings noch aus. Für den Einsatz in Steinkohlekraftwerken bestehen an den Störstoffgehalt dieselben Anforderungen. Hinsichtlich des Heizwertes werden allerdings vergleichsweise höhere Anforderungen gestellt. Im Steinkohlekraftwerk Werne wird der EBS nachfolgender Spezifikation durch direktes Einblasen der Feuerung zugeführt [22]:

- grundsätzlich frei von Störstoffen
- flugfähig, Korngröße < 20 mm
- Heizwert 17 bis 18 MJ/kg.

Weniger hohe Anforderungen an die EBS-Qualität werden beim Einsatz in Pyrolyse-Vorschaltanlagen mit einem Drehrohr gestellt – eine stückige Aufgabe bis 200 mm ist möglich. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, durch Zugabe von Kalkadditiven Schadstoffe wie Cl, F und S zu binden, sodass in diesem Fall höhere Konzentrationen an entsprechenden Komponenten in den EBS akzeptiert werden [23]. Gleiches gilt für mittel- bis schwerflüchtige Schwermetalle, da ihre Überführung in die Gasphase geringer ist als bei der direkten Verbrennung. Das setzt allerdings voraus, dass nur das Pyrolysegas und nicht der verbleibende Restkoks dem Dampferzeuger zugeführt werden kann. Dieser muss getrennt weiterbehandelt werden.

Eine ausführliche Zusammenstellung der Anforderungen an die Brennstofftechnische, also chemischen, mechanischen, und

die Werne coal-fired power plant, WDF with the specifications below, is fed by direct injection into the firing process [22]:

- basically free of impurities
- dispersible, particle size < 20 mm
- calorific value 17 to 18 MJ/kg.

Less stringent requirements for the quality of the WDF must be met for use in intermediate pyrolysis units with a rotary tube – input of pieces to 200 mm is possible. Moreover, the possibility is available of adding lime additives in order to bond pollutants such as Cl, F and S so that in this case higher concentrations of the relevant components in the WDF can be accepted [23]. The same applies to medium- to difficult-to-volatile heavy metals as their conversion into the gas phase is lower than in direct combustion. The precondition is that only the pyrolysis gas and not the residual coke can be fed to the steam generator. The residual coke must undergo separate further treatment.

A detailed summary of the requirements for the fuel, i.e. chemical, mechanical and calorific properties of WDF and their specifications for co-combustion in power plants and intermediate pyrolysis units is contained in [1]. The content of heavy metals for co-combustion in power plants is based on BGS values.

### 3.2 Use in the cement production process

For some years, cement factories have on average obtained 50 % of their required energy from WDFs, although only part of these are derived from domestic waste. The use of WDF in kilns in the cement industry has also led to a change in the flame characteristics, ignition quality, flame stability and the flame shape. On account of the different contents of volatile constituents in the fuels, local changes in the heat transfer conditions must be expect-



## SOLUTIONS FOR THE CEMENT- AND MINING INDUSTRY



CEMENT  
AND  
MINING  
TECHNOLOGY  
GMBH

**CEMTEC**

OUR CUSTOMERS ARE OUR SUCCESS

Stadlgasse 8a  
A-4470 Enns  
Austria

Phone: (43) 7223/83 620  
Fax: (43) 7223/85 083  
e-mail: info@cemtec.at  
internet: www.cemtec.at

## CEMTEC - YOUR PROJECT, YOUR PARTNER

### OUR RANGE OF SUPPLY:

- Rotary kilns for clinker production
- Ball / pebble mills
- Autogenous mills
- Rod mills
- Rolling drums
- Rotary coolers
- Rotary drums / dryers
- Sieve drums
- Ball sorters
- Laboratory equipment

### OUR SOLUTIONS:

- Analysis / feasibility studies
- Consulting / plant engineering
- Technical field assistance
- Erection supervision
- Plant maintenance
- Optimization of grinding circuits
- Revamping of plants and components

kalorischen Eigenschaften von EBS, und ihre Spezifikation für die Mitverbrennung in Kraftwerken und für Pyrolysevorrichtungen ist in [1] enthalten. Die Gehalte an Schwermetallen zur Mitverbrennung in Kraftwerken orientieren sich an den Werten der BGS.

