

## THERMISCHE NUTZUNG VON ABFALLSTOFFEN DURCH INDUSTRIELLE MITVERBRENNUNG<sup>\*)</sup>

EINSATZ- BZW.  
ANWENDUNGS-  
ZIELE:

- Thermische Verwertung von (zumeist vorbehandelten) Abfällen bzw. Abfallgemischen als sogenannter Ersatzbrennstoff (EBS) in industriellen Feuerungsprozessen zur Energiegewinnung und Substitution von Primärenergieträgern  
\*) Die Abgasreinigung als zu integrierender Prozessabschnitt wird separat beschrieben (siehe Datenblatt „Abgasreinigung“)

### CHARAKTERISIERUNG DES ALLGEMEINEN ANWENDUNGSRAHMENS

#### INSBESONDERE ANWENDBAR FÜR FOLGENDE ABFALLARTEN

Altglas		Leichtverpackungen	X <sup>1</sup>	Speise- und Grünabfälle	
Papier/Pappe/Karton	X <sup>1</sup>	Gemischte Haushaltsabfälle	X	Sperrmüll	X <sup>1</sup>
Altlampen		Alttextilien		Elektro(nik)altgeräte	
Altmetall		Altholz	X <sup>2</sup>	Bau- und Abbruchabfälle	X <sup>1</sup>
Altöl	X <sup>3</sup>	Altfarben/-lacke	X	Altreifen	X <sup>2</sup>
Gefährliche Abfälle	X	teilweise, nur in Anlagen mit entsprechender Zulassung und Stoffe mit mittleren bis hohen Heizwerten			
Produktions- bzw. branchenspezifische Abfälle	X	geeignete, insbesondere chlor- und schwermetallarme Stoffe mit mittleren bis hohen Heizwerten			
Andere Abfallarten	X	insbesondere chlor- und schwermetallarme Stoffe mit mittleren bis hohen Heizwerten, speziell Klärschlamm, Tiermehl, Sortierreste von Gewerbeabfall			

#### SPEZIELLE CHARAKTERISTIKA UND ANFORDERUNGEN DER ANWENDUNG:

##### **Notwendigkeit einer Vorbehandlung:**

Spezielle Anforderungen der entsprechenden Verwertungsanlagen müssen beachtet und bei der Aufbereitung der Ersatzbrennstoffe berücksichtigt werden. In der Regel ist die Einstellung bestimmter chemisch-physikalischer Eigenschaften (Heizwert, Feuchte, Stückigkeit, Chlor-/Schwermetallgehalte) notwendig.

##### **Verwertungsmöglichkeiten des Output-Materials:**

Je nach Anwendungsbereich fallen Outputstoffe in unterschiedlicher Menge und Art an, industriell im Zementwerk mitverbrannte Abfallstoffe werden bspw. zum Großteil mit im Zementklinker eingebunden. In Kraftwerken anfallende mineralische Nebenprodukte (Flugasche, Grobasche – Kesselsand, Schmelzkammergranulat, REA-Gips) sind als Baustoffe im Betonbau, Bergbau, Straßen- und Wegebau sowie im Erd-, Grund- und Landschaftsbau einsetzbar.

##### **Beseitigungs- und Ablagerungsmöglichkeiten des Output-Materials:**

Hier sind vor allem Reststoffe aus der Abgasreinigung relevant für deren sichere Entsorgung Sorge zu tragen ist (siehe Datenblatt „Abgasreinigung“)

##### **Nachsorgebedarf:**

Die zur Entsorgung auf Deponien der erforderlichen Kategorie verbrachten Anteile vom Output-Material unterliegen dort den herkömmlichen Nachsorgeprozeduren

##### **Besondere Schutzanforderungen:**

Erforderlich sind insbesondere zusätzliche Brandschutzvorkehrungen für den Bereich der Lagerung der Ersatzbrennstoffe. Abgase aus der Verbrennung sind so zu behandeln und zu reinigen, dass keine erhöhten Gesundheitsrisiken oder nachteiligen Wirkungen auf Schutzgüter und die Umgebung entstehen und rechtliche Vorgaben eingehalten werden (siehe Datenblätter zu „Abgasreinigung“ und „Technologieorientierte Richtlinien der EU“, insbesondere Richtlinie über Industrieemissionen).

