

**Anlagenauslegung, Brennstoff-  
beschaffung und Qualitätssicherung  
für Abfallverbrennungsanlagen**



Dipl.-Ing. Reinhard Schu  
Dipl.-Ing. Jens Niestroj  
EcoEnergy Gesellschaft für  
Energie- und Umwelttechnik mbH  
Walkenried am Harz

**Berliner Abfallwirtschafts- und Energiekonferenz**  
**Optimierung der Abfallverbrennung**  
31. Januar und 1. Februar 2007, Berlin

## INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
<b>1 EINLEITUNG .....</b>	<b>4</b>
<b>2 MARKTSITUATION.....</b>	<b>4</b>
<b>3 ABSICHERUNG DER EBS-LIEFERUNG.....</b>	<b>6</b>
Kapazitäten .....	6
Charakterisierung der Abfälle.....	8
Verhandlungspositionen.....	9
<b>4 ANPASSUNGEN UND PREISGLEITUNGEN ERSATZBRENNSTOFFPREIS.....</b>	<b>9</b>
Preisadjustierungen aufgrund geänderter EBS-Eigenschaften .....	9
Chlorgehalt.....	9
Aschegehalt .....	9
Heizwert.....	9
Preisgleitung EBS-Preis .....	9
<b>5 QUALITÄTSSICHERUNG EBS.....</b>	<b>9</b>
Motivation zur Qualitätssicherung .....	9
Heutige Systeme der Qualitätssicherung .....	9
<b>6 AUSBLICK .....</b>	<b>9</b>
<b>7 LITERATUR.....</b>	<b>9</b>

## **ABBILDUNGSVERZEICHNIS**

Abbildung 1: Preisgleitung in Abhängigkeit vom Chlorgehalt.....	9
Abbildung 2: PVC-Verbrauch und Abfallaufkommen in Deutschland.....	9
Abbildung 3: PVC-Verbrauch in Deutschland .....	9
Abbildung 4: PVC-Verbrauch in Deutschland nach Branchen im Jahr 2003 .....	9
Abbildung 5: Entwicklung des Chlorgehaltes im EBS aus gewerblichen Abfällen bei konstanten Randbedingungen (Recyclingquote 60%) .....	9
Abbildung 6: Preisgleitung in Abhängigkeit vom Aschegehalt und Heizwertänderung .....	9
Abbildung 7: Einfluss Heizwert EBS auf Durchsatz und Preis .....	9
Abbildung 8: HCl im Rauchgas .....	9
Abbildung 9: SO <sub>2</sub> im Rauchgas .....	9
Abbildung 10: Probenahmesystem .....	9
Abbildung 11: Fließbild Probenahmesystem.....	9

## **TABELLEN**

<i>Tabelle 1: Charakterisierung der Brennstoffe.....</i>	<i>8</i>
<i>Tabelle 2: Interessen von Brennstofflieferanten und Brennstoffverwertern .....</i>	<i>9</i>
<i>Tabelle 3: Chlorgehalte in verschiedenen Abfallfraktionen .....</i>	<i>9</i>
<i>Tabelle 4: Berechnung des aktuellen Chlorgehaltes in den Abfällen .....</i>	<i>9</i>
<i>Tabelle 5: Chlorgehalt und maximale Rohgaskonzentrationen in Abhängigkeit vom Heizwert .....</i>	<i>9</i>
<i>Tabelle 6: Maximale Schadstoffgehalte nach Bundesgütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe e. V.(www.bgs-ev.de) gegenübergestellt den Praxiswerten für EBS-Kraftwerke: .....</i>	<i>9</i>

## 1 Einleitung

Neu in der modernen Abfallentsorgung ist, dass niemand zu greifen ist, der für die Vorsorge der geregelten Abfallbehandlung verantwortlich zu sein scheint. Laut Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz ist die Kommune für die Vorsorge der überlassungspflichtigen Abfälle zuständig, es besteht für diese Abfälle zur Beseitigung sogar ein Anschluss- und Benutzungszwang. Abfälle zur Verwertung werden hingegen frei gehandelt, problematisch wird es allerdings, wenn durch mangelnde Verwertungskapazitäten die Nachfrage hinter dem Angebot zurückbleibt. Auch Abfälle zur Verwertung bleiben Abfälle und müssen irgendwo bleiben, hoffentlich nicht in Zwischenlagern.

Dieser Beitrag soll aber nicht zur Aufgabe haben, einen Schuldigen für das abfallwirtschaftliche Dilemma der Zwischenlagerung von Ersatzbrennstoffen oder die Beseitigung von zur Verwertung geeigneten Gewerbeabfällen zu suchen.

Im folgenden wird jedoch die Problematik erörtert, dass es einerseits genug potenzielle Ersatzbrennstoffe gibt, die zudem zu entsorgen sind (thermisch oder stofflich), dass aber andererseits Anlagenplanungen stocken, weil keine langfristige Versorgungssicherheit mit Ersatzbrennstoffen zu auskömmlichen Konditionen garantiert werden kann.

## 2 Marktsituation

In der Entsorgungswirtschaft wird zwischen langfristigen Kommunalverträgen zur Sicherung der Abfallentsorgung der Gebietskörperschaften und kurzfristigen Entsorgungsverträgen mit Gewerbebetrieben unterschieden.

Seit der Veröffentlichung von Remondis vom April 2006 [14] über mögliche Überkapazitäten bei der Ersatzbrennstoffverwertung ist die Entsorgungswirtschaft deutlich verunsichert und scheut langfristige Brennstofflieferverträge zu den derzeit üblichen Marktkonditionen.

Stattdessen werden für die freien und tatsächlich vorhandenen Gewerbeabfälle in einer Größenordnung von mehreren Millionen Tonnen „virtuelle“ Ersatzbrennstoffpreise von < 60 €/t auf Grund der Konkurrenzsituation der nur „virtuellen“ Anlagenkapazitäten gefordert. Zahlreiche dieser Anlagenplanungen wurden begonnen aufgrund folgender Annahmen:

- bis Anfang 2006 extrem hohe Verwertungskosten für Ersatzbrennstoffe von > 150 €/t
- hohe und in die Zukunft fortgeschriebene Strompreissteigerungen
- teilweise zu niedrige Anlageninvestitionskosten, die am aktuellen Markt nicht mehr zu realisieren sind

Zwischenzeitlich haben sich die Verwertungserlöse bei abgeschlossenen Verträgen jedoch auf 80 €/t bis 100 €/t (Preisstand 2009) stabilisiert. Außerdem herrscht in der Industrie Unsicherheit über die tatsächliche Strompreisentwicklung. Besonders der Einbruch an der Strombörse als Folge des Überangebotes an CO<sub>2</sub>-Zertifikaten aus Frankreich und Belgien in diesem Frühjahr hat zu Unsicherheiten bei rein stromgeführten Projekten geführt. Die Anlageninvestition vieler Projekte beruhte auf einer Kalkulation analog zu Biomassekraftwerken. Viele Kalkulationen mussten überarbeitet werden und haben nicht selten zu Preissteigerungen von 20% bis 25% geführt.

Zahlreiche potenzielle Investoren für Ersatzbrennstoffverwertungsanlagen können keine langfristigen Versorgungsverträge für die Ersatzbrennstoffverwertung zu auskömmlichen Verwertungspreisen > 75 €/t erhalten. Stattdessen werden – wie in der Vergangenheit für die

klassische Müllverbrennung – nur die Projekte realisiert, die über eine Grundauslastung von zwei Drittel an belastbaren Kommunalabfällen verfügen.

Der Ersatzbrennstoffmarkt setzt sich aus einem Teilmarkt kommunaler Herkunft und einem frei handelbaren Teilmarkt zusammen.

#### Kommunalabfälle

- andienungspflichtige Abfälle
- heizwertreiche Fraktionen aus der MBA sowie
- ein variabler Anteil an freien Gewerbeabfällen, die aufgrund der Abfallzusammensetzung kostengünstiger über die kommunalen Wege entsorgt werden können

Kommunale Abfälle sind kommunal abgesichert und benötigen keine wesentlichen zusätzlichen Sicherheiten für ein Finanzierungskonzept und sind die Basis der MVA-, MBA- und EBS-Kraftwerks-Realisierungen.

Kommunale Abfälle sind langfristig zu festen Konditionen verfügbar, da die Gebietskörperschaften als Abfallbesitzer aus rechtlichen Gründen eine langfristige Entsorgungssicherheit nachweisen müssen. Die Entsorgungs- bzw. Verwertungspreise können durch den gesetzlich festgelegten Anschluss- und Benutzungszwang über die Abfallgebühren abgesichert werden.

Für die Verwertung kommunaler Abfälle sind daher die Interessen der Abfallbesitzer und der energetischen Abfallverwerter deckungsgleich. Beide Seiten streben langfristige Verträge zu festen finanziellen Konditionen an. Das Risiko ist daher für den Betreiber von Verwertungsanlagen minimal.

Heizwertreiche kommunale Abfälle sind nur begrenzt verfügbar. Die oben genannten andienungspflichtigen Abfälle sind in der Regel heizwertarm mit einem Heizwert  $< 11$  MJ/kg, ansonsten wären es Abfälle zur energetischen Verwertung. Damit verbleiben als potenzielle Ersatzbrennstoffe aus kommunaler Herkunft die heizwertreichen Fraktionen aus MBA-Anlagen sowie heizwertreiche Sortierreste bzw. Fraktionen aus kommunalen Sortieranlagen.

Während die heizwertreiche Fraktion aus MBA inkl. der Feinfraktion aus MBA mit 2,5 Mio. t - 3,5 Mio. t bis zum Jahr 2010 prognostiziert werden kann, ist der variable Anteil an freien Gewerbeabfällen bzw. Fraktionen aus weiteren kommunalen Sortieranlagen nur schwer gegen die freien Gewerbeabfälle abgrenzbar. Ersatzbrennstoffe aus kommunalen Sortieranlagen werden im Folgenden auch den freien Abfällen zugeschlagen, da auch die Kommunen auf diese Abfälle keinen gesicherten Zugriff haben können.

Zusammengefasst ergeben sich folgende heizwertreiche Abfälle / Ersatzbrennstoffe aus kommunaler Herkunft:

- andienungspflichtige Abfälle
- MBA-Abfälle
- Fraktionen aus kommunalen Sortieranlagen

Bei einem kommunalen Anteil an Ersatzbrennstoffen in den thermischen Behandlungsanlagen könnten somit aus Gründen der Sicherheiten für die Finanzierung der Anlageninvestition nur grob geschätzt 4 Mio. t/a – 6 Mio. t/a Anlagenkapazitäten installiert werden.

Kommunale Abfälle werden häufig über beauftragte Dritte entsorgt. Diese haben – entsprechend den jeweiligen Kommunalverträgen – langfristigen Zugriff (10 bis 15 Jahre) zu festen

Konditionen auf die Mengen. Die beauftragten Dritten aus der privaten Entsorgungswirtschaft sind hinsichtlich Liefergarantien im Vergleich zu einer Gebietskörperschaft gleichwertig.

### Nicht kommunale Abfälle

Die weiteren heizwertreichen Abfälle, also

- Gewerbeabfall
- Sortierreste
- Baustellenabfall
- produktionsspezifische Abfälle
- weitere Abfälle

zusammen 9,2 Mio. t im Jahr 2010 sind frei handelbar und damit nicht langfristig verfügbar.

Die Verfügbarkeit für die einzelnen Entsorgungsunternehmen muss sich permanent am Markt beweisen. Daher haben die Entsorgungsunternehmen verlässlich nur kurzfristig Zugriff (1 bis 3 Jahre) auf die Mengen. Größere private und kommunale Entsorgungsunternehmen können bei einer kostengünstigen Entsorgung dieser Abfälle ein unternehmerisches Risiko in Grenzen tragen.

## **3 Absicherung der EBS-Lieferung**

### **KAPAZITÄTEN**

Vor der Investitionsentscheidung zum Bau und Betrieb eines EBS-Kraftwerkes sollten für etwa 65% - 80% der benötigten EBS-Menge Lieferverträge über die Projektlaufzeit abgeschlossen werden. Die verbleibenden etwa 35% - 20% bleiben bis zur Inbetriebnahme offen und werden bei Bedarf kurzfristig frei vermarktet, um keine unerfüllbaren Abnahmeverpflichtungen einzugehen. Schließlich können Erfahrungswerte über den tatsächlichen Durchsatz des EBS-Kraftwerkes erst nach dem Einfahren der Anlage bestätigt werden.

