

# Einsatz von Ersatzbrennstoffen in kohlebefeuerter Kraftwerken

Merkblatt zur Schadenverhütung



Die vorliegende Publikation ist unverbindlich. Die Versicherer können im Einzelfall auch andere Sicherheitsvorkehrungen oder Installateur- oder Wartungsunternehmen zu nach eigenem Ermessen festgelegten Konditionen akzeptieren, die diesen technischen Spezifikationen oder Richtlinien nicht entsprechen.

## **Merkblatt zur Schadenverhütung**

# **Einsatz von Ersatzbrennstoffen in kohlebefeueten Kraftwerken**

### **Inhalt**

<b>0</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>Anwendungs- und Geltungsbereich</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Rechtliche Grundlagen der energetischen Verwertung von Abfällen</b> .....	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Beschreibung der Ersatzbrennstoffe</b> .....	<b>6</b>
3.1	Tiermehl .....	6
3.2	Klärschlamm .....	7
3.3	Substitutbrennstoffe .....	8
3.4	Stoffkenngrößen .....	9
<b>4</b>	<b>Stand der Erfahrungen und Untersuchungen</b> .....	<b>10</b>
4.1	Einsatz von Tiermehl in Kohlekraftwerken .....	10
4.2	Einsatz von Klärschlamm in Kohlekraftwerken .....	11
4.3	Einsatz von Substitutbrennstoffen in Kohlekraftwerken .....	12
<b>5</b>	<b>Risikotechnische Hinweise</b> .....	<b>13</b>
5.1	Tiermehl .....	13
5.2	Klärschlamm .....	15
5.3	Substitutbrennstoffe .....	17
5.4	Kombinierter Einsatz von Ersatzbrennstoffen .....	18
<b>6</b>	<b>Risikobewertung</b> .....	<b>18</b>
<b>Anhang A – Glossar</b> .....		<b>20</b>
<b>Anhang B – Literaturverzeichnis</b> .....		<b>21</b>

## 0 Einleitung

Die EU-rechtlichen Vorgaben der vergangenen Jahre führten in Deutschland zu Verschärfungen hinsichtlich der Abfallgesetzgebung (u.a. Ablagerung von Siedlungsabfällen, Verbringung von Klärschlämmen und Entsorgung von Tiermehl). Dies führt u.a. dazu, dass

- bestimmte Abfälle nicht mehr unbehandelt abgelagert,
- belastete Klärschlämme nicht mehr auf die Felder ausgebracht und
- Tiermehle nicht mehr verfüttert werden dürfen.

In Anbetracht fehlender Entsorgungsalternativen besteht unter bestimmten Voraussetzungen die Möglichkeit zur Mitverbrennung von derartigen Abfällen in Industrie- und Kraftwerksanlagen.

Im Bereich der Zementindustrie hat sich in den vergangenen Jahren der Einsatz von Sekundärbrennstoffen etabliert. Bezogen auf den Gesamtenergiebedarf konnten im Jahr 2003 im bundesweiten Mittel Substitutionsraten von 35 %, in Einzelfällen mittlerweile auch Substitutionsraten von 100 % erreicht werden. Auf die Mitverbrennung in Zementwerken soll im Rahmen dieses Merkblatts jedoch nicht weiter eingegangen werden, da sich deren Verbrennungs- und Rauchgasreinigungstechnik wesentlich von der Technik der kohlebefeueten Anlagen unterscheidet.

Bei kohlebefeueten Kraftwerken besteht ebenfalls die Möglichkeit zur Substitution der Regelbrennstoffe. Neben den Primärbrennstoffen werden bereits seit geraumer Zeit Klärschlämme und Tiermehl mitverbrannt. Nunmehr werden in Verbrennungsanlagen versuchsweise und vereinzelt auch im Regelbetrieb „Sekundär-/ Ersatzbrennstoffe“ aus aufbereiteten hochkalorischen Abfallfraktionen eingesetzt.

Unter Ersatzbrennstoffen (EBS) im Sinne dieses Merkblattes werden alle „Brennstoffe“ verstanden, die keine Regelbrennstoffe (Primärbrennstoffe) darstellen.

Die Mitverbrennungsversuche haben zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen und zum Teil zu nachhaltigen Schäden geführt.

## 1 Anwendungs- und Geltungsbereich

Dieses Merkblatt soll Versicherer, Betreiber und Genehmigungsbehörden bei der Gefahreinschätzung und Risikobewertung unterstützen. Darüber hinaus soll das Merkblatt Anhaltspunkte für Vorsorge- und Schutzmaßnahmen beim Einsatz von Ersatzbrennstoffen in kohlebefeueten Kraftwerken geben. Vor der endgültigen Festlegung geeigneter Maßnahmen und anlagenspezifischer Zufeuerungsraten ist in jedem Fall eine risikotechnische Einzelfallbetrachtung erforderlich.

Der Einsatz von Ersatzbrennstoffen (EBS) führt zu besonderen Brand-, Explosions- und technischen Gefahren. Aufgrund der Unterschiedlichkeit der Verbrennungstechnologien und der zum Einsatz kommenden Ersatzbrennstoffe ist eine Festlegung einheitlicher Standards nicht möglich.

Dieses Merkblatt gibt den derzeitigen Stand der Untersuchungen und Erfahrungen wieder und zeigt Bedenken hinsichtlich möglicher Risikoveränderungen auf. Basierend auf diesen Erfahrungen werden Betriebsparameter (z.B. Grenzwerte) aufgezeigt, die zur Einteilung in Risikostufen führen.

Die nachfolgend dargestellten risikotechnischen Hinweise erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Bei den dargestellten Hinweisen, Maßnahmen und Zufeuerungsraten handelt es sich um unverbindliche Empfehlungen. Diese ergeben sich aus den derzeit vorliegenden Erkenntnissen, Schadenerfahrungen und vorausschauenden sicherheitstechnischen Betrachtungen.

Die Einhaltung gesetzlicher Vorschriften und einschlägiger Regelwerke werden vorausgesetzt, wobei der Einsatz von EBS Konsequenzen auf die immissionsschutz- bzw. abfallrechtliche Beurteilung der Anlage haben kann, auf die im Rahmen dieses Merkblattes nicht eingegangen wird.

## 2 Rechtliche Grundlagen der energetischen Verwertung von Abfällen

Das europäische und das deutsche Abfallrecht (s. Literaturverzeichnis) verlangen, Siedlungsabfälle weitestgehend zu verwerten. Zudem ist eine Ablagerung von unbehandeltem „Rohmüll“ ab dem 1. Juni 2005 endgültig verboten. Eine energetische Verwertung liegt nach den Kriterien des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) dann vor, wenn folgende vier Bedingungen erfüllt sind:

- Der Heizwert des einzelnen Abfalls muss ohne Vermischung mit anderen Stoffen mindestens 11.000 kJ/kg betragen.
- Ein Feuerungswirkungsgrad (FWG) von mindestens 75 % soll erreicht werden.
- Die entstehende Wärme soll selbst genutzt oder an Dritte abgegeben werden.

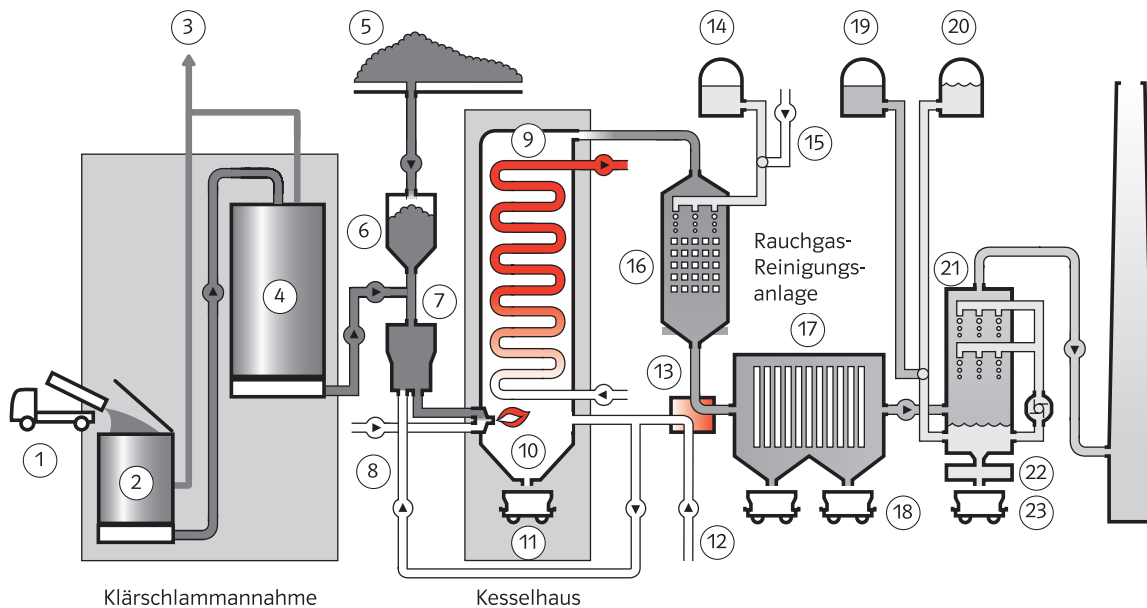
- Die im Rahmen der Verwertung anfallenden weiteren Abfälle sollen möglichst ohne weitere Behandlung abgelagert werden können.

Sowohl bei der Verbrennung als auch Mitverbrennung von Abfällen sind neben den abfallrechtlichen auch die immissionsschutzrechtlichen Anforderungen zu berücksichtigen.

Die hierzu relevante Richtlinie 2000/76/EG über die Verbrennung von Abfällen ist am 28. Dezember 2000 in Kraft getreten und mit der Novelle der 17. BImSchV in deutsches Recht umgesetzt worden. Ziel dieser Richtlinie ist es, die Belastungen der Umwelt infolge der Verbrennung von Abfällen zu vermeiden oder, sofern dies nicht realisierbar ist, möglichst weitgehend zu minimieren. Die EU-Verbrennungsrichtlinie erstreckt sich auf nahezu sämtliche Abfallarten und erfasst auch die Mitverbrennung von Abfällen in Industrieanlagen. Dabei wird folgende Unterscheidung vorgenommen:

### Verfahrensschema

#### Klärschlamm-Mitverbrennung im Kraftwerk



- |                    |  |  |
|--------------------|--|--|
| 1 Klärschlamm      | 9 Dampferzeuger                              | 16 Entstickung: Katalysator                |
| 2 Annahmehunker    | 10 Nassentascher                             | 17 Entstaubung: Elektrofilter              |
| 3 Entlüftung       | 11 Grobmasse für die Zementindustrie         | 18 Flugmasse als Betonzuschlagstoff        |
| 4 Speichersilo     | 12 Frischlüfter                              | 19 Kalk                                    |
| 5 Kohlehalde       | 13 Wärmetauscher mit Wärmerückgewinnung      | 20 Prozess- und Betriebswasser             |
| 6 Kohlebunker      | 14 Ammoniak (NH <sub>3</sub> )-Lagerbehälter | 21 Entschwefelung: SO <sub>2</sub> -Wäsche |
| 7 Kohlemühlen      | 15 Luftzufuhr                                | 22 Gipsentwässerung                        |
| 8 Frischluftzufuhr |  | 23 Gips für die Industrie                  |

Quelle: Mit freundlicher Genehmigung der E.ON Kraftwerke GmbH

**Bild 2.01:** Funktionsschema eines Kohlekraftwerks



- Unter „Verbrennungsanlage“ wird jede ortsfeste oder nicht ortsfeste technische Einheit oder Anlage verstanden, die zur thermischen Behandlung von Abfällen mit oder ohne Wärmenutzung eingesetzt werden kann.
- Der Begriff „Mitverbrennungsanlage“ charakterisiert dagegen jede ortsfeste oder nicht ortsfeste Anlage, in der Abfälle zur Substitution von Regelbrennstoffen eingesetzt bzw. im Hinblick auf die Beseitigung thermisch behandelt werden. Hervorzuheben ist, dass der Hauptzweck der Mitverbrennungsanlage in der Energieerzeugung oder in der Produktion stofflicher Erzeugnisse besteht. Werden diese Anforderungen nicht erfüllt, so handelt es sich um eine Abfallverbrennungsanlage.