### 3.2 Einsatz im Zementherstellungsprozess

Seit einigen Jahren decken Zementwerke durchschnittlich 50 % ihres Energiebedarfs mit EBS, allerdings nur zu einem Teil aus Hausmüll. Der Einsatz von EBS in Öfen der Zementindustrie hat ebenfalls eine Veränderung der Flammencharakteristik – Zündfähigkeit, Flammenstabilität und Flammenform – zur Folge. Auf Grund unterschiedlicher Anteile an flüchtigen Bestandteilen in den Brennstoffen ist mit einer örtlichen Änderung der Wärmeübertragungsbedingungen zu rechnen, besonders für den Fall, dass große Mengen an EBS eingesetzt werden (z. B. [12, 24]). Die Folge ist ein verändertes Temperaturprofil, z. B. im Drehrohröfen, und das kann einen Einfluss auf die Produktqualität haben. Für einen sicheren Einsatz von EBS in Zementdrehrohröfen ist selbstverständlich auch hier die Festlegung von geeigneten Kriterien – vor allem der Schadstoffgehalte und der brennstofftechnischen Eigenschaften – erforderlich.

Grundsätzlich bestehen bei den Klinkerbrennprozessen nach dem Trockenverfahren folgende Zugabemöglichkeiten für feste oder gasförmige (Vergasungsgas aus Wirbelschichtvergaser [24]) EBS:

- Primärfeuerung (Ofenauslauf)
- Sekundärfeuerung (Ofeneinlauf)
- Kalzinatorfeuerung

Im Klinkerbrennprozess müssen in der Brennphase Gastemperaturen um 1.600 °C erreicht werden. Reduzierende Bedingungen im Cutbett sind zu vermeiden. Daher können in der Primärfeuerung nur heizwertreiche, flugfähige EBS ( $H_u \sim 20$  MJ/kg im Hinblick auf Energieausstauschverhältnisse nahe 1) eingesetzt werden. Am Ofeneinlauf werden weniger hohe Anforderungen an den Heizwert gestellt; es können auch stückige EBS eingesetzt werden, z. B. Altrefeinschlitzel. In der Kalzinatorfeuerung können teilweise auch stückige, aber heizwertärmere und aschereichere Brennstoffe verwendet werden.

Für die Vergasung von EBS in der Wirbelschicht im Zementwerk Rüdersdorf eignen sich solche mit  $H_u$  von 11 bis 15 MJ/kg, Stückgrößen von etwa 30 x 10 x 5 mm, mit geringen Feinanteilen und ohne Störstoffe [25].

Unabhängig von der Einsatzmöglichkeit darf durch die EBS weder eine bedeutende Erhöhung der Emissionen noch eine Beeinträchtigung der Zementqualität noch eine negative Beeinflussung der Prozessführung eintreten. Vor diesem Hintergrund sind umfangreiche theoretische und praktische Untersuchungen durchgeführt und daraus Anforderungen in Bezug auf die brennstofftechnischen Eigenschaften – über die genannten Einflussgrößen hinaus vor allem Ascheszusammensetzung, Gehalt an Cl, S, Alkalien und MgO – abgeleitet worden [1].

### 3.3 Einsatz in Monoverbrennungsanlagen

EBS geringerer Qualität können in besonders dafür errichteten Industriefeuerungs- oder Energieerzeugungsanlagen verwertet werden. Dieses Konzept scheint sich immer mehr durchzusetzen. Es ist jedoch mit dem Risiko behaftet, dass die Wirtschaftlichkeit und damit die Entsorgungssicherheit an das jeweilige Werk gebunden ist, das die bereitgestellte Energie nutzt. Das ggf. erforderliche Ausweichen auf die Einspeisung von elektrischer Energie in das Netz eines Energieversorgers wird in der Regel die Energiebilanz und die Wirtschaftlichkeit beeinträchtigen [26].

Monoverbrennungsanlagen sind im Normalfall klassische Nachverbrennungsverfahren mit Rost- oder Wirbelschichtsystemen. Untersuchungen in Rückschubrostsystemen haben ergeben, dass sich das Verbrennungsverhalten von EBS aus MBA nicht wesentlich von dem konventionellen, unbehandelten Hausmüll unter-

ed, especially if large quantities of WDF are used (e.g. [12, 24]). The consequence is a change in the temperature profile, e.g. in the rotary kiln, and that can have an influence on the product quality. For a reliable use of WDF in cement rotary kilns, naturally the definition of appropriate criteria – particularly the pollutant content and the fuel properties – is necessary.