Die 65% - 80% festen Lieferverträge werden in der Regel zu 100% mit langfristig besicherbaren Mengen meist kommunaler Herkunft gefüllt. Die Aussagen über eine Verknappung an langfristig verfügbaren Ersatzbrennstoffen und gleichzeitig der Bedarf an zusätzlichen energetischen Verwertungskapazitäten erscheinen auf den ersten Blick widersprüchlich. Unter Betrachtung der unterschiedlichen Besicherung von Ersatzbrennstoffen, hergestellt aus frei handelbaren und kommunalen Abfällen wird die Problematik deutlich. Die heute zur Realisierung freigegebenen EBS-Kraftwerksprojekte können noch auf dem üblichen finanzierbaren Brennstoffabsicherungskonzept basieren. Neue EBS-Kraftwerksprojekte müssen mit geringeren EBS-Mengen kommunaler Herkunft oder ähnlichen Sicherheiten rechnen.

Geänderte Marktbedingungen bedürfen einer detaillierteren Betrachtung der Finanzierbarkeit neuer EBS-Kraftwerksprojekte.

Die Beseitigungsanlagen MVA und MBA können auch noch im Jahr 2010 zu über 80% mit Kommunalabfällen ausgelastet werden, die zudem einer kommunalen Preisgarantie unterliegen. Im Jahr 2010 wird ein Abfallaufkommen von 20,2 Mio. t einer Behandlungskapazität von 24,6 Mio. t gegenüber stehen. Ein Betrieb dieser Anlagen mit kommunalen Entsorgungsverträgen ist daher bzgl. der Finanzierung risikoarm.

Betrachtet man die derzeit geplanten bzw. bereits realisierten EBS Kraftwerke mit einer für 2010 prognostizierten Kapazität von 4 Mio. t/a, ergibt sich ein ähnliches Bild. Die prognosti-

zierte Anlagenkapazität kann zu über 60% mit kommunalen MBA-Abfällen ausgelastet werden. Dies bedeutet, dass heute nur in einem geringen Umfang langfristige Kommunalmen- gen am Markt verfügbar sein können. Auf Grund größerer regionaler Unterschiede kann da- von ausgegangen werden, dass regional und projektabhängig weniger als 50% EBS mit langfristiger Liefersicherheit zur Verfügung stehen.

Die Mitverbrennungskapazitäten in Zement- und Kraftwerken nehmen eine Sonderstellung ein, da sie nur einen relativ geringen Investitionsumfang zur Mitverbrennung wie Dosierein- richtungen erfordern, auf der anderen Seite qualitativ sehr hochwertige, d. h. schadstoff- und chlorarme, hoch aufbereitete Brennstoffe benötigen. Die „Auslastung“ bei einer Mitverbren- nungsanlage ist weniger relevant als die Qualität der eingesetzten Ersatzbrennstoffe. Eine Unterauslastung der Mitverbrennung ist für den Anlagenbetreiber mit einem nur geringen finanziellen Risiko verbunden ist, da sich die Investitionen in der Regel bereits kurzfristig amortisiert haben. Dies bedeutet andererseits, dass mit der Mitverbrennung keine Entsor- gungssicherheit geschaffen werden kann. In der Mitverbrennung werden fast ausschließlich „freie“ Gewerbeabfälle eingesetzt.

Ähnliches gilt für die freien MVA-Kapazitäten in einer Größenordnung im Jahr 2010 von 4,4 Mio. t bei einem Auslegungsheizwert von im Mittel 10 MJ/kg. Hier könnten etwa 3,1 Mio. t/a heizwertreiche, meist „freie“ Gewerbeabfälle bei einem Heizwert von 14 MJ/kg mitverbrannt werden.

Selbst falls die Überkapazitäten bei den Beseitigungsanlagen auch für heizwertreiche Abfälle bzw. EBS genutzt werden und sogar falls 1,6 Mio. t/a EBS in Zement- und Kraftwerken mit- verbrannt werden, wird 2010 ein Mangel an Ersatzbrennstoffverwertungsanlagen, vor allem für die freien, nicht langfristig verfügbaren Abfälle bestehen, wie folgende Abschätzung für das Jahr 2010 zeigt:

2,5 Mio. t	Aufkommen kommunale heizwertreiche Abfälle
<u>9,2 Mio. t</u>	<u>Aufkommen an freien heizwertreichen Abfällen</u>
- 4,0 Mio. t	EBS-Kraftwerke (> 60% für kommunale Abfälle)
- 3,1 Mio. t	freie Kapazität MVA (für freie Abfälle mit 14 MJ/kg)
- 1,6 Mio. t	Mitverbrennung in Kraft- und Zementwerken (für freie Abfälle mit 14 MJ/kg)
<u>- 3,0 Mio. t/a</u>	<u>Fehlbedarf, meist freie Gewerbeabfälle (Heizwert: 14 MJ/kg)</u>

Mittelständische, private Entsorger besitzen nicht die Finanzkraft, EBS-Kraftwerke selber zu errichten und zu betreiben. Ebenso fällt es – wie oben bereits dargelegt – schwer, besonders für die freien Gewerbeabfälle die geforderten Bürgschaften beizubringen.

Einzigster Ausweg für die mittelständischen Entsorger ist der Aufbau von Sortieranlagen mit dem Ziel der Abtrennung stofflich verwertbarer Fraktionen. Durch technische Fortschritte in der Rechnertechnik kann es gelingen, mechanisch stofflich verwertbare Wertstoffe aus heiz- wertreichen Gewerbeabfällen abzutrennen (Nah-Infrarot, Röntgentechnik). Sortieranlagen erfordern nur 1/7 bis 1/10 des Investitionsbedarfs von EBS-Kraftwerken. Es verbleiben – je nach Abfallinput und Aufbereitungstechnik – 60% - 80% als Reste zur energetischen Verwer- tung.

Durch den Wegfall der Deponierungsoption ab Mitte 2005 entsteht für die Besitzer dieser Abfälle bzw. private Entsorgungsunternehmen neben der fehlenden energetischen Verwer- tungskapazität auch das Problem, neue Verwertungskapazitäten durch Mengenabsicherung anzustoßen.

Das Potenzial für die zusätzliche stoffliche Verwertung wird mit max. 1 Mio. t/a abgeschätzt, so dass sich der Bedarf an weiteren EBS-Kraftwerken, über die schon mit 4 Mio. t/a im Jahr 2010 berücksichtigten EBS-Mengen hinaus, von 3 Mio. t/a auf 2 Mio. t/a reduziert.

Für diese freien Abfälle sollten im Rahmen eines Vermittlungs- bzw. Mediationsverfahrens alternative Bürgschaftsformen gefunden werden, die eine Entsorgungs- und Versorgungssicherheit bei gleichzeitiger Finanzierbarkeit der Projekte ermöglichen sollen.

## CHARAKTERISIERUNG DER ABFÄLLE

Abfälle zur Beseitigung bestehen meist aus Hausmüll mit Anteilen an Geschäftsmüll. Dieser Abfall zeichnet sich durch einen relativ hohen Wassergehalt bei niedrigem Heizwert < 8 MJ/kg aus. Daneben enthalten die Abfälle zur Beseitigung nicht verwertbare, d. h. heizwertarme gewerbliche Abfälle, die trockener und grundsätzlich heizwertreicher als Hausmüll sind. Der Chlorgehalt im Hausmüll beträgt nur etwa 0,4% - 0,8%.

Abfälle zur energetischen Verwertung sind dagegen deutlich trockener als Hausmüll. Der Heizwert liegt zwischen 11 MJ/kg - 18 MJ/kg. Der Chlorgehalt ist in der Regel > 1%, teilweise bei Sortierresten und bestimmten Gewerbeabfallchargen >> 2%. Eine mechanische Abreicherung der Chlorgehalte ist grundsätzlich möglich, dabei sollte allerdings von Abreicherungsgraden von maximal 30% -50% ausgegangen werden.

Zusammengefasst können die beiden Brennstoffe wie folgt charakterisiert werden:

**Tabelle 1: Charakterisierung der Brennstoffe**

Hausmüll	Ersatzbrennstoff / Gewerbeabfall
hoher feuchter Organikanteil, hoher Wasseranteil, niedriger Heizwert < 10 MJ/kg	geringer feuchter Organikanteil, niedriger Wasseranteil, hoher Heizwert > 11 MJ/kg
niedriger Schwermetallgehalt niedriger Chlorgehalt 0,4% - 0,9%	mäßiger Schwermetallgehalt hoher Chlorgehalt > 1%, in Teilchargen > 3%

Die skizzierte Unsicherheit der Entsorgungswirtschaft wird dazu führen, dass wesentlich weniger Ersatzbrennstoffverwertungskapazität langfristig zur Verfügung gestellt werden wird, als Ersatzbrennstoffe bzw. heizwertreiche Gewerbeabfälle vorhanden sind. Dies wird ab 2008/09 zu einem deutlichen zusätzlichen Preisanstieg für die Ersatzbrennstoffverwertung führen.

## VERHANDLUNGSPPOSITIONEN

Für die Versorgung einer Ersatzbrennstoffverwertungsanlage müssen die Interessen der Lieferanten und Verwerter berücksichtigt werden.

Nachfolgende Tabelle zeigt die wesentlichen Interessen der beiden Vertragsparteien im Überblick:

**Tabelle 2:** *Interessen von Brennstofflieferanten und Brennstoffverwertern*

Art	Interesse
<b>Interessen des Lieferanten</b>	
Entsorgungssicherheit	innerhalb eines Mengenkorridders mit der Möglichkeit eines flexiblen Absteuerns von Mehr- oder Mindermengen
Vertragslaufzeit	<u>für Abfälle kommunaler Herkunft:</u> Vertragslaufzeit entsprechend der Laufzeit des Kommunalvertrages <u>für frei handelbare gewerbliche Abfälle:</u> möglichst kurzfristig mit unkomplizierter Regelung zu einer kurzfristigen Vertragsverlängerung
Verwertungspreis	<u>für Abfälle kommunaler Herkunft:</u> fest entsprechend Kommunalvertrag mit Möglichkeit zur Kostensenkung bei steigenden Energiepreisen <u>für frei handelbare gewerbliche Abfälle:</u> möglichst flexibel und kurzfristig aushandelbar entsprechend den Marktgegebenheiten für Gewerbeabfälle => in jedem Fall deutliche Teilhabe an steigenden Energieerlösen der Verwertungsanlage
Brennstoffqualitäten	möglichst ohne weitere Vorbehandlung seitens des Lieferanten, um das Investitionsrisiko zu minimieren
<b>Interessen des Verwertern</b>	
Versorgungssicherheit	innerhalb eines Mengenkorridders der unterschiedliche Verfügbarkeiten sowie ggf. Energielieferverpflichtungen berücksichtigt; Liefersicherheit für 65% bis 80% des geplanten Durchsatzes; Absicherung der Versorgungssicherheit über Bürgschaften
Vertragslaufzeit	entsprechend der Abschreibungsdauer für die Anlage, meist 15 Jahre
Verwertungspreis	die Summe aus Verwertungserlösen und Energieerlösen muss auskömmlich sein
Brennstoffqualitäten	entsprechend Auslegung der Anlage mit Angabe von Maximalkonzentrationen in jeder Einzellieferung (80 Perzentil hat keine Aussagekraft)

Zur Absicherung der Lieferverpflichtung müssen die EBS-Lieferanten zwischen Ersatzbrennstoffen aus kommunal abgesicherten Mengen wie z. B. Ersatzbrennstoff aus MBA oder MPS und auf dem Markt nach Marktgesetzen akquirierbaren Gewerbeabfall unterscheiden. Der EBS-Verwerter bestimmt Sicherheiten und Qualitätsanforderungen unabhängig von der Herkunft der Ersatzbrennstoffe.

Bei Abfällen kommunaler Herkunft sind die Interessen von Lieferanten und Verwertern hinsichtlich Vertragslaufzeiten und Verwertungspreisen ähnlich. Zu regeln bleibt die Qualität und die Frage der Mengenkorriddore, d.h. welche Partei trägt das Auslastungsrisiko.

Besonders das Qualitätsproblem wird zurzeit noch stark unterschätzt. Für einen sicheren Anlagenbetrieb ist es erforderlich, dass bestimmte Qualitätskriterien – besonders für Chlor und maximaler Heizwert – eingehalten werden. Dies gilt bereits für die Einzelcharge und nicht nur für das 80 Perzentil einer kontinuierlichen Probennahme über 500 oder 1.000 t. In Verträgen zur EBS-Lieferung für Monoverbrennungsanlagen sollten Qualitätskriterien pro Charge festgelegt werden. In Mitverbrennungsanlagen hat sich der Median und 80 Perzentil-Wert durchgesetzt, der für Monoverbrennungsanlagen nicht für alle Grenzwerte geeignet ist. Für den Brennstofflieferanten bedeutet dies, dass er ein Qualitätssicherungssystem aufbauen muss, welches es erlaubt, die maximalen Vorgaben der Vertragswerte pro Einzelcharge gesichert einzuhalten.

