

# EINSATZ VON ERSATZBRENNSTOFFEN IN KLÄRSCHLAMMVERBRENNUNGSANLAGEN

Dipl. -Ing. Falko Lehrmann, INNOVATHERM GmbH, Lünen  
Dr.-Ing. Peter Schmittl, BASF SE, Frankenthal  
Dr. Jörg Six, WFA Elverlingsen GmbH, Werdohl

## 1 EINLEITUNG

Ein wesentlicher Teil der Klärschlammverwertung in Deutschland findet als thermische Klärschlammverwertung statt. Die thermische Klärschlammverwertung kann unterteilt werden in die Mitverbrennung von Klärschlämmen in

- Kohle Kraftwerken
- Zementwerken und in
- Müllverbrennungsanlagen

sowie in Mono Klärschlammverbrennungsanlagen.

Die thermische Verwertung in Monoverbrennungsanlagen, die Gegenstand der weiteren Berichterstattung sind, unterliegt den Anforderungen der 17. BImSchV.

Eine wesentliche Anforderung der 17. BImSchV besteht in der Verbrennungsbedingung. So muss eine Verbrennungstemperatur von 850 °C über eine Verweilzeit von mindestens 2 Sekunden eingehalten werden. Hierzu ist ein definierter Energieinhalt notwendig.

Der in einer Kläranlage anfallende Klärschlamm hat nach der mechanischen Entwässerung einen durchschnittlichen Trockensubstanzgehalt von 20 bis 30 Gew. %. Der Heizwert solcher Schlämme liegt deutlich unter 1 MJ/kg. Für eine eigenständige Verbrennung unter den oben genannten Verbrennungsbedingungen ist jedoch ein Heizwert von 4 bis 6 MJ/kg notwendig. Dies ist natürlich wesentlich abhängig von den konkreten Rahmenbedingungen der Verfahrens- und Anlagentechnik, wie z. B. die Ausführung der Verbrennungsluftvorwärmung.

Um nun solche Heizwerte für den Verbrennungsprozess zur Verfügung zu stellen, gibt es unterschiedliche Technologien:

- Trocknung der Klärschlämme
- Verbrennung der mechanisch entwässerten Klärschlämme mit Primärenergieträgern wie z.B. Kohle
- Externe Konditionierung der Klärschlämme mit Heizwertträgern
- Konditionierung der Klärschlämme mit heizwertreichen Energieträgern direkt vor dem Verbrennungsprozess.

Die letztgenannten Möglichkeiten der HeizwertEinstellung außerhalb der Trocknung werden im Folgenden näher betrachtet.

Diese Ausführungen gelten ausschließlich für Wirbelschichtverbrennungsanlagen.

## **2 BESCHREIBUNG DER TECHNIKEN ZUR HERSTELLUNG HEIZWERTANGEREICHERTER KLÄRSCHLÄMME**

Grundsätzlich stehen verschiedene verfahrenstechnische Möglichkeiten zur Verfügung, um einen für den Verbrennungsprozess notwendigen Heizwert von 4 bis 6 MJ/kg Originalsubstanz einzustellen. Die technisch umgesetzten Varianten werden im Folgenden näher beschrieben.

### **2.1 Externe Zumischung heizwertreicher Fraktionen**

Als Heizwertträger kommt in erster Linie Kohle in Betracht. Diese kann für die Anreicherung des Heizwertes genutzt werden; ebenso kann Kohle aber auch als Stützmaterial bei dem Entwässerungsvorgang in Kammerfilterpressen eingesetzt werden. Hierbei wird die Feinkohle in den Dünnschlamm schon vor der Entwässerung zugemischt. Es werden mit Unterstützung der Kohle deutlich höhere Trockengehalte (TR) als bei der Entwässerung ohne Kohlezugabe, erfahrungsgemäß ca. 40 % TR erzielt. Ein weiterer positiver Nebeneffekt ist natürlich die Anhebung des Heizwertes. So gelingt es, einen mit Kohle konditionierten Brennstoff mit ca. 4,5 MJ/kg herzustellen. Diese Zusammensetzung erfüllt bereits die Anforderungen, um direkt in einer Wirbelschichtfeuerungsanlage eingesetzt werden zu können. Diese Variante wird seit ca. 30 Jahren in der zentralen Schlammbehandlung der EMSCHERGENOSSENSCHAFT für die Klärschlammverbrennung in Bottrop und bei der INOVATHERM in Lünen angewandt. Die BASF SE wendet dieses Verfahren in Ludwigshafen ebenfalls seit vielen Jahren erfolgreich an. Zur Einsparung von Kohle kamen in Bottrop über mehrere Jahre versuchsweise entsprechend aufbereitete Schredderflusen zum Einsatz. Der Effekt auf die Entwässerung und den Heizwert waren ebenfalls gut. Aufgrund von Qualitätsproblemen bei der Flusenherstellung sind die Versuche z. Zt. unterbrochen.