In principle, for clinker firing processes based on the dry method, the following possibilities exist for feeding solid or gaseous WDF (gasification gas from fluidized bed gasifiers [24]):

- primary firing (kiln exit)
- secondary firing (kiln entrance)
- calcinator firing

In the clinker firing process, gas temperatures of around 1,600 °C must be achievable in the firing phase. Reducing conditions in the material bed should be avoided. For that reason, in primary firing, only high-calorific, dispersible WDF ( $H_u \sim 20$  MJ/kg in respect of the energy exchange conditions near 1) can be used. At the entrance to the kiln, the requirements for the calorific value are not so high, WDF pieces, e.g. shredded scrap tyres, can be used. In calcinator firing, larger pieces, but also fuels with a lower calorific value and higher ash content can be used.

For the gasification of WDF in a fluidized bed in Rüdersdorf Cement Works, WDFs with  $H_u$  from 11 to 15 MJ/kg, piece sizes of around 30 x 10 x 5 mm, with low fines content and without impurities [25] are suitable.

Irrespective of the potential application, the WDF should not lead to any significant increase in the emissions, impair the cement quality, nor exhibit any adverse influence on the process. Against this background, extensive theoretical and practical studies have been conducted and from these, requirements have been derived in respect of the fuel properties – also beyond the specified influencing variables, particularly the ash composition, content of Cl, S, alkalis and MgO, which are listed in [1].

### 3.3 Use in mono-combustion plants

WDF of lower quality can be used in specially constructed industrial firing or energy generating plants. This concept seems to be becoming more widely established. It is, however, associated with the risk that the cost efficiency and therefore reliable disposal is tied to the respective facility using the energy supplied. A potentially necessary recourse to feeding the electric energy into the grid of an energy supplier would generally detract from the energy balance and cost efficiency [26].

Mono-combustion plants are generally classical post-combustion processes with grate or fluidized bed systems. Studies in reciprocating grate systems have shown that the combustion behaviour of WDFs from MBWTs does not differ significantly from conventional, untreated domestic waste. Advantages can result with the use of WDF on account of the lower fluctuations in the composition – particularly of pollutants – compared to domestic waste with regard to flue gas purification.

In process terms and in respect of compliance with statutory requirements, the mono-combustion plants can be on principle equated with classical waste incineration plants as the example of the Bremer Wollkammerei AG [27] shows. This coal-fired power plant, which was originally set up 25 years ago, was converted for the use of HCF. Besides this fraction, other production-specific waste collected at the plant, such as wool powder, sewage sludge, fat-containing sand, rejects and plastics can be used. The plant is equipped with a water-cooled feed grate. The throughput rate is specified as 8 t/h at a calorific value of 14 MJ/kg. Steam generation totals 30 t/h with a pressure of 40 bar at a temperature of 400 °C. The flue gas volume flow reaches around 60,000 Nm<sup>3</sup>/h. The WDF is converted to electric energy and process heat. The plant is equipped with multistage flue gas cleaning and a connectable SNCR system for compliance with the limits of the 17. BImSchV – Germany's 17th Ordinance on Emissions Protection.

Tabelle 4: Anforderungen an den Ersatzbrennstoff für die zirkulierende Wirbelschicht – Beispiel Neumünster nach [29]

Parameter	Durchschnitt	Minimum	Maximum
Feuchte [M.-%]	17,00	7,00	38,00
Kohlenstoff [M.-%]	35,80	25,20	47,00
Wasserstoff [M.-%]	5,10	3,60	6,50
Stickstoff [M.-%]	0,80		1,00
Schwefel [M.-%]	0,30		0,70
Chlor [M.-%]	0,70		0,90
Sauerstoff [M.-%]	22,10	15,50	28,00
Asche [M.-%]	18,20	10,00	24,00
Heizwert [MJ/kg]	14,50	10,00	20,00
Schüttdichte [kg/dm <sup>3</sup> ]	150,00	100,00	350,00
Korngröße [mm]			250,00
Störstoffe [M.-%]			6,00

scheidet. Vorteile können sich bei Einsatz von EBS auf Grund der im Vergleich zu Hausmüll geringeren Schwankungen in der Zusammensetzung – besonders der Schadstoffe – in Bezug auf die Abgasreinigung ergeben.