#### **4 Anpassungen und Preisgleitungen Ersatzbrennstoffpreis**

In Ersatzbrennstofflieferverträgen werden verschiedene Formen der Preisänderung vereinbart. Man kann grundsätzlich zwischen Preisanpassungen aufgrund geänderter EBS-Eigenschaften und Preisgleitungen aufgrund der Änderung vereinbarter Kostenindizes unterscheiden.

##### **PREISANPASSUNGEN AUFGRUND GEÄNDERTER EBS-EIGENSCHAFTEN**

Durchsatzleistung und die Behandlungskosten pro Tonne werden durch die Abfallzusammensetzung wesentlich beeinflusst. Preisanpassungen aufgrund von geändertem Heizwert, Aschegehalt und Chlorgehalt sind üblich. Der Asche- und Chlorgehalt pro Tonne wird auch über den Heizwert beeinflusst, da sich die Durchsatzmengen ändern. Maßgeblich für die Kosten oder Einsparungen durch Chlor oder Asche sind die absoluten Frachten. Erhöht sich der Heizwert, die Asche- und Chlorgehalte pro Tonne bleiben gleich, entstehen insgesamt durch die geringere Durchsatzleistung weniger Kosten für Ascheentsorgung, Korrosion und Betriebskosten Rauchgasreinigung.

In Abbildung 1 ist ein Beispiel beigefügt aus dem ersichtlich wird, daß Mehr- und Minderkosten, verursacht durch Chlor, nicht nur bei geänderten Chlorgehalten pro Tonne sondern sich auch bei Änderungen im Heizwert auswirken. Die Preisanpassung für den Aschegehalt erfolgt ähnlich entsprechend den regionalen Ascheentsorgungskosten.

##### Beispiel:

Bei einem Heizwert von 15 MJ/kg können in einer Beispielanlage 100.000 t/a EBS verarbeitet werden. Werden in einem Jahr nur EBS mit einem Heizwert von 10 MJ/kg angeliefert, erhöht sich die Durchsatzleistung auf 150.000 t/a. Der Chlorgehalt der Abfälle ist gleich. Wie in der Abbildung 1 sichtbar, erhöht sich dennoch der Preis für die heizwertärmeren Abfälle, da die durchsatzabhängigen Parameter berücksichtigt werden und sich somit die Chlorfracht ändert.

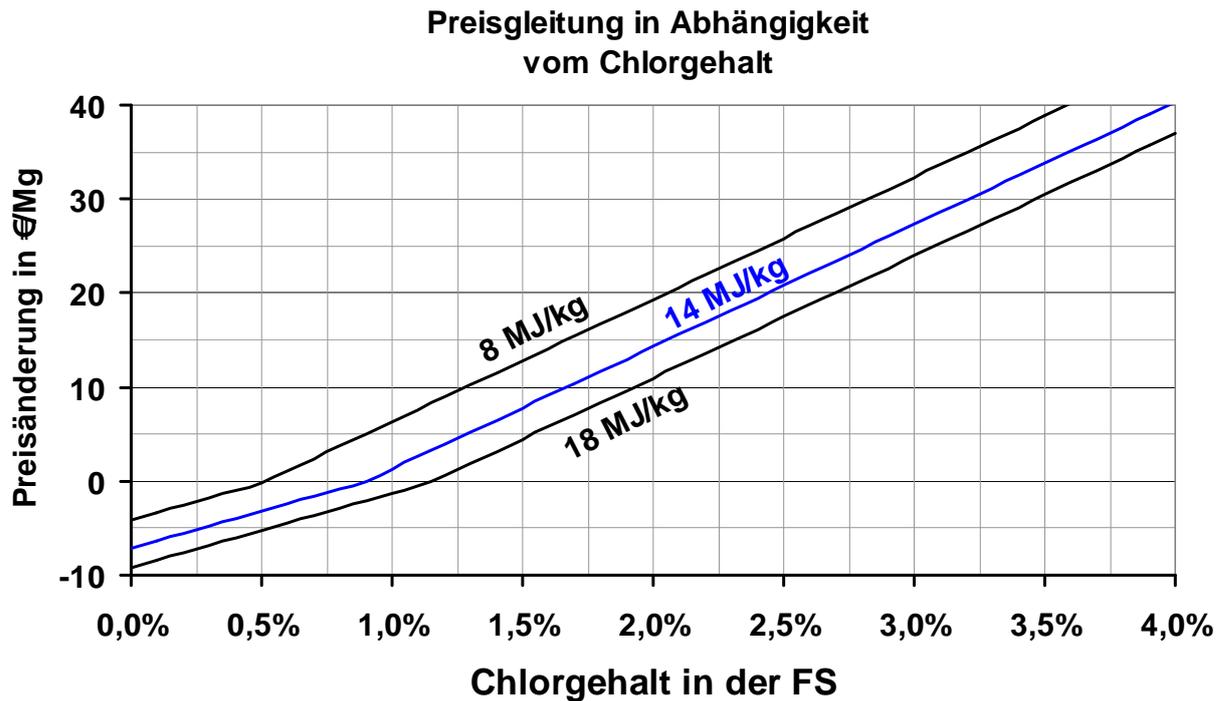


Abbildung 1: Preisgleitung in Abhängigkeit vom Chlorgehalt

## CHLORGEHALT

EBS-Kraftwerke mit Rostfeuerung werden heute ausschließlich mit einer quasitrockenen Rauchgasreinigung betrieben. Die wirtschaftlichen Grenzen der Rauchgasreinigung geben den maximalen Chlorgehalt vor, da die durchschnittlichen und maximalen Gehalte an Chlor unmittelbaren Einfluss auf den Verbrauch an Rauchgasreinigungskemikalien und letztlich auf die Wahl des Rauchgasreinigungssystems haben. Bei hohen Chlorgehalten von im Mittel >> 1,5% sind nasse Rauchgasreinigungssysteme durch den geringeren spezifischen Chemikalienverbrauch wirtschaftlicher.

Chlor ist in Abfallverbrennungsanlagen maßgeblich für die Hochtemperaturkorrosion im Kessel verantwortlich. Zur Korrosionsminimierung werden moderate Dampfparameter (40 bar, 400°C), geringe Rauchgasgeschwindigkeiten sowie Sekundärmaßnahmen wie Cladding und entsprechendem Ausmauerungskonzept eingesetzt. Dennoch sind Korrosionsschädigungen in Abhängigkeit vom Chlorgehalt nicht zu vermeiden. Die Konsequenzen sind neben den erhöhten Wartungskosten auch die dadurch entstehenden Stillstandszeiten, die zu einer geringeren Anlagenverfügbarkeit führen.

Die Entwicklung des Chlorgehaltes in den Ersatzbrennstoffen ist daher für die Wirtschaftlichkeit der Ersatzbrennstoffverwertung eine entscheidende Größe.

### Chlorverbrauch und Chloreinsatz in Deutschland [1]

Rund 60% des Umsatzes, den die deutsche chemische Industrie erwirtschaftet, hängt direkt oder indirekt von chlorchemischen Verfahren ab. Für viele Produkte ist Chlor ein wichtiger Baustein im Produktionsprozess. Neben den chlorhaltigen Produkten – wie PVC – wird Chlor häufig für die Herstellung von Zwischenprodukten eingesetzt.

Mit Abstand mengenmäßig wichtigstes chlorhaltiges Produkt ist Polyvinylchlorid (PVC) mit Inlandsproduktion im Jahr 2004 von fast 2 Mio. t und einem Inlandsverbrauch von 1,65 Mio. t/a mit steigender Tendenz.

Weitere chlorhaltige Kunststoffe / Kautschuke sind mengenmäßig weniger relevant. Ihr Verbrauch wird mit deutlich weniger als 100.000 t/a in Deutschland abgeschätzt. Zu nennen ist z. B. Chloropren-Kautschuk, der bei Dichtungen, Keilriemen und Förderbändern eingesetzt wird.

PVC und die anderen chlorhaltigen Kunststoffe / Kautschuke finden sich nach Ablauf ihrer Nutzungsdauer quantitativ im Abfall wieder.

Daneben werden chlorhaltige Pigmente / Farben und Medikamente (Schmerzmittel, Antipilzmittel, Antibrechmittel, Desinfektionsmittel, Psychopharmaka u.ä.) hergestellt. Beide Produktgruppen sind bezüglich der Chlorfrachten von untergeordneter Bedeutung. Dieses gilt auch für Papier / Pappe das bis in die 90er Jahre hinein durch die Chlorbleiche nennenswerte Chloranteile enthielt, mittlerweile aber durch Umstellung von Produktionsverfahren nur noch gering mit Chlor belastet sind.

Daher ist als Primärquelle für Chlor in Ersatzbrennstoffen vor allem PVC relevant. Die seit ca. 1960 produzierten und in den Verbrauch gelangten PVC-Produkte tauchen je nach Lebensdauer der Produkte um 2 – 35 Jahre verzögert wieder im Abfall auf. Die folgende Grafik zeigt eine Abschätzung des PVC-Anfalls zur Verwertung bzw. Beseitigung, der sich nach Rückrechnung aus dem PVC-Verbrauch ergibt.

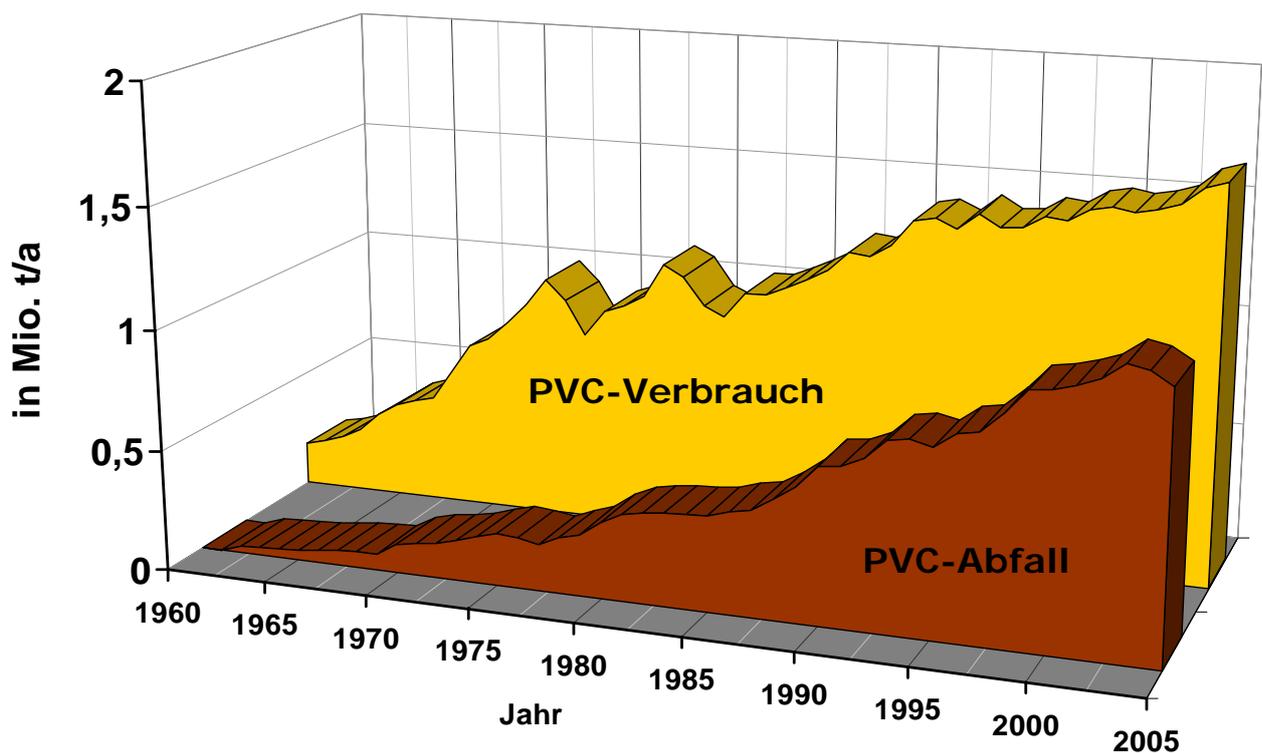


Abbildung 2: PVC-Verbrauch und Abfallaufkommen in Deutschland

(Verändert nach [5])

### PVC-Einsatzgebiete und Produktionsmengen

In Deutschland betrug die PVC-Produktion 1,95 Millionen Tonnen (2004). Der PVC-Verbrauch beträgt dagegen nur etwa 1,65 Mio. t (2005). Weltweit wächst der PVC-Verbrauch um ca. 4 % pro Jahr, in Deutschland um ca. 2% pro Jahr.