### **2.2 Herstellung einer heizwertangereicherten Fraktion und Vermischung mit mechanisch entwässertem Klärschlamm**

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, den mechanisch entwässerten Klärschlamm mit heizwertreichen Fraktionen so stark anzureichern, dass ein Heizwert resultiert, der deutlich über dem liegt, der für eine Verbrennung unter den Bedingungen der 17. BImSchV notwendig ist. Ziel dieser Vorgehensweise ist es, mit einem minimierten Aufwand so viel Brennenergie in den mechanisch entwässerten Klärschlamm zu bringen, dass in Vermischung mit weiterem, mechanisch entwässertem Klärschlamm, eine Mischung hergestellt werden kann, die die Anforderungen für den Verbrennungsprozess erfüllt. Diese Variante wird u. a. bei der BASF ausgeführt.

### 2.3 Anreicherung mit heizwertreichen Fraktionen direkt vor dem Verbrennungsprozess.

Die dritte grundlegende Variante ist die Einstellung des für den Verbrennungsprozess notwendigen Heizwertes direkt vor dem Verbrennungsvorgang. Diese Variante ist aus regelungstechnischer Sicht die beste Lösung (geringe Totzeit) . Diese Lösung ermöglicht es dem Betreiber quasi online, auf die unterschiedlichen Entwässerungsgrade des Klärschlammes zu reagieren und über die Anpassung der Menge an heizwertreicher Fraktion diese Variationen auszugleichen. Nachteilig für dieses Verfahren ist, dass auf einer extrem kurzen Strecke und damit auch Verweilzeit, der Klärschlamm mit der heizwertreichen Fraktion innig und homogen vermischt werden muss. Die Anforderungen an die Mischgüte, um eine gleichmäßige Verbrennung zu erzielen sind sehr hoch. Diese Variante wird u. a. bei der WFA Elverlingsen betrieben.



**Bild 1: Beispiel eines Vorlage- und Dosier-Containers für Ersatzbrennstoff**

## 3 SPEZIFIKATION DER HEIZWERTREICHEN FRAKTIONEN

Eine beispielhafte Spezifikation einer heizwertreichen Fraktion ist in der Tabelle 1 zusammengestellt. Wesentliche Parameter, die sich in der Anlage oder aber in den Rückstandsprodukten auswirken können, werden näher beschrieben.

**Tabelle 1: Daten für Ersatzbrennstoffe – Beispielhafte Spezifikationen  
Jahresmittelwert 2011/2012 bei der WFA Elverlingsen**

Parameter	Dimension	Beispiel
Heizwert	MJ/kg	20
Körnung	mm	< 25
Schüttdichte	kg/t	0,2 -0,3
Störstoffe		keine
Chlor	Gew %	1,3
Cadmium	mg/kg TR	4,0
Thallium	mg/kg TR	0,5
Quecksilber	mg/kg TR	0,1
Arsen	mg/kg TR	1,2
Cobalt	mg/kg TR	4,5
Nickel	mg/kg TR	85
Antimon	mg/kg TR	75
Blei	mg/kg TR	200
Chrom	mg/kg TR	126
Kupfer	mg/kg TR	1930
Mangan	mg/kg TR	189
Vanadium	mg/kg TR	3,4
Zinn	mg/kg TR	70

### 3.1 Heizwert

Je höher der Heizwert ist, desto weniger heizwertreiche Fraktion muss mit dem mechanisch entwässerten Klärschlamm vermischt werden. Ideal sind solche Heizwerte, die bei der ursprünglichen Auslegung der Anlage für den Stützbrennstoff berücksichtigt wurden und damit auch dem Regelungskonzept zugrunde liegen. Ist dies der Fall sind die Anpassungsmaßnahmen gering und eine Rückstellung auf den Auslegungsbetrieb ist jederzeit möglich.