Verfahrenstechnisch und im Hinblick auf die Erfüllung der gesetzlichen Anforderungen sind die Monoverbrennungsanlagen den klassischen Abfallverbrennungsanlagen grundsätzlich gleichzusetzen – wie das Beispiel der Bremer Wollkammer AG [27] zeigt. Das seit 25 Jahren bestehende Steinkohlenkraftwerk wurde für den

Tabelle 4: Requirements for WDF for the circulating fluidized bed – example Neumünster according to [29]

Parameter	Average	Minimum	Maximum
Moisture [mass %]	17.00	7.00	38.00
Carbon [mass %]	35.80	25.20	47.00
Hydrogen [mass %]	5.10	3.60	6.50
Nitrogen [mass %]	0.80		1.00
Sulphur [mass %]	0.30		0.70
Chlorine [mass %]	0.70		0.90
Oxygen [mass %]	22.10	15.50	28.00
Ash [mass %]	18.20	10.00	24.00
Calorific value [MJ/kg]	14.50	10.00	20.00
Bulk density [kg/dm <sup>3</sup> ]	150.00	100.00	350.00
Particle size [mm]			250.00
Impurities [mass %]			6.00

Like, grate firing, fluidized bed firing of various designs – stationary, circulating – have long been state of the art in basic materials engineering and energy conversion. A number of reports is available on the use of different WDFs, such as sewage sludge, paper sludge, shredder lightweight fraction and high-calorific fraction from MBWTS (e.g. [28]). This also applies to the process characteristics, requirements for the materials used and the operation of fluidized bed systems.

## Steht in Ihrem Kieswerk etwas Neues an?

**Wir beraten Sie...  
unternehmerisch...  
und kompetent.**

**Wir erarbeiten Konzepte für Sie...  
massgeschneidert...  
und doch flexibel.**

**Wir bauen für Sie...  
qualitätsbewusst...  
und steinstark!**

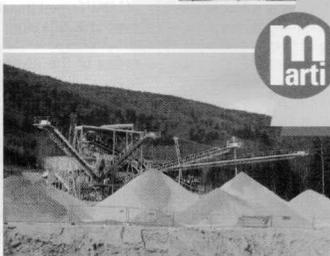


**Marti Technik AG**  
Anlagenbau Steine & Erden

Technikumstrasse 1  
CH-6048 Horw

Fon +41 41 349 40 20  
Fax +41 41 349 40 21

info@martitechnik.ch  
www.martitechnik.ch



Einsatz von HWRF umgerüstet. Neben dieser Fraktion können auch andere am Standort anfallende produktionspezifische Abfälle wie Wollstäube, Klärschlamm, fetthaltiger Sand, Spuckstoffe und Kunststoffe eingesetzt werden. Die Anlage ist mit einem wassergekühlten Vorschubrost ausgerüstet. Der Durchsatz wird mit 8 t/h bei einem Heizwert von 14 MJ/kg angegeben. Dabei beträgt die Dampferzeugung 30 t/h mit einem Druck von 40 bar bei einer Temperatur von 400 °C. Der Abgasvolumenstrom liegt bei rund 60.000 Nm<sup>3</sup>/h. Die Umwandlung erfolgt in elektrische Energie und Prozesswärme. Die Anlage verfügt über eine mehrstufige Abgasreinigung und ein zuschalbares SNCR-System zur Einhaltung der Grenzwerte nach der 17. BImSchV.

Wirbelschichtfeuerungen unterschiedlicher Ausführung – stationär oder zirkulierend – gehören in den Bereichen der Grundstoffverfahrenstechnik und der Energieumwandlung ebenso wie Rostsysteme seit langem zum Stand der Technik. Über Erfahrungen zum Einsatz unterschiedlicher EBS wie Klärschlämme, Kunststoffe, Papierschlämme, Shredderleichtfraktionen und HWRF aus MBA wurde mehrfach berichtet (z. B. [28]). Das betrifft auch die verfahrenstechnischen Merkmale, Anforderungen an die Einsatzstoffe und den Betrieb von Wirbelschichtsystemen.