Abbildung 3 zeigt die Entwicklung des PVC-Verbrauches seit 1960.

### PVC-Verbrauch in Deutschland

Quelle: Arbeitsgemeinschaft PVC und Umwelt e.V.

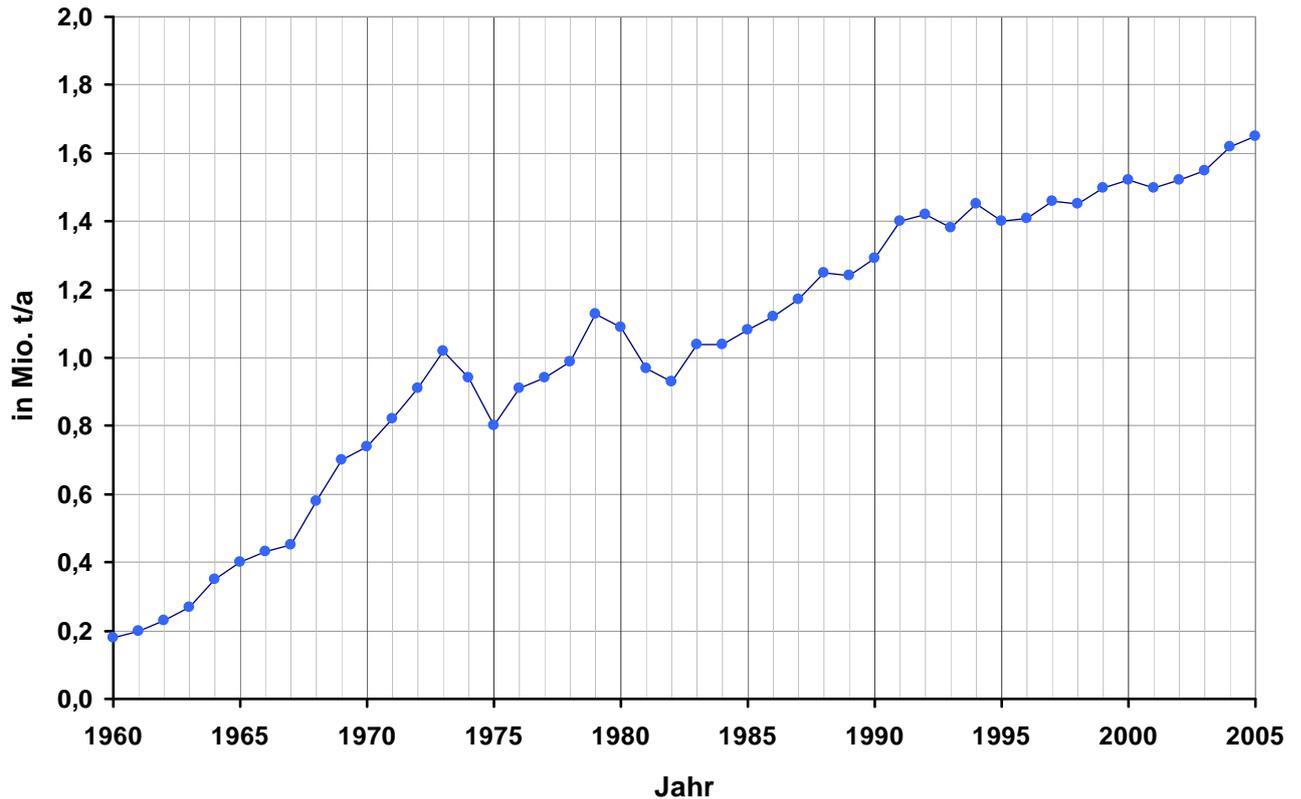


Abbildung 3: PVC-Verbrauch in Deutschland

(Verändert nach [6])

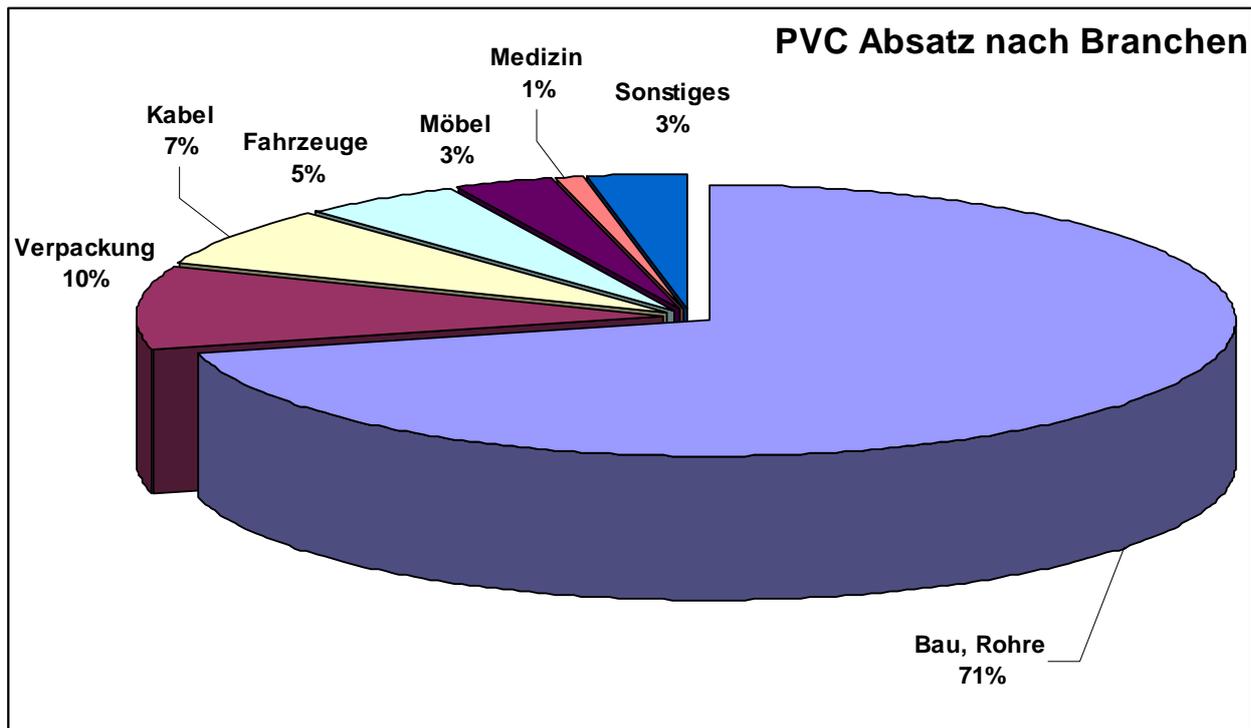


Abbildung 4: PVC-Verbrauch in Deutschland nach Branchen im Jahr 2003  
(Verändert nach [7])

Aus Abbildung 4 wird deutlich, dass PVC vorwiegend im Baubereich abgesetzt wird. Als wesentliche Produkte sind Fenster, Fußbodenbeläge, Profile, Folien und Rohre zu nennen. Diese Produkte zeichnen sich durch eine hohe Sortenreinheit aus. Zudem sind sie relativ groß und können daher mit einem geringen Aufwand getrennt erfasst und stofflich verwertet werden. Daher werden bereits heute große Anteile PVC-haltiger Bauabfälle getrennt erfasst und stofflich verwertet. Dennoch sind die Sortierreste aus Baumischabfallsortieranlagen sehr stark mit PVC belastet – mit steigender Tendenz. Ein weiterer Anstieg kann nur durch eine effizientere getrennte Erfassung von chlorhaltigen Abfällen verhindert werden.

Neben dem Baubereich ist der Verpackungsbereich mit 10% oder ca. 165.000 t/a PVC immer noch relevant. Da Verpackungen meist kurzlebig sind, finden sich diese mit einem geringen zeitlichen Verzug quantitativ im Abfall und hier besonders in den getrennt erfassten Verpackungen wieder. Wesentliche Anteile werden in die Sortierreste überführt. Daher weisen Sortierreste aus DSD-Anlagen häufig hohe Gehalte an PVC auf.

Daneben werden wesentliche Anteile an PVC und anderen chlorhaltigen Kunststoffen in den allgemeinen Gewerbeabfällen erwartet. Hier ist der PVC-Anteil aber stark von der Branche abhängig.

Haus- und Geschäftsmüll sind dagegen auf Grund der getrennten Erfassung von Verpackungen durch das duale System und die quantitative Beschränkung des sonstigen PVC-Einsatzes auf rein gewerbliche Gebiete nur gering mit PVC befrachtet. Dies gilt selbst für die heizwertreiche Grobfraction aus MBA-Anlagen.

#### **Chlorgehalte im Abfall / Ersatzbrennstoff**

Es wird angenommen, dass Abfall bzw. Ersatzbrennstoff etwa 0,4% bis 0,8% Chlor anorganischen bzw. diffusen Ursprungs enthalten, welches nicht durch (trockene) mechanische

Aufbereitungstechnik abgetrennt werden kann (Grundrauschen). Beispiele sind Kochsalz, der Chlorgehalt von Papier, bereits applizierte chlorhaltige Farben und Klebstoffe.

Die restliche Chlorfracht beruht größtenteils auf PVC und anderen chlorierten Kunststoffen bzw. Kautschuken. Heute können die in der folgenden Tabelle abgeschätzten Chlorgehalte angenommen werden.

**Tabelle 3:** Chlorgehalte in verschiedenen Abfallfraktionen

Abfallart	Chlorgehalt	davon:Chlor aus PVC und andere Kunststoffe	Davon: „Hintergrundrauschen“
Sortierreste Baumischabfall	2% - 8%	1,6% - 7,5%	0,4%
Sortierreste DSD	1% - 4 %	0,6% - 3,5%	0,4%
Gewerbeabfall	1% - 5%	0,6% - 4,5%	0,4%
Haus- und Geschäftsmüll	0,4 - 0,8 %	0,1% - 0,3%	0,3% - 0,6%
hausmüllähnlicher Gewerbeabfall	0,6 b - 1,5%	0,2 - 1,1%	0,4%

Der Chlorgehalt bei den Bauabfällen ist relativ gesehen niedrig, da Bodenbeläge und Fenster bereits heute getrennt erfasst und stofflich verwertet werden. In den anderen Abfallbereichen wird PVC praktisch nicht getrennt erfasst. Daher kann hier der Chlorgehalt nur durch automatische Sortiertechnik (NIR, Röntgen) teilweise aus dem Abfall abgetrennt werden, wobei eine Abtrennung durch die Tatsache erschwert wird, dass PVC außerhalb des Bau- und Verpackungsbereiches oft als Verbund mit anderen Kunststoffen oder mit Metallen vorliegt. Daher beträgt die Effizienz der automatischen PVC-Abtrennung selten mehr als 50% - bezogen auf den Input an PVC, nicht an Chlor.

### Prognose der Entwicklung der Chlorgehalte in Ersatzbrennstoffen

Dies bedeutet, dass gerade potenzielle Ersatzbrennstoffe stark mit Chlor befrachtet sind. Dies gilt besonders für Ersatzbrennstoffe, die aus dem gewerblichen Bereich stammen. Durch die Steigerung des PVC-Absatzes von mehr als 2%/a wird sich der Chlorgehalt in den (gewerblichen) Abfällen und damit in den Ersatzbrennstoffen in den nächsten Jahren noch weiter erhöhen. Dies zeigt auch die nachfolgende Abschätzung über einen durchschnittlichen Chlorgehalt in Ersatzbrennstoffen aus Hausmüll und aus gewerblichen Quellen.

Der Chlorgehalt in den etwa 20 Mio. t/a Hausmüll und hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen beträgt zurzeit 0,8%, davon sind etwa 0,5% „Hintergrundrauschen“. Dieser Chlorgehalt bleibt auch zukünftig konstant. Aus den 0,5% PVC (=0,3% Chlor) in Hausmüll und hausmüllähnlichen Abfällen folgt eine PVC-Menge von etwa 100.000 t mit einem Chlorgehalt von ca. 60.000 t.