Grundsätzlich sind natürlich auch deutlich abweichende Heizwerte möglich. Dies hat jedoch Auswirkungen auf die Förder- und Mischaggregate und die Regelung der Anlage.

### **3.2 Chlorbelastung**

Vielfach zeichnen sich heizwertreiche Fraktionen, insbesondere diejenigen, die abfallstämmig sind, durch erhebliche Schadstoffbelastungen aus. Grundsätzlich stellt dies kein Problem dar. Es ist aber in jedem Fall zu prüfen, ob die Belastungen in der Rauchgasreinigungsanlage verkraftet werden können und ob die Anlagenteile, dem möglichen Korrosionsangriff widerstehen.

Sinngemäß gilt dies natürlich auch für die Schwefelbelastungen in den heizwertreichen Fraktionen. Diese stellen jedoch in den meisten Fällen keine Einschränkung im Anlagenbetrieb dar.

### **3.3 Asche**

Die Aschekonzentrationen in heizwertreichen Fraktionen spielen in der Regel keine negative Rolle. Die Auslegung einer Klärschlammverbrennungsanlage ist für Aschegehalte im Klärschlamm von ca. 50 % in der Trockensubstanz ausgelegt. Die Aschegehalte der heizwertreichen Fraktionen sind in der Regel deutlich niedriger.

### **3.4 Schwermetalle**

Die Einbringung heizwertreicher Fraktionen ist in der Praxis nicht in der Auslegung der Anlage berücksichtigt worden und stellt eine nachträgliche Änderung dar. Dies hat zur Folge, dass bei einer Änderungsgenehmigung auf die Leistungsfähigkeit der bestehenden Anlagenkomponenten zu achten ist. Häufig geschieht dies durch eine Stoffflussanalyse, bei der die Abscheideleistung der einzelnen Komponenten überprüft und danach die zulässige Spezifikation des neu einzusetzenden Ersatzbrennstoffes definiert wird.

Bei diesem Punkt ist besonders darauf zu achten wie sich die Aschequalitäten verändern.

### **3.5 Störstoffe**

Die Rohstoffe sollten störstofffrei sein. Eine von der Spezifikation der Klärschlämme abweichende Spezifikation ist nicht empfehlenswert. Eine Qualitätskontrolle der Ersatzbrennstoffe im Betrieb ist unbedingt erforderlich, um den Anteil der Störstoffe gering zu halten. Mögliche Auswirkungen der Störstoffe werden im Kapitel 4.2 näher beschrieben.

### **3.6 Korngröße**

Die Korngröße der Ersatzbrennstoffe soll für die Verbrennung in Wirbelschicht nicht mehr als 25 mm betragen. Große flächige Materialien stören ebenso viel lange Bänder oder Drähte. Besonders günstig sind pelletierte Produkte, da diese im Wirbelbett und nicht im Freiraum ausbrennen.



**Bild 2: Pelletierter EBS**

## **4 AUSWIRKUNGEN HEIZWERTREICHEN FRAKTIONEN AUF DIE ANLAGENTECHNIK**

### **4.1 Verbrennungsprozess**

#### **4.1.1 *Betttemperaturen / Freeboardtemperatur***

Die Mischgüte des mit Ersatzbrennstoffen konditionierten Klärschlammes ist bestimmend für eine betrieblich notwendige Temperaturverteilung im Wirbelbett und im Freeboard des Wirbelschichtofens. Ist eine nicht optimale Mischgüte vorhanden, kommt es zu einer Abtrennung des Klärschlammes von dem Ersatzbrennstoff. Dies hat zur Folge, dass der spezifisch leichtere Ersatzbrennstoff in den Freeboard getragen wird, dort verbrennt und es damit zu einem Temperaturanstieg im Ofenkopf kommt. Nachteilig ist, dass diese Energie nicht für die eigentliche Klärschlammverbrennung zur Verfügung steht.