<sup>1</sup> Stofflichen Verwertungswegen und dafür ggf. notwendigen (mechanischen) Vorbehandlungsschritten ist der Vorrang zu geben, allerdings gute Eignung für heizwertreichere Reste aus der Sortierung/Aufbereitung der genannten Materialien nach deren Aufbereitung und Abreicherung in Bezug auf Chlor- und Schwermetallgehalte  
<sup>2</sup> Die Möglichkeit stofflicher Verwertungswege (Holzrecycling) ist vorab zu prüfen und insbesondere für unbehandelte, naturbelassene Altholzfraktionen zu bevorzugen. Spezielle Holzverbrennungsverfahren (Monoverbrennung) sind ebenfalls geeignet  
<sup>3</sup> Wege der stofflichen Aufbereitung und Verwertung sind vorab zu prüfen und ggf. zu bevorzugen

**Potentielle Gesundheitsrisiken:**

Die Freisetzung unbehandelter Abgase stellt ein hohes Gesundheitsrisiko für die Anrainerbevölkerung dar, dem jedoch durch Nutzung moderner Reinigungstechnik und Schutzvorkehrungen effektiv begegnet werden kann. Mit Abgasreinigungstechnologien nach heutigem Stand der Technik ausgerüstete Verbrennungsanlagen gelten als unbedenklich in Bezug auf Gesundheitsrisiken (siehe Datenblatt „Abgasreinigung“).

EINFLUSS ÄUßERER GEGEBENHEITEN AUF DIE ART UND DEN UMFANG DER ANWENDBARKEIT:

**Infrastrukturelle Gegebenheiten**

Da die industrielle Mitverbrennung vorwiegend in bereits existierenden Anlagen erfolgt, sind die infrastrukturellen Voraussetzungen bereits gegeben. Aufgrund der erforderlichen Erweiterung des Annahmehereiches sowie der Lagerfläche für den Ersatzbrennstoff muss der dafür notwendige Platz vorhanden sein bzw. geschaffen werden.

**Klimatische Gegebenheiten:**

Keine besonderen Anforderungen oder Einschränkungen, die Nutzung der industriellen Mit- oder Monoverbrennung von Ersatzbrennstoffen ist jedoch für Regionen mit hohem Energie- und Fernwärmebedarf besonders empfehlenswert.

**Geeignete Finanzierungsmechanismen:**

Die zusätzlichen Investitionen und betrieblichen Maßnahmen zur Realisierung der Mitverbrennung lassen sich durch die Erhebung von Behandlungsgebühren vom Anbieter der Ersatzbrennstoffe (Zuzahlungen zur Brennstoffabnahme) oder aus den Ersparnissen für dadurch substituierte Regelbrennstoffe finanzieren. Die Behandlungsgebühr kann vom Abfallaufbereiter dem Abfallerzeuger durch Erhebung von Entsorgungsgebühren in Rechnung gestellt werden

TECHNISCHE DETAILS

ALLGEMEINER ÜBERBLICK

KURZ-BESCHREIBUNG

Bei der industriellen Mitverbrennung werden meist vorbehandelte Abfälle als sogenannte Ersatzbrennstoffe (EBS) in industriellen Feuerungsprozessen thermisch genutzt. Dafür in Frage kommende Anlagen sind vorwiegend Kraftwerke mit Stein- oder Braunkohleneinsatz, Zementwerke, speziell konzipierte Kraftwerksanlagen die eine Monoverbrennung der EBS vornehmen sowie bislang seltener Kalk- und Ziegeleiwerte, Hochofenanlagen der Eisen-, Stahl- und NE-Metallindustrie.

Durch den Einsatz der Ersatzbrennstoffe werden Primärenergieträger substituiert und Abfälle energetisch verwertet. Die Mitverbrennung in Kraftwerksanlagen erfolgt unter Einschluss einiger Modifizierungen z.B. in der Brennstofflagerung und -aufgabe zumeist mittels gängiger Techniken der Rost- (siehe Datenblatt „Rostfeuerung“) bzw. Wirbelschichtfeuerung (siehe Datenblatt „Wirbelschichtverbrennung“), vor allem in Zementwerken kommt noch das Verfahren der Drehrohrfeuerung hinzu. Bestehende Anlagen zur Abgasreinigung können mitgenutzt werden oder benötigen im Abhängigkeit vom Brennstoff gewisse Erweiterungen.