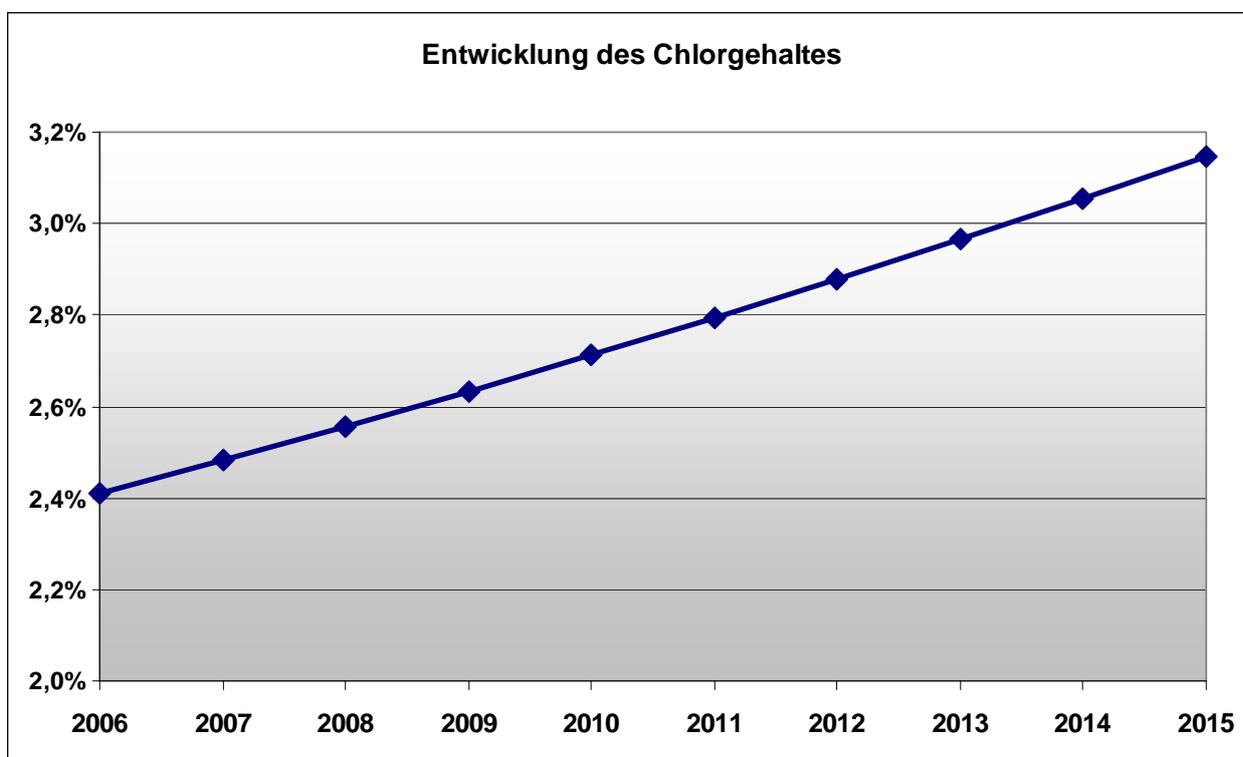
In den ca. 10 Mio. t gewerblichen Abfällen müssen daher etwa 340.000 t PVC enthalten sein, so dass sich bei einem angenommenen „Hintergrundrauschen“ von 0,5% Nicht-PVC-Chlor rein rechnerisch mittlere Chlorgehalte von über 2,4% für alle Gewerbeabfälle ergeben.

**Tabelle 4: Berechnung des aktuellen Chlorgehaltes in den Abfällen**

PVC-Senke	Menge Abfall	darin: PVC Menge	resultierender Chlorgehalt aus PVC	Chlor - Hintergrundrauschen	Chlorgehalt gesamt
<b>Basis: PVC und andere chlorhaltige Kunststoffe im Abfall: 1.100.000 t (2005)</b>					
stoffliches Recycling	-	660.000 t	-	-	-
Hausmüll und hausmüllähnlicher Gewerbeabfall	20.000.000 t	100.000 t	0,3%	0,5%	0,8 %
restliche gewerbliche Abfälle	10.000.000 t	340.000 t	1,9 %	0,5%	<b>2,4 %</b>

Geht man auch zukünftig von einer konstanten Recyclingquote von 60% für PVC und von einer Steigerung der PVC-Menge im Abfall von 4%/a aus (Absatzsteigerung von PVC bis in die 80er Jahre hinein), steigt der Chloranteil in den gewerblichen Abfällen zur energetischen Verwertung im Mittel bis 2010 auf 2,6% und bis 2015 auf mehr als 3,2% (siehe Bild 5).

Wie bereits oben erwähnt, gilt diese Abschätzung nur, falls es der PVC-Industrie tatsächlich gelingt, mindestens 60% der PVC-Abfälle gesondert zu verwerten. Ansonsten muss von noch höheren Chlorgehalten in den gewerblichen Abfällen ausgegangen werden.



*Abbildung 5: Entwicklung des Chlorgehaltes im EBS aus gewerblichen Abfällen bei konstanten Randbedingungen (Recyclingquote 60%)*

Es ist einsichtig, dass ein derart hoher Chlorgehalt im EBS durch die EBS-Kraftwerke nicht akzeptiert werden kann.

**Schlussfolgerungen für die Betreiber von EBS-Kraftwerken**

Es ist absehbar nicht zu erwarten, dass der PVC-Gehalt gerade in Gewerbeabfällen sinken wird. Wie die Abbildung 5 veranschaulicht, ist selbst bei der Selbstverpflichtung der PVC-Industrie „Vinyl 2010“ mit der Schaffung von Verwertungskapazitäten für PVC in den nächsten 10 – 15 Jahren nicht mit einer wesentlichen PVC-Entfrachtung in MVA und EBS-Kraftwerken zu rechnen.

Nach Kalkulation der Kosten, die durch Rauchgasreinigungschemikalien, erhöhte Reststoffkosten durch Rückstände aus der Rauchgasreinigung, reduzierte Verfügbarkeit und erhöhte Wartungskosten entstehen, ergeben sich PVC-Verwertungskosten von 400 €/t bis 700 €/t PVC.

Der EBS-Verwerter kann daher nur mit einer empfindlichen Preispolitik durch Weitergabe der realen Kosten aufgrund des Chloreintrags sowie mit einem Qualitätssicherungssystem den EBS-Lieferanten zu einer gezielten PVC-Entfrachtung schon am Abfallentstehungsort bei den Gewerbetreibenden durch separate Einsammlung von stark PVC-haltigen Abfällen beeinflussen.

Selbst wenn 50% des PVC-haltigen Abfalls mit 20% - 30% PVC-Anteilen einer separaten Verwertung zugeführt würden, verbleiben immer noch im Mittel > 2% Chlor in den heizwertreichen Abfällen zu energetischen Verwertung.

Kann der weitere Anstieg des Chlorgehaltes im Abfall nicht durch organisatorische oder technische Maßnahmen aufgehalten werden, ist neben den exponentiell steigenden Kosten durch Hochtemperatur-Chlorkorrosion in MVA und EBS-Kraftwerken auch mit einer Nachrüstung eines Wäschers in der Rauchgasreinigung von zur Zeit quasitrocken ausgeführten Rauchgasreinigungsanlagen zu rechnen.

Neben einer klaren Preispolitik bei steigenden Chlorgehalten im EBS ist genügend Platz für eine spätere Erweiterung der Rauchgasreinigung vorzusehen. Moderate Dampfparameter von nicht über 400°C sind vor diesem Szenario zur Reduzierung der erwarteten Korrosionsprobleme empfehlenswert.

## ASCHEGEHALT

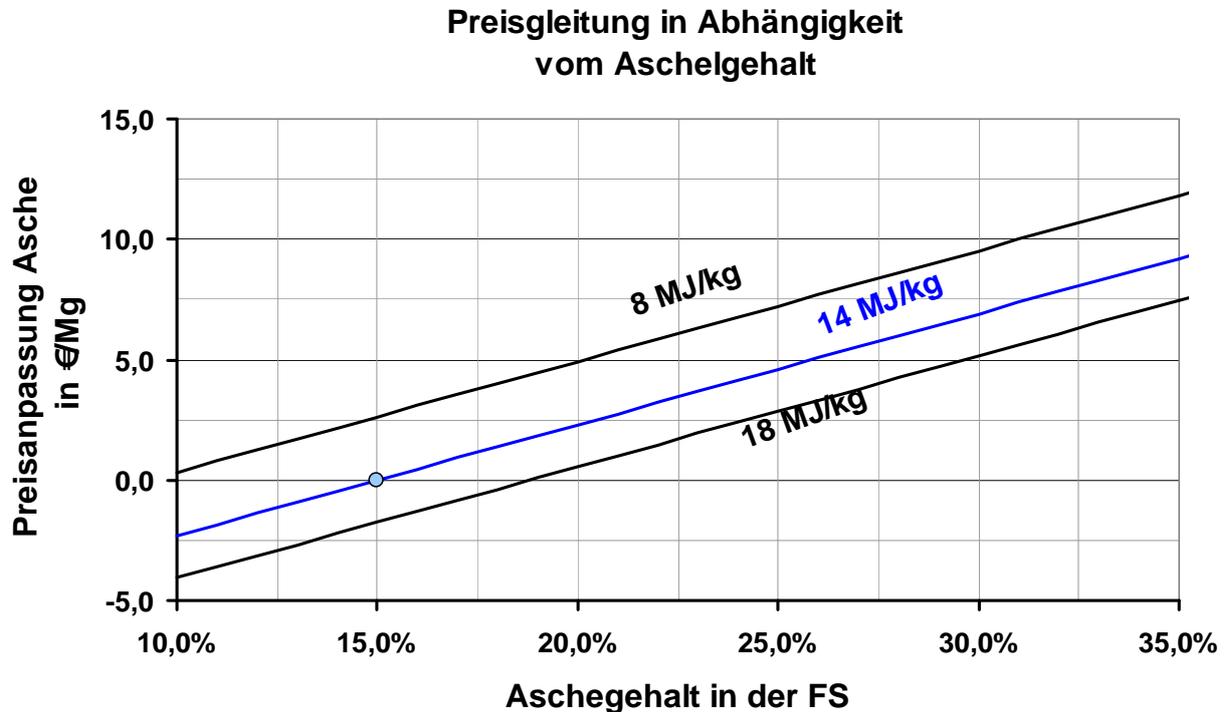


Abbildung 6: Preisgleitung in Abhängigkeit vom Aschegehalt und Heizwertänderung

## HEIZWERT

Der Heizwert der Brennstoffe bestimmt bei konstant in den Feuerraum einzubringender Energie die Masse an EBS und damit direkt die Erlöse für die Ersatzbrennstoffe.

Der Energieeintrag in eine Verbrennungsanlage wird durch die Feuerungswärmeleistung begrenzt. Haben die Brennstoffe einen höheren Heizwert, werden geringere Brennstoffmengen zur selben Wärmefreisetzung benötigt. Bei Brennstoffen mit einem negativen Marktpreis – wie Abfall und EBS – werden durch deren Annahme nennenswerte Erlöse erzielt. Höhere Heizwerte sind hier kontraproduktiv, da sie ohne Preisanpassungen zu einer Reduzierung der Annahmeerlöse führen.

Um die Mindererlöse bei einer heizwertbedingten Reduzierung des Durchsatzes auszugleichen, müssen bei Veränderungen des Heizwertes Preisanpassungen vorgenommen werden. Die nachfolgende Grafik zeigt die notwendigen Preisanpassungen für ein EBS-Kraftwerk mit einem Auslegungsheizwert von 14 MJ/kg. Die benötigten Mehr- oder Mindererlöse sind relativ zu einem fiktiven Basisentsorgungspreis aufgeführt. Diese Preisanpassung berücksichtigt bereits die relativen Veränderungen der Chlor- und Aschemengen bei gleichem Chlor- und Aschegehalt im Ersatzbrennstoff.