### 4.1.2 Verbrennungstemperaturregelung

Die Rahmenbedingungen für die Regelung der Temperaturen im Wirbelbett als auch für die Ofenkopf-temperatur werden durch den Einsatz von Ersatzbrennstoffen verändert. Das Regelungskonzept ist auf die geänderten Betriebsbedingungen anzupassen. Hierbei ist insbesondere zu berücksichtigen, dass bei der Einstellung des Heizwertes über Ersatzbrennstoffe relevante Heizwertschwankungen auftreten können, die von der Regelung nachgefahren werden müssen.

Bei den betrachteten Anlagen kommt es durchaus zu deutlich unterschiedlichen Temperaturprofilen. So werden die Anlagen der BASF und der INNOVATHERM im Wirbelbett mit Temperaturen um 800 °C und im Ofenkopf (Nachbrennzone) mit Temperatur > 950 °C betrieben. Das Temperaturniveau bei der WFA Elverlingsen liegt sowohl im Wirbelbett mit Temperaturen um 700 °C als auch im Ofenkopf mit Temperaturen um 900 °C deutlich niedriger. Auffällig ist in dieser Anlage jedoch eine um ca. 50 K größere Temperaturspreizung.

## 4.2 Wirbelschichtofen

### 4.2.1 Störstoffe / Ablagerungen

In den Ersatzbrennstoffen oftmals enthaltene Störstoffe wie z.B. Metalle, Steine oder Glas können bei Öfen mit geschlossenem Düsenboden zu Ablagerungen auf dem Düsenboden führen.



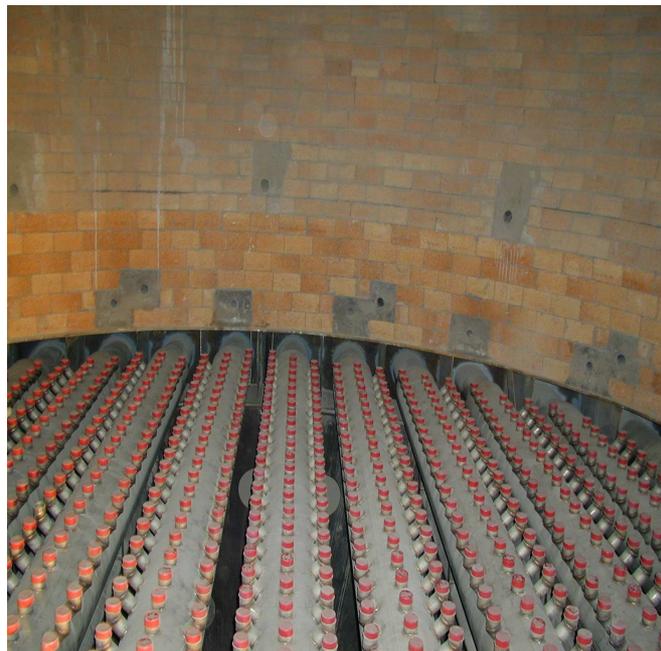
**Bild 3: Störstoffe aus EBS, gefunden in der Bettasche**

Dadurch wird die Verwirbelung behindert und es kommt zu ungleichmäßigen Temperaturverteilungen. Diese wiederum können Ablagerungen im Wirbelbett verursachen. Die Bettasche Austragssysteme sind nicht in der Lage, die Störstoffe auszutragen. Die Erfahrungen zeigen, dass nach 3 – 9 Monaten Betrieb die Anlage

abgefahren werden musste, um den Düsenboden abzusaugen und Störstoffe zu entfernen. Bei Öfen mit offenen Düsenböden (Bild 5 und 6) tritt dieses Problem nicht auf, da die Bettasche im laufenden Betrieb ausgetragen, abgesiebt und der Sand wieder zurückgeführt werden kann.