Es ist also rechtlich möglich, in Kraftwerken Abfälle zu einem bestimmten Anteil einzusetzen, soweit der eigentliche Zweck der Anlage, die Stromerzeugung bzw. Dampferzeugung aus Regelbrennstoffen, erhalten bleibt. Eine Limitierung der Zufeuerungsrate muss somit zwingend über die Frage nach der technischen Eignung der Anlage erfolgen. Die geringsten Probleme sind zu erwarten, wenn Stoffe eingesetzt werden, die in ihren chemisch-physikalischen Eigenschaften den Regelbrennstoffen weitgehend ähnlich sind.

Es ist jedoch beim Einsatz von Ersatzbrennstoffen grundsätzlich zu berücksichtigen, dass Kraftwerke bis heute nicht für undefinierte Brennstoffe und somit auch nicht für Brennstoffe aus Abfällen ausgelegt sind (Bild 2.01).

### 3 Beschreibung der Ersatzbrennstoffe

Ersatzbrennstoffe (EBS) können brennbare staubförmige, pastöse oder feste Stoffe und Substanzen sein, die dem Regelbrennstoff (Primärbrennstoff) zur Verbrennung in bestimmten Anteilen zugesetzt, zugemischt oder separat aufgegeben werden (Bild 3.01). Von der Vielzahl möglicher Ersatzbrennstoffe konzentrieren sich die Betrachtungen im Rahmen dieses Merkblattes auf Tiermehl, Klärschlamm sowie hochkalorische Fraktionen aus produktionsspezifischen Gewerbe- und Siedlungsabfällen (insbesondere Kunststoffabfälle). Letztere werden im Folgenden zusammengefasst als Substitutbrennstoffe bezeichnet.

#### 3.1 Tiermehl

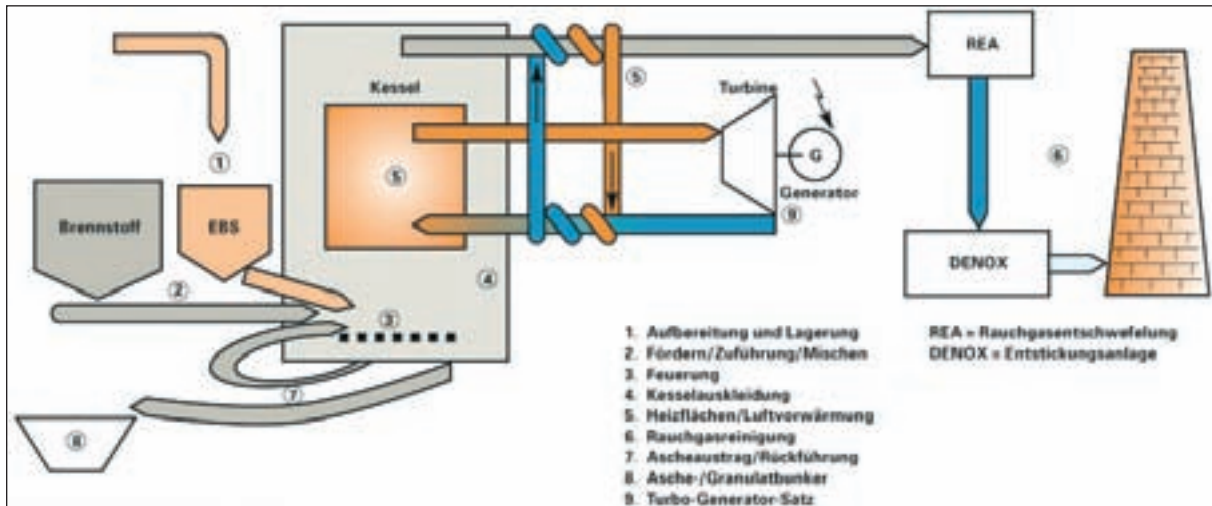
Tiermehl entsteht bei der Beseitigung von nicht zur Schlachtung herangezogenen Tierkörpern und der Verarbeitung von Nebenprodukten aus

Schlachtereien. So fallen bei der Schlachtung von Schweinen mehr als 30 % Nebenprodukte an, die einer Vielzahl von Verwendungszwecken, z.B. in der pharmazeutischen Industrie, zugeführt werden. Bei der Verarbeitung von Schlachtnebenprodukten fallen in den Spezialbetrieben u.a. Knochen und Blut an. Aus diesen Stoffen werden Knochen- und Blutmehl hergestellt, die als Abfallprodukte neben dem Tierfett zur Entsorgung oder Verwertung zur Verfügung stehen.

In kohlebefeueten Kraftwerken wird in erster Linie Tiermehl mitverbrannt. Versuche mit dem weniger geeigneten Tierfett wurden inzwischen eingestellt. Das zur Verbrennung vorgesehene Tiermehl muss gemäß einer Vorschrift der Kommission der Europäischen Gemeinschaft vorbehandelt sein und wird als Abfall aus Tiergewebe eingestuft. Das geschredderte Ausgangsmaterial mit einer Teilchengröße von < 50 mm wird unter Dampfdruck von 3 bar und mit einer konstanten Temperatur von 133 °C 20 min lang sterilisiert. Nach der Sterilisation wird das Tiermehl auf < 5 Ma.-% Restwassergehalt mechanisch entwässert und in einem weiteren Schritt auf < 12 Ma.-% Restfettgehalt entfettet. Bei diesem Vorgang fällt das Tierfett als separater Stoff an. Das verbleibende Tiermehl, im internationalen Sprachgebrauch als „Meat and Bone Meal“ (MBM) bezeichnet, wird mehrstufig auf eine Korngröße von kleiner 2 mm vermahlen und wurde in dieser Form früher vermarktet. Alternativ besteht die Möglichkeit das Tiermehl als Schilfer (entfettet, aber noch unvermahlen) mit einer Partikelgröße bis zu 50 mm zu verwerten. Dies hat den Vorteil einer staubfreien Handhabung.

Als Menge zu „entsorgenden“ Tiermehls werden in Deutschland Werte zwischen 500.000 bis 1.200.000 t/a (je nach Quellenangabe) genannt. In der EU fallen jährlich mehr als 2,5 Mio. t MBM an. Wegen fehlender Entsorgungsmöglichkeiten wurde in den vergangenen Jahren auch von anderen europäischen Ländern vermehrt auf deutsche Kraftwerke und Müllverbrennungsanlagen für die Mitverbrennung von Tiermehl zurückgegriffen.

Das Schüttgewicht des bräunlich aussehenden Tiermehls liegt je nach Qualität zwischen 300 - 700 kg/m<sup>3</sup>. Die analytische Zusammensetzung variiert nach Herkunft und Ausgangsmaterial, ebenso die Angabe des Heizwertes, der mit 15 - 18 MJ/kg angenommen werden kann (Steinkohle 26 - 31 MJ/kg). Darüber hinaus zeigen alle zur Verfügung stehenden Analysen, dass die Schadstoffbelastung des Tiermehls vernachlässigbar gering ist.



**Bild 3.01:** Vereinfachtes Prozessschema eines konventionellen Kohlekraftwerks mit Zufeuerungsmöglichkeit für Ersatzbrennstoffe - EBS

Der Phosphatgehalt im Tiermehl nimmt mit steigendem Knochenanteil zu, so dass bei der Verarbeitung von Tierkörpern Phosphatanteile in der Größenordnung von 5 Ma.-% im Tiermehl erreicht werden.

### 3.2 Klärschlamm

Klärschlamm ist im Allgemeinen die Bezeichnung für den nach Durchlaufen von Rechen und Sandfang in den mechanischen und biologischen Behandlungsstufen anfallende und anschließend ausgefautle bzw. auf sonstige Weise stabilisierte Schlamm aus Kläranlagen. Man unterscheidet grundsätzlich zwischen Klärschlämmen aus kommunalen Kläranlagen und industriellen Schlämmen, die als Abfallprodukt eines Produktionsprozesses anfallen. Die in industriellen Prozessen hinter einer Abwasserreinigungsanlage anfallenden Schlämme besitzen sehr unterschiedliche Eigenschaften und weisen im Vergleich zu den kommunalen Klärschlämmen wegen des geringeren Gehaltes an organischen Stoffen einen niedrigeren Heizwert auf. Im Folgenden wird der für die Mitverbrennung besonders interessierende kommunale Klärschlamm näher betrachtet, der unter der EAK-Nr. 190805 geführt wird.

Der Hauptbestandteil von Klärschlamm ist Wasser. Der Wassergehalt liegt bei den in Kläranlagen anfallenden Rohschlämmen oberhalb von 90 %. Die Trockensubstanz (TS), d.h. der nach Abzug des Wassergehalts verbleibende Masseanteil, enthält einen hohen Anteil an organischem Material (50 - 70 % TS) und einen größeren Anteil an Phosphat von bis zu 5 % der TS sowie eine nahezu unüberschaubare Vielfalt von Spurenbestand-

teilen, die auf die Herkunft des zu behandelnden Abwassers zurückzuführen sind.

