

**- Chlor -
unterschätzte
Kostenexplosion
in der EBS-Verbrennung**



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

**Technikforum
Ersatzbrennstoffe für Industrieanlagen
VDI Wissensforum
28.- 29. April 2008, Berlin**

Inhalt

| | Seite |
|--|-----------|
| 1 Einleitung | 4 |
| 2 Charakterisierung der Abfälle | 5 |
| 2.1 Woher kommt Chlor - Chlorverbrauch und Chloreinsatz in Deutschland | 6 |
| 2.2 Chlorgehalte im Abfall / Ersatzbrennstoff | 7 |
| 2.3 Prognose der Entwicklung der Chlorgehalte in Ersatzbrennstoffen | 8 |
| 2.4 Schlussfolgerungen für die Betreiber von EBS-Kraftwerken | 10 |
| 2.5 Einfluss von CO ₂ -Zertifikathandel auf die EBS-Menge und –Qualität | 11 |
| 2.6 Novellierte EU-Abfallrahmenrichtlinie – Recycling und Energieeffizienz | 11 |
| 3 Nachkalkulation der Gesamtkosten durch gestiegene Chlorgehalte | 12 |
| 3.1 Verfügbarkeit | 12 |
| 3.2 Wartungskosten | 12 |
| 3.3 Abgasreinigung | 12 |
| 3.4 Entsorgung der Reaktionsprodukte aus der Abgasreinigung | 15 |
| 3.5 Rostschlacke- und Ascheentsorgung | 15 |
| 4 Preisanpassung in EBS-Verträgen | 17 |
| 4.1 Preisgleitung EBS-Preis | 17 |
| 4.2 Preisanpassungen aufgrund geänderter EBS-Eigenschaften | 17 |
| 4.2.1 SCHWEFELGEHALT | 18 |
| 4.2.2 HEIZWERT | 18 |
| 4.2.3 ASCHERGEHALT | 20 |
| 4.2.4 ZUSAMMENFASSUNG DER PREISGLEITFORMELN | 21 |
| 5 Nachrüstoptionen für die Abgasreinigung..... | 23 |
| 6 Abgasreinigung für EBS bei Rostverbrennungsanlagen | 24 |
| 6.1 Reststoffe der Abgasreinigung | 25 |
| 6.2 Katalysatorbasierte Abgasreinigung | 26 |
| 6.2.1 ENTSTICKUNG UND NH ₃ -REDUKTION | 27 |
| 6.2.2 IONISATION VON QUECKSILBER | 29 |
| 6.2.3 ZERSTÖRUNG VON DIOXINEN | 30 |
| 7 Ausblick..... | 33 |
| 8 Literatur | 34 |

Abbildungen

| | | |
|--------------|---|----|
| Abbildung 1: | PVC-Verbrauch und Abfallaufkommen in Deutschland (Verändert nach [5]) | 6 |
| Abbildung 2: | PVC-Verbrauch in Deutschland (Verändert nach [6]) | 7 |
| Abbildung 3: | Chlorgehalte in Gewerbeabfällen zur energetischen Verwertung, nach [17] | 9 |
| Abbildung 4: | Entwicklung des Chlorgehaltes im EBS aus gewerblichen Abfällen bei konstanten Randbedingungen (Recyclingquote 60%) | 10 |
| Abbildung 5: | HCl und SO ₂ Konzentration im Rauchgas (tr.) in Abhängigkeit vom Chlor und Schwefelgehalte der Frischsubstanz (FS) | 13 |
| Abbildung 7: | Betriebsmittelverbrauch einstufige und zweistufige Verfahren..... | 14 |
| Abbildung 8: | Heizwert in Abhängigkeit vom Aschegehalt, ohne Änderung von Wassergehalt und Kunststoffanteil im Anteil Glühverlust | 15 |
| Abbildung 9: | Flugasche und Rostschlacke in Abhängigkeit vom Aschegehalt | 16 |

| | | |
|---------------|--|----|
| Abbildung 10: | Flugasche und Rostschlacke in Abhängigkeit vom Aschegehalt | 18 |
| Abbildung 11: | Abfalldurchsatz in Abhängigkeit vom Heizwert, Auslegungsheizwert 14 MJ/kg | 19 |
| Abbildung 12: | Preisanpassung in Bezug auf den Heizwert..... | 20 |
| Abbildung 13: | Preisgleitung für EBS in Bezug auf den Aschegehalt | 20 |
| Abbildung 14: | Nachrüstung eines Wäschers - Aufstellungsbeispiel Von Roll Inova, aus [13]..... | 23 |
| Abbildung 15: | Wirtschaftlichkeit unterschiedlicher Abgasreinigungskonzepte, aus [13]..... | 24 |
| Abbildung 16: | Varianten SCR-Schaltung in der Abgasreinigung | 27 |
| Abbildung 17: | Schaltungsvarianten von SCR-Katalysatoren in Abfallverbrennungsanlagen [18] | 28 |
| Abbildung 18: | Ergebnisse mit SNCR und nach Zuschaltung der SCR in der ASM Brescia [9] | 29 |
| Abbildung 19: | HOK- und reststofffreie Abgasreinigung mit Restwärmenutzung..... | 31 |
| Abbildung 20: | Modulare Erweiterung zur CO ₂ -Ausscheidung oder kompletten Abgaszerlegung zur Produktion von technischen Gasen..... | 33 |

Tabellen

| | | |
|------------|---|----|
| Tabelle 1: | Charakterisierung der Brennstoffe..... | 5 |
| Tabelle 2: | Chlorgehalte in verschiedenen Abfallfraktionen | 7 |
| Tabelle 3: | Berechnung des aktuellen Chlorgehaltes in den Abfällen..... | 8 |
| Tabelle 4: | Betriebsmittelkosten Abgasreinigung | 13 |
| Tabelle 5: | Berechnungsbeispiel EBS-Preis..... | 22 |

1 Einleitung

Der Chlorgehalt im Abfall und Ersatzbrennstoff (EBS) ist heute der Leitparameter für die Auslegung von Kessel und Rauchgasreinigung und hat einen großen Einfluss auf die Betriebskosten und die Verfügbarkeit einer Verbrennungsanlage. Die Mitverbrennung von EBS aus gemischten Abfällen in der Zementindustrie und Kohlekraftwerken ist rückläufig, aufgrund erhöhter Sensibilität für die Brennstoffzusammensetzung und die Verwertbarkeit der Reststoffe aus dem Kraftwerksprozess. Ersatzbrennstoffe werden heute entweder in der MVA mitverbrannt oder in Monoverbrennungsanlagen verwertet. Der Kampf um die EBS-Mengen und ein suggerierter zukünftig niedriger Verwertungspreis für EBS hat oft nicht genügend Spielraum für die Berücksichtigung von Preisrisiken zugelassen. Viele Abgasreinigungsanlagen sind nach heutiger Kenntnis für zu niedrige Chlorgehalte dimensioniert. Der Grund für die oft unterdimensionierte Abgasreinigungsanlage sind die angenommenen geringen Chlorgehalte aus der Erfahrung mit MVA in den letzten 15 Jahren. Dies liegt an der Reduzierung von PVC in kurzlebigen Produkten und Verpackungsabfällen, die früher über den Hausmüll entsorgt wurden. Auch heute noch weist Restabfall mit 0,4% - 0,7% Chlor im Vergleich zu Gewerbeabfällen mit im Mittel 2% - 2,5% Chlor sehr niedrige Chlorgehalte auf.