Hier wird daher nur beispielhaft auf die zirkulierende Wirbelschichtverbrennungsanlage Neumünster eingegangen. Voraussetzung für derartige Systeme sind entsprechend aufbereitete Brennstoffe mit enger Kornverteilung und möglichst gleichem Fluidisierungsverhalten. Dagegen können Heizwert und Elementaranalyse eine große Bandbreite aufweisen; auch das Lastverhalten von Wirbelschichtsystemen ist relativ unempfindlich. Die zulässige Aufgabekorngröße hängt von der Größe der jeweiligen Anlage ab. In der Anlage Neumünster kann sie bis zu 250 mm bei Heizwerten von 10 bis 20 MJ/kg und einem Durchsatz von 10 bis 30 t/h betragen (Tabelle 4). Der zugelassene Anteil an Störstoffen von höchstens 5 bis 6 M.-% kann bei Korngrößen < 250 mm über den Düsenboden abgezogen werden. Die Anlage erzeugt Dampf mit Temperaturen von 470 °C bei einem Druck von 66 bar. Die Abgastemperaturen liegen bei Eintritt in den konvektiven Teil des Dampferzeugers unterhalb 580 °C [30]. Die Anlage ist mit einer Abgasreinigung gemäß der 17. BImSchV ausgerüstet.

#### 4. Schlussfolgerungen und Ausblick

Betreiber von MBA sind mit der Herausforderung konfrontiert, EBS und andere Wertstofffraktionen zu erzeugen, die in Prozessen der Grundstoffindustrie, in Groß- und in Industriekraftwerken verwertet werden können. Die verbleibenden Restfraktionen müssen die gesetzlich vorgegebenen Ablagerungskriterien erfüllen oder in einer thermischen Abfallbehandlungsanlage weiterbehandelt werden. Die gesamte Behandlungskette – mechanisch-biologische Abfallbehandlung, EBS-Herstellung, Verwertung der EBS und anderer Wertstofffraktionen, Behandlung der Restfraktionen – muss aus wirtschaftlicher und ökologischer Sicht wettbewerbsfähig zu der Behandlung von Hausmüll in Abfallverbrennungsanlagen sein. Auf Grund der Verwertungskapazitäten, der Qualität und Menge der HWRF aus MBA [31] besteht ein deutlicher Übergang auf der Angebotsseite von EBS. Mit einem wesentlichen Zuwachs an weiteren Mitverbrennungskapazitäten ist kurzfristig nicht zu rechnen. Planung und Bau neuer Monoverbrennungsanlagen werden voranschreiten – aber auch erst ab 2008 in nennenswertem Umfang. Im Hinblick auf eine gezielte, am Anwendungsfall orientierte Herstellung von EBS besteht nach wie vor ein erheblicher Entwicklungsbedarf. Gleiches gilt für die brennstofftechnische Charakterisierung von EBS und der Restfraktionen; Heizwert und Spurenanalyse reichen für die Beurteilung des Brennverhaltens in einer Feuerung nicht aus. Es müssen vor allem die reaktionstechnischen Eigenschaften der EBS und deren Auswirkungen auf die Korrosion näher untersucht werden. Letztere werden sich erst im Dauerbetrieb zeigen und daher systematisch analysiert kurzfristig nicht verfügbar sein.

For this reason, only the circulating fluidized bed combustion plant in Neumünster is discussed as an example. The precondition for such systems are suitably processed fuels with a narrow particle size distribution and, as far as possible, the same fluidization behaviour. On the other hand, the calorific value and elemental analysis can have a large range; the load behaviour of fluidized bed systems is relatively insensitive. The permissible feed size depends on the size of the respective plant. In the Neumünster plant, it can be up to 250 mm at calorific values of 10 to 20 MJ/kg and a throughput rate of 10 to 30 t/h (Table 4). The permissible content of impurities of maximum 5 to 6 mass % in particle sizes < 250 mm can be drawn off over the nozzle plate. The plant generates steam with temperatures of 470 °C at a pressure of 66 bar. On entry into the convective part of the steam generator, the flue gas temperatures lie below 580 °C [30]. The plant is equipped with flue gas purification in accordance with the 17. BImSchV – Germany's 17th Ordinance on Emissions Protection.

#### 4. Conclusions and Prospects

The operators of MBWTs face the challenge of producing WDF and other value fractions that can be utilized in processes in the basic materials industry, in large-scale and industrial power plants. The remaining fractions must meet the legally defined criteria for waste storage or they must be further treated in a thermal waste treatment plant. The entire treatment chain – mechanical-biological waste treatment, WDF production, utilization of the WDF and other value fractions, treatment of the residual fractions must be competitive in economic and ecological terms compared to the treatment of domestic waste in waste incineration plants.