Der Rohschlamm wird i.d.R. in beheizten Faulbehältern ausgefaut. Der hierdurch erzeugte Faulschlamm wird in weiteren Verfahrensstufen zur Volumenreduktion entwässert (Klärschlamm = mechanisch vorentwässerter Faulschlamm). Bei der Faulung wird Methan und Kohlendioxid aus dem Klärschlamm ausgetrieben, was zu einer deutlichen Abnahme des organischen Anteils und damit des Heizwertes führt. Faulschlämme lassen sich besser entwässern als Rohschlämme und bieten daher eine gute Basis für eine anschließende thermische Trocknung. Der TS-Gehalt des mechanisch entwässerten Klärschlammes erreicht Werte zwischen 25 und 35 % je nach Ausführung der Entwässerungseinrichtung, z.B. Kammerfilterpresse oder Zentrifuge. In dieser Konsistenz ist der Klärschlamm noch pumpfähig (Dickstoffpumpe). Durch thermische Trocknung des Klärschlammes, z.B. in einem Wirbelschicht-trockner, lassen sich TS-Gehalte von über 85 % erzielen. An Standorten mit Kläranlagen kleinerer Leistung werden derzeit verstärkt solare Klärschlamm-trocknungssysteme errichtet. Je nach Ausführung, z.B. Ergänzung der Trocknungsleistung durch Zuführung von Abwärme, lassen sich TS-Gehalte zwischen 50 und 90 % erzielen. Durch diese Maßnahme wird der Heizwert des Klärschlammes für die Mitverbrennung erhöht und die Transportkosten von der Kläranlage gesenkt. Faulung und Trocknung der Klärschlämme sind Voraussetzung für eine gute Lagerfähigkeit der Schlämme ohne Geruchsbelästigung.

Das jährliche Aufkommen an kommunalen Klärschlämmen betrug in den letzten Jahren ca. 2,5

Mio. t, bezogen auf die Trockensubstanz. Durch den Zubau weiterer Reinigungsstufen bei gleichzeitig fortschreitender Erweiterung der Kläranlagen-Kapazitäten könnte sich der Massenstrom künftig aber deutlich erhöhen.

Der Heizwert von Klärschlamm hängt vom Anteil der organischen Substanz ab. Der Heizwert der organischen Substanz im Klärschlamm beträgt etwa 23 MJ/kg. Durch die Faulung wird ein großer Teil der organischen Bestandteile mineralisiert, wodurch sich der Heizwert entsprechend verringert. Der Heizwert der Trockensubstanz ausgefallter Klärschlämme liegt im Bereich von 10 - 12 MJ/kg-TS.

Der Aschegehalt der wasserfreien Substanz des Klärschlammes ist mit 40 - 60 % fünfmal höher als der von Steinkohle. Die nach der Art und Herkunft stark schwankenden Schwermetallgehalte im Klärschlamm liegen zum Teil deutlich höher als im Regelbrennstoff Stein- oder Braunkohle.

### 3.3 Substitutbrennstoffe

Substitutbrennstoffe werden von der Herkunft her unterschieden in:

- Substitutbrennstoffe aus Siedlungsabfall; dabei handelt es sich um die aufbereitete brennbare, hochkalorische Leichtfraktion aus dem Resthausmüll/Siedlungsabfall oder aus hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen.
- Substitutbrennstoffe aus Gewerbeabfällen; hierbei handelt es sich um aufbereitete brennbare (Mono-) Fraktionen aus produktionsspezifischen Abfällen.

Substitutbrennstoffe können in konventionellen Gewerbe- und Sperrmüllsortieranlagen wie auch in Mechanisch-Biologische-Abfallbehandlungs (MBA) – Anlagen anfallen. Weiterhin fallen sie als produktionsspezifische Abfälle in Betrieben der Holz-, Kunststoff- und Textilindustrie an.

Die wesentlichen Inhaltskomponenten der Substitutbrennstoffe stellen biogene/kompostierbare Abfälle und Kunststoffe dar. Wesentliche Komponenten der Kunststofffraktion können der Tabelle 3.01 entnommen werden.

In der Bundesrepublik werden jährlich etwa 20 Mio. t Kunststoffe produziert. Unter Berücksichtigung von Import und Export ergibt sich ein Kunststoff-Inlandsverbrauch von etwa 15 Mio. t.

In Anbetracht der Tatsache, dass ein wesentlicher Teil der Kunststoffe im Bereich von Verpackungen und kurzlebigen Wirtschaftsgütern (z.B. Haushaltswaren und Elektro) zur Anwendung kommt, fallen jährlich ca. 5 Mio. t Kunststoffabfälle zur Entsorgung (Verwertung und Beseitigung) an. Davon entfallen etwa 75 % auf den Endverbraucher und 25 % auf produktionsspezifische Abfälle.

Aufgrund der stofflichen Eigenschaften und des hohen Anteils an thermoplastischen Kunststoffen konnte auch in der Vergangenheit ein hoher Anteil der Kunststoffabfälle werk- bzw. rohstofflich verwertet werden. Die derzeitige Situation bzgl. der Verwertung und Beseitigung von Kunststoffabfällen ist in Tabelle 3.02 dargestellt.

Die Änderungen des Abfallrechtes führen nun dazu, dass zukünftig eine Beseitigung der Kunststoffabfälle durch Deponierung aufgrund des ho-

Kunststoffart		Ø Mengenanteile in %
Kurzzeichen	Kunststoffname	
PE-LD / LDPE	Polyethylen - Low Density (Hochdruck)	14,6
PE-HD/ HDPE	Polyethylen - High Density (Niederdruck)	10,6
PP	Polypropylen	15,1
PS	Polystyrol	4,0
EPS	Styropor	2,1
PVC	Polyvinylchlorid	14,6
ABS	Acrylnitril-Butadien-Styrol	2,1
PMMA	Polymethylmethacrylat	1,0
PET	Polyethylenterephthalat	2,9
PA	Polyamid	2,8
PU	Polyurethan	6,3
Sonstige technische Thermoplaste		2,6
Duroplastische Kunststoffe		21,3
Gesamt:		100

**Tabelle 3.01:** Durchschnittliche Zusammensetzung der Substitutbrennstoffe



Verwertung/Beseitigung	Menge in Mio. t bzw. Anteil
<b>Gesamt:</b>	<b>5,0</b>
Beseitigung	42 %
Verwertung	58 %
Davon:	
- Stoffliche Verwertung	75 %
- Energetische Verwertung	25 %

**Tabelle 3.02:** Verwertung und Beseitigung von Kunststoffabfällen

hen Organikanteils nicht mehr zulässig ist. Dies bedeutet, dass künftig eine Kunststoffabfallmenge von etwa 2,8 Mio. t pro Jahr zur energetischen Verwertung anstehen würde. Der wesentliche Teil dieser Kunststoffabfälle wird sich in den Substitutbrennstoffen wiederfinden.

Diese Entwicklung wird sicherlich noch einen deutlichen Aufschwung erfahren, wenn in den nächsten Jahren eine Vielzahl von MBA-Anlagen in Betrieb gehen wird. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass sich die Menge der Substitutbrennstoffe erhöhen wird.

Auf der Basis bisheriger Abfallbilanzen wurden Prognosen für die ggf. zur Verfügung stehenden Substitutbrennstoffmengen aufgestellt. Demzufolge wird mit einem Gesamtaufkommen von etwa 4 Mio. t/a an Substitutbrennstoffen gerechnet.

Der Heizwert für Substitutbrennstoffe aus Gewerbeabfall (z.B. BPG<sup>®</sup>) liegt durchschnittlich bei 23 MJ/kg, für Substitutbrennstoffe aus Siedlungsabfall (z.B. SBS<sup>®</sup>) bei 18 MJ/kg.

### 3.4 Stoffkenngrößen

	Steinkohle	Braunkohle	Tiermehl	Klärschlamm (TS)	Substitutbrennstoffe	
					Siedlungsabfall	Gewerbeabfall
Heizwert [MJ/kg] TS	26-31	22	17-18	2,0-3,5	15-18	20-29
Kohlenstoff (%)	80-95	40-70	35-45	33-50	30-40	40-50
Asche (%)	5-15	4	10-30	30-50	3-22	2-39
Wasser (%)	5-20	30-60	3-20	65-75	20	20-29
Schwefel (%)	0,5-1,2	0,35	0,3-0,8	0,5-1,5	0,02-1,2	0,02-0,8
Sauerstoff (%)	2-10	15-30		10-20	5-10	5-10
Stickstoff (%)	1,3 - 2	0,7	5-12	2-6	—	—
Chlor (%)	0,01-1	0,03	0,5-0,7	0,05-0,4	0,04-1,9	0,02-2,2
Wasserstoff (%)	3-6	4,3	5-8	3-4	—	—
Arsen (mg/kg)	1-50	0,3-2,5	0,3	4,5-5,0	0,3-14	2,6-39
Phosphor (g/kg)	0.01-0,2		10-30	2-55	—	—
Blei (mg/kg)	10-270	0,07-4	0,4-5	70-100	0,4-7000	0,5-4400
Cadmium (mg/kg)	0,1-10	0,01-0,35	0,4-1,0	1,5-4,5	0,08-29	0,05-162
Chrom (mg/kg)	5-80	0,08-15	3-9	50-70	3-2900	0,7-86
Kupfer (mg/kg)	0,5-70	1,2-4	12-30	300-350	9-6900	3-3600
Nickel (mg/kg)	15-100	3-11	3-5	30-35	1,3-2500	0,4-1600
Quecksilber (mg/kg)	0,03-2	0,05-0,9	< 0,2	0,2-2	0,07-2,0	0,02-1,6
Zink (mg/kg)	10-300	4-22	100-150	1.000-1500	—	—

**Tabelle 3.03:** Gegenüberstellung stoffspezifischer Daten (Bandbreiten) des Regelbrennstoffs Kohle und verschiedener Ersatzbrennstoffe (Literatur s. Anhang B)

## 4 Stand der Erfahrungen und Untersuchungen

### 4.1 Einsatz von Tiermehl in Kohlekraftwerken

Im Anschluss an das europäische Fütterungsverbot von Tiermehl haben einige Kraftwerksbetreiber die Mitverbrennung von Tiermehl erprobt.

In Großkraftwerken wird Tiermehl in Pulverform eingesetzt. Das staubförmige Tiermehl wird in Transportfahrzeugen angeliefert und pneumatisch in Vorratssilos und Bunker gefördert. Aus den Bevorratungsbehältnissen wird das Tiermehl über mechanische Fördereinrichtungen, wie Schnecken und Kettenförderer, in einen Vorlagebehälter zur Direkteinblasung über separaten Brenner oder zur Aufgabe zum Kohlestrom vor den Zuteiler transportiert.

In einigen Fällen wird das Tiermehl auch offen der Kohle zugegeben oder in Big-Bags angeliefert. Letzteres gilt jedoch vor allem für Müllverbrennungsanlagen.

Ein erhöhter Fettgehalt im Tiermehl führte in den Kohlemühlen zu Verklebungen und Anbackungen und beeinträchtigte die Ausmahlung und den Austrag des Brennstoffgemisches aus der Mühle.

Bei der pneumatischen Förderung des Tiermehls innerhalb der Anlage kam es zu Verstopfungen der Förderleitungen. Dieser Prozess wurde durch eine nicht spezifikationsgerechte Zusammensetzung des Tiermehls (z.B. Knochen im Tiermehl) negativ beeinflusst. Bei der Lagerung des Tiermehls in Silos kam es zur Brückenbildung und zu Anbackungen (Wassergehalt > 5 Ma.-%, Fettgehalt > 10 - 12 Ma.-%).