Mit steigendem Ölpreis nehmen auch Kunststoff-Recyclate an Wert zu. Je mehr sortenreine Kunststoffe mit der Wertstoffeffassung aus dem Abfall entnommen werden, desto höher ist der Anteil an PVC-Verbunden im verbleibenden Abfall. Zu beobachten ist ein starker Anstieg von Chlor im Gewerbeabfall.

Die weitere Entwicklung ist vorgezeichnet. Mit steigenden CO₂-Zertifikatpreisen werden Biomassen, die nach Biomasseverordnung nicht als Biomassen anerkannt sind, aber dennoch CO₂-neutral sind und meistens auch geringe Chlorgehalte aufweisen, vermehrt in der Zementindustrie und in Kohlekraftwerken gefragt sein. Der Anteil an fossiler Organik und damit auch gleichzeitig an Chlor wird sich damit im EBS erhöhen. Eine weitere gravierende Veränderung auf dem EBS-Markt würde sich einstellen, wenn die Abfallverbrennung in den CO₂-Handel einbezogen wird, in der Hoffnung, dass dann durch den biogenen Anteil im Abfall zusätzliche Erlöse durch CO₂-Zertifikate erwirtschaftet werden können.

Wenn in der nächsten Allokationsperiode die Eingliederung der Abfallverbrennungsanlagen erfolgt und - nach den Plänen der EU-Kommission - gleichzeitig alle CO₂-Zertifikate ersteigert werden müssen [12], ein großer Teil vom Staat und der Rest auf dem freien Markt, entfielen auf den Kunststoffanteil im EBS Kosten für CO₂-Zertifikate in der Größe der CO₂-Zertifikatpreise pro Tonne CO₂ je Tonne Kunststoffabfall bei 14 MJ/kg normiert. Ein CO₂-Zertifikatpreis von 50 €/t wurde zu Mehrkosten für die Kunststoffverbrennung von 50 €/t normiert auf 14 MJ/kg führen. Dieses Szenario kündigt sich bereits für das Jahr 2013, also in ca. 5 Jahren an.

Die wirtschaftlichen Konsequenzen aus der Entwicklung der Abfallzusammensetzung werden im Folgenden dargestellt.

2 Charakterisierung der Abfälle

Zum Verständnis der derzeitigen Abfallqualitäten und der weiteren Entwicklung muss unterschieden werden zwischen Abfällen zur Beseitigung, die im kommunalen Zugriff liegen und in herkömmlichen MVA verbrannt werden, und Abfällen zur Verwertung, die je nach Qualität und mechanischer Aufbereitungstiefe in Monoverbrennungsanlagen energetisch verwertet oder in Kohlekraftwerken, Zementwerken oder MVA mitverbrannt werden. Die Abfalleigenschaften von EBS haben sich seit 2005 negativ für die Kosten der EBS-Verbrennung entwickelt

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 und 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 >> 2% |

Definition Ersatzbrennstoff:

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 also keineswegs ein besserer Abfall als Restabfall, nur weil er einen schöneren Namen hat.

Die heute in Betrieb oder in der Realisierung befindlichen EBS-Kraftwerke der 1. Generation werden durch einen hohen Anteil an hausmüllstammigen EBS geringere Qualitätsprobleme mit Chlorfrachten haben als 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, wie von Remondis favorisiert.

2.1 Woher kommt Chlor - Chlorverbrauch und Chloreinsatz in Deutschland

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).

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. Dies 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 ist.

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 bis 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.

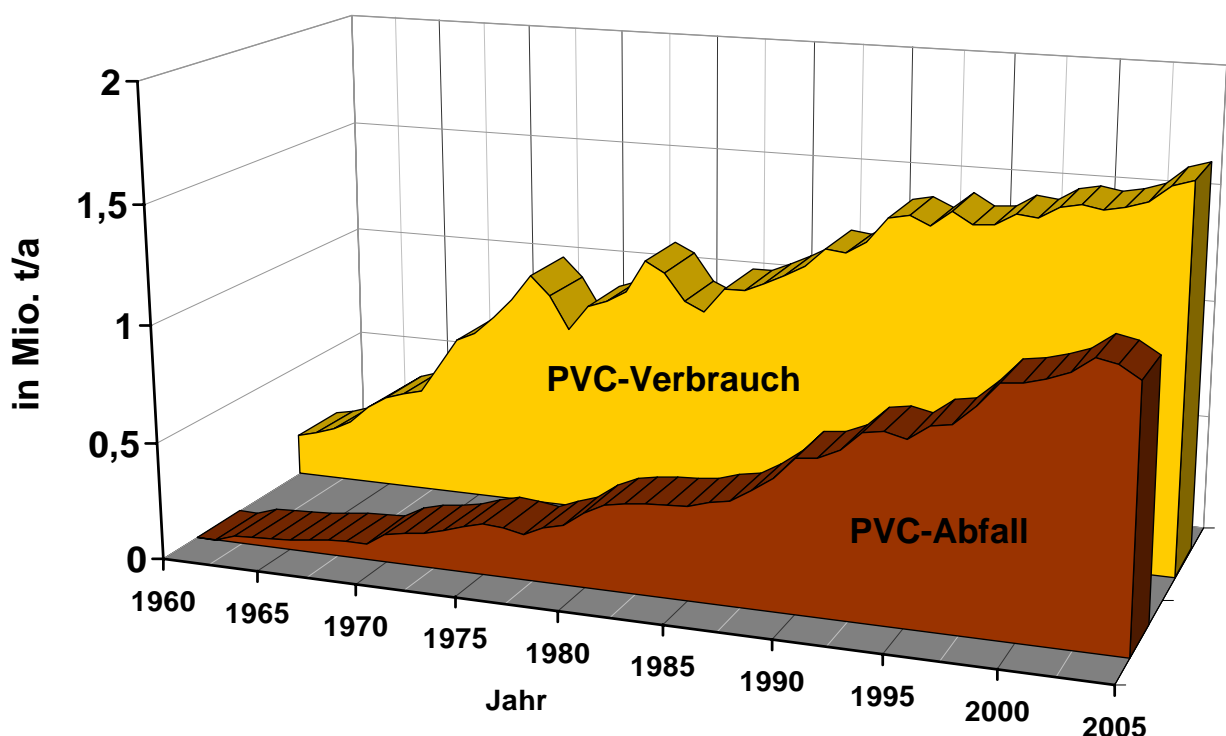


Abbildung 1: PVC-Verbrauch und Abfallaufkommen in Deutschland (Verändert nach [5])

PVC-Einsatzgebiete und Produktionsmengen

In Deutschland betrug die PVC-Produktion im Jahr 2004 1,95 Millionen Tonnen. 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 2 zeigt die Entwicklung des PVC-Verbrauches seit 1960.