### Einfluss Heizwert EBS auf Durchsatz und EBS-Preis

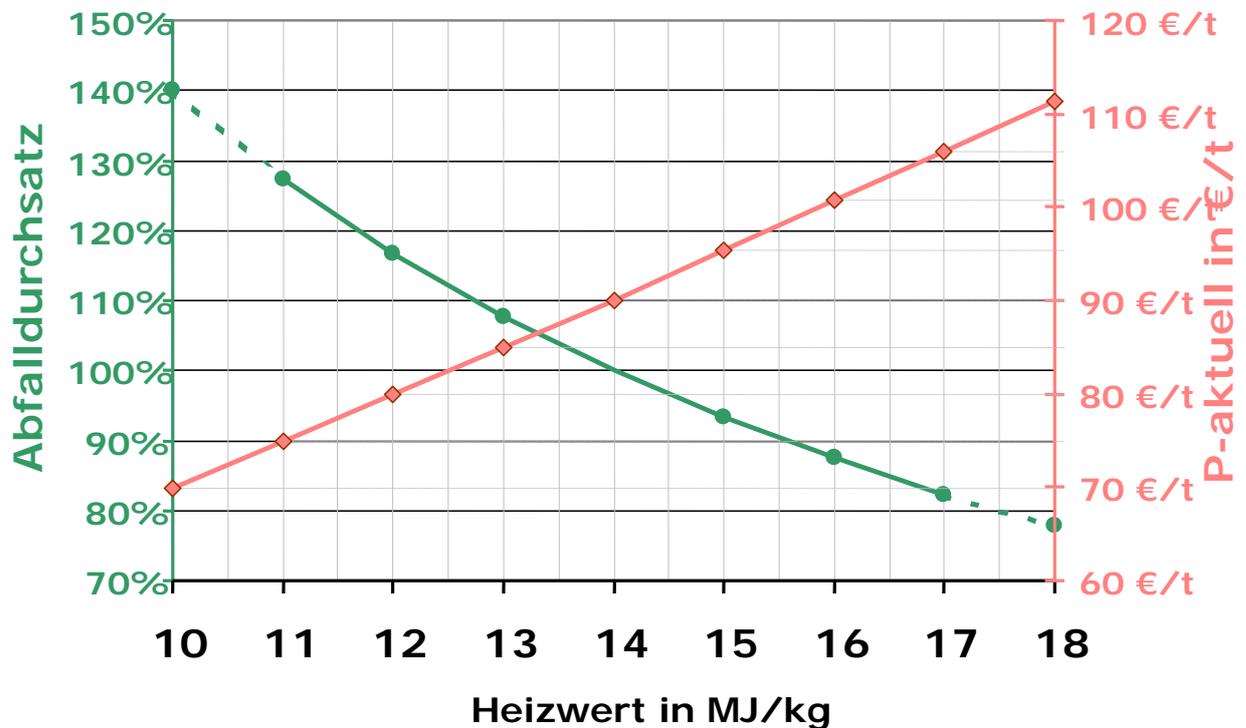


Abbildung 7: Einfluss Heizwert EBS auf Durchsatz und Preis

#### PREISGLEITUNG EBS-PREIS

Eine Preisgleitklausel muss berücksichtigen, dass Energieerlöse genauso steigen wie Betriebs-, Personal- und Entsorgungskosten. Dies bedeutet, es muss Elemente geben, die diese Kostensteigerung realistisch in der Preisgleitklausel abbilden. Daneben ist zu berücksichtigen, dass ein fixer Kapitaldienst für die Anlageninvestition zu tätigen ist, der keiner Preisgleitung unterliegt. Steigende Erlöse aus der verkauften Energie (Strom und / oder Wärme) sollten angemessen berücksichtigt werden.

Die Preisgleitklausel könnte allgemein wie folgt aussehen:

$$\text{Preis}_{\text{neu}} = \text{Preis}_{\text{alt}} \times (\text{Summand} + \text{Anteil Steigerung Kosten} - \text{Anteil Steigerung Erlöse})$$

Der Kostensteigerungsanteil an der Steigerung sollte am allgemeinen Lebenshaltungskostenindex VPI (VerbraucherPreisIndex) oder an ähnliche Preisindizes angelehnt werden. Die Steigerung der Erlöse sollte an den an der Leipziger Börse gehandelten Index für Grundlaststrom (EEX: European Energy Exchange, Phelix Base) gekoppelt werden.

Preisgleitklauseln in der Vergangenheit bestanden jedoch – auf Grund der untergeordneten Energieerlöse – nur aus den Elementen Fixanteil (ohne Preisgleitung) und Kostensteigerungsanteil (entsprechend VPI oder anderen Indizes).

In EBS-Lieferverträgen werden sowohl Preisgleitformeln mit statischem Preis, einem Preis der zu 100% nach Verbrauchspreisindizes gleitet und die oben dargestellte Preisgleitung mit einem preisdämpfenden Index über den Strompreis verwendet.

Nimmt man alle Preisänderungen, Preisanpassung und Preisgleitung zusammen, kann eine Preisdifferenz im Basispreis, ohne die weiteren Details wie Basisheizwert, Basischorgehalt, Basisaschegehalt, Preisanpassungen und Preisgleitung genauer zu betrachten, von bis zu 40% dem gleichen Vertragswert als Nettobarwert über die Vertragslaufzeit entsprechen.

## **5 Qualitätssicherung EBS**

### **MOTIVATION ZUR QUALITÄTSSICHERUNG**

Die Motivation zur Qualitätssicherung für einen EBS-Kraftwerksbetreiber ist:

- Schutz der Anlage vor zu hohen Heizwerten, Schadstoffen und Störstoffen
- Erfüllung der Überwachungspflichten gegenüber den Behörden
- Ermittlung der abrechnungsrelevanten Parameter

#### **Schutz der Anlage vor zu hohen Heizwerten, Schadstoffen und Störstoffen**

Wesentlich für den Schutz der Anlage ist die sichere Unterschreitung des maximal zulässigen Heizwertes von anlagenbedingt allgemein 18 MJ/kg zur Vermeidung von Überhitzungen und damit Verschleiß des Rostes und des Feuerraumes, eine Vermischung des EBS im Bunker bereits vorausgesetzt.

#### **Erfüllung der Überwachungspflichten gegenüber den Behörden**

Zur Einhaltung der Tages- und Halbstundenmittelwerte entsprechend 17. BImSchV gibt die Auslegung der Rauchgasreinigung bereits gewisse Grenzen der Inputstoffe bzw. sich daraus ergebende Rohgaskonzentrationen vor.

**Tabelle 5:** Chlorgehalt und maximale Rohgaskonzentrationen in Abhängigkeit vom Heizwert

Quasitrockenverfahren	Heizwert Restabfall 10 MJ/kg	Heizwert EBS 14 MJ/kg
Tagesmittelwerte Rohgas	3.000 mg/Nm <sup>3</sup>	3.000 mg/Nm <sup>3</sup>
Halbstundenmittelwerte Rohgas	6.000 mg/Nm <sup>3</sup>	6.000 mg/Nm <sup>3</sup>
Max. Cl-Gehalt OS „Tagesmittelwert“	<b>1,4%</b>	<b>1,9%</b>
Max. Cl-Gehalt OS „Halbstundenmittelwert“	<b>2,8%</b>	<b>3,8</b>

Mögliche Gewährleistungswerte Anlagenbau bei quasitrockenem Rauchgasreinigungsverfahren unter Berücksichtigung der Kesselendtemperatur und der Rauchgasfeuchte und bei niedrigem Schwefelgehalt < 600 mg/Nm<sup>3</sup>.

Bei den heute für EBS-Kraftwerke üblichen quasitrockenen Rauchgasreinigungsverfahren sollte in der Einzelcharge (ca. 20 t) ein Chlorwert von 0,18% Chlorgehalt pro MJ/kg Heizwert und im Mittel der Tagesanlieferung von 0,13 % Chlorgehalt pro MJ/kg Heizwert nicht überschritten werden.

**HCl im Rauchgas in Abhängigkeit vom Cl-Gehalt in der Frischsubstanz**

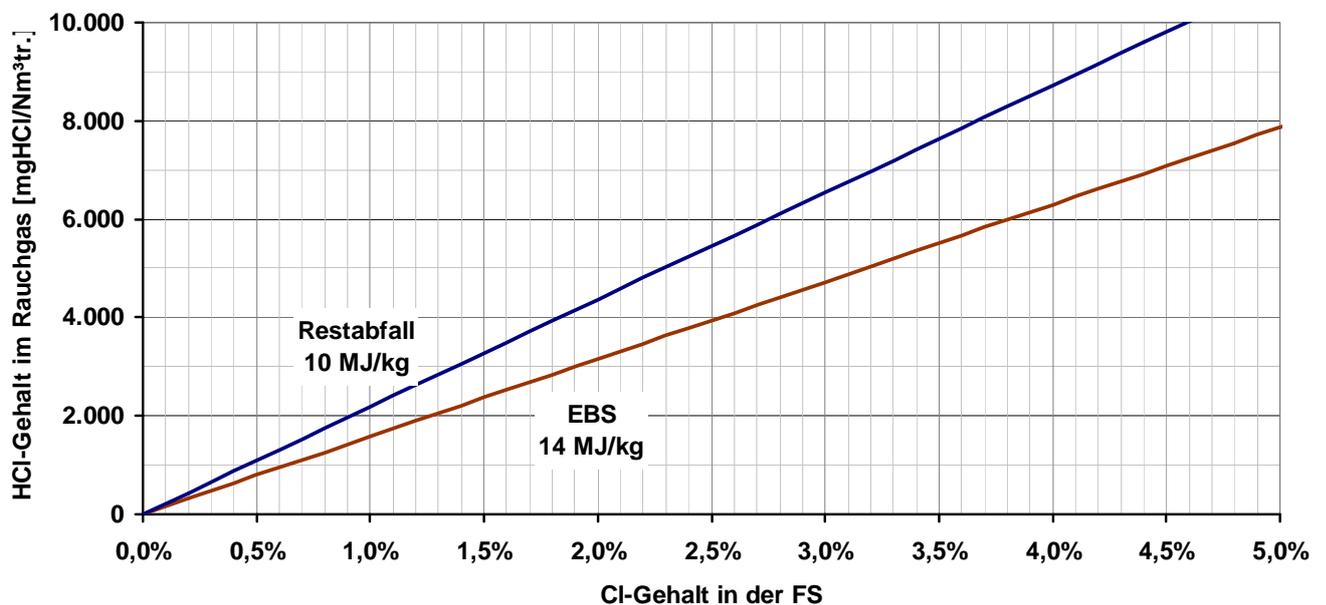


Abbildung 8: HCl im Rauchgas

**SO<sub>2</sub> im Rauchgas in Abhängigkeit vom S-Gehalt in der Frischsubstanz**

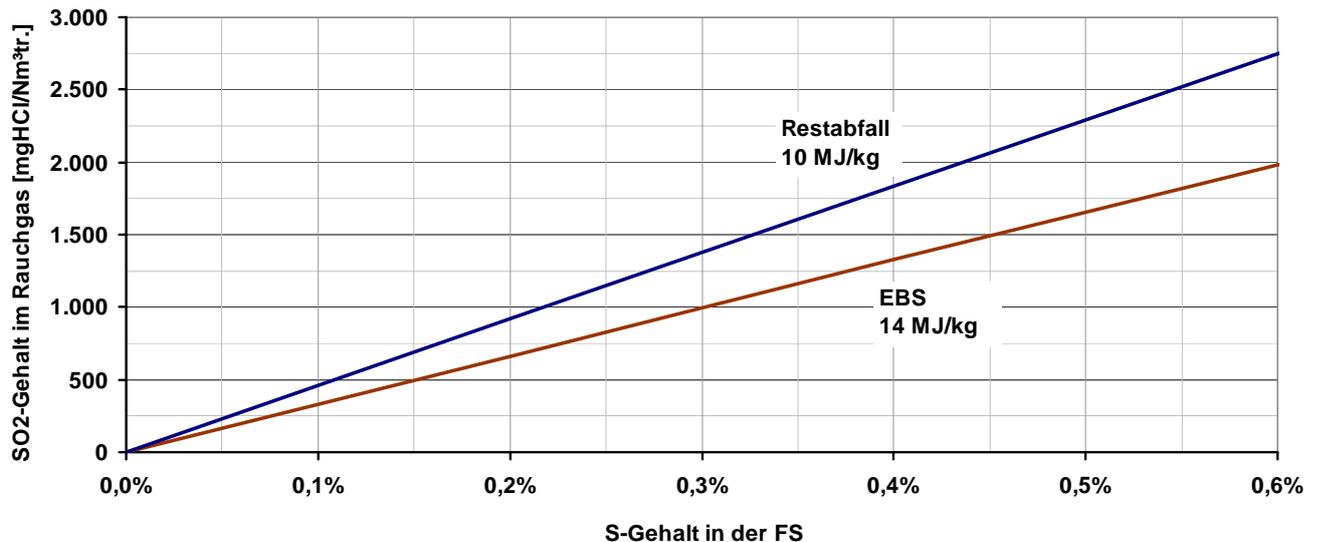


Abbildung 9: SO<sub>2</sub> im Rauchgas

### Ermittlung der abrechnungsrelevanten Parameter

Als abrechnungsrelevant werden die Parameter Chlor (Chemikalienverbrauch, Reststoffentsorgung, Standzeit, Korrosion), Heizwert (Durchsatz) und Aschegehalt (Entsorgungskosten) erfasst.

### HEUTIGE SYSTEME DER QUALITÄTSSICHERUNG

Hausmüll und Geschäftsmüll entstehen im Haushalt oder haushaltsähnlichen Kleingewerbe, es liegt immer ein sehr ähnliches Erzeugerverhalten vor und infolgedessen hat der produzierte Abfall auch ähnliche Abfallzusammensetzungen. Gewerbeabfall dagegen entsteht aus sehr unterschiedlichem Erzeugerverhalten, wie z. B. Abfälle einer Teppichfirma und einer Schlachtereier. Die Abfallzusammensetzung ist sehr unterschiedlich.