Das Tiermehl wurde in einer Schmelzkammerfeuerung verbrannt. Es wurden maximal 10 Ma.-% Tiermehl der Kohle auf dem Bekohlungsband zugegeben. Das Kohle-/Tiermehlgemisch durchläuft die gesamte Bekohlungs, Tagesbunker und Mühlen. Im Durchschnitt lag der Tiermehlanteil bei 3 Ma.-%. In einem Testbetrieb wurden 12.000 t Tiermehl verbrannt. Wegen der höheren Fluor-, Chlor- und Phosphatgehalte im Tiermehl kam es vermehrt zu Verschmutzungen/Ablagerungen an den Berührungsheizflächen, was besonders beim Einsatz von Regelbrennstoffen mit ohnehin niedrigerem Ascheschmelzpunkt zu beobachten war.

Probleme traten bei DeNO<sub>x</sub>-Anlagen in high-dust-Schaltungen auf. Bei längerfristiger Zugabe von Tiermehl zum Regelbrennstoff war ein erhöhter Aktivitätsverlust der DeNO<sub>x</sub>-Katalysatoren (bis zu 30 - 40 %) zu beobachten. Im Rahmen von 3.500 Betriebsstunden, die mit Tiermehl im Verhältnis zur Kohle bis maximal 10 Ma.-% gefahren wurden, wurden einschlägige Erfahrungen gesammelt, die unter anderem zu einer Schädigung (Lebensdauerverkürzung) am DeNO<sub>x</sub>-Katalysator führten. Teilbereiche des Katalysators wurden deaktiviert. Grund dafür waren feine Stäube und gasförmiges Arsen, das bei der Verbrennung freigesetzt wurde.

Bei der Spezifikation der Kohle sollte ein Arsengehalt von bis zu maximal 10 ppm nicht überschritten werden. Südafrika-Kohle besitzt beispielsweise einen Arsengehalt von < 5 ppm. Der im Tiermehl enthaltene Phosphor entzieht dem Rauchgas den für die Bindung des Arsens notwendigen Reaktionspartner Calciumoxid. Dadurch steigt der freie gasförmige Arsengehalt im Rauchgas. Erhöht man den Calciumcarbonat-Anteil im Rauchgasstrom, kann der Anteil an freiem Arsen wieder reduziert werden.

Im Grundsatz ist nach den gesammelten Erfahrungen festzustellen, dass insbesondere die erste Katalysatorlage in Abhängigkeit der Verbrennungsprodukte Kohle, Tiermehl und sonstiger Anteile besonders gefährdet ist hinsichtlich einer Arsen-/Phosphor-Vergiftung. Die Spezifikation der Verbrennungsprodukte, die Zugabe von Inertstoffen, wie z. B. Calciumcarbonat, kann in Grenzen die Katalysatorgifte minimieren. Insbesondere bei der Tiermehlverbrennung ist neben der Katalysatorvergiftung als Risiko durch die sehr feine Asche auch die Gefahr der Zusetzung von Poren im Katalysator zu berücksichtigen. Man spricht hier von so genanntem micro-plugging.

Alle diese Einflüsse können zu einem relativ schnellen Aktivitätsverlust des Katalysators führen. Allgemein haben Katalysatoren in DeNO<sub>x</sub>-Anlagen eine Lebensdauer von 30.000 bis 40.000 Betriebsstunden.

Wenige Kraftwerksbetreiber sind für den Dauereinsatz von Tiermehl vorbereitet. Die Verbrennung von Tiermehl zum Zwecke der energetischen Nutzung kann aber heute als Stand der Technik angesehen werden. Bei der Mitverbrennung von Tiermehl ist die gesicherte Verwertung der Aschen und Entschwefelungsprodukte sowie die Einhaltung der Emissionswerte für den Betreiber von besonderer Bedeutung.

**Hinweis zu Tierfett:**

*Tierfett wurde zur Durchführung von Verbrennungsversuchen in einem wärmeisolierten, beheizten Transportfahrzeug mit einer Temperatur von ca. 70 °C angeliefert und direkt über die vorhandenen Ölleitungen und -brenner in den Feuerraum eingedüst. Bei einem Temperaturabfall unter 40 °C tritt in den Leitungen eine Verfestigung des Tierfettes auf. Die Menge an eingedüstem Tierfett sollte zur Vermeidung von Verschlackungen im Kessel begrenzt sein. Aufgrund des hohen Phosphatanteils (bedingt durch erhöhte Knochenanteile) des Tierfettes wurden besonders negative Schadenerfahrungen im Hinblick auf die Deaktivierung der Katalysatoren in Denox-Anlagen gemacht.*

Versuche zur Mitverbrennung von Tierfett wurden wegen der nicht zu beherrschenden Risiken eingestellt.

**4.2 Einsatz von Klärschlamm in Kohlekraftwerken**

Durch die Absenkung der Kapazitäten bei der landwirtschaftlichen Verwertung und insbesondere der Deponierung auf Grund geänderter rechtlicher Rahmenbedingungen rückt die energetische Verwertung bzw. thermische Behandlung von Klärschlamm immer stärker in den Mittelpunkt. Als umweltpolitisches Argument wird auch das CO<sub>2</sub>-Minderungspotenzial genannt. Unter den Ersatzbrennstoffen nimmt Klärschlamm derzeit mengenmäßig die bedeutendste Position ein.

Schon seit längerer Zeit besitzen eine größere Zahl von Kohlekraftwerken die Genehmigung Klärschlamm mit zu verbrennen. Von den anfallenden Klärschlammengen wird ein Teil in räumlicher Nähe zu den Klärwerken in speziellen Schlammverbrennungsanlagen thermisch entsorgt. Auch in Kraftwerken mit Wirbelschichtfeuerung ist die Zugabe von Klärschlämmen seit längerer Zeit erprobt, da hier ohnehin ein breites Brennstoffband eingesetzt wird. Da die genehmigten Kapazitäten bei weitem nicht ausgeschöpft werden und weitere Anlagen noch zur Verfügung stehen, ergeben sich rechnerisch große Kapazitäten zur künftigen energetischen Verwertung.

In den Kläranlagen fällt je nach Schlammbehandlung und Ausrüstungsgrad ein Klärschlamm mit unterschiedlicher Zusammensetzung und Entwässerungsgrad an, der zu den Mitverbrennungsanlagen transportiert werden muss. An mehreren Kraftwerksstandorten sind daher Lager- und Fördereinrichtungen sowohl für „nassen“, mecha-

nisch entwässerten als auch für thermisch getrockneten Klärschlamm installiert worden. Über den Einsatz von Klärschlamm in Kohlekraftwerken liegen aus Versuchs- und Dauerbetrieb vielfältige Erfahrungen vor. Der Anteil der Mitverbrennung wird aus technischen und (genehmigungs-)rechtlichen Gründen üblicherweise auf 5 Ma.-% TS bzw. 25 % der Feuerungswärmeleistung begrenzt.

Die Entwässerung des ausgefaulten, stabilisierten Schlammes erfolgt in Kammer-, Membranfilterpressen oder in Zentrifugen in der Regel unter Konditionierung mit z.B. Polymeren oder Kalk. Der mechanisch entwässerte Klärschlamm ist stichfest, aber mit Dickstoffpumpen meist unter Zuhilfenahme von Gleitmitteln sogar noch bei Trockensubstanzgehalten von über 50 % pumpfähig. Thermisch getrockneter Klärschlamm mit einem TS-Gehalt bis über 90 % lässt sich je nach Konsistenz bevorzugt mechanisch oder pneumatisch fördern.

Die pastöse Anlieferung erfolgt in hermetisch verschlossenen Containern. Mittels Dickstoffpumpen wird der Klärschlamm der Kohle über eine Bandwaage vor der Kohlemühle zudosiert.

Mit Ausnahme der Rost- und Wirbelschichtfeuerung wird Klärschlamm in der Regel über die Kohlemühlen, seltener über separate Brenner, in die Feuerung eingebracht. In der Mühle kommt es zur vollkommenen Durchmischung des Klärschlamm-Kohle-Gemisches und zur Trocknung durch die Mühlen-Tragluft. Bei einer direkten Zugabe von Klärschlamm in die Feuerung über Lanzen entstehen Probleme durch Fremdkörper, die mit dem Klärschlamm eingetragen werden. Eine Abscheidung der Fremdkörper wurde den Fördersystemen vorgeschaltet.

Probleme hat der durch die Qualität der (mechanischen) Entwässerung schwankende Wassergehalt des Klärschlammes bereitet. Hiervon ist nicht nur der Verbrennungsprozess betroffen, sondern auch die Förderung des Schlammes zu den Kohlemühlen. Schwankende Wassergehalte und/oder die variierende Klärschlammmenge führten zu Problemen in den Kohlemühlen.

Die praktische Erfahrung der Mitverbrennung von Klärschlamm in kohlebefeuerten Kraftwerken hat gezeigt, dass trotz des im Vergleich zu Steinkohle höheren Aschegehalts von Klärschlamm der Verschleiß der Kohlemühlen nicht wesentlich zunimmt, wenn der durchschnittliche Anteil des Klärschlammes am Brennstoffgemisch 5 - 10 Ma.-% nicht übersteigt.

In einer Wirbelschichtfeuerung mit Braunkohle konnte wegen des vergleichbar hohen Wassergehaltes des Regelbrennstoffes Klärschlamm aus der mechanischen Entwässerung ohne weitere thermische Trocknung eingesetzt werden. Dabei wurde ein Klärschlammanteil von mehr als 30 Ma.-% zugegeben.

Der Gehalt an organischen Bestandteilen im Klärschlamm hängt vom Grad der Stabilisierung ab. Der bezogen auf den brennbaren Anteil sehr hohe Gehalt an flüchtigen Bestandteilen im Klärschlamm kennzeichnet das Zündverhalten. Der Heizwert wird im Wesentlichen vom TS-Gehalt und von den organischen Inhaltsstoffen bestimmt. Die Mitverbrennung setzt voraus, dass bestimmte Schadstoffgehalte, z.B. bei Schwermetallen, nicht überschritten werden. Aber auch andere Faktoren wie z.B. hohe Kalk- und Phosphatgehalte können limitierende Faktoren bei der Mitverbrennung sein.

Bei der Verbrennung eines Klärschlamm/Kohle-Gemisches konnte im gleichen Abstand vom Brenner ein geringerer Sauerstoffgehalt als bei reinem Kohlebetrieb nachgewiesen werden. Die Kesselwandtemperatur verringerte sich bei Versuchen zur Klärschlamm-Mitverbrennung um etwa 100 °C, während sich die Gastemperatur jedoch gegenüber der Steinkohlefeuerung beträchtlich erhöhte. Als Ursache hierfür wurde das veränderte Strahlungsverhalten durch den verstärkten Ascheeintrag in die Feuerung erkannt.