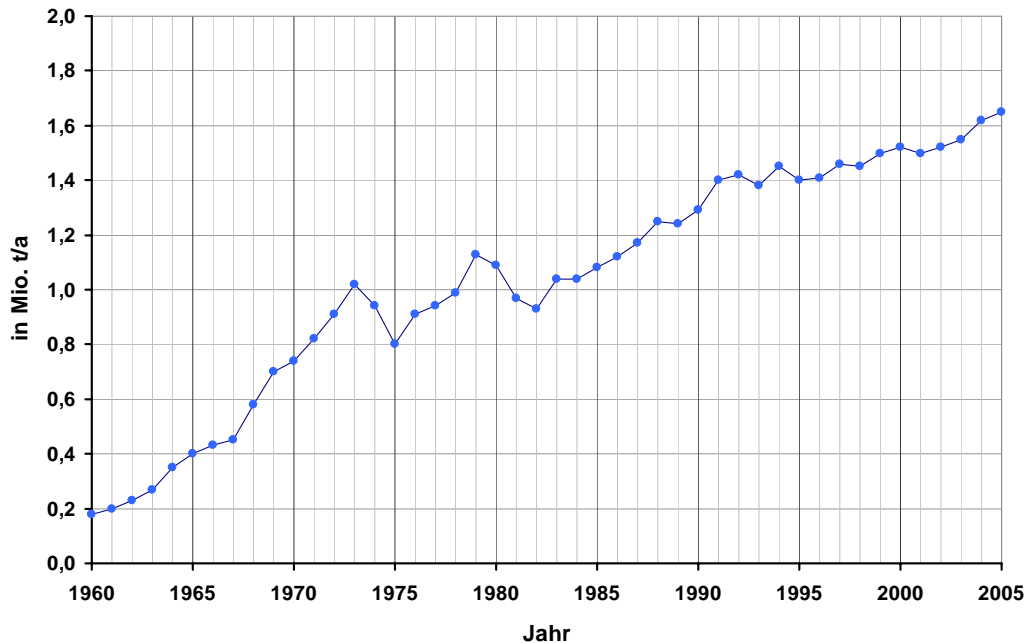


Abbildung 2: PVC-Verbrauch in Deutschland (Verändert nach [6])

Haus- und Geschäftsmüll sind aufgrund 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.

2.2 Chlorgehalte im Abfall / Ersatzbrennstoff

Es wird angenommen, dass Abfall bzw. Ersatzbrennstoff etwa 0,3% bis 0,7% 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 2: 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 - 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.

2.3 Prognose der Entwicklung der Chlorgehalte in Ersatzbrennstoffen

Dies bedeutet, dass gerade potenzielle Ersatzbrennstoffe stark mit Chlor befrachtet sind. Das gilt besonders für Ersatzbrennstoffe, die aus dem gewerblichen Bereich stammen. Aufgrund der Steigerung des PVC-Absatzes von mehr als 2% pro Jahr 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 ergibt sich 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 3: Berechnung des aktuellen Chlorgehaltes in den Abfällen

| PVC-Senke | Menge Abfall | darin: PVC Menge | resultierender Chlorgehalt aus PVC | Chlor - Hintergrundrauschen | Chlorgehalt gesamt |
|---|--------------|------------------|------------------------------------|-----------------------------|--------------------|
| Basis: PVC und andere chlorhaltige Kunststoffe im Abfall: 1.100.000 t (2005) | | | | | |
| stoffliches Recycling | - | 660.000 t | - | - | - |
| Hausmüll und hausmüll-ähnlicher Gewerbeabfall | 20 Mio. t | 100.000 t | 0,3% | 0,5% | 0,8 % |
| restliche gewerbliche Abfälle | 10 Mio. t | 340.000 t | 1,9 % | 0,5% | 2,4 % |

Vergleich der Prognose von EcoEnergy mit anderen Datenquellen:

1. Feldstudie Schleswig-Holstein

In einer Feldstudie [19] wurden für den Zeitraum 2006 bis 2007 in Schleswig-Holstein insgesamt 75 Proben von Abfallinput verschiedener EBS-Aufbereitungsanlagen untersucht. Im Durchschnitt wurde ein Chlorgehalt von ca. 2,2% ermittelt.

2. Daten Kunststoffindustrie

In Deutschland fallen jährlich ca. 48,4 Mio. t/a Siedlungsabfälle bzw. von der Kunststoffindustrie, so genannte Post-Consumer Abfälle, an. In diesen Abfällen sind ca. 3,8 Mio. t Kunststoffe (trocken und ohne anhaftenden Schmutz) enthalten mit einem Anteil von 1 Mio. t/a PVC-Abfälle. Von den PVC-Abfällen werden ca. 40% separat erfasst. Der Gesamtabfall hat somit, inkl. Hintergrundrauschen, einen durchschnittlichen Chlorgehalt über den gesamten Abfall von 0,9% bis 1,2%. Der Chlorgehalt des durchschnittlichen Kunststoffgemisches im Abfall beträgt theoretisch 5% bis 7%. Bei einer erhöhten werkstofflichen Kunststoffverwertung erhöht sich der Chlorgehalt der verbleibenden Kunststofffraktion entsprechend.

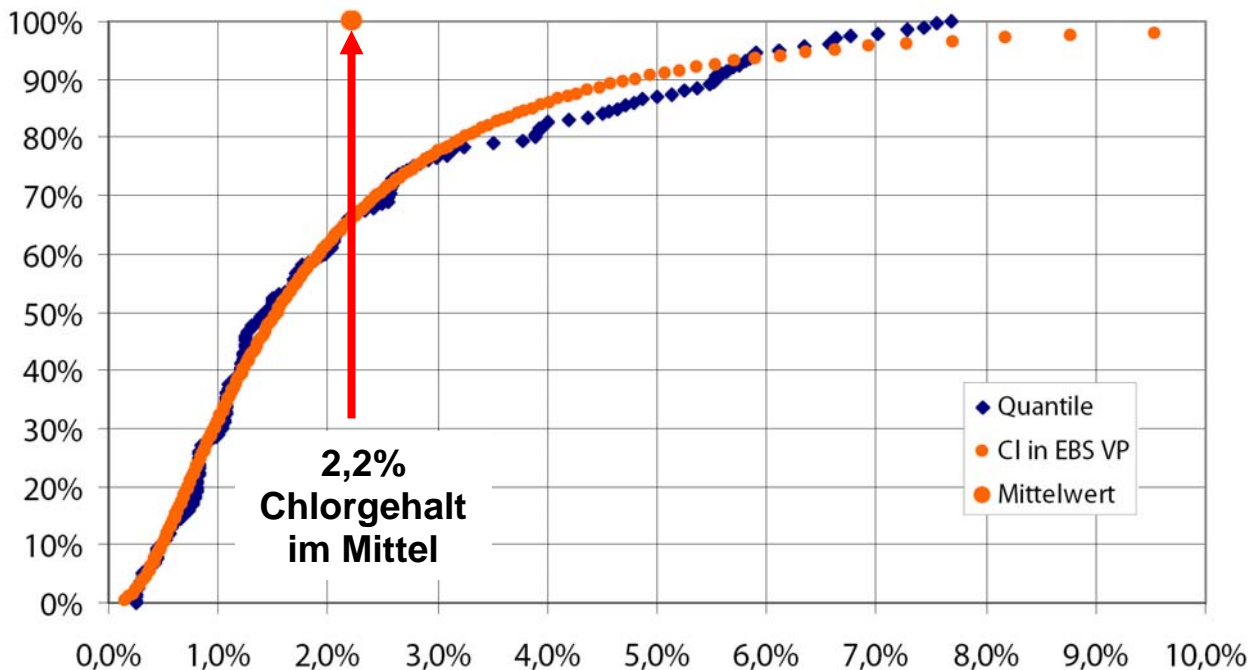


Abbildung 3: Chlorgehalte in Gewerbeabfällen zur energetischen Verwertung, nach [19]

Geht man auch zukünftig von einer konstanten Recyclingquote von 60% für PVC und von einer Steigerung der PVC-Menge im Abfall von 4% pro Jahr 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 Abbildung 4).