Müllverbrennungsanlagen verbrennen sozusagen Ersatzbrennstoffe mit, eine Monoverbrennung von Ersatzbrennstoffen in MVA wird nicht durchgeführt. Der Hausmüll mit den niedrigen Heizwerten und relativ geringen Chlorgehalten, in Berlin < 0,4% (über eine einjährige Messkampagne ermittelt, [9] ) reduziert somit die Heizwerte und Schadstofffracht der in der MVA mitverbrannten Ersatzbrennstoffe.

Für die Mitverbrennung von Ersatzbrennstoffen in Kohlekraftwerken und in der Zementindustrie werden sehr hohe Anforderungen an die Ersatzbrennstoffqualität gestellt. Neben den hohen Anforderungen werden zusätzlich nur geringe Anteile an Ersatzbrennstoffen in Kohlekraftwerken von nur 1% bis maximal 5% mitverbrannt.

Starke Abweichungen von Einzelchargen im Heizwert verursachen kaum technische Probleme. Schadstoffspitzen werden durch die Vermischung der abfallbürtigen mit den regelbrennstoffbürtigen Rauchgasen reduziert. In Zementwerken werden zwar bis zu 70% Abfälle mitverbrannt, davon werden aber aus technischen Gründen mindestens die Hälfte hochkalorische und homogene Abfälle wie Altöl, Altreifen, Tiermehl etc. eingesetzt.

Zusätzlich werden Schadstoffspitzen durch den Zement geglättet. Gerade Chlor wird aufgrund des hohen Freikalkgehaltes teilweise eingebunden und über den Chlor-Alkalibypass ausgetragen.

**Tabelle 6:** Maximale Schadstoffgehalte nach Bundesgütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe e. V. ([www.bgs-ev.de](http://www.bgs-ev.de)) gegenübergestellt den Praxiswerten für EBS-Kraftwerke:

		EBS-Kraftwerk		BGS RAL-Gütezeichen		BGS RAL-Gütezeichen	
		zul. max. Mittelwert der angelieferten Einzelcharge		aus Siedlungsabfällen		aus produktionsspez. Abfällen	
		projektabhängig von bis		Median	80-Perzentil	Median	80-Perzentil
Heizwert	kJ/kg	16.000	18.000				
Chlor	M-% FS	1,0%	2,0%	< 1		< 1	
Fluor	M-% FS	0,02-	0,03%	-		-	
Schwefel	M-% FS	0,4	0,5%	-		-	
Aschegehalt	M-% FS	25%	30%	-		-	
Quecksilber	mg/kg TS	1,5	2	0,6	1,2	0,6	1,2
Cadmium	mg/kg TS	10	20	4	9	4	9
Thallium	mg/kg TS	5	20	1	2	1	2
Antimon	mg/kg TS	200	500	25	60	25	60
Arsen	mg/kg TS	10	20	5	13	5	13
Nickel	mg/kg TS	100	200	25	50	80	160
Blei	mg/kg TS	300	400	70	200	190	-
Chrom	mg/kg TS	200	400	40	120	125	200
Mangan	mg/kg TS	200	400	50	100	250	500
Kupfer	mg/kg TS	500	1000	120	-	350	-
Zinn	mg/kg TS	120	150	30	70	30	70
Vanadium	mg/kg TS	20	80	10	25	10	25
Kobalt	mg/kg TS	15	30	6	12	6	12

Bezogen auf die Mitverbrennung von Ersatzbrennstoffen wurde von der Bundesgütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe e.V. ein mittlerweile verbreitetes Qualitätssicherungssystem entwickelt. Die Qualitätsanforderungen der Bundesgütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe e.V. sind in Tabelle 6 im Vergleich zu Empfehlungen für EBS-Kraftwerke dargestellt.

Der 80-Perzentil-Wert stellt einen statistischen Wert dar, bezogen auf den 80% aller Messwerte kleiner/gleich diesem Wert sind. Ein spezielles Perzentil ist z. B. der Median (50%-Perzentil).

Sortiert man die Messwerte der Größe nach, so ist der Median bei einer ungeraden Anzahl von Beobachtungen der in der Mitte dieser Folge liegende Beobachtungswert. Durch seine

Resistenz gegen Ausreißer eignet sich der Median besonders gut als Lageparameter für nicht normalverteilte Grundgesamtheiten.

Beispiel:

Bei 10 Messungen ergeben 9 Analysen 1% Chlor und eine Analyse 10% Chlor. Der durchschnittliche Chlorwert beträgt 1,9%, der Median jedoch nur 1%.

Ein EBS-Lieferant, der nach den Kriterien der Bundesgütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe zertifiziert ist, kann nicht ausschließen, dass eine Einzellieferung, auch bei einem Durchschnittschlorgehalt von 1,2% und einem Median von 1,9% bei einer Anlieferung einer 25 t Charge, in dieser Charge einen Wert von 5% Chlor nicht überschreitet. Dies ist bei einer Mitverbrennung im Zementwerk oder Kraftwerk nicht so entscheidend wie bei einer Monoverbrennungsanlage. Bei einer angenommenen Durchsatzleistung von 15 t/h in einer Monoverbrennungsanlage und einer angenommenen Verbrennung von teilvermischten 7,5 t/h EBS, die einen zu hohen Chlorwert aufweisen, kann der Halbstundenmittelwert im Reingas überschritten werden. Die Auslegungswerte der Rauchgasreinigung sind über die Festlegung eines 80-Perzentil-Wertes nicht hinreichend bestimmt.

Eine Diskrepanz zwischen Anlagenliefervertrag und EBS-Liefervertrag ist vorbestimmt, falls nicht die EBS-Eigenschaften der Einzelanlieferung definiert sind. Zurzeit existieren noch keine geeigneten Qualitätsmanagement-Systeme, die die tatsächliche Qualität von Ersatzbrennstoffen bzw. heizwertreichen Gewerbeabfällen in Bezug auf Monoverbrennungsanlagen ermitteln können.

Die bisher eingesetzten Probenahmesysteme entsprechend Bundesgütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe erfolgen direkt in den Sortier- und Aufbereitungsanlagen proportional vom Bandabwurf. Damit können lediglich die durchschnittlichen Gehalte ermittelt werden, nicht jedoch Spitzen in einzelnen Anlieferungen, obwohl in Monoverbrennungsanlagen bereits einzelne Fehlchargen von Lkw-Ladungen gravierende Auswirkungen auf die gesamte Anlage haben können. In den Verbrennungsanlagen selbst sind noch keine anerkannten Qualitätssicherungssysteme eingeführt.

## **Probenahme-System für die Qualitätssicherung in EVA / MVA**

Die Einführung eines standardisierten Qualitätssicherungs- und Probenahmesystems wird gerade für neuere EBS-Projekte immer wichtiger, da diese mit einem größeren Anteil von EBS aus Gewerbeabfall und mit einem größeren Lieferantenkreis rechnen müssen. Die eindeutige Zuordnung einer Charge zu einem Lieferanten und eine entsprechende Beprobung ist für abrechnungsrelevante Parameter und zum Schutz der Anlage unbedingt erforderlich. Zwischen Anlagenbetreiber und EBS-Lieferant muß zudem Einigkeit über die Anerkennung der Beprobungssysteme und der Analyseergebnisse bestehen. Dies sollte bereits im EBS-Liefervertrag geregelt werden.

### **Technische Ausführung des Probenahmesystems**

Die relevanten Parameter werden durch eine mindestens zweiwöchentliche Beprobung einer kompletten Liefercharge bestimmt. Für die Probenahme wird eine Probenahmeeinrichtung und ein Probenahmeprozedere mit dem EBS-Lieferant abgestimmt.

Der für die Abrechnung relevanten Parameter ergeben sich aus dem arithmetischen Jahresmittelwert der mindestens 24 Einzelmessungen.

Aus einer Anlieferung (maximal 25 t) wird eine repräsentative Probe gezogen, indem die gesamte Anlieferung über den vorhandenen Zerkleinerer der Verbrennungsanlage geführt wird und indem die angelieferte Charge auf ca. < 150 mm zerkleinert wird.

Über ein Reversierband wird die zu untersuchende Charge über einen Fallschacht geführt. Dieser ist z. B. mit einer Klappe ausgestattet, die periodisch und kontinuierlich (z. B. 1,5 sec. pro Minute) eine Teilcharge einem Probenahmazerkleinerer zuführt, der einen Durchsatz von ca. 0,5 t/h aufweist. In dem Probenahmazerkleinerer wird der Ersatzbrennstoff auf 30 mm – 40 mm zerkleinert. Die auf 30 mm - 40 mm zerkleinerten Ersatzbrennstoffe werden dann in einer Mischtrommel homogenisiert.

Aus der homogenisierten Charge wird eine repräsentative Probe von 20 kg gezogen, die in einem Zementmischer 1 h gemischt wird. Darauf wird eine Teilcharge von 1 kg - 2 kg abgetrennt, aus der zunächst der Wassergehalt der Originalprobe nach DIN 38414 bestimmt wird. Darauf werden jeweils eine Probe und eine Rückstellprobe in einer Größenordnung von 2 kg gezogen. Die eigentliche Probe wird auf 6 mm zerkleinert. Durch die umfangreiche Homogenisierung in den Mixern und durch die zufällige Probennahme kann davon ausgegangen werden, dass diese Probe repräsentativ ist. Mindestens eine Probe wird als Rückstellprobe verwendet.

Die auf 6 mm zerkleinerte Probe wird wieder so lange geteilt, bis ca. 2 x 200 g gewonnen werden, die analysefein auf 1 mm aufgemahlen werden. Von der analysefeinen Probe werden dann durch Teilen repräsentative Teilproben gezogen, die analysiert werden.