Looking at the capacities for utilization, the quality and quantity of the high-calorific fraction from MBWTs [31], a considerable surplus on the WDF supply side becomes obvious. No substantial increase in co-combustion capacities can be expected in the short term. The planning and construction of new mono-combustion plants will progress – but only to a significant extent from 2008. In respect of a WDF production specifically oriented to the intended application, there remains considerable need for development. The same applies to the fuel characterization of WDF and the residual fractions; the calorific value and trace analysis are not sufficient for the assessment of the combustion behaviour in a firing process. The reaction properties of the WDF and their effects on corrosion require further study. The latter will only be shown in continuous operation and will not be available in systematically analysed form in the short term.

For the use of WDF in power plants, further requirements must be formulated in respect of the process. The WDF producers have to optimize their plants accordingly, investigate the further treatment of the residual fractions and – as far as legally permissible – assure the intermediate storage of these fractions in both technical and economic terms. The competition regarding the utilization of WDFs will be driven by the quality and the price. The operators of MBWTs must therefore react very fast so as to avoid getting into economic difficulties.

#### Index of the Abbreviations Used

BGS	Bundesgütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe e. V. – BGS – Federal Quality Association for Secondary Fuels
WDF	Waste-derived fuel
HCF	High-calorific fraction
KrW-/AbfG	Act for Promoting Closed Substance Cycle Waste Management and Ensuring Environmentally Compatible Waste Disposal
MBWT	Mechanical-biological waste treatment plant
WG	Working group

Für den Einsatz von EBS in Kraftwerken sind aus prozesstechnischer Sicht weitere Anforderungen zu formulieren. Die EBS-Hersteller müssen ihre Anlagen entsprechend optimieren, die weitere Behandlung der Restfraktionen untersuchen und – sofern gesetzlich zulässig – ggf. die Zwischenlagerung dieser Fraktionen technisch und wirtschaftlich absichern. Der Wettbewerb zur Verwertung der EBS wird über die Qualität und den Preis geführt werden. Betreiber von MBA müssen daher sehr schnell reagieren, um nicht in wirtschaftliche Schwierigkeiten zu geraten.

#### Liste der verwendeten Abkürzungen

BGS	Bundesgütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe e. V.
EBS	Ersatzbrennstoff
HWRf	Heizwertreiche Fraktion
KrW-/AbfG	Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz
MBA	Mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlage
WG	Working group

#### 5. Schrifttum/References\*

- [1] Beckmann, M. u. Thomé-Kozmiensky, K. J.: Das Ersatzbrennstoffproblem. In „Ersatzbrennstoffe 5 – Herstellung und Verwertung“, TK-Verlag Neuruppin, S. 3/32.
- [2] Hoffmann, B.: Herstellung und Verwertung von Ersatzbrennstoffen. Bericht über die Berliner Abfallwirtschaftskonferenz im November 2005. Aufbereitungstechnik 47 (2006) Nr. 4, S. 56/60.
- [3] Beckmann, M. u. Scholz, R.: Energetische Bewertung der Substitution von Brennstoffen durch Ersatzbrennstoffe bei Hochtemperaturprozessen zur Stoffbehandlung. Teil 1 u. 2. ZKG International 52 (1999) Nr. 6 u. 8.
- [4] Born, M. (Hrsg.): Rauchgasseitige Dampferzeugerkorrosion (Erfahrungen bei der Schadensminderung). Saxonia Standortentwicklungs- und -verwaltungs-gesellschaft mbH, 2003.
- [5] Flamme, S. u. Gallenkemper, B.: Inhaltsstoffe von Sekundärbrennstoffen. Ableitung der Qualitätssicherung der Bundesgütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe e. V., Müll und Abfall, (2001) Nr. 12, S. 699/704.
- [6] Weber, R.: Characterization of alternative fuels. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. u. Beckmann, M.: Optimierung der Abfallverbrennung 2. TK Verlag 2005, S. 699/708.
- [7] Beckmann, M., Volke, K. u. Hohmann, H.: Burn-out behaviour of organic matter in ceramic mass of honeycomb brick depending on the firing conditions. Stark, J. (Hrsg.): Internationale Baustofftagung Ibaustil 2003, Tagungsbericht, Bauhaus-Universität Weimar.
- [8] Gehrman, H.-J.: Mathematische Modellierung und experimentelle Untersuchungen zur Pyrolyse von Abfällen in Drehrohrsystemen. Dissertation eingereicht: Sommer 2005, Bauhaus-Universität Weimar.
- [9] Marzi, T. u. Keldenich, K.: Anwenderbezogene Charakterisierung der Eigenschaften verschiedener Sekundärbrennstoffe. In: Wiemer, K. u. Kern, M.: Bio- und Restabfallbehandlung IX – biologisch-mechanisch-thermisch. Witzhausen 2005, S. 219/230.
- [10] Bleckwehl, S., Leibold, H., Walter, R. u. a.: Einfluss der zeitlichen und örtlichen Luftstufung auf das Abbrandverhalten von stückigem Brennstoff in einem Batch-Prozess. GVC-Jahrestagung, Wiesbaden, 2002.
- [11] Beckmann, M., Horeni, M., Scholz, R. u. Harnaut, T.: Einfluss der Prozessführung auf den spezifischen Energieverbrauch in Ver-