Wie bereits oben erwähnt, gilt diese Abschätzung nur, falls es der PVC-Industrie tatsächlich gelingt, mindestens 60% der PVC-Abfälle gesondert zu verwerten und der Anteil biogener Abfälle im Abfallgemisch nicht abnimmt. Ansonsten muss von noch höheren Chlorgehalten in den gewerblichen Abfällen ausgegangen werden. Die Prognosen gehen jedoch von einem weiteren Rückgang des biogenen Anteils und einer weiteren werkstofflichen Verwertung der nicht PVC-Kunststoffe aus, so dass ab 2015 über 5% Chlorgehalt in den Abfällen zur energetischen Verwertung vorliegen können.

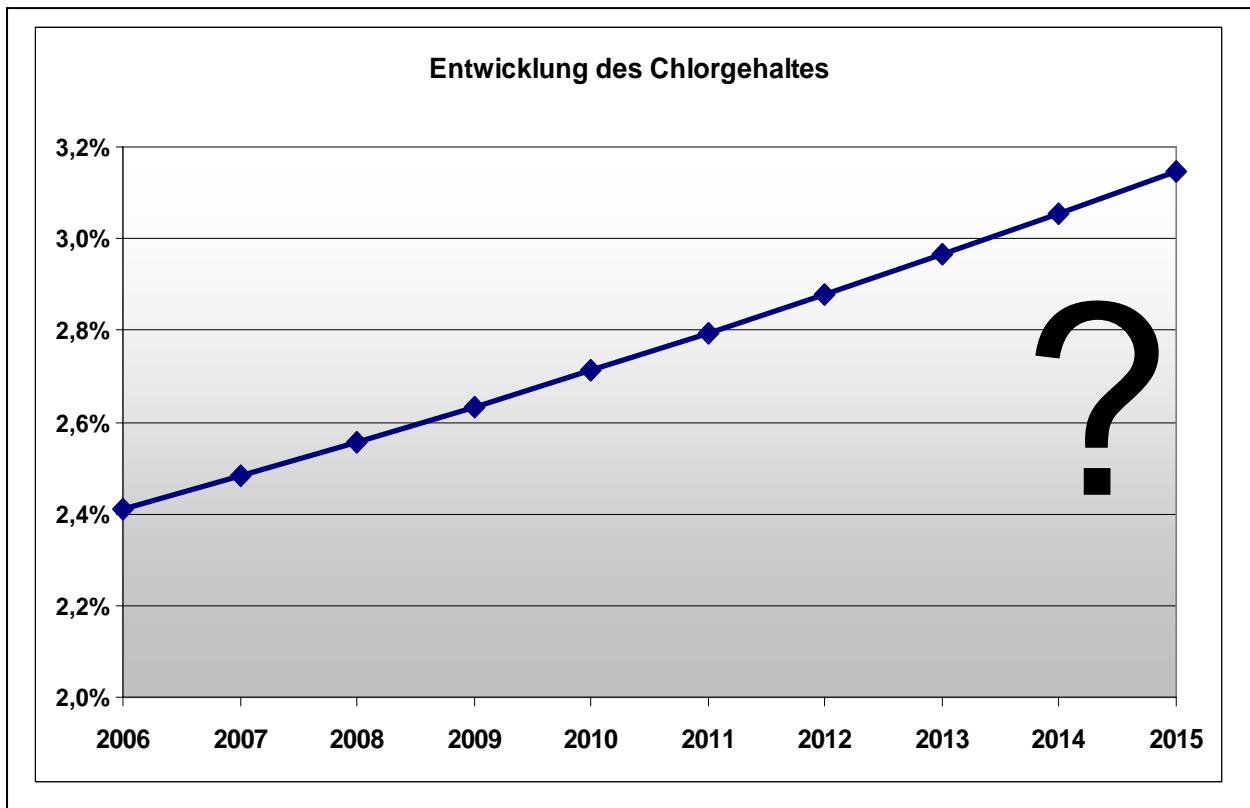


Abbildung 4: Entwicklung des Chlorgehaltes im EBS aus gewerblichen Abfällen bei konstanten Randbedingungen (Recyclingquote 60%)

2.4 Schlussfolgerungen für die Betreiber von EBS-Kraftwerken

Es ist in absehbarer Zeit nicht zu erwarten, dass der PVC-Gehalt gerade in Gewerbeabfällen sinken wird. Wie in Abbildung 4 veranschaulicht, ist selbst bei der Selbstverpflichtung der PVC-Industrie „Vinyl 2010“ mit der Schaffung von Verwertungskapazitäten für PVC in den nächsten 10 bis 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 sowie durch 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 und durch Weitergabe der realen Kosten aufgrund des Chloreintrags sowie mit einem Qualitätssicherungssystem den EBS-Lieferanten zu einer gezielten PVC-Entfrachtung veranlassen. Die Entfrachtung setzt dabei schon am Abfallentstehungsort bei den Gewerbetreibenden durch separate Einsammlung von stark PVC-haltigen Abfällen an.

Selbst wenn 50% des PVC-haltigen Abfalls mit 20% 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 oder trocken ausgeführten Rauchgasreinigungsanlagen zu rechnen.

Neben einer klaren Preispolitik bei steigenden Chlorgehalten im EBS ist planerisch 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.

2.5 Einfluss von CO₂-Zertifikathandel auf die EBS-Menge und –Qualität

Es wird EU-weit zurzeit diskutiert, in der nächsten Allokationsperiode keine oder nur noch sehr wenige Zertifikate kostenfrei auszuteilen. Alle Kohlekraftwerke und Industrieanlagen, die geeignet sind, biogene Brennstoffe, insbesondere nicht EEG-fähige Biomassen, mitzuverbrennen, werden dies verstärkt durchführen. EBS wird heute mit hohen Zuzahlungen energetisch verwertet. Mit höheren Anforderungen an die Chlorabreicherung wird auch die Aufbereitungstiefe erhöht werden müssen. Mit heutigen automatischen Trenntechniken können auch Biomassen separiert werden und dann in Kohlekraftwerken mit weitaus höheren Wirkungsgraden als in EBS-Kraftwerken energetisch verwertet werden.

EBS hat einen biogenen Anteil von ca. 60% - 40%, bei hausmüllstämmigem Abfall etwas höher, und bei Gewerbeabfall je nach Herkunft meist etwas niedriger. Energiebezogen werden pro Energieeinheit 25% - 43% biogenes CO₂, also neutrales CO₂ erzeugt, der Rest ist fossiles CO₂.

Wenn jedoch in der nächsten Allokationsperiode die Eingliederung der Abfallverbrennungsanlagen erfolgt und gleichzeitig alle CO₂-Zertifikate ersteigert werden müssen, entfielen auf den Kunststoffanteil im EBS Kosten für CO₂-Zertifikate in der Größe der CO₂-Zertifikatpreise pro Tonne CO₂ je Tonne Kunststoffabfall bei 14 MJ/kg normiert. Dieses Szenario kündigt sich bereits für das Jahr 2013, also in ca. 5 Jahren an.

Mit steigendem Ölpreis nehmen auch Kunststoff-Recyclate an Wert zu. Je mehr sortenreine Kunststoffe durch Wertstoffeffassung dem Abfall entnommen werden, desto höher ist der Anteil an PVC-Verbunden im verbleibenden Abfall. Zu beobachten ist ein starker Anstieg von Chlor im Gewerbeabfall.

Im Abfall zur energetischen Verwertung bleiben nicht sortierbare Kunststoffe, PVC-Verbunde, Textilien und sonstige Gemische zurück. EBS zur energetischen Verwertung wird nicht nur in geringerer Menge als bisher angenommen, sondern auch mit stark erhöhtem Chlor- und Schwermetallgehalt anfallen.