**Bild 4: Geschlossener Düsenboden**



**Bild 5: Offener Düsenboden**



**Bild 6: Austrag aus offenem Düsenboden**



**Bild 7: Störstoffe aus dem Wirbelbett aus Ersatzbrennstoffen**



**Bild 8: Ablagerungen aus EBS im Wirbelbett**



**Bild 9: Verkrustungen im Wirbelbett aufgrund von Ablagerungen und ungleichmäßiger Temperaturverteilung**

### **4.3 Kesselanlage**

#### **4.3.1 Kesselverschmutzung**

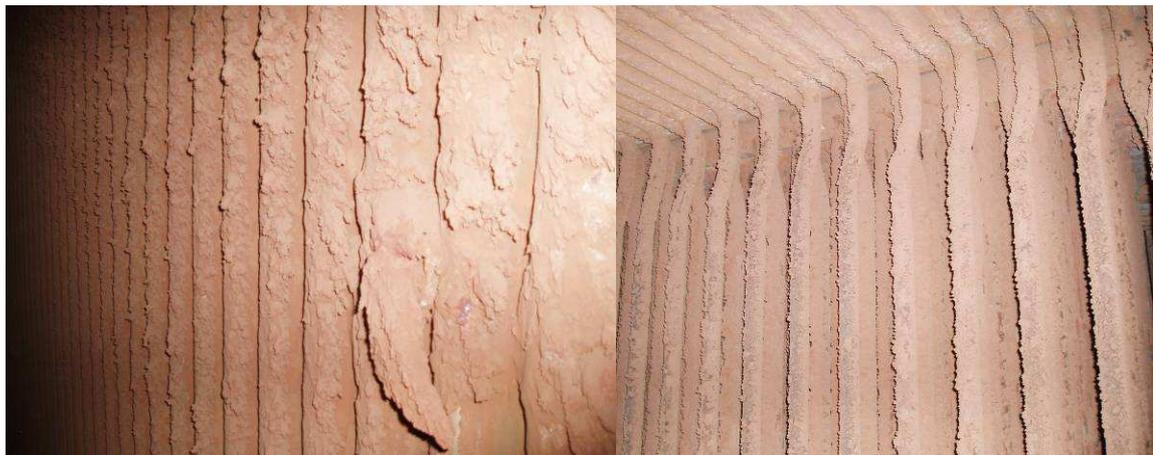
Kesselverschmutzungen können den Abgasweg binnen kurzer Zeit verschließen. Die Folge ist, dass der Kessel abgestellt werden muss und eine aufwendige Reinigung des Kessels insbesondere im Bereich der Wärmetauscher zu erfolgen hat. Die theoretische Vorhersage solcher Ablagerungen ist nicht exakt möglich. Dafür sind die chemische / physikalischen Vorgänge zu komplex. Festzuhalten bleibt, dass EBS den Ascheschmelzpunkt herabsetzen kann. Einfluss auf Ablagerungen haben unter anderem die Fracht an Ersatzbrennstoffen; die Zusammensetzung der Ersatzbrennstoffe, die Dampfparameter der Anlage – hier entscheidet die Kesselwandtemperatur über mögliche Kondensationsvorgänge - als natürlich auch die Geometrie des Kessels.

Aus diesem Grunde wird zum Beispiel in der Klärschlammverbrennungsanlage der BASF die Menge an Ersatzbrennstoff auf maximal 5 Gew. % bezogen auf die Kohlemenge begrenzt. Grund hierfür waren negative Erfahrungen im Bereich des Ofenkopfes, den Überhitzerpaketen, dem Luft- und Speisewasservorwärmer.

Des weiteren wurde in der Vergangenheit EBS Fraktionen verbrannt, deren leichte Anteile bis in den E-Filter getragen wurden und dort verbrannten. Hierdurch bedingt kam es zu Überschlägen im E-Filter.



**Bild 10: Kesselverschmutzungen unterhalb der Überhitzerpakete**



**Bild 11 und 12: Ablagerungen am Kessel aufgrund des abgesenkten Ascheschmelzpunktes durch Ersatzbrennstoffe erzeugte Ablagerungen auf den Kesselrohren, insbesondere im vorderen, heißen Bereich der Strahlungsheizflächen.**

#### **4.3.2 Reinigungsverhalten**

Die Kessel-Abreinigungssysteme in Form von Klopfenrichtungen oder Russbläsern sind oft nicht in der Lage, die festen Ablagerungen zu beseitigen.

Erfolgreich können Sprengungen im laufenden Betrieb sein. Reichen all diese Maßnahmen nicht aus, muss die Anlage abgefahren werden und im Stillstand eine Reinigung mittels Sandstrahlung vorgenommen werden.