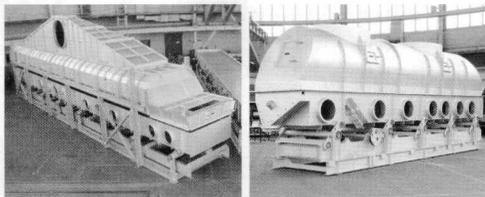
# binder+co

we process the future

Flexible Trocknungstechnologie

So sicher kann Trocknen sein.

Langjähriges Know-how auf dem Gebiet des Schwingmaschinenbaus zusammen mit verfahrenstechnischer Kompetenz machen Binder+Co zu einem der führenden Anbieter auf dem Gebiet der Trocknungstechnik.



Binder+Co, Aufbereitungstechnologie  
8200 Gleisdorf, Grazer Straße 19-25, Austria  
Tel: +43/3112 800-0, Fax: +43/3112-800-300  
at@binder-co.at, www.binder-co.com

>> Besuchen Sie uns bei der Messe Achema  
15.-19. Mai 2006, Frankfurt a. Main  
Halle 4.1, Stand K4-K5

fahren der Grundstoffindustrie beim Einsatz von Ersatzbrennstoffen. VDI-Berichte Nr. 1708, 2002.

- [12] Scholz, R., Beckmann, M., Jäger, J. u. a.: Substitution von Primärbrennstoffen durch Sekundärbrennstoffe. Entsorgungsgemeinschaft der Deutschen Entsorgungswirtschaft e.V., Dokumentation 2003, H. 5.
- [13] Leitfaden zur energetischen Verwertung von Abfällen in Zement-, Kalk- und Kraftwerken in NRW. Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW, September 2005.
- [14] Bundesgütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe e. V.: Sekundärbrennstoffe – Gütesicherung RAL-GZ 724, Ausgabe Juni 2001, überarbeitet am 27. Juni 2003.
- [15] Biollaz, S., Beckmann, M., Davidovic, M. u. a.: Volatility of Zn and Cu in Waste Incineration: Radio-Tracer Experiments on a Pilot Incinerator. 5rd European Conference on Industrial Furnaces and Boilers (INFUB 2000), Portugal 2000, Pre-Proceedings.
- [16] Scheurer, W., Richers, U., Maier, J. u. a.: Gegenwärtiger Stand und Perspektiven der Mitverbrennung in deutschen Kraftwerken. In: VDI-Berichte 1540, VDI Verlag Düsseldorf 2000.
- [17] Harnes, J. P. u. Wachenhausen, M.: Mitverbrennung von „Refuse Derived Fuel“ in kohlegefeuerten Kraftwerkskesseln. VDI-Berichte 1492, VDI Verlag Düsseldorf 1999.
- [18] Tamura, M., Weber, R. u. van de Kamp, W.: Characterization of Alternative Fuels for Co-Firing with Pulverized Coal. Proceedings of the 13th IFRF Members Conference, Noordwijerhout, The Netherlands, May 2001.
- [19] Spuziak-Salzenberg, D.: Chancen und Risiken bei der Herstellung von Sekundärbrennstoffen aus gemischten Siedlungsabfällen. In: Umweltpraxis (2003) Nr. 1/2, Sonderdruck. Friedrich Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Wiesbaden.
- [20] Herzog, T., Magel, G., Müller, W., Schmidt, W. u. Spiegel, W.: Korrosion von niedrig legiertem Stahl – Auswertungen zu aktuellen Schädigungen. Fachtagung Thermische Abfallverwertung, Mannheim, 11. und 12. Mai 2004.
- [21] Brunne, T., Hörtinger, T. u. Schneider, R.: Mitverbrennung von Sekundärbrennstoffen in den Braunkohlekraftwerken der Vattenfall Europe Generation AG & Co. KG. In: SIDAF, Schriftenreihe (2004) Nr. 17, S. 205/215.