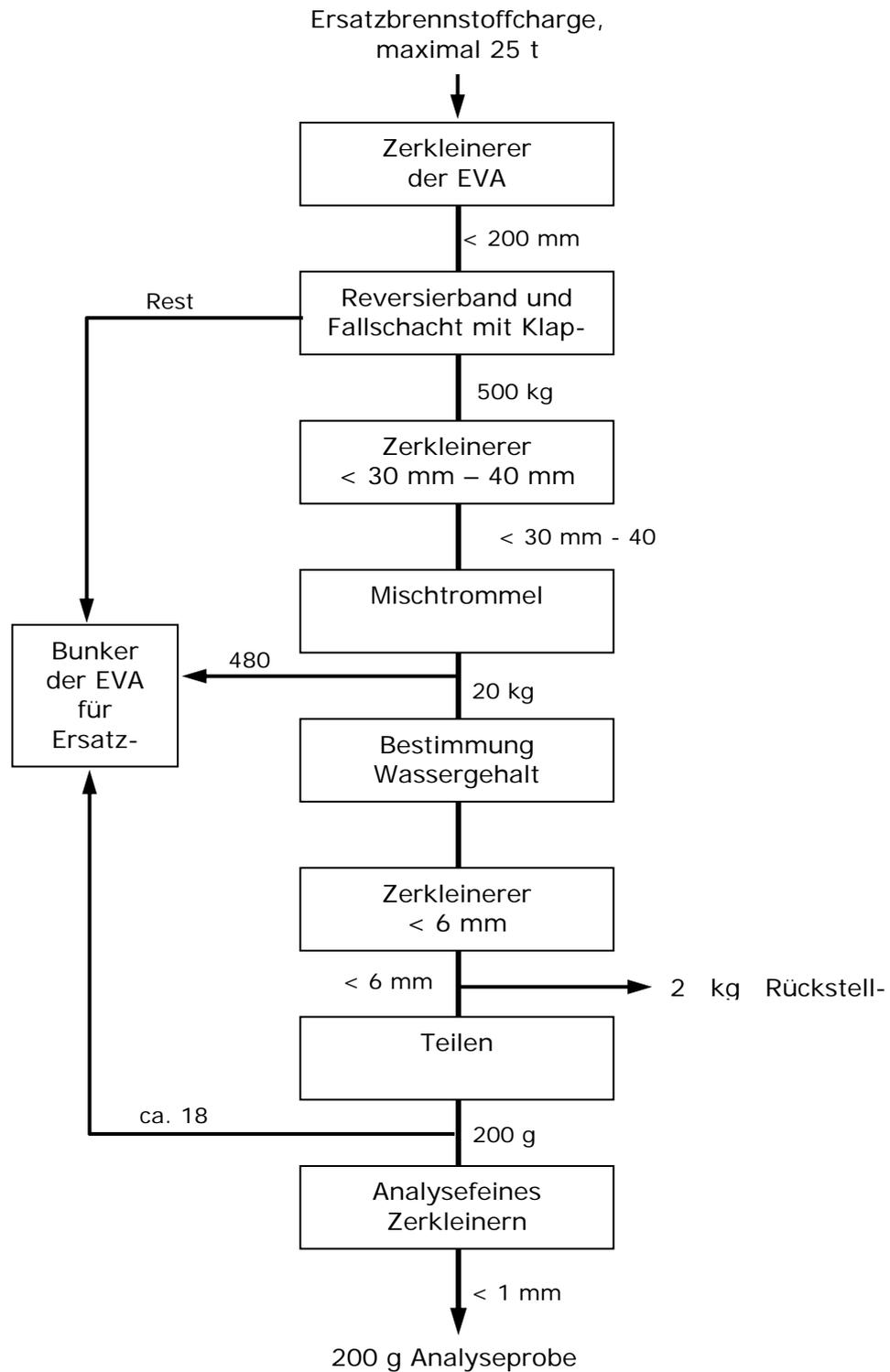


Abbildung 10: Probenahmesystem

# Bunker

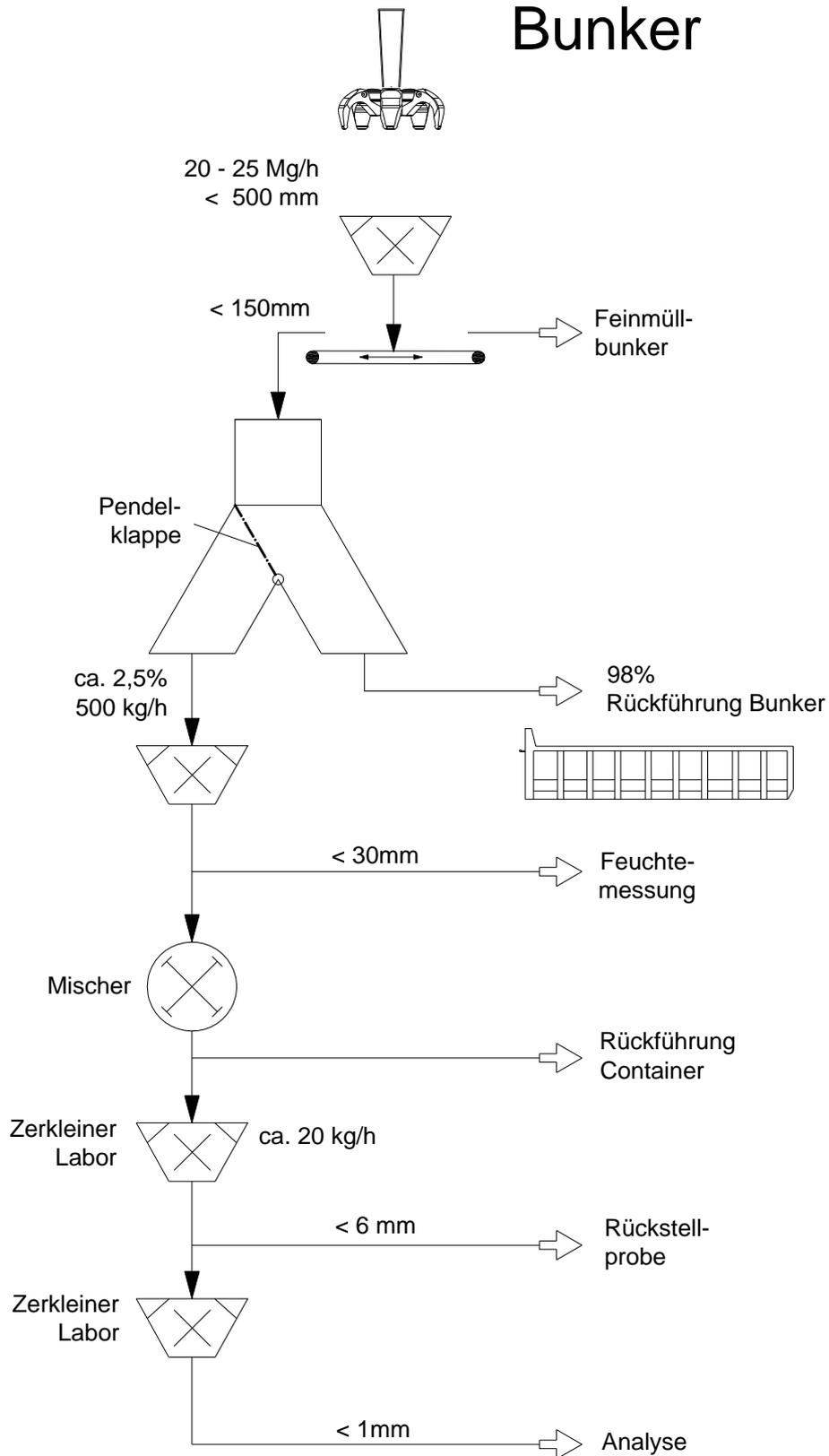


Abbildung 11: Fließbild Probenahmesystem

## 6 Ausblick

Der Begriff Ersatzbrennstoff impliziert lediglich, dass derjenige, der einen Ersatzbrennstoff verbrennt, dies mit dem Ziel der energetischen Verwertung durchführt. Qualitätsanforderungen oder Herkunft der Ersatzbrennstoffe sind nicht definiert, auch wenn dies von Genehmigungsbehörden teilweise angenommen wird. Auch ist die Anwendung der Qualitätskriterien für Sekundärbrennstoffe entsprechend der Bundesgütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe e.V. nicht per se auf den Begriff Ersatzbrennstoff anwendbar.

Ersatzbrennstoff ist aber keineswegs ein besserer Abfall als Restabfall, nur weil er einen schöneren Namen hat. Aufgrund der unterschiedlichen Herkunft von Ersatzbrennstoff und der geringen Langzeiterfahrung mit Monoverbrennungsanlagen für Ersatzbrennstoff und der schwierigen Abschätzung der zukünftigen Zusammensetzung von Ersatzbrennstoff ist die Einführung eines Qualitätssicherungssystems zusätzlich an den Verwertungsanlagen als Eingangskontrolle erforderlich.

Die heute in Betrieb oder in der Realisierung befindliche EBS-Kraftwerke der 1. Generation werden durch einen hohen Anteil an hausmüllstämmigen EBS geringere Qualitätsprobleme mit Chlorfrachten haben als heute in der Projektentwicklung befindliche EBS-Kraftwerke der 2. Generation mit einem höheren EBS-Anteil aus Gewerbeabfällen.

Ein anderer Weg zur Bewältigung der Schadstofffrachten aus dem Gewerbeabfallbereich ist die Vermischung mit schadstoffärmeren Restabfällen bei der Erweiterung von MVA-Kapazitäten zur Mitverbrennung von Gewerbeabfällen.

## 7 Literatur

- [1] Alwast, H.: Ersatzbrennstoffmengen und Projekte in Deutschland. Vortrag beim VDI-Wissensforum Seminar 430411, 5. Dezember 2006, Berlin
- [2] Alwast, H.: Rechnung mit Unbekannten. In: Müllmagazin 3, 2006, S. 8-13
- [3] Alwast, H.: Marktentwicklungen für die Ersatzbrennstoffverwertung im Kontext der Entsorgungssituation nach dem 1.6.2005. In: Thomé-Kozmiensky, Beckmann (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe 5. Neuruppin: TK Verlag, 2005, S. 61-71
- [4] Arbeitsgemeinschaft PVC und Umwelt e.V., API, PVCH,VKE (Hrsg.): PVC: Daten, Fakten, Perspektiven, Mai 2003 Download: <http://www.oekoeffizienz.at/d/DatenFakten.pdf> Stand: 20.12.2006
- [5] Arbeitsgemeinschaft PVC und Umwelt e.V. Folie: PVC Verbrauch in Deutschland 2001-2005 Download: [http://www.agpu.com/fileadmin/user\\_upload/PVC-Verbrauch\\_2001-2005\\_090506.oh.pdf](http://www.agpu.com/fileadmin/user_upload/PVC-Verbrauch_2001-2005_090506.oh.pdf) Stand: 20.12.2006
- [6] Arbeitsgemeinschaft PVC und Umwelt e.V. Folie: PVC-Verbrauch in Deutschland 1960-2005. Download: [http://www.agpu.com/fileadmin/user\\_upload/4\\_3\\_4\\_Verbrauch\\_BRD.pdf](http://www.agpu.com/fileadmin/user_upload/4_3_4_Verbrauch_BRD.pdf) Stand: 20.12.2006

- [7] Arbeitsgemeinschaft PVC und Umwelt e.V. Folie: PVC-Nachfrage nach Branchen. Download:  
[http://www.agpu.com/fileadmin/user\\_upload/information\\_herunterlade/pvc\\_nachfrage\\_nach\\_branchen\\_in\\_duetschland\\_280606.oh.pdf](http://www.agpu.com/fileadmin/user_upload/information_herunterlade/pvc_nachfrage_nach_branchen_in_duetschland_280606.oh.pdf) Stand: 20.12.2006
- [8] Becker, O.: Herausforderungen einer Finanzierung bei EBS-Anlagen. Vortrag beim VDI-Wissensforum Seminar 430411, 5. Dezember 2006, Berlin
- [9] Büll, U.; Zwisele, B.; Nogueira, M.; Niestroj, J.: Erhebung repräsentativer Planungsdaten für die Restabfallbehandlung eines Entsorgungsgebietes. Müll und Abfall, 1,2005
- [10] Fuchs, C.: Abgasreinigung bei neuen Herausforderungen In: Thomé-Kozmiensky, Beckmann (Hrsg.): Optimierung der Abfallverbrennung 3. Neuruppin: TK Verlag, 2006, S. 596-616
- [11] Fuchs, C. ; Reisch, M.; Feilenreiter, T.: Wirtschaftlicher Betrieb von Abgasreinigungsanlagen – unter besonderer Berücksichtigung von Nachrüstungen – In: Thomé-Kozmiensky, Beckmann (Hrsg.): Optimierung der Abfallverbrennung 2. Neuruppin: TK Verlag, 2005, S. 355-372
- [12] Grundmann, J.: Ersatzbrennstoffmengen, Projekte, Entwicklung. Vortrag beim VDI-Wissensforum Seminar 430411, 5. Dezember 2006, Berlin
- [13] PVCplus Kommunikations GmbH, PVCH, API (Hrsg.): Produktinformation: Wissenswertes über PVC, August 2005 Download:  
[http://www.agpu.com/fileadmin/user\\_upload/produktinfo1.pdf](http://www.agpu.com/fileadmin/user_upload/produktinfo1.pdf) Stand: 20.12.2006
- [14] Remondis Ag & Co. KG: Remondis erwartet Überkapazitäten in Höhe von 16 bis 18 Mio Tonnen. In: EUWID Nr. 14 2006 vom 11.04.2006
- [15] Rothert, A.: Positionen zur Chemie mit Chlor. Hrsg.: Verband der chemischen Industrie, 18.11.2005
- [16] Schmitt, W.; Vetter, M.: PVC in der Müllverbrennung. Hrsg.: Arbeitsgemeinschaft PVC und Umwelt e.V., August 2001 Download:  
[http://www.agpu.de/fileadmin/user\\_upload/4\\_3\\_2\\_Recycling\\_Energ.pdf](http://www.agpu.de/fileadmin/user_upload/4_3_2_Recycling_Energ.pdf) Stand: 20.12.2006
- [17] Seiler, U.: Die quasitrockene Abgasreinigung: Eine zeitgemäße und preiswerte Lösung der Emissionsminderung für Abfallverbrennungsanlagen, Vortrag beim VDI-Wissensforum Seminar 435917, 15.-16.September 2005, München
- [18] Seiler, U.: Gegenüberstellung der spezifischen Behandlungskosten von quasitrockenen Abgasreinigungsanlagen beim Einsatz verschiedener Sorbentien, Vortrag beim VDI-Wissensforum Seminar 431201, 16. – 17. Mai 2006, Ratingen
- [19] Staus, J.; Lahmer,T.: Bau und Betriebserfahrungen der Abfallverwertungsanlage Zorbau. In: Thomé-Kozmiensky, Beckmann (Hrsg.): Optimierung der Abfallverbrennung 3. Neuruppin: TK Verlag, 2006, S. 409-436
- [20] Zahlten, M.: Beschaffung von Ersatzbrennstoffen und deren vertragliche Bindung. Vortrag beim VDI-Wissensforum Seminar 430411, 5. Dezember 2006, Berlin