Durch die Einbringung von Klärschlamm in die Feuerung kam es in einer Schmelzkammerfeuerung bei Verbrennungsversuchen zu verstärkten Ablagerungen auf den Heizflächen, die eine starke Anreicherung von Sulfaten, Phosphaten und Arsenaten aufwiesen. Die Zugabe von Kalk zum Brennstoffgemisch könnte die Entstehung solcher Ablagerungen vermindern. Hierbei ist aber zu beachten, dass durch diese Maßnahme gleichzeitig eine weitere Absenkung des Ascheschmelzpunktes einhergeht.

Allgemein ist zu beobachten, dass der Ascheschmelzpunkt bei der Mitverbrennung von Klärschlamm um 80 - 90 °C sinkt, wodurch bei Schmelzkammerfeuerungen der Schlackefluss verbessert wird. Bei Trockenfeuerungen führen niedrig schmelzende Aschen zu Verschlackungen im Feuerraum durch niedrigschmelzende Verbindungen und Eutektika sowie zur Verschmutzung der Berührungsheizflächen.

Die Verschmutzungen an den Heizflächen im Zusammenwirken mit Flugaschepartikeln sind im

Wesentlichen auf die Ablagerung von Sulfaten und Phosphaten zurückzuführen, die sich bei der Mitverbrennung von EBS auch auf der Oberfläche von DeNOx-Katalysatoren in high-dust-Schaltung festsetzen können. Aktivitätsverlust der Katalysatoren kann auch bei entsprechenden Verbrennungsbedingungen durch gasförmig vorliegende Phosphorverbindungen herbeigeführt werden, die unmittelbar oder in Verbindung mit anderen Katalysatorgiften auf die innere Oberfläche der Katalysatoren einwirken.

Die bei der Verbrennung im Kohlekraftwerk anfallende Flugasche wird u.a. als Zuschlagsstoff bei der Betonherstellung eingesetzt. In diesem Zusammenhang wird über Probleme hinsichtlich des Aschegütesiegels für die Betonherstellung berichtet, wenn Flugasche aus der Mitverbrennung von EBS verwendet werden.

Die Einhaltung von genehmigten Emissionsgrenzwerten, insbesondere Quecksilber, und die für eine Verwertung erforderliche Flugaschequalität können bereits die Mitverbrennung von Klärschlamm begrenzen. In der Praxis hat sich ein Anteil von 5 Ma.-% Trockenmasse Klärschlamm bezogen auf die eingesetzte Kohlemenge als in dieser Hinsicht unproblematisch erwiesen, wenn die Qualität des Klärschlammes der Abfallklär-schlammverordnung entspricht. Der Einsatz von mechanisch entwässertem Klärschlamm wird durch die Trocknungsleistung der (vorhandenen) Kohlemühlen begrenzt.

### **4.3 Einsatz von Substitutbrennstoffen in Kohlekraftwerken**

Zum 01.06.2005 endete die Zeit, die eine Ablagerung von Abfällen mit erhöhten organischen Anteilen zuließ. Unbehandelte Siedlungsabfälle aus Haushalten und Gewerbe müssen zukünftig einem thermischen oder mechanisch/biologischen Abfallbehandlungsverfahren zugeführt werden. Heizwertreiche Abfälle mit hohen organischen Anteilen (wie z.B. Kunststoffe) können energetisch verwertet werden.

In Anbetracht des hohen Heizwertes von Kunststoffen, der in etwa dem von Steinkohle (26 - 31 MJ/kg TS) entspricht, kann nur ein Teil dieser Menge in Müllverbrennungsanlagen behandelt werden, da diese im Regelfall für Abfälle mit geringeren Heizwerten ausgelegt sind. Folglich bieten sich zur thermischen Verwertung Verbrennungsanlagen an, die für ähnliche Heizwerte konzipiert wurden. Im Wesentlichen sind das Zementwerke sowie Braun- und Steinkohlekraftwerke.



In Bezug auf kohlebefeuerte Kraftwerke haben sich zwei Wege zur möglichen Mitverbrennung von Substitutbrennstoffen herausgebildet:

- Direkte Mitverbrennung der hochkalorischen Kunststofffraktionen nach Zerkleinerung.
- Pyrolyse und Erzeugung eines Brenngases sowie eines als Koks bezeichneten Feststoffproduktes, die entweder im Kraftwerk separat verbrannt bzw. dem Regelbrennstoff beigefügt oder einer sonstigen energetischen Nutzung zugeführt werden.

Die Substitutbrennstoffe müssen vor der Verbrennung in Kohlekraftwerken einer speziellen Vorbehandlung unterworfen werden. Diese Vorbehandlung dient der Heizwerterhöhung, Schadstoffreduzierung und Brennstoffoptimierung. Grundsätzlich sollte eine mechanische Vorbehandlung zur Abscheidung von Inertstoffen, NE- und Fe-Metallen sowie zur Zerkleinerung vorgehen werden.

Nachgeschaltet können die Fraktionen mit hohem biologisch verfügbarem organischen Anteil biologisch behandelt werden. Bei der Vergärung werden dem Material Methan und Wasser entzogen. Der Rest kann beispielsweise in Pelletform aufbereitet einer Verbrennung zugeführt werden.

Eine weitere Variante ist die Pyrolyse von Substitutbrennstoffen mit hohem Kunststoffanteil. Hierbei werden die Substitutbrennstoffe unter Sauerstoffabschluss thermisch in Pyrolysekoks und -gas zersetzt. Das Gas wird über eine Lanze in den Kessel eingedüst; der Koks wird der Kohle vor der Kohlemühle zudosiert.

Durch hohe Zerkleinerungsraten der Kunststoffe besteht die Möglichkeit der Direktverbrennung über separate oder Kombibrenneranlagen. In einer Anlage mit Schmelzkammerfeuerung wurden Substitutbrennstoffe in einer Korngröße von durchschnittlich 10-12 mm über separate Lanzen in die Zyklon-Feuerung oder in den aufgemahlene Kohlestrom eingeblasen. In der gleichen Anlage waren Versuche zur Mitverbrennung von Substitutbrennstoffen in einer anderen Feuerungslinie mit Gleichstromfeuerung wegen des ungenügenden Ausbrandes nicht erfolgreich.

Die Substitutbrennstoffe, die sich zur Mitverbrennung in Kohlefeuerungen eignen, sollten im Regelfall in fester Form, entweder als Schnipsel oder als Pellets, vorliegen. In zirkulierenden Wirbelschichtfeuerungen ist die Bandbreite der möglichen Konsistenzen größer.

Alle Versuchs- und Betriebserfahrungen haben ergeben, dass das Schadenpotenzial in besonderem Maße abhängig ist von der Anlagenkonfiguration, Kessel- und Feuerungsart sowie DeNOx-Anordnung. So waren die Probleme beim Einsatz von Substitutbrennstoffen nur beherrschbar, wenn eine definierte Qualität zur Mitverbrennung eingesetzt wurde. Bezogen auf problematische Inhaltsstoffe wie z.B. Chlor, Schwermetalle und Schwefel ist grundsätzlich die Gesamtbelastung aus Substitutbrennstoffen und Regelbrennstoffen zu betrachten.

## 5 Risikotechnische Hinweise

Beim Einsatz von Ersatzbrennstoffen können Schäden infolge von z.B. Korrosion, Verschlackung, Ablagerung und Katalysatorvergiftung sowie durch Brand- und Explosionseignisse auftreten.

Die folgenden risikotechnischen Ausführungen zeigen Gefahrenschwerpunkte auf und dienen als Hinweise für die Ableitung von Schutzmaßnahmen.

Auf diverse GDV-Veröffentlichungen zum Brand- und Explosionsschutz wird verwiesen.

### 5.1 Tiermehl

Aufgrund der Zusammensetzung und organischen Eigenschaften ist Tiermehl ein Nährboden für jede Art von Keimen und Ungezieferbefall. Deshalb sind die besonderen Schutzmaßnahmen für den Umgang mit staubförmigen Gütern und biologischen Arbeitsstoffen einzuhalten.

Wenn keine Zwischenlagerung sondern eine Direktverwertung des Tiermeihls vorgesehen ist, haben sich übliche Transportbehälter als ungeeignet erwiesen. Zu diesem Zweck werden Spezialcontainer mit Einbauten aus Edelstahl verwendet, die ein Anbacken von Tiermehl mindern und erforderliche Reinigungsmaßnahmen vereinfachen. Die Einbauten bestehen aus Schüttschragen, die den Innenraum zum Boden trichterförmig verjüngen und das Tiermehl zu einer dort angeordneten drehzahlgeregelten Förderschnecke leiten. Anbackungen und Verstopfungen können zudem minimiert werden, wenn das Tiermehl einen Feuchtegehalt von 5 Ma.-% und einen Fettgehalt von 10 Ma.-% unterschreitet.

Tiermehl kann sich bei Überschreitung von Grenztemperaturen > 40 °C und ungenügender Wärme-



abfuhr selbst erhitzen und entzünden. Zur Vermeidung von Selbsterhitzung und Selbstentzündung sind kurze Verweilzeiten des Tiermehls in Silos, Förderleitungen usw. anzustreben. Durch erhöhten Feuchtegehalt > 5 Ma.-% und/oder erhöhten Fettgehalt > 12 Ma.-% erhöht sich die Neigung des Tiermehls zur Oxidation und bakteriologischen Zersetzung und demzufolge zur Selbsterhitzung. Die Kontakt- und Produkttemperatur muss auf < 40 °C begrenzt werden, um die Gefahr einer Selbsterhitzung zu minimieren.

Bei der Direkteinblasung von Tiermehl muss die Einblasegeschwindigkeit oberhalb von 25 m/s liegen, um die Rückzündung in die Eintragsleitung zu verhindern.

Wird Tiermehl als unvernahlene, entfettete Tiermehltrockenmasse (Schilfer) mit einer Korn-/Stückgröße bis zu 50 mm eingesetzt, werden Staubexplosionsgefahren vermieden.

Wird Tiermehl staubförmig in einer Korngrößenverteilung < 500 µm mitverbrannt, besteht Staubexplosionsgefahr (Klasse ST1). Die untere Explosionsgrenze schwankt je nach Korngrößenverteilung:

durchschnittliche Korngrößenverteilung	untere Explosionsgrenze
100 µm	100 g/m <sup>3</sup>
300 µm	250 g/m <sup>3</sup>

**Tabelle 5.01:** Untere Explosionsgrenze

Der maximale Explosionsüberdruck liegt zwischen 5,5 bar und 6,6 bar. Die Zündtemperatur von Tiermehl liegt bei 540 °C bis 580 °C.

Bei der direkten Einblasung des Tiermehls in die Brennkammer einer Schmelzkammerfeuerung oder bei Einblasung des Tiermehls oberhalb des Brennergürtels bei der Trockenfeuerung sind Ablagerungen auf den ersten Berührungsheizflächen zu beobachten. Wegen der hohen Rohrwandtemperaturen (> 400 °C) kommt es unter diesen Ablagerungen zwangsläufig zur Hochtemperatur-Korrosion. Zur Feststellung vermehrter Abzehrungen (üblich 0,1 bis 0,15 mm / 10.000 Betriebsstunden) sind daher verstärkte Kontrollen zu empfehlen.

Unter Berücksichtigung des bestehenden Deaktivierungsrisikos für die Katalysatormasse infolge der Tiermehlverbrennung muss eine strikte Beachtung der Spezifikation als unabdingbar gelten. Werden Spezifikationen durch unterschiedliche

Lieferanten nicht zuverlässig eingehalten (z.B. Gütesiegel), so sollten grundsätzlich Eingangsuntersuchungen durchgeführt und Rückstellproben für jede angelieferte Charge Tiermehl genommen werden. Eine Qualitätszertifizierung des angelieferten Tiermehls, mindestens aber eine Produktbeschreibung und Analytik, ist zwingend erforderlich.

Besonders gefährdete Anlagenteile hinsichtlich Brand- und Explosionsschutz sind u.a.:

Lagerbehälter (Silos, Container), mechanische und pneumatische Förderung (unter anderem Rohrkettenförderer), Zwischenkomponenten wie Zuteiler, Zellradschleusen, Mühlen, Brenner.

Empfohlene Schutzmaßnahmen zur Risikoreduzierung:

- Moment-, Drehzahl-/Temperaturüberwachung für elektrische Antriebe.
- Begrenzung der Fördergeschwindigkeit für Rohrkettenförderer auf ≤ 0,2 m/s.
- Druckstoßfeste Bauweise von Silos, Förderanlagen u.a. mit flammendurchschlagsicheren Zuteiler, Zellradschleusen oder Ventex-Ventilen zur explosionsschutztechnischen Entkopplung.
- Zuführrohr zum Brenner temperaturüberwacht; bei 160 °C akustischer und visueller Alarm; automatische Auslösung Schnellschlussschieber (Not-Aus) vor Brenner.
- Automatische Brandfrüherkennung für Silos und Bunker mittels Temperatur- und CO-Überwachung.
- Löschanlagen mittels N<sub>2</sub>-Inertisierung für Silos und Fördereinrichtungen.
- Als Not-Löscheinrichtungen sollten halbstationäre Wasserfluteinrichtungen mit Steigrohr und Feuerwehreinspeisung oder Anschluss an Betriebswassernetz für Silos und Bunker vorgesehen werden; zur Ansteuerung sollte auf jeden Fall eine Handauslösung vorhanden sein.
- Bei Mühlen/Mahlanlagen ist eine Temperaturüberwachung am Sieb vorzusehen; maximale Grenztemperatur 180 °C; bei Überschreiten der Grenztemperatur ist eine automatische Abschaltung und Dampfinertisierung vorzusehen.
- Beim Einsatz von Schilfer (unvernahlene, entfettete Tiermehltrockenmasse) sind keine besonderen Staubexplosionsgefahren zu erwarten.

## 5.2 Klärschlamm

Für die Beurteilung des Schadenpotenzials bei der Mitverbrennung von Klärschlämmen sind folgende Eigenschaften von wesentlicher Bedeutung:

- Ausgasung flüchtiger Bestandteile (Nass-Klärschlamm).
- Staubentwicklung (getrockneter Klärschlamm) mineralischer Anteil und Störstoffe.
- Ascheschmelzverhalten.
- Freisetzung der Inhaltsstoffe in der Verbrennung.

Zur Sicherstellung der Klärschlammqualität ist eine (stichprobenartige) Kontrolle des eingehenden Klärschlammes notwendig, um nicht spezifikationsgerechte Anlieferungen zu identifizieren und ggfs. zurückzuweisen.

In den externen Trocknungsanlagen wird der getrocknete Klärschlamm z.T. pelletiert oder grob abgesiebt, um Selbstentzündung und Explosionen zu verhindern. Der maximale Staubanteil (Korngröße < 0,5 mm) des getrockneten Klärschlammes ist auf 5 % zu begrenzen. Ab einer Temperatur von 110 °C besteht die Gefahr einer Selbstentzündung. Der Anteil der für die Selbstentzündung relevanten Teilchen < 0,1 mm soll daher 1 Vol.-% nicht übersteigen.

Bei stabilisierten und mechanisch entwässerten (Nass-)Klärschlämmen treten erfahrungsgemäß keine wesentlichen Geruchsbelästigungen bei der Lagerung von Klärschlamm auf. Bei nicht ausreichend stabilisierten Klärschlammlieferungen ist jedoch mit einer verstärkten Ausgasung flüchtiger Bestandteile zu rechnen. Die Lagerzeiten in den Kraftwerken sind daher durch eine schnelle Zuführung des Klärschlammes in den Verbrennungsprozess kurz zu halten.

Der Schutz der Förder- und Lagereinrichtungen im Bereich der Annahme von Nass-Klärschlamm wird durch die Installation eines Fremdkörperabscheider hinter der Dickstoffpumpe erreicht.

Besondere Brand- und Explosionsrisiken treten bei der Annahme, Förderung und Lagerung von Klärschlamm auf.

Auch bei mechanisch entwässertem und nahezu vollständig ausgefaultem Klärschlamm besteht im Zuge einer Silozwischenlagerung akute Explosionsgefahr durch die auch dann nicht auszuschließende Bildung von CH<sub>4</sub> (Methan). Zur Vermeidung kritischer Methangaskonzentrationen muss die Abluft aus den Lager- und Zwischenbehältern

abgesaugt werden. Darüber hinaus ist eine zusätzliche redundante künstliche Be- und Entlüftung mit einem erhöhten Luftwechsel (mindestens 10-fach pro Stunde) einzurichten. Zusätzlich sind Einrichtungen für den Anschluss einer Stickstoffinertisierung vorzusehen.

Eine Überwachung der Methankonzentration mittels Gaswarnanlage und eine künstliche Be-/Entlüftung (mindestens 10-facher Luftwechsel pro Stunde) der Lagerbehälter für noch „nassen“ Klärschlamm minimieren das Explosionsrisiko deutlich. Der Grenzwert der Gaswarnanlage zur Ansteuerung des 10-fachen Luftwechsels pro Stunde sollte bei 20 % der unteren Explosionsgrenze von CH<sub>4</sub> liegen.

Sollte „nasser“, mechanisch entwässertes Klärschlamm längere Zeit (mehrere Tage) im Silo oder in einem sonstigen geschlossenen Behälter zwischengelagert werden, muss schon aus Personenschutzgründen eine Notstromversorgung der künstlichen Be- und Entlüftung vorgesehen werden. Bei Erreichen einer Grenzkonzentration von 50 % der unteren Explosionsgrenze von CH<sub>4</sub> sollte neben der redundanten künstlichen Be- und Entlüftung eine Behälterinertisierung vorgesehen werden. Sämtliche sicherheitstechnischen Überwachungssysteme sind mittels akustischem und visuellem Alarm vor Ort und auf einer ständig besetzten Leitwarte anzuzeigen.

Klärschlamm-trocknungsanlagen trocknen den mechanisch entwässerten Klärschlamm unter 90 % TS. Bei der Lagerung und Förderung von thermisch getrocknetem Klärschlamm kann es zur Staubentwicklung in unterschiedlichen Betriebsbereichen je nach Verfahrensablauf (Direktverfeuerung, Aufgabe auf Kohleband etc.) kommen. Klärschlämme sind explosionsfähig, wenn ein Staubgehalt (aufgewirbelt im Raumvolumen) von mindestens 50 g/m<sup>3</sup> und eine Sauerstoffkonzentration von mindestens 10 Vol.-% vorliegen:

Offene Aufgabe- und Übergabestellen sollten eingehaust und mit einer wirksamen Staubabsaugung geschützt werden.

Im Hinblick auf das Staubexplosionsrisiko von getrocknetem Klärschlamm sollten mechanische oder pneumatische Fördereinrichtungen, Silos usw. mit geeigneten Explosionsschutzmaßnahmen ausgerüstet werden, wie z.B.:

- Druckfeste Bauweise.
- Bauweise für einen reduzierten Explosionsdruck mit Druckentlastung.
- Explosionsunterdrückung.
- Inertisierung.

Die einzelnen Anlagenabschnitte sollten durch flammendurchschlagsichere Ventile oder Zellrad-schleusen entkoppelt werden.

Bedingt durch die unterschiedliche Betriebsweise der Kraftwerke mit Trocken- oder Schmelzkammerfeuerung ergeben sich unterschiedliche Anforderungen bei der Mitverbrennung von Klärschlamm. Bei der Trockenfeuerung kann mechanisch entwässertem Klärschlamm eingesetzt werden, so weit es die Mahltrocknungsleistung der Kohlemühlen zulässt. Der Klärschlamm wird über Dickstoff-Pumpen vor den Kohlemühlen zudosiert.

Die direkte Einblasung über separate Lanzen ist bei Braunkohlenfeuerungen erprobt worden. Allerdings hat sich die Direkteinblasung aufgrund erheblicher Probleme in der Feuerungsführung und dem Regelungsverhalten als nicht praktikabel erwiesen.

Die Zudosierung des Klärschlammes erfolgt im Allgemeinen zum Kohle-Förderstrom zu den Mühlen. Die direkte Einblasung über separate Lanzen ist hinsichtlich der Feuerführung und des Regelungsverhaltens schwierig und bereitet bei Vorhandensein von Störstoffen im Klärschlamm zusätzliche Probleme durch Verstopfungen des Dosiersystems. Bei Verwendung von mechanisch entwässertem Klärschlamm kann die Mahltrocknungsleistung der Kohlemühlen als begrenzender Faktor für den Klärschlammeneinsatz wirken, wenn die Sichtertemperatur zu weit absinkt. Die Mühlensysteme können in ihren Temperaturverläufen anfällig auf Störungen in der kontinuierlichen Beschickung mit Klärschlamm reagieren.

Aufgrund des hohen Anteils mineralischer Bestandteile und bei Anwesenheit von Störstoffen werden alle Bauteile der mechanischen Förderung und Bearbeitung des Klärschlammes auf Verschleiß beansprucht. Diese Komponenten unterliegen daher einer verstärkten Abnutzung. Bei einer Begrenzung des Klärschlammanteils auf 5 Ma.-% ist der Verschleiß der Kohlemühlen allerdings nicht wesentlich erhöht.

Bedingt durch den zum Teil deutlich niedrigeren Ascheschmelzpunkt, der sich bei der Mitverbrennung von Klärschlamm im Vergleich zu den Aschen des Regelbrennstoffes einstellt, ist mit verstärkten Verschlackungen im Feuerraum durch niedrig schmelzende Verbindungen und Eutektika sowie Verschmutzungen an den Heizflächen des Dampferzeugers zu rechnen.

Zur Abschätzung der Verschlackungsneigung kommt es insbesondere auf das Verhältnis von

$\text{SiO}_2$  zu den Anteilen von Alkalien, Erdalkalien oder Eisen an. Wie bei der Mischung verschiedener Kohlesorten, z. B. aus den Braunkohletagebauten, ist auch bei der Mitverbrennung von Klärschlamm die Feststellung und Einhaltung eines Mischungsverhältnisses unabdingbar, um die Bildung von Ablagerungen (Ansätzen) im Feuerungsraum und an den Heizflächen zu reduzieren. Die Verschmutzungen an den Heizflächen sind im Wesentlichen zurückzuführen auf die Ablagerung von Sulfaten und Phosphaten im Zusammenwirken mit Flugaschepartikeln.

Daneben ist die Gefahr der Hochtemperatur- und Chloridkorrosion durch den höheren Anteil an Halogenverbindungen im Klärschlamm zu beachten. Bei einer Begrenzung des Anteils von Klärschlamm auf maximal 5 %, bezogen auf die Feuerungswärmeleistung, sind die Probleme mit Verschlackung und Ablagerungen erfahrungsgemäß beherrschbar. Bei einem höheren Anteil sind vermehrte Kontrollen der Heizflächen erforderlich, um eine erhöhte Korrosionsneigung unter den Belägen frühzeitig festzustellen.

Der bei der Mitverbrennung festgestellte Aktivitätsverlust der Katalysatoren kann je nach Anlagenkonfiguration ein weiterer limitierender Faktor für deren Einsatz sein. Findet vor dem Katalysator keine wirksame Abscheidung von partikel- und gasförmigen Phosphorverbindungen statt, kommt es durch Anreicherung an den äußeren und inneren Oberflächen des Katalysatormaterials zum Aktivitätsverlust. Ein Indikator für den fortschreitenden Aktivitätsverlust ist der Ammoniakbedarf und ein Anstieg des Ammoniakgehaltes im Rauchgas hinter dem Katalysator, so genannter  $\text{NH}_3$ -Schlupf. Dieser kann als Folgeerscheinung in den nachfolgenden Anlagenteilen zu Ablagerungen von Ammoniumhydrogensulfat führen. Bei Messung eines erhöhten  $\text{NH}_3$ -Schlupfes ist die sofortige Reduzierung der mitverbrannten Klärschlammengen und die Reinigung/Regeneration der Katalysatoren notwendig. Die Tendenzen im Ammoniakhaushalt des Katalysators sind regelmäßig zu kontrollieren, wobei bestimmte Grenzwerte als Alarmwerte definiert werden können.

Die Anwesenheit flüchtiger Phosphorverbindungen kann auch indirekt zu einer Schädigung des Katalysators führen, wenn in die Reaktionsvorgänge anderer „Katalysatorgifte“, wie z.B. Arsen, mit der Flugasche im Rauchgas eingegriffen wird. Neben der Anpassung der Luftmengen an den erhöhten Sauerstoffbedarf der flüchtigen Anteile im Klärschlamm kann eine verstärkte Zugabe von kalkhaltigen Zuschlagsstoffen in den Feuerraum diesem Prozess entgegenwirken.

### 5.3 Substitutbrennstoffe

Die Probleme und Gefahren beim Einsatz von Substitutbrennstoffen sind im Wesentlichen auf den hohen Heizwert, das Abbrandverhalten und die gegenüber dem Regelbrennstoff erhöhte vorhandenen Chlor- und Schwermetallgehalte zurückzuführen.

Aus diesem Grund ist es von grundsätzlicher Bedeutung, die Zusammensetzung und stofflichen Komponenten der Brennstoffe zu kennen. Hilfreich ist hier die Klassifizierung der Bundesgütegemeinschaft für Sekundärbrennstoffe e.V. (BGS), die Substitutbrennstoffe in Abhängigkeit der Zusammensetzung unterschiedlichen Gruppen zuordnet. Weiterhin werden von der Bundesgütegemeinschaft Vorgaben für die Untersuchungsintervalle und -parameter gemacht. Auf der Basis der Klassifizierung ist es möglich, die unterschiedlichen Substitutbrennstoffe den geeigneten Verbrennungsanlagen zuzuführen.

Durch die Bundesgütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe wurden grundlegende Anforderungen an die Qualität der Brennstoffe definiert, damit eine Mitverbrennung in industriellen Anlagen auch für den Anlagenbetreiber mit einer möglichst hohen Sicherheit verbunden ist. Bei der Entwicklung der Substitutbrennstoffqualitäten wurde darauf geachtet, dass sie in ihren Eigenschaften den verschiedenen Regelbrennstoffen in Kohlekraftwerken möglichst entsprechen. Während dieses Ziel für den Heizwert, die Schwermetallgehalte etc. weitestgehend gewährleistet werden kann, sind die Chlorgehalte von SBS® und BPG® mit 0,5 - 1 Ma.-% gegenüber den Regelbrennstoffen Steinkohle (< 0,2 Ma.-%) bzw. Braunkohle (< 0,1 Ma.-%) deutlich erhöht.

Das Handling, der Transport und die Zuführung der im Regelfall in stückiger Feststoffform anfallenden Substitutbrennstoffe ist relativ unproblematisch. Bei der Vorbehandlung und Erzeugung von Substitutbrennstoffen kommen, abgesehen von der Pyrolyse, mechanische Verfahren zur Anwendung, die sich üblicherweise auf eine Sortierung mit Metallabscheidung und ggf. Zerkleinerung beschränken. In Anbetracht des Heizwertes und der damit verbundenen Zündfähigkeit sowie der eigenständigen Brennbarkeit des Materials sind bei der Vorbehandlung unter Berücksichtigung der Brandlasten die für diese Bereiche üblichen baulichen und technischen Brandschutzmaßnahmen zu beachten.

Die Zuführung der Substitutbrennstoffe erfolgt je nach Vorbehandlung pneumatisch direkt in die

Brennkammer oder über konventionelle Förder-technik vor dem Zuteiler der Kohlemühle. Eine möglichst homogene Mischung mit dem Regelbrennstoff trägt dazu bei, Heizwertspitzen zu vermeiden, und stellt einen guten Aus- und Abbrand sicher. Die Auswahl der zur Mitverbrennung geeigneten Substitutbrennstoffe ist abhängig vom eingesetzten Regelbrennstoff (Steinkohle oder Braunkohle) und der Feuerungsart (Schmelzkammer-, Wirbelschicht- oder Trockenfeuerung).

Auf der Rauchgasseite können die in den Substitutbrennstoffen vorhandenen Chlor- und Schwermetallgehalte zu Problemen führen. Hohe Chlorgehalte können eine Hochtemperaturkorrosion im Bereich der Kessel verursachen. Aus diesem Grund sollten im Vorfeld und während des Betriebes regelmäßig die Chlorgehalte der Substitutbrennstoffe untersucht werden. Eine permanente HCl-Überwachung im Rohgas ist zu empfehlen.

Bei den in den Substitutbrennstoffen vorhandenen Schwermetallen ist insbesondere bei Quecksilber, Blei und Cadmium davon auszugehen, dass sie sich in die Gasphase verflüchtigen. Dies kann insbesondere bei Entstickungsanlagen in high-dust-Konfiguration zu Aktivitätsverlusten des Katalysators führen. Ferner können Feinstäube zu Oberflächenbeeinträchtigungen (micro-plugging) führen.

Schwermetalle können die Qualität der Flugasche negativ beeinträchtigen, so dass möglicherweise mit dem Verlust des Gütesiegels zu rechnen ist.

Aus diesen Gründen ist es wichtig, die genaue Zusammensetzung und die Schadstoffgehalte der Substitutbrennstoffe zu kennen und zu überwachen. Wegen des hohen Kunststoffanteiles kann man grundsätzlich davon ausgehen, dass Chlor und Schwermetalle im Substitutbrennstoff enthalten sind. Allein aus diesem Grund sollte der Anteil der Substitutbrennstoffen bezogen auf den Regelbrennstoff gering gehalten werden. Hilfreich sind daher die Klassifizierungen der Bundesgütegemeinschaft, die eine Einstufung der Substitutbrennstoffe in Abhängigkeit der Zusammensetzung, Herkunft und Schadstoffgehalte vornehmen.

Undefinierte und bei der Herstellung nicht überwachte Substitutbrennstoffe beinhalten ein nicht kalkulierbares Gefährdungspotenzial. Daher ist eine Mitverbrennung in Kraftwerken nur zulässig, wenn qualitätsüberwachte Substitutbrennstoffe eingesetzt werden.



## 5.4 Kombiniertes Einsatz von Ersatzbrennstoffen

Neben dem Einsatz einer der zuvor beschriebenen Ersatzbrennstoffe zum Regelbrennstoff ist auch der kombinierte Einsatz zweier Ersatzbrennstoffe denkbar. Über die beschriebenen Einzelverfahren hinaus kann der kombinierte Einsatz von Ersatzbrennstoffen zu einem veränderten Gefahrenpotenzial führen.

Von einer Vermischung unterschiedlicher Ersatzbrennstoffe im Bunker oder vor der Kohlemühle (Zuteiler) ist dringend abzuraten. Werden zwei Ersatzbrennstoffe gleichzeitig verfeuert, sind diese der Feuerung nur in jeweils getrennten Brennstoffströmen zuzuführen. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, Ersatzbrennstoffe über separate Einblasrohre oder Brenner der Feuerung zuzugeben.

Da die Einschätzung der Einzelverfahren bereits schwierig ist, können das Zusammenwirken bzw. die Wechselwirkungen der unterschiedlichen Einsatzstoffe zu nicht vorhersehbaren Auswirkungen führen. Der kombinierte Einsatz von Ersatzbrennstoffen erfordert über das Risiko des Mono-Einsatzes hinausgehende Kontrollen und Überwachungsmaßnahmen, wie z.B. reduzierte Wartungs- und Instandhaltungszyklen. Beim kombinierten Einsatz von Ersatzbrennstoffen sollte daher für die Risikobewertung (s. Abschnitt 6) die nächsthöhere Stufe des jeweils am höchsten eingestufteten Monobrennstoffes zugrunde gelegt werden.

## 6 Risikobewertung

Nachfolgend sind drei Sicherheitsstufen definiert, die bei der Erfassung und Bewertung des Risikos der Zufeuerung von Ersatzbrennstoffen gemäß ihrem Anteil an der Feuerungswärmeleistung (FWL) herangezogen werden können (s. Tabelle 6.01).

Voraussetzungen für den Einsatz der unterschiedlichen EBS:

- Substitutbrennstoffe müssen den Anforderungen und Qualitätskriterien der Bundesgütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe e.V. entsprechen bzw. gemäß RAL-GZ 724 zertifiziert sein.
- Klärschlämme müssen den Anforderungen der KlärschlammV genügen.

Bezug nehmend auf die risikotechnischen Hinweise zu Tiermehl (Abschnitt 5.1) muss dieses folgenden Anforderungen genügen:

- Kein Knochenmehl.
- Nur Tiermehl bekannter Herkunft ohne Knochenanteile.
- Regelmäßige Stichprobenprüfungen hinsichtlich Phosphat- und Halogengehalt (mind. alle 3 Monate).
- Fettgehalt < 12 Ma.-%.
- Wassergehalt < 5 Ma.-%.

**Stufe 1** definiert den Bereich, der unter Einhaltung der vorstehenden Mindestanforderungen und unter Beachtung der risikotechnischen Hinweise (s. Abschnitt 5) die Zufeuerung von EBS anhand der heute vorliegenden Erfahrungen keine besonderen spezifischen Risikoveränderungen erwarten lässt.

**Stufe 2** definiert den Bereich, in dem beim Einsatz von Ersatzbrennstoffen Beeinträchtigungen des Anlagenbetriebs (erhöhte Abzehrungsrate im bestimmungsgemäßen Betrieb), die sich auch als Sachschäden auswirken können, möglich sind. Hiermit ist u.U. eine reduzierte Lebensdauer einzelner Anlagenkomponenten verbunden.

Anforderungen und Voraussetzungen für Stufe 2:

- Analyse der Ersatzbrennstoffe, d.h. Aufnahme des Ist-Zustandes hinsichtlich der Zusammensetzung der Filterstäube, Ascheschmelzpunkt, Verbrennungstemperatur, S/Cl-Verhältnis, Na, K, Schwermetalle etc.
- Erfassung des anlagentechnischen Ist-Zustandes hinsichtlich Abzehrung, Korrosion, Belägen, Wanddicken, Deaktivierung des Katalysators etc.
- Auswertung der Versuche im Rahmen der Genehmigungsverfahren.
- Kontrollen im Rahmen der jährlichen Inspektionen.

**Stufe 3** definiert den Bereich, in dem keine ausreichende Datenmenge vorliegt, um das Risiko sicher kalkulieren zu können. Sofern unter den nachfolgenden Voraussetzungen dennoch Feuerungsraten in dieser Größenordnung zum Einsatz kommen sollten, ist die Machbarkeit im Einzelfall nachzuweisen. Der Nachweis hat mindestens über einen Zeitraum von 2000 Betriebsstunden zu erfolgen. Zeigt sich jedoch, dass sich über den bestimmungsgemäßen Betrieb hinaus Veränderungen (z.B. erhöhte Abzehrung, erhöhte Ablagerung und Korrosion, Beläge, Wanddicken, Deaktivierung des Katalysators) ergeben, ist auf



eine Zufeuerungsrate entsprechend Stufe 2 zurückzufahren, um den beschriebenen Materialbeeinträchtigungen und möglichen Schadenfolgen vorzubeugen.

Anforderungen und Voraussetzungen für Stufe 3:

- Kontrollen im Rahmen kurzfristiger Betriebsstillstände.
- Erhöhte Nachweispflicht, Dokumentierung der Veränderungen der über das Maß der betriebsbedingten Abnutzung hinausgehenden Materialveränderungen/Deaktivierung.
- Tägliche Kontrollen der Dosieraten/Zusatzmengen mit schriftlicher Dokumentation.
- Überwachung der verfahrenstechnischen Parameter im Leitsystem, z.B. Temperaturprofil, Druckdifferenzen, NH<sub>3</sub>-Schlupf.
- Häufigere Reinigungsmaßnahmen (z.B. Rußblasen) zur Beseitigung von Ablagerungen.

**Hinweis:**

Schadenerfahrungen haben gezeigt, dass bei einem Einsatz von Tiermehl 10 % FWL grundsätzlich mit einer Deaktivierungsrate des DeNO<sub>x</sub>-Katalysators in „high-dust“-Schaltung von bis 40 % über die im Normalbetrieb zu erwartende Rate hinaus gerechnet werden muss.

Beim kombinierten Einsatz von Ersatzbrennstoffen (s. Abschnitt 5.4) sollte daher für die Risikobewertung die nächsthöhere Stufe des jeweils am höchsten eingestufteten Monobrennstoffes zugrunde gelegt werden.

	Zufeuerungsrate in % der FWL		
	Tiermehl	Klärschlamm	Substitutbrennstoffe
<b>Stufe 1</b>	0 - 5	0 - 5	0
<b>Stufe 2</b>	5 - 10	5 - 10	0 - 5
<b>Stufe 3</b>	> 10	> 10	> 5

**Tabelle 6.01:** Risikobewertung in Abhängigkeit der Zufeuerungsraten an EBS

## Anhang A – Glossar

**Ersatzbrennstoffe (EBS):** Unter Ersatzbrennstoffen (EBS) im Sinne dieses Merkblattes werden alle „Brennstoffe“ verstanden, die keine Regelbrennstoffe (Primärbrennstoffe) darstellen.

**Primärbrennstoffe:** Primärbrennstoffe bzw. Regelbrennstoffe sind diejenigen Brennstoffe, für die die Anlagen- und Verbrennungstechnik (einschl. Nebenanlagen wie Fördertechnik und Abgasreinigung) ausgelegt wurde (im Falle der Kohlekraftwerke: Steinkohle bzw. Braunkohle).

**Substitutbrennstoffe:** Sammelbezeichnung für die hochkalorischen Fraktionen aus produktionsspezifischen Gewerbe- und Siedlungsabfällen (insbesondere Kunststoffabfälle).

Substitutbrennstoffe werden von der Herkunft her unterschieden in:

- Substitutbrennstoffe aus Siedlungsabfall (aufbereitete brennbare, hochkalorische Leichtfraktion aus dem Resthausmüll / Siedlungsabfall oder aus hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen).
- Substitutbrennstoffe aus Gewerbeabfällen (aufbereitete brennbare (Mono-) Fraktionen aus produktionsspezifischen Abfällen).

**Verbrennungsanlage:** Jede ortsfeste oder nicht ortsfeste technische Einheit oder Anlage, die zur thermischen Behandlung von Abfällen mit oder ohne Wärmenutzung eingesetzt werden kann.

**Mitverbrennungsanlage:** Der Begriff „Mitverbrennungsanlage“ charakterisiert im Gegensatz zur Verbrennungsanlage jede ortsfeste oder nicht ortsfeste Anlage, in der Abfälle zur Substitution von Regelbrennstoffen eingesetzt bzw. im Hinblick auf die Beseitigung thermisch behandelt werden. Hervorzuheben ist, dass der Hauptzweck der Mitverbrennungsanlage in der Energieerzeugung oder in der Produktion stofflicher Erzeugnisse besteht. Werden diese Anforderungen nicht erfüllt, so handelt es sich um eine Abfallverbrennungsanlage.

**Mechanisch-Biologische-Abfallbehandlungs (MBA)-Anlage:** In einer MBA-Anlage werden i.d.R. aus dem angelieferten Hausmüll zunächst Wertstoffe wie Metalle und Kunststoffe mechanisch aussortiert und der Verwertung zugeführt. Danach wird der Restabfall in Reaktoren (Fermentern) durch biologische Prozesse vergoren. Das beim Gärprozess entstehende Biogas kann beispielsweise in Blockheizkraftwerken der Wärmegewinnung dienen.

**DeNOx-Katalysator:** Anlage zur Rauchgasentstickung. Die katalytische Umwandlung der Stickoxide ( $\text{NO}_x$ ) in der DeNOx-Anlage führt unter der Zugabe von Ammoniak als Reduktionsmittel zu den Umwandlungsprodukten Stickstoff und Wasser. Die Katalysatoren werden üblicherweise als Wabenkörper in Modulen zusammengefasst in die DeNOx-Anlage eingebaut.

## Anhang B – Literaturverzeichnis

### Abfallrecht

- Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) vom 27. September 1994, zuletzt geändert am 21. Juni 2005.
- Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV) vom 10. Dezember 2001.
- Entsorgungsfachbetriebsverordnung (EfbV) vom 24. Juni 2002.
- Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen (Abfallablagerungsverordnung - AbfAbIV) vom 24. Juli 2002.
- Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung – DepV) vom 12. August 2004.
- Technische Anleitung Siedlungsabfall (TASi) vom 14. Mai 1993.

### Immissionsschutzrecht

- Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 26. September 2002.
- Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen - 4. BImSchV) in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. März 1997, zuletzt geändert durch Art. 3 der Verordnung vom 14. August 2003.
- Neunte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über das Genehmigungsverfahren - 9. BImSchV) in der Fassung der Bekanntmachung vom 29. Mai 1992, zuletzt geändert durch Art. 2 der Verordnung vom 14. August 2003.
- Siebzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Verbrennungsanlagen für Abfälle und andere brennbare Stoffe - 17. BImSchV vom 26. April 2000).

### Sonstige Erkenntnisquellen

- Entsorgungspotenziale in Kraftwerken der öffentlichen und industriellen Energieversorgung, Dr. U. Schirmer, Bericht über eine Untersuchung im Auftrage des VGB - Technische Vereinigung der Großkraftwerksbetreiber e.V., Essen 2000.
- Mitverbrennung von Abfällen in Zement- und Kohlekraftwerken in Baden-Württemberg, Reihe Industrie und Gewerbe, Band 7, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, 1. Auflage, Karlsruhe 2003.
- Leitfaden zur energetischen Verwertung von Abfällen in Zement-, Kalk- und Kraftwerken in Nordrhein-Westfalen, Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf 2001.
- Entsorgungsatlas NRW, Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf 2001.
- Forum Hochkalorik Brandenburg, Workshop am 29./30. April 2003 in Potsdam, veröffentlicht unter Fachbeiträge des Landesumweltamtes - Titelreihe, Heft.-Nr. 82, Landesumweltamt Brandenburg 2003.
- Güte- und Prüfbestimmungen für Sekundär-brennstoffe, Bundesgütegemeinschaft Sekundär-brennstoffe e.V. (BGS), Juni 2001

### Merkblätter und Technische Regeln der Vereinigung der Großkraftwerksbetreiber (VGB)

- VGB M 217 H Brandschutz in Hausmüllverbrennungsanlagen, VGB-Kraftwerkstechnik GmbH, Verlag technisch-wissenschaftlicher Schriften, Klinkestraße 27-31, 45136 Essen.

### Unfallverhütungsvorschriften und Merkblätter

- BGV A 1 (vorher VBG 1 Allgemeine Vorschriften) Grundsätze der Prävention.
- BGV A 2 (vorher VBG 4) Elektrische Anlagen und Betriebsmittel.
- BGV C 14 (vorher VBG 2) Wärmekraftwerke und Heizwerke.

Carl Heymanns Verlag KG  
Luxemburger Str. 449, 50939 Köln







---

Herausgeber: Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV)

Verlag: VdS Schadenverhütung GmbH • Amsterdamer Str. 174 • D-50735 Köln  
Telefon: (0221) 77 66 - 0 • Fax: (0221) 77 66 - 341  
Copyright by VdS Schadenverhütung GmbH. Alle Rechte vorbehalten.