- [22] Schulz, W.: Einsatz von Sekundärbrennstoffen in Großkraftwerken. Sekundärbrennstoffe und erneuerbare Energien. Bundesgütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe e.V., Entsorgung, Köln 2003.
- [23] Schu, R. u. Busack, O.: Thermische Ersatzbrennstoffkonditionierung durch Pyrolyse. In Thomé-Kozmiensky, K. J.: Ersatzbrennstoffe 4 – Optimierung der Herstellung und der Verwertung. TK Verlag 2004, S. 427/440.
- [24] Kehl, P., Scharf, K.-F., Scur, P. u. Wirthwein, R.: Die Betriebsergebnisse aus den ersten 30 Monaten mit der neuen Ofenlinie 5 im Zementwerk Rüdersdorf. ZKG International 51 (1998) Nr. 8, S. 410/426.
- [25] Tietze, U.: Anforderungen an Ersatzbrennstoffe für den Einsatz in der Rüdersdorfer Zement GmbH. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.: Ersatzbrennstoffe 2 – Verwerter, Qualitätskontrolle, Technik, Wirtschaft. TK Verlag 2002, S. 231/244.
- [26] Thomé-Kozmiensky, K. J. u. Beckmann, M.: Risiken der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.: Ersatzbrennstoffe 4 – Optimierung der Herstellung und der Verwertung. TK Verlag 2004.
- [27] Nieweler, A. u. Timmer, G.: Umbau eines Steinkohlekraftwerkes zum Einsatz von heizwertreichen Fraktionen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. u. Beckmann, M.: Optimierung der Abfallverbrennung 2. TK Verlag 2005, S. 743/748.
- [28] Thielen, W., Dürrfeld, H. u. Kinni, J.: Die Allein- und Mitverbrennung von schwierigen Brennstoffen in der Wirbelschicht. VDI Berichte (1993) Nr. 1081, S. 285/298.
- [29] Anderl, H. u. Offenbacher, E.: Verwertung von Sekundärbrennstoffen und Abfällen in der Wirbelschicht am Beispiel Neumünster. In: Wiemer, K. u. Kern, M. (Hrsg.): Bio- und Restabfallbehandlung IX – biologisch – mechanisch – thermisch. Witzgenhausen 2005, S. 261/268.
- [30] Anderl, H. u. Offenbacher, E.: Thermische Verwertung von Ersatzbrennstoffen in der zirkulierenden Wirbelschicht. In: SIDAF, Schriftenreihe (2005) Nr. 18, S. 103/110.
- [31] Beckmann, M. u. Thomé-Kozmiensky, K. J.: Ersatzbrennstoffe – Chancen und Probleme. Aufbereitungs Technik 47 (2006) Nr. 4, S. 28/37

\*) weitergehende umfangreiche Literatur in [1]  
 \*) extensive further references in [1]

Datei  Bearbeiten  Ansicht  Favoriten  Extras  ?



**Alles aus einer Hand! Unser komplettes Lieferprogramm finden Sie unter:** [www.mahr-gmbh.de](http://www.mahr-gmbh.de)

**MAHR**

**MAHR GmbH**

Anlagentechnik für Schüttgüter

Rheingaustraße 98  
 D-65203 Wiesbaden  
 Tel. 0611/96764-0  
 Fax 0611/96764-19  
 info@mahr-gmbh.de

Niederlassung Süd:  
 Langwiesstraße 6  
 D-74383 Güglingen  
 Tel. 07135/9530-28  
 Fax 07135/9530-17