GRUNDLEGENDE ANFORDERUNGEN

- durch vorwiegend mechanische Aufbereitung der einzusetzenden Abfälle sind bestimmte chemisch-physikalische Eigenschaften, die den speziellen Anlagenanforderungen genügen, beim Ersatzbrennstoffe herbeizuführen, ferner ist die so erreichte Qualität gleichbleibend zu sichern. Einige gängige Qualitätskriterien sind nachfolgend im Überblick wiedergegeben

Tabelle 1: Weitestgehend übliche Qualitätskriterien für Ersatzbrennstoffe

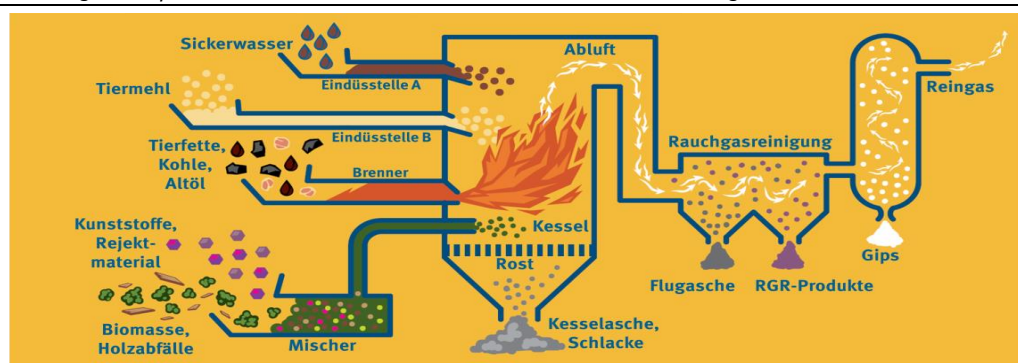
Parameter	Einheit	Kraftwerke	Zementwerke
Korngröße	mm	10–25	ca. 30
Störstoffe	-	Mineralien, Metalle, Holz, Hartkunststoffe, Langteile	
Aschegehalt	Ma.-% (TS)	10–25	10–25
Feuchtegehalt	Ma.-%	10–25	10–25
Heizwert	MJ/kg	>18	>20
Chlorgehalt	g/kg TS	5–15	<10
Schwermetallgehalt	mg/kg (TS)	spezielle Vorgaben, z.B. entsprechend RAL-GZ 724	

ZU ERWARTENDE ERGEBNISSE	<ul style="list-style-type: none"> <li>- reduzierter Bedarf an Primärenergieträgern</li> <li>- <i>Output Kraftwerke:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Energieertrag aus Abfallstoffen</li> <li>- mineralische Nebenprodukte in Form von Schlacken, Flugasche, Grobasche (Kesselsand), Schmelzkammergranulat und REA-Gips</li> <li>- Abgas</li> </ul> </li> <li>- <i>Output Zementwerke:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>- durch den Einbau der Brennstoffaschen in den Zementklinker handelt es sich bei der Verwertung von Ersatzbrennstoffen in der Zementindustrie um eine weitgehend reststofffreie Verwertung</li> </ul> </li> </ul>
BESONDERE VORTEILE	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Substitution von Primärenergieträgern (in Verbindung mit Kostenersparnissen oder teils sogar Einnahmen aus der Nutzung des Alternativbrennstoffs)</li> <li>- Reduzierung der abzulagernden Abfallmenge, Entlastung von Deponien</li> <li>- Senkung des Schadstoff- und Reaktionspotenzials von Abfällen, z.T. sogar reststofffreie Verwertung</li> <li>- deutlich weniger kostenintensiv als Regelabfallverbrennungsanlagen</li> </ul>
SPEZIFISCHE NACHTEILE	<ul style="list-style-type: none"> <li>- evtl. Veränderungen von Produkten (Zement, Ziegel, Stahlschlacke)</li> <li>- erhöhte (thermische) Belastung/Beanspruchung der Feuerungsanlage und Abgasführung</li> <li>- erhöhte Korrosionsgefahren, somit höherer Wartungsbedarf</li> <li>- z.T. höhere Abgaswerte als bei Monoverbrennungsprozessen, daher Bypass für kritische Schwermetalle (z.B. Quecksilber) bei der Zementindustrie zukünftig notwendig</li> <li>- Reaktive Aschen/Schlacken</li> <li>- Zusätzliche Investitionen und kompliziertere Betriebsführung</li> <li>- erhöhtes Risiko von Anlagenstillständen durch EBS bedingte Störungen</li> </ul>