#### **4.4 Rauchgasreinigungsanlage**

##### **4.4.1 Chlorabscheidung, Entschwefelungsleistung, Schwermetallabscheidung, NO<sub>x</sub> Abscheidung**

Die Ersatzbrennstoffe sind gekennzeichnet durch deutlich höhere Chlorid- und in den meisten Fällen auch Schwefelkonzentrationen. Hier ist in Einzelfall zu prüfen, ob die jeweiligen Gasreinigungsstufen diese höheren Abscheideleistungen erbringen können und ob die Genehmigung diesen Einsatz auch zulässt. Die Auswirkungen auf die Produkte werden im nächsten Kapitel näher betrachtet.

Die mit dem Ersatzbrennstoff eingebrachten Schwermetalle werden in der Regel sicher abgeschieden, haben aber ebenfalls Einfluss auf die Produktqualität.

Die Auswirkungen auf die NO<sub>x</sub> Konzentration im Abgas können sehr unterschiedlich sein. Eine deutliche Verlagerung des Verbrennungsprozesses bei niedrigeren Temperaturen in das Wirbelbett senkt die NO<sub>x</sub> Konzentrationen; eine Verbrennung der Sekundärbrennstoffe im Freeboard mit zwangsläufig höheren Ofenkopftemperaturen steigert die NO<sub>x</sub> Emission. Eine gezielte Steuerung des Verbrennungsprozesses ist notwendig, um ohne weitere sekundäre Maßnahmen die Emissionsgrenzwerte einhalten zu können.

## **5 AUSWIRKUNGEN HEIZWERTREICHER FRAKTIONEN AUF DIE PRODUKTQUALITÄTEN UND DEREN ENTSORGUNGSMÖGLICHKEITEN**

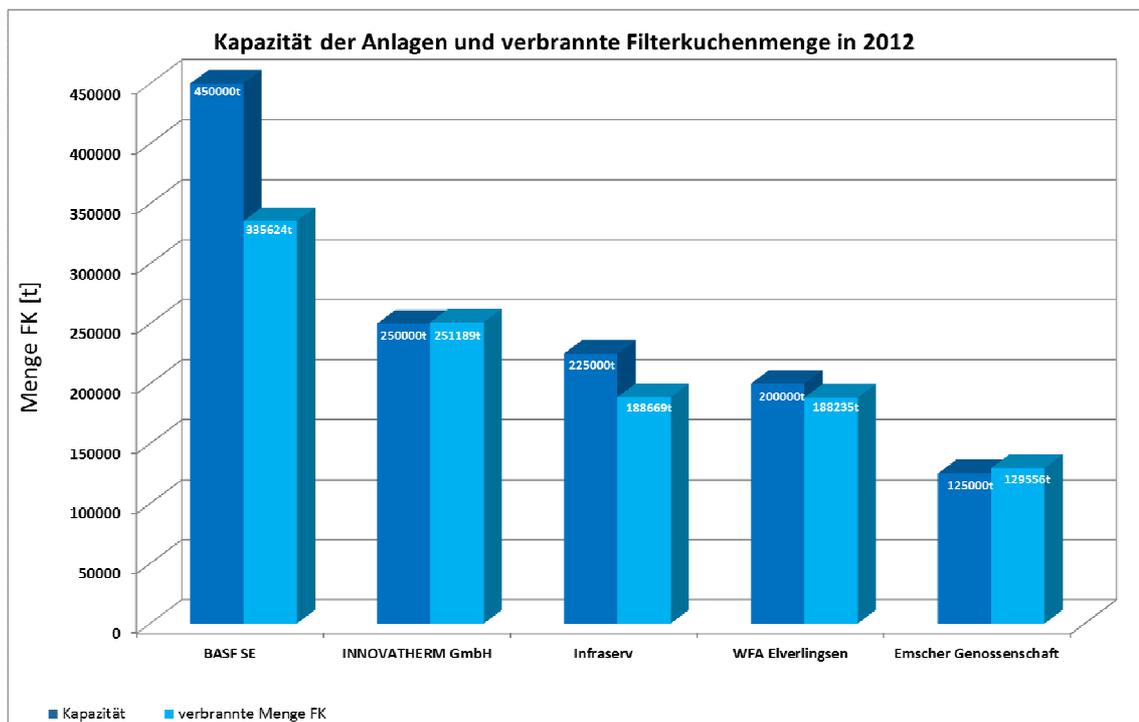
### **5.1 Asche, Produkte aus der Rauchgasreinigung**

Die Aschen werden durch die heizwertreichen Fraktionen mit höheren Konzentrationen an Schwermetallen und gegebenenfalls an löslichen Sulfaten angereichert. Die Aschemenge wird nur unwesentlich beeinflusst.