2.6 Novellierte EU-Abfallrahmenrichtlinie – Recycling und Energieeffizienz

Die novellierte EU-Abfallrahmenrichtlinie fordert mehr Recycling und stuft die energetische Verwertung in der Abfallhierarchie herunter. Gleichzeitig werden über Energieeffizienzkriterien hohe Anforderungen an die energetische Verwertung gestellt. Mit steigender Wertstoff- und Biomasseentfrachtung steigt der Chlor- und Schadstoffgehalt in dem verbleibenden Abfall zur energetischen Verwertung. Die Herausforderungen und Ansprüche an die energetische Verwertung sind hohe elektrische Wirkungsgrade bei maximaler Wärmeauskopplung bei gleichzeitig hohem Korrosionspotential der Abfälle.

3 Nachkalkulation der Gesamtkosten durch gestiegene Chlorgehalte

Der Kostenverursacher Chlor ist ein Multitalent. Der Chlorgehalt als Leitparameter ist wesentlicher Auslegungsparameter des Kesselkonzeptes, der Parameter des Wasser-Dampfkreislaufes und der Abgasreinigungstechnik. Heute in Bau und in Betrieb befindliche EBS-Kraftwerke wurden für einen mittleren Chlorgehalt von < 1% ausgelegt und oft auch für diesen Chlorgehalt genehmigt.

Soweit es sich um hausmüllstämmigen EBS aus MBA-Anlagen handelt, ist ein Chlorgehalt um 1% auch weiterhin zu erwarten. EBS aus Gewerbeabfall für EBS-Kraftwerke enthält dem gegenüber je nach Aufbereitungstiefe 1% - 3% Chlor mit steigender Tendenz.

Zu den chlorabhängig steigenden Kostengruppen eines EBS-Kraftwerkes gehören:

- Verfügbarkeit: spezifische Kosten aufgrund korrosionsbedingter Stillstände bzw. verlängerter Revisionszeiten
- Wartungskosten durch Korrosionsschäden
- Betriebsmittelkosten Abgasreinigung
- Entsorgung fester Reaktionsprodukte bei trockener und quasitrockener Abgasreinigung

3.1 Verfügbarkeit

Die Verkürzung der Reisezeit und Verfügbarkeit ist eine komplexe Funktion, die nicht eindeutig dem Chlor zuzuweisen ist. Eine wesentliche Rolle spielen neben Chlor die Feuerungstechnik, die Kesselgeometrie, die Ausführung der Überhitzer, gewählte Dampfparameter sowie Sekundärmaßnahmen wie Cladding, thermisches Spritzen und hinterlüftete Platten. Ist die Anlage jedoch für niedrige Chlorgehalte konzipiert, können erhöhte Chlorgehalte Reisezeit und Verfügbarkeit erheblich einschränken.

Geht man bei Chlorgehalten < 1% von 7.800 h/a Verfügbarkeit aus, kann man pro 0,1% Chlor von einer Verfügbarkeitsreduktion von ca. 30 h/a ausgehen. Bei einem Chlorgehalt von 2% ergibt sich nur noch eine Verfügbarkeit von ca. 7.500 h/a. Die Mehrkosten ergeben sich aufgrund des reduzierten Durchsatzes bei gleichen Fixkosten.

3.2 Wartungskosten

Zu den durch Korrosion bedingten Wartungskosten gehören z. B. die Pflege des Korrosionsschutzes durch z. B. Nach-Cladding sowie der Austausch von korrodierten Überhitzern und u. U. von ganzen Membranwandteilen. Bei einer Chlorgehaltsänderung von 0,1% verändern sich die Wartungskosten um ca. 0,2 €/t EBS je Änderung des Chlorgehaltes von 0,1%. Diese Größe kann allerdings je nach Durchsatzleistung der Anlage und des ausgeführten Korrosionsschutzes sehr variieren.

3.3 Abgasreinigung

EBS-Kraftwerke mit Rostfeuerung werden heute meist mit einer quasitrockenen Rauchgasreinigung betrieben. Die Grenzen der Rauchgasreinigung geben den maximalen Chlor- und Schwefelgehalt vor. Die durchschnittlichen Gehalte an Chlor und Schwefel haben unmittelbaren Einfluss auf den Verbrauch an Abgasreinigungschemikalien.

Die im Brennstoff enthaltenen Elemente Chlor und Schwefel werden durch die Verbrennung zu

großen Anteilen in das Abgas überführt. Der kleinere Teil verbleibt in der Schlacke. Nachfolgende Abbildungen zeigen bei unterschiedlichen Chlor- und Schwefelgehalten der Brennstoffe die resultierenden Gehalte im Abgas.

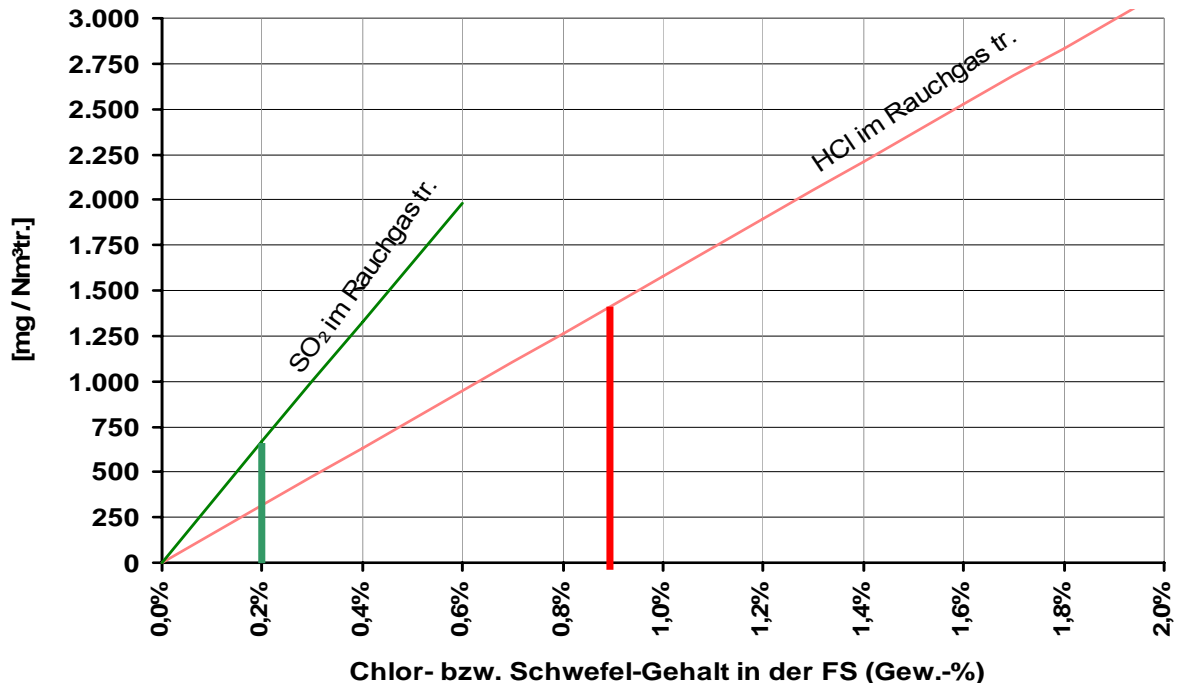


Abbildung 5: HCl und SO₂ Konzentration im Rauchgas (tr.) in Abhängigkeit vom Chlor und Schwefelgehalte der Frischsubstanz (FS)