ANWENDUNGSDetails

TECHNISCHE UMSETZUNG	<p>Abfallaufbereitungsverfahren und dabei bestehende Möglichkeiten zur Herstellung von Ersatzbrennstoffen sind bereits in verschiedenen Datenblättern ausgeführt (siehe z.B. Datenblätter „<u>Sperrmüllsortierung</u>“ bzw. „<u>Mechanisch-biologische Behandlung</u>“) Für den eigentlichen Verbrennungsprozess kommen im Grundsatz die ebenfalls separat dargestellten Techniken der Rost- (siehe Datenblatt „<u>Rostfeuerung</u>“) bzw. Wirbelschichtfeuerung (siehe Datenblatt „<u>Wirbelschichtverbrennung</u>“) in Frage. Üblicherweise kommen für eine Mitverbrennung folgende Varianten zur Anwendung:</p> <p><u>in Kraftwerken:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Variante 1: Nutzung und Optimierung der bestehenden Anlagenkomponenten zur vorwiegenden Mitverbrennung von EBS</li> <li>- Variante 2: Verwertung der EBS in einer vorgeschalteten Vergasung oder Pyrolyse und Mitverbrennung des erzeugten Gases oder Pyrolysekokes im bestehenden Kessel (<u>wichtige Zusatznotiz:</u> bisher kaum vollfunktionsfähige großtechnische Anwendungen der Variante)</li> <li>- Variante 3: Verwertung der EBS in einem Kessel mit zirkulierender Wirbelschicht</li> <li>- Variante 4: Verwertung der EBS in einem extern betriebenen Wirbelschichtkessel mit Abgasreinigung und Nutzung des bestehenden Dampfkessels (Verbundschaltung).</li> </ul>
-------------------------	--

Abbildung 1: Beispielhaftes Verfahrensschema zur industriellen Mitverbrennung in einem Kraftwerk