Die mit dem Ersatzbrennstoff eingebrachten Chloride finden sich weitgehend in den Produkten der Rauchgasreinigungsstufen saurer Wäscher bei Nassreinigungs-verfahren oder in den Produkten nach Sprühreaktor / Gewebefilter wieder. Die Menge der Produkte steigt an. Diese Produktveränderungen sind zu bilanzieren, analytisch zu erfassen und bei den Verwertungswegen zu berücksichtigen.

## 6 BEISPIELE FÜR DEN EINSATZ HEIZWERTREICHER FRAKTIONEN

In den Abbildung 13 sind Klärschlammverbrennungsanlagen dargestellt, die zur Zeit Ersatzbrennstoffe in bedeutendem Umfang verbrennen. In der folgenden Abbildung sind zunächst die theoretischen Kapazitäten und die tatsächlich genutzten Durchsätze im Jahr 2012 dargestellt.

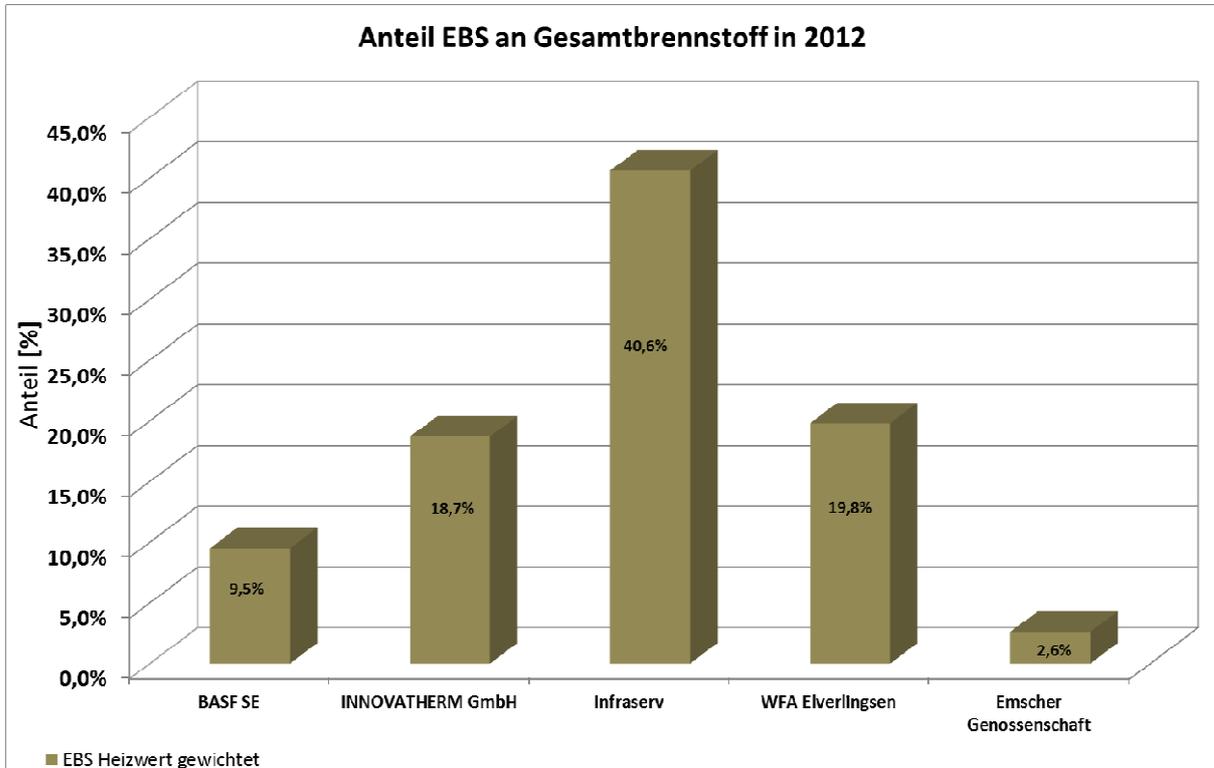


**Bild 13: Kapazitäten und Auslastungen**

In der Abbildung 14 wird dargestellt, welchen Anteil der Ersatzbrennstoff an dem Gesamtenergieaufwand der jeweiligen Anlage einnimmt. Es ist erkennbar, dass bislang bis zu 50 % des Primärenergiebedarfs durch Ersatzbrennstoffe ersetzt werden können.