Die Betriebsmittel der Abgasreinigung setzen sich für kostengünstige Abgasreinigungsanlagen mit quasitrockener Abgasreinigung und Entstickung mittels SNCR wie folgt zusammen:

Tabelle 4: Betriebsmittelkosten Abgasreinigung

| | Menge pro t EBS | Preis Betriebsmittel | spez. Kosten EBS |
|------------------------------|-------------------|----------------------------|------------------|
| Ammoniakwasser | 3 – 6,5 l | 140 – 160 €/m ³ | 0,4 – 1 €/t |
| Herdofenkoks | 1- 2 kg | 330 – 400 €/t | 0,35 – 0,8 €/t |
| Kalkhydrat | 20 – 40 kg | 140 – 150 €/t | 2,8 – 6 €/t |
| SUMME | | | 4 - 7 €/t |
| alternativ Branntkalk | 25 - 45 kg/ t EBS | 80 – 100 €/t | 2 – 4,5 €/t |
| alternativ Natriumbikarbonat | 12 - 24 kg/ t EBS | 200 €/t | 2,4 – 4,8 €/t |

Die Betriebsmittel Ammoniakwasser und Herdofenkoks bzw. Aktivkohle haben keinen direkten Bezug zum Chlorgehalt, jedoch zum Heizwert, der mit steigendem Kunststoffgehalt zunimmt und somit indirekt ebenso der Bedarf an diesen Betriebsmitteln.

Als Mittelwert für die Preisbasis wurden 0,9% Chlorgehalt in der Originalsubstanz bzw. ca. 1.450 mg/Nm³ tr. gewählt. Maximal kann ein Tagesmittelwert im Rohgas von ca. 3.200 mg/Nm³ bzw. 2% Chlor zugelassen werden.

Der Betriebsmittelverbrauch ist von der Wahl des Abgasreinigungssystems abhängig.

Die Investitionskosten betragen je nach Abgasreinigungssystem für ca. 100.000 Nm³/h Abgas:

- Einstufiges trockenes Verfahren ca. 4,5 Mio. €
- Quasitrockenes Verfahren ca. 6 Mio. €
- Nasswäsche ca. 13 Mio. €

Zweistufige Verfahren haben einen großen Vorteil im Betriebsmittelverbrauch gegenüber einstufigen Verfahren, wie aus der nachfolgenden Grafik ersichtlich:

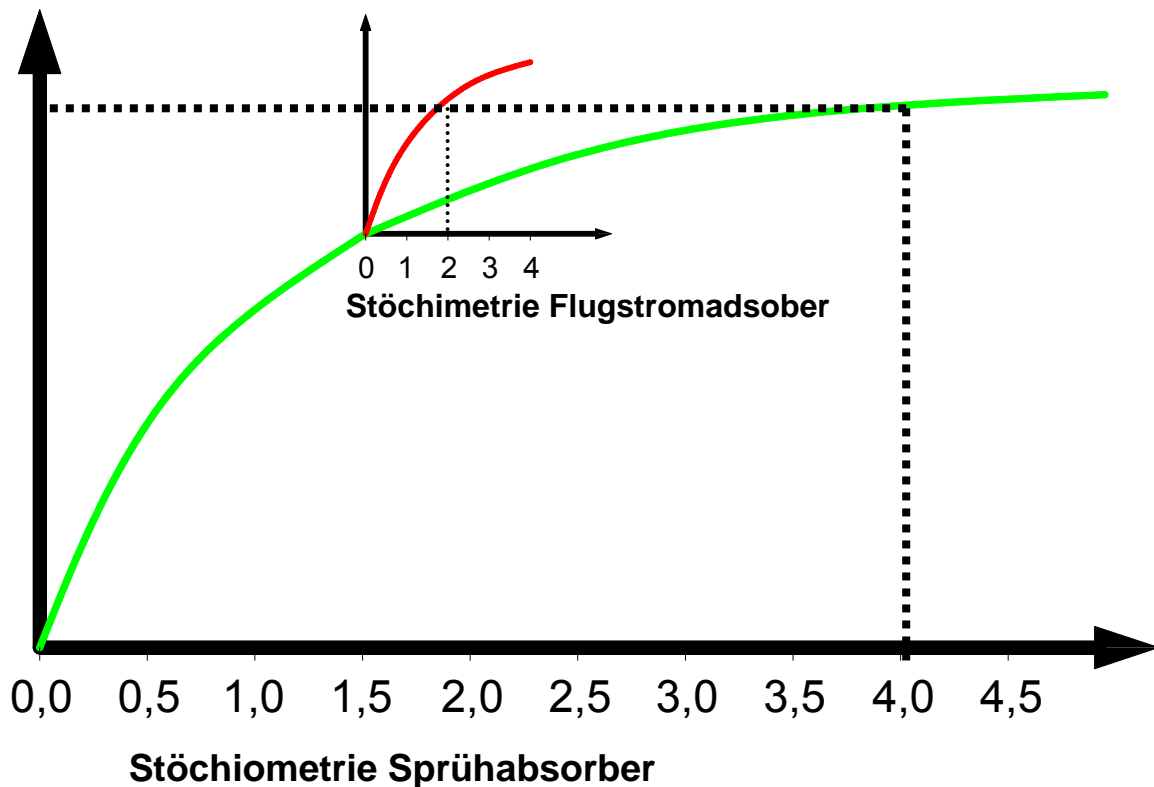


Abbildung 6: Betriebsmittelverbrauch einstufige und zweistufige Verfahren

Ein Nachteil von trockenen und quasitrockenen Verfahren ist der steigende spezifische Betriebsmittelverbrauch mit steigender Chlorkonzentration im Abgas. Quasitrockene Abgasreinigungsverfahren sind aufgrund der für die Sprühabsorption erforderlichen Wasserzugabe und der damit verbundenen Abgasabkühlung in der Chloranreicherung beschränkt.

Die nachfolgend dargestellte trockene Abgasreinigung als häufig verwendete 2. Abgasreinigungsstufe mit Flugstromreaktor arbeitet mit hohem Betriebsmittelverbrauch und wird meistens für eine Spitzenbelastung eingesetzt. Bei ständig erhöhten Chlorgehalten ist diese Form der Abgasreinigung bei steigenden Chlorgehalten spezifisch teurer.

Bei einstufigen trockenen oder quasitrockenen Abgasreinigungssystemen mit Rückmischung des Reagenz ist aufgrund der Filterbelastung und der stark hygroskopischen Eigenschaft von Kalziumchlorid die Rückmischrate begrenzt. Bei steigendem Chlorwasserstoffgehalt im Abgas beschränkt die Rückmischrate die Optimierung der Stöchiometrie der Betriebsmittelzugabe und der spezifische Betriebsmittelbedarf steigt stark an.

Neben den Betriebsmitteln gehören auch die Entsorgungskosten der Reaktionsprodukte und der nicht reagierten überschüssigen Betriebsmittel zu den Kosten der Abgasreinigung. Die abfallstämmigen Filterstäube, die gemeinsam mit den Reaktionsprodukten als Flugstaub erfasst werden, werden im folgenden Kapitel separat betrachtet.