<p>FORTSETZUNG TECHNISCHE UMSETZUNG</p>	<p><u>in der Zementindustrie:</u> Der Einsatz von Ersatzbrennstoffen in der Zementindustrie erfolgt in der Phase des Klinkerbrennprozesses sowie im Zementherstellungsprozess. Zur Anwendung kommt dabei insbesondere der Drehrohrofen. Dieser besteht aus einem in Längsrichtung leicht geneigtem Drehrohr, bei dem durch rotierenden Umlauf ein Transport des am Drehrohreinlauf aufgegebenen Materials einschließlich der Abfallstoffe innen längs im Ofen herbeigeführt wird und zwar von der Einlaufseite zur Auslaufseite. Die Zugabe von stückigen Abfällen im Drehrohrofen einlauf beeinflusst sowohl die zuzuführende Menge an fossilen Brennstoffen als auch deren Verteilung auf Drehrohrofen und Calcinator. Diese Verteilung muss z.B. für die Steuerung der Anlage bekannt sein, um konstante Brennbedingungen zur Erzielung einer gleichmäßig hohen Produktqualität zu erreichen.</p> <p>Eine entscheidende Rolle beim Einsatz von Substitutionsbrennstoffen spielt das Elementverhältnis sowie das Verhältnis der Heizwerte von fossilen und Ersatzbrennstoffen. Letztere verbrennen aufgrund der extrem hohen Temperaturen im Drehrohr (Flammentemperatur &gt;2000 °C) ohne die Entstehung schädlicher Abgase. Stickoxide werden durch sogenannte DeNOx-Verfahren aus den Abgasen entfernt.</p> <p>Trocknung, Aufheizung und Entgasung von flüchtigen Abfallbestandteilen findet bereits in der Nähe des Drehrohrofen einlaufs statt, die freigesetzten Gase durchströmen zusammen mit den Abgasen aus dem Drehrohrofen den Calcinator. Die Verbrennung der flüchtigen Komponenten findet innerhalb des Calcinators statt. Die Vergasung der festen Bestandteile, Verbrennung der erzeugten Gase und der Stoffübergang finden erst in Richtung des Rohrauslaufes statt. Gegenbeispiel ist eine vorgeschaltete Vergasungsanlage für EBS zur Erzeugung eines brennbaren Gases, wie bspw. am Zementwerk Rüdersdorf umgesetzt.</p>
<p>STOFFFLUSS UND -MENGEN</p>	<p>- In Abhängigkeit von der angewandten Mitverbrennungstechnologie wird ein Teil des herkömmlich eingesetzten Regel- oder Primärbrennstoffes durch EBS ersetzt. Wie hoch dieser Anteil ist, hängt von der Art des EBS, der Technologie und den Anforderungen an die Produkte ab. Während sich die Substitutionsrate in Kraftwerken in einem Bereich von 5–25% bezogen auf die Feuerungswärmeleistung bewegt, ersetzen Zementwerke ihren Brennstoffbedarf zum Teil bereits zu bis zu 75% (2014) und darüber auf diese Weise.</p>
<p>ZUSAMMENHÄNGE U. KOMBINIERBARKEIT MIT ANDEREN TECHNIKEN</p>	<p>- Die industrielle Mitverbrennung kommt grundsätzlich für Produktions- und Energieerzeugungsprozesse auf der Basis von Verbrennungsverfahren für mittel- und hochkalorische Stoffe in Frage, daneben wird EBS in speziell konzipierten Monokraftwerken zumeist unter Nutzung einer Rost- oder Wirbelschichtfeuerung (siehe Datenblätter „<u>Rostfeuerung</u>“ bzw. „<u>Wirbelschichtverbrennung</u>“) eingesetzt</p>
<p>ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: RESSOURCENEINSATZ</p>	
<p>ENERGIEBILANZ</p>	<p>- durch Einsparung von Primärenergieträgern, der Energie für deren Gewinnung und Aufarbeitung sowie durch die Nutzung regenerativer Abfallanteile und deren energetischen Potentials wird eine positive Energiebilanz erzielt</p>
<p>CO<sub>2</sub>-RELEVANZ</p>	<p>- Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen um bis zu 35 % bei teilweisen Ersatz der Primärbrennstoffe, bei ausschließlichen Einsatz von EBS würden die klimarelevanten Emissionen aus den Primärbrennstoffen und aus der anderweitigen Verwertung der EBS entfallen</p>
<p>HILFSMITTEL / ZUSATZSTOFFE</p>	<p>- Hilfs- und Zusatzstoffe um EBS im Rahmen der industriellen Mitverbrennung einsetzen zu können, werden nicht benötigt. Es besteht aber ein erweiterter Aufbereitungsbedarf für die Abfälle einschließlich der hieraus resultierenden Zusatzaufwendungen.</p>
<p>PERSONALBEDARF</p>	<p>- geringfügig zusätzlicher Personalbedarf bei der Verwertungsanlage für die Annahme und Aufgabe des EBS (Qualitätssicherung, Aufgabe ggf. mittels Radlader, Wartung und Instandhaltung der Sekundärbrennstoffdosierung)</p>
<p>FLÄCHENBEDARF</p>	<p>- zusätzlich Lagerfläche für EBS, je nach Bedarf und Einsatz in der Anlage, bei Tiermehlen bspw. Silolagerung - zusätzlich Platzbedarf im Annahmehbereich</p>