Ebenso ist aber auch erkennbar, dass bei deutlichen Problemen in den Anlagen ein Ersatzbrennstoffeinsatz auf wenige Prozente des Primärenergieeinsatzes begrenzt wird.

In der Anlage von INFRASERV wird der zur Zeit höchste Anteil an Ersatzbrennstoff bezogen auf den Primärenergiebedarf verfeuert.



**Bild 14: Anteil EBS am Energiegehalt der eingesetzten Brennstoffe**

## 7 MARKTEINFLÜSSE AUF DIE HEIZWERTREICHEN FRAKTIONEN

Die Herstellung von Ersatzbrennstoffen steht im Umfeld weitere Verfahren zur thermischen Abfallverwertung. Hier sind beispielhaft zu nennen die Müllverbrennungsanlagen, Ersatzbrennstoffkraftwerke und die Mitverbrennung abfallstämmiger heizwertreicher Fraktionen in Kraftwerken und Zementwerken.

Die Qualitäten orientieren sich idealerweise am RAL Gütezeichen für Ersatzbrennstoffe. Hierbei ist sichergestellt, dass eine nahezu gleichbleibende Qualität nach einem reproduzierbaren Qualitätssicherungsprogramm hergestellt wird.

Die Körnung des Materials muss auf den jeweiligen Anwendungsfall abgestimmt werden.

Die Konkurrenzverwertung in den anderen Anwendungsbereichen bestimmen Verfügbarkeit, Menge und Preis des Materials.

Eine beispielhafte Zusammensetzung ist in Tabelle 1 aufgeführt.

Ein Hinweis sei an dieser Stelle noch gegeben. Die heizwertreichen Fraktionen mit einem Heizwert  $> 18$  GJ/kg unterliegen der Energiebesteuerung.

## 8 ZUSAMMENFASSUNG

Der Einsatz von Ersatzbrennstoffen wird in Klärschlamm-Monoverbrennungsanlagen ohne eigene Trocknung praktiziert, um teure Primärenergieträger Kohle, Gas oder Heizöl zu verdrängen. Bei den untersuchten Anlagen handelt es sich ausschließlich um stationäre Wirbelschicht-Verbrennungsanlagen. Die eingesetzte Menge ist im Vergleich zu den in Kraftwerken, Zementwerken oder speziellen EBS-Kraftwerken eingesetzten Mengen gering.

Der Einsatz kann auf verschiedene Weise wie oben beschrieben realisiert werden. Die technischen Probleme lassen sich zuverlässig lösen. Besonders wichtig für einen dauerhaft störungsfreien Betrieb ist die gesicherte Qualität des eingesetzten EBS, da sich unverbrennbare Störstoffe wie Metallteile, Steine und Glasscherben in der Wirbelschicht anreichern und innerhalb kurzer Zeit zu Störungen führen. Besser geeignet für störstoffhaltige EBS sind offene Düsenböden.

Durch die in den letzten Jahren gesunkenen Zuzahlungen für EBS hat das Interesse der Betreiber von Klärschlammverbrennungsanlagen am Einsatz von EBS abgenommen.

Große Schwierigkeiten im Anlagenbetrieb können durch Kesselablagerungen erfolgen. Diese sind Folge der Absenkung des Ascheschmelzpunktes durch Ersatzbrennstoffe. Offensichtlich spielen Dampfparameter der Anlagen hier eine entscheidende Rolle. Bei Anlagen mit hohen Temperaturen in der Nachverbrennungszone, mit hohen Wandtemperaturen / Dampfparametern kommt es offensichtlich zur stärkeren Ascheablagerungen. Dieser Einfluss bestimmt die maximale Menge an Ersatzbrennstoff und hat zum Beispiel bei der BASF zur Folge, das maximal 10 Gew. % bezogen auf den Primärenergiebedarf gefahren werden können.

Anlagen ohne diese Limitierungen setzen bereits bis zu 50 % des Primärenergiebedarfs über Ersatzbrennstoffe ein.