3.4 Entsorgung der Reaktionsprodukte aus der Abgasreinigung

Bei einer Betriebsmittelzugabe von 20 bis 40 kg/t EBS werden Reaktionsprodukte von 30 bis 60 kg/t EBS erzeugt. Die Verwertung als Bergeversatzmaterial nach Bergrecht ist heute stark umstritten, ein Preisanstieg und u. U. die Aberkennung des Entsorgungsweges als Verwertung ist zu befürchten. Für die Filterstaubentsorgung sind Kosten von ca. 100 €/t mit steigender Tendenz zu kalkulieren. Die Kosten liegen bei einem Chlorgehalt von 0,9%, abhängig von der Abgasreinigung, bei ca. 3 – 6 €/t.

Kostenänderung Abgasreinigung chlorabhängig inkl. Entsorgung Reaktionsprodukte

0,6 – 1,2 € pro 0,1% Chlorgehaltsänderung

Die spezifischen Kosten steigen mit steigendem Chlorgehalt.

3.5 Rostschlacke- und Ascheentsorgung

Der im EBS enthaltene Ascheanteil fällt als Rostschlacke, Kesselasche und Filterstaub an. Zusätzlich fallen Reaktionsprodukte aus der quasitrockenen Rauchgasreinigung als Gemisch aus nicht reagiertem Kalziumhydrat $\text{Ca}(\text{OH})_2$, Kalziumchlorid (CaCl_2), Kalziumsulfat (CaSO_4) und Herdofenkoks (HOK) an. Der Anteil der Reaktionsprodukte ist vorrangig vom Chlor-, Schwefel- und Schwermetallgehalt abhängig. Den wesentlichsten Anteil hat dabei der Chlorgehalt. Die Änderung der zu entsorgenden Reaktionsprodukte ist daher in Kapitel 3.4 Entsorgung der Reaktionsprodukte aus der Abgasreinigung bereits berücksichtigt.

Zu unterscheiden ist aufgrund der unterschiedlichen Entsorgungskosten zwischen Flugasche inkl. Kesselasche sowie Rostschlacken und Reaktionsprodukten aus der Rauchgasreinigung. Die Menge der Reaktionsprodukte aus der Rauchgasreinigung steht in keinem direkten Zusammenhang mit dem Aschegehalt. In Abbildung 7 ist der Heizwert über den Aschegehalt aufgetragen. In den meisten kaufmännischen Preisgleitformeln wird von einem unabhängigen Verhalten von Asche und Heizwert ausgegangen, da neben dem Aschegehalt auch der Wasser- und Kunststoffgehalt des Ersatzbrennstoffes einen wesentlichen Einfluss auf den Heizwert haben.

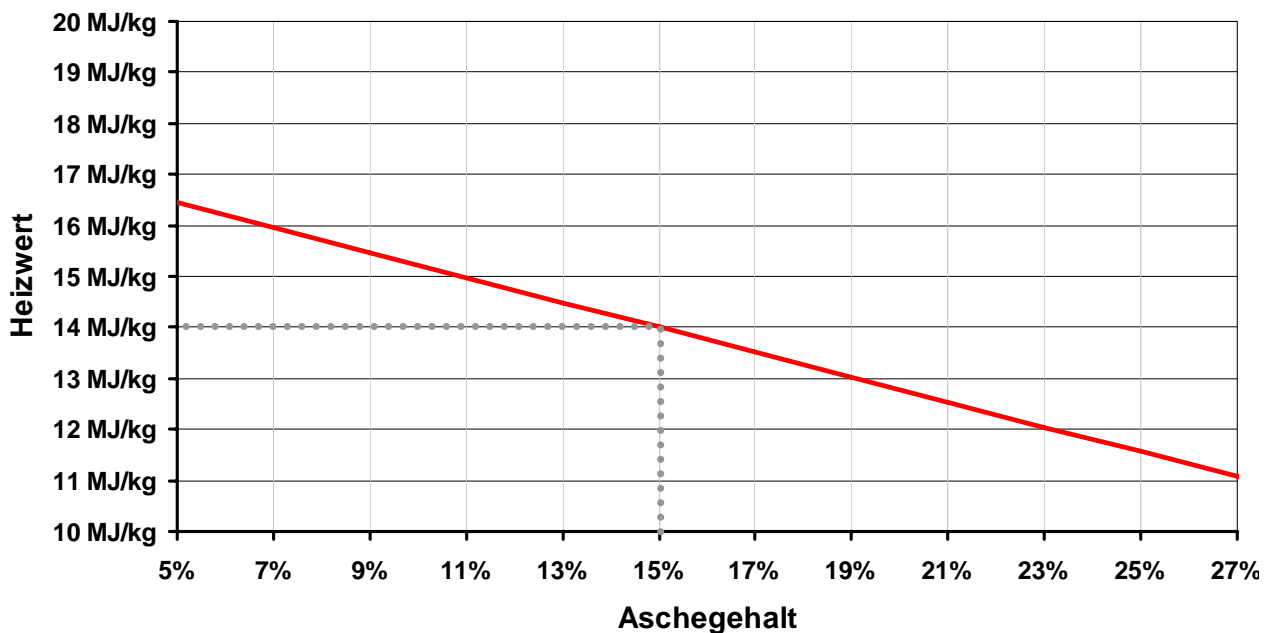


Abbildung 7: Heizwert in Abhängigkeit vom Aschegehalt, ohne Änderung von Wassergehalt und Kunststoffanteil im Anteil Glühverlust

Mit steigendem Aschegehalt der Brennstoffe steigt vor allem die Schlackemenge entsprechend, während beim Anfall von Flugstäuben nur vernachlässigbare Veränderungen bei veränderten Aschegehalten festgestellt werden, s. Abbildung 8.

Pro %-Punkt der Veränderung des Aschegehaltes bei Einsatz eines technisch optimierten Nas-sentschlackers verändert sich der Schlackeanfall um 1,2%-Punkte. Bei 15% Ascheanteil im Brennstoff würden ca. 18% Schlacke resultieren.

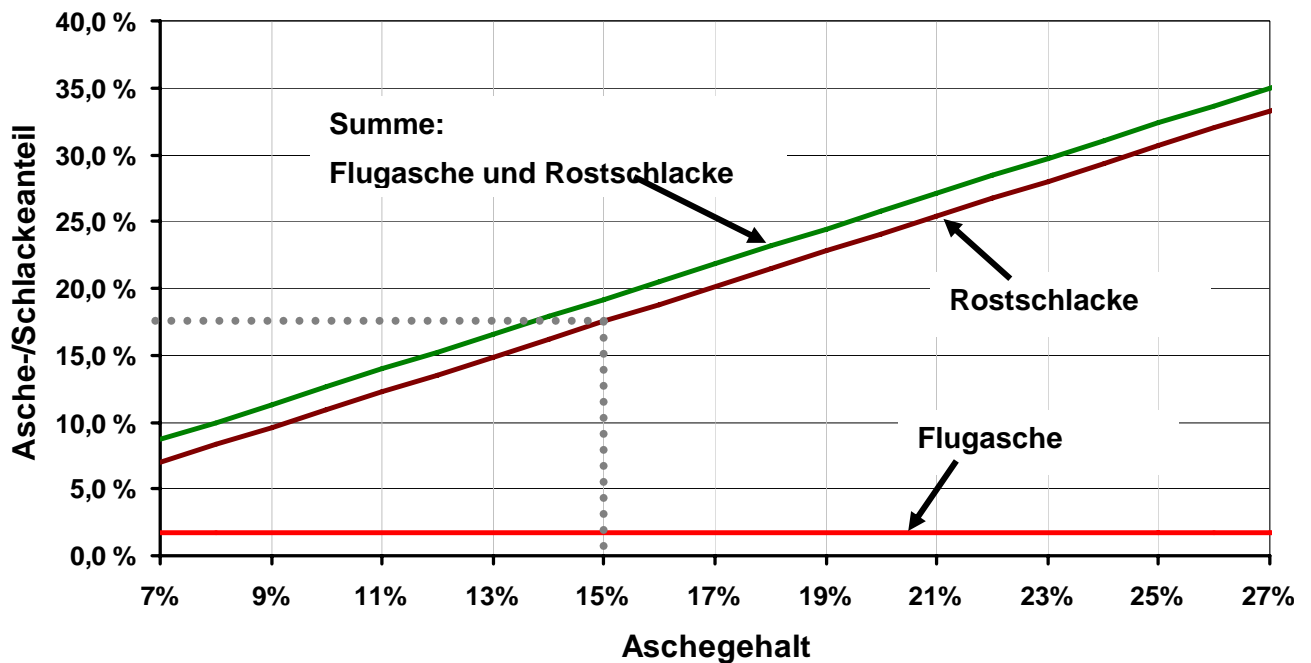


Abbildung 8: Flugasche und Rostschlacke in Abhängigkeit vom Aschegehalt

Die Höhe der Entsorgungskosten für Rostschlacke und Flugasche ist von regionalen Gegebenheiten abhängig und schwankt für Rostschlacken zwischen 30 €/t und 50 €/t und für Filterstäube zwischen 80 €/t bis 120 €/t zur Verwertung als Bergeversatzmaterial oder bei einer Genehmigung zur Deponierung nach Deponieklasse II oder Sonderabfalldéponie zwischen 50 €/t bis 100 €/t. Wir sind in der vorliegenden Beispielrechnung von 35 €/t für Rostschlacke und 100 €/t für Flugasche ausgegangen.

4 Preisanpassung in EBS-Verträgen

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.

4.1 Preisgleitung EBS-Preis

Eine Preisgleitklausel muss berücksichtigen, dass Energieerlöse genauso steigen wie Betriebs-, Personal- und Entsorgungskosten. Daher muss es 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 häufig – aufgrund 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 als auch mit einem Preis der zu 100% nach Verbrauchspreisindizes gleitet und die oben dargestellte Preisgleitung mit einem preisdämpfenden Index über den Strompreis verwendet. Zukünftig, soweit EBS-Kraftwerke am CO₂-Zertifikathandel teilnehmen sollten, würden auch der biogene Anteil und die CO₂-Preisänderung eine Rolle spielen.

4.2 Preisanpassungen aufgrund geänderter EBS-Eigenschaften

Durchsatzleistung und die Behandlungskosten pro Tonne EBS 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 jedoch gleich, entstehen insgesamt durch die geringere Durchsatzleistung weniger Kosten für Ascheentsorgung, Korrosion und Betriebskosten Abgasreinigung.

Aufgrund der hohen Relevanz von Chlor für den Verwertungspreis ist eine exakte Berechnung der Preisanpassung aufgrund geänderter EBS-Eigenschaften erforderlich.

4.2.1 Schwefelgehalt

Der Schwefelgehalt ist nur im Bereich der Betriebskosten zur Abgasreinigung relevant. Korrosionstechnisch wirkt sich ein höherer Schwefelgehalt in EBS-Kraftwerken eher positiv aus, dieser Effekt kann jedoch vernachlässigt werden.

Als Mittelwert für die Preisbasis wurden 0,2% Schwefelgehalt in der Originalsubstanz bzw. ca. 650 mg/Nm³ tr. im Rauchgas gewählt. Maximal kann ein Tagesmittelwert im Rohgas von ca. 1.300 mg/Nm³ bzw. 0,4% Schwefel zugelassen werden.

Preisgleitung Kostenänderungen Rauchgasreinigung:

0,12 € pro 0,1% Schwefelgehaltreduzierung

0,18 € pro 0,1% Schwefelgehalterhöhung

Realistisch sind Schwefelbelastungen im Bereich von 0,1% bis 0,4%. Es würden sich bei einer Abrechnung des Schwefelwertes eine maximale Änderung des Verwertungspreises von ca. 0,40 €/t bzw. nur < 0,5% ergeben, realistisch im Bereich von < 0,2% Preisänderung. Nicht berücksichtigt wurde die Reduzierung des Korrosionspotentials mit Erhöhung des Schwefelgehalts. Weiter kann bei unterschiedlichen Messungen von EBS-Lieferant und Kraftwerksbetreiber eine Messdifferenz von 0,1%-Punkt toleriert werden.

Die Verwendung des Schwefelgehaltes als preisrelevanter Parameter ist abzuwägen.

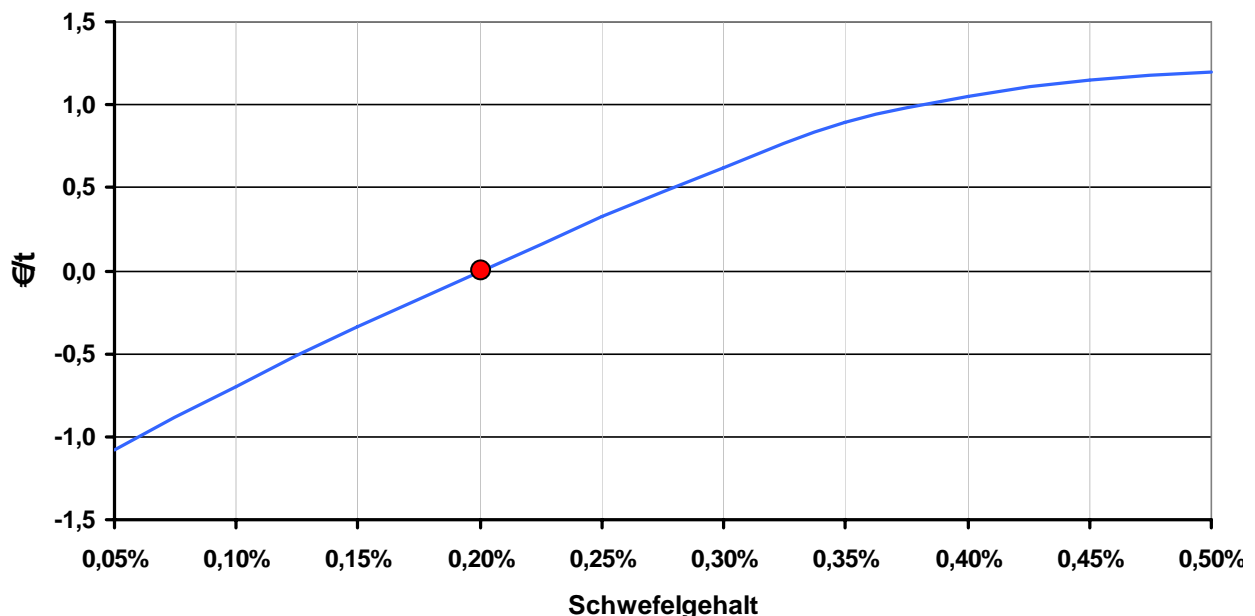


Abbildung 9: Flugasche und Rostschlacke in Abhängigkeit vom Aschegehalt

4.2.2 Heizwert

Der Heizwert der Brennstoffe bestimmt bei konstant in den Feuerraum einzubringender Energie die Masse an den eingesetzten Brennstoffen und damit direkt die Erlöse für die verbrannten Abfälle bzw. 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. Die nachfolgende Grafik zeigt die Veränderung des Durchsatzes bei veränderten Heizwerten.