ORIENTIERUNGSWERTE FÜR DIE ANWENDUNG: KOSTEN	
<b>INVESTITIONS- KOSTEN</b>	<p>Für die Mitverbrennung von Ersatzbrennstoffen in bestehenden industriellen Feuerungsanlagen sind Zusatzinvestitionen erforderlich. Diese ergeben sich insbesondere durch:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Planung und Errichtung des Annahmebereiches, der Förder- und Dosiereinrichtungen</li> <li>- einer ggf. erforderlichen Erweiterung der Abgasreinigung und Emissionsmesstechnik.</li> </ul> <p>Die zusätzlichen spezifischen Investitionskosten bei bestehenden Verwertungsanlagen können im Bereich von EUR 1,3–6 Mio. bzw. 25–45 EUR/Mg Ersatzbrennstoff (Stand 2008) liegen. Darin enthalten sind auch die Kosten für die Vorhaltung von Lagerkapazitäten mit entsprechenden brandschutztechnischen Vorkehrungen.</p>
<b>BETRIEBSKOSTEN</b>	<p>Eine leichte Erhöhung der Betriebskosten wird sich aufgrund des erhöhten Personalbedarfs und erhöhten Wartungs- und Investitionsaufwandes ergeben. Aufgrund möglicher Änderung der Verwertungswege der Nebenprodukte (insb. Flugasche) in Kraftwerken kann es zu einem Rückgang im Bereich der Verwertungseinnahmen bzw. Anstieg von Entsorgungsausgaben kommen</p>
<b>MÖGLICHKEIT VON EINNAHMEN</b>	<p>Durch die Übernahme der abfallstämmigen Brennstoffe zur Mitverbrennung sind für die Betreiber der Mitverbrennungsanlagen Einnahmen in Form eines Behandlungsentgeltes möglich. Eine grobe Orientierung liefern folgende Preisspannen (Stand 2011):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Braunkohlekraftwerk mit Staubfeuerung: 5–15 EUR/Mg</li> <li>- Steinkohlekraftwerke mit Staubfeuerung: größere erforderliche Aufbereitungstiefe der EBS führt teilweise zu keinen Einnahmen</li> <li>- Steinkohlekraftwerke mit Wirbelschichtverbrennung: 0 bis &lt; 10 EUR/Mg</li> </ul>
<b>MASSE- SPEZIFISCHE GESAMTKOSTEN</b>	nicht benennbar da anlagenspezifisch sehr unterschiedlich
SONSTIGE DETAILS	
MARKTÜBERSICHT	
<b>REFERENZ- ANWENDUNGEN</b>	<p>Eine industrielle Mitverbrennung wird in Deutschland in zahlreichen Industrieanlagen und zunehmend auch in anderen Staaten Europas und der Welt durchgeführt: Beispiele in Deutschland sind aus dem Bereich der</p> <p><u>Zementindustrie</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cemex Zementwerke Rüdersdorf <span style="float: right;"><a href="http://www.cemex.de">www.cemex.de</a></span></li> <li>- Dyckerhoff Zementwerke Deuna <span style="float: right;"><a href="http://www.dyckerhoff.de">www.dyckerhoff.de</a></span></li> </ul> <p><u>Kraftwerke</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kraftwerk Jänschwalde <span style="float: right;"><a href="http://www.vattenfall.com">www.vattenfall.com</a></span></li> <li>- Kraftwerk Werne <span style="float: right;"><a href="http://www.rwe.com">www.rwe.com</a></span></li> </ul> <p><u>Eisen- und Stahlerzeugung</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- DK Recycling und Roheisen GmbH, Duisburg <span style="float: right;"><a href="http://www.dk-duisburg.de">www.dk-duisburg.de</a></span></li> </ul>
<b>ANERKANNTE HERSTELLER UND DIENSTLEISTER</b>  <i>(wichtiger Hinweis: die Aufzählung dieser Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)</i>	<p>Hersteller für Anlagen und Anlagenkomponenten zur Mit-/Monoverbrennung von Ersatzbrennstoffen sind zum Beispiel:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Steinmüller - Babcock Environment GmbH, Gummersbach <span style="float: right;"><a href="http://www.steinmueller-babcock.com">www.steinmueller-babcock.com</a></span></li> <li>- Oschatz GmbH <span style="float: right;"><a href="http://www.oschatz.com">www.oschatz.com</a></span></li> </ul>
ANMERKUNGEN UND WEITERE REFERENZDOKUMENTE	
<p>Eine relevante Organisation und Anlaufstelle für weitere Informationen über gütegesicherte Ersatzbrennstoffe und ihren Einsatz ist die Gütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe und Recyclingholz e.V. (BGS). <span style="float: right;"><a href="http://www.bgs-ev.de">www.bgs-ev.de</a></span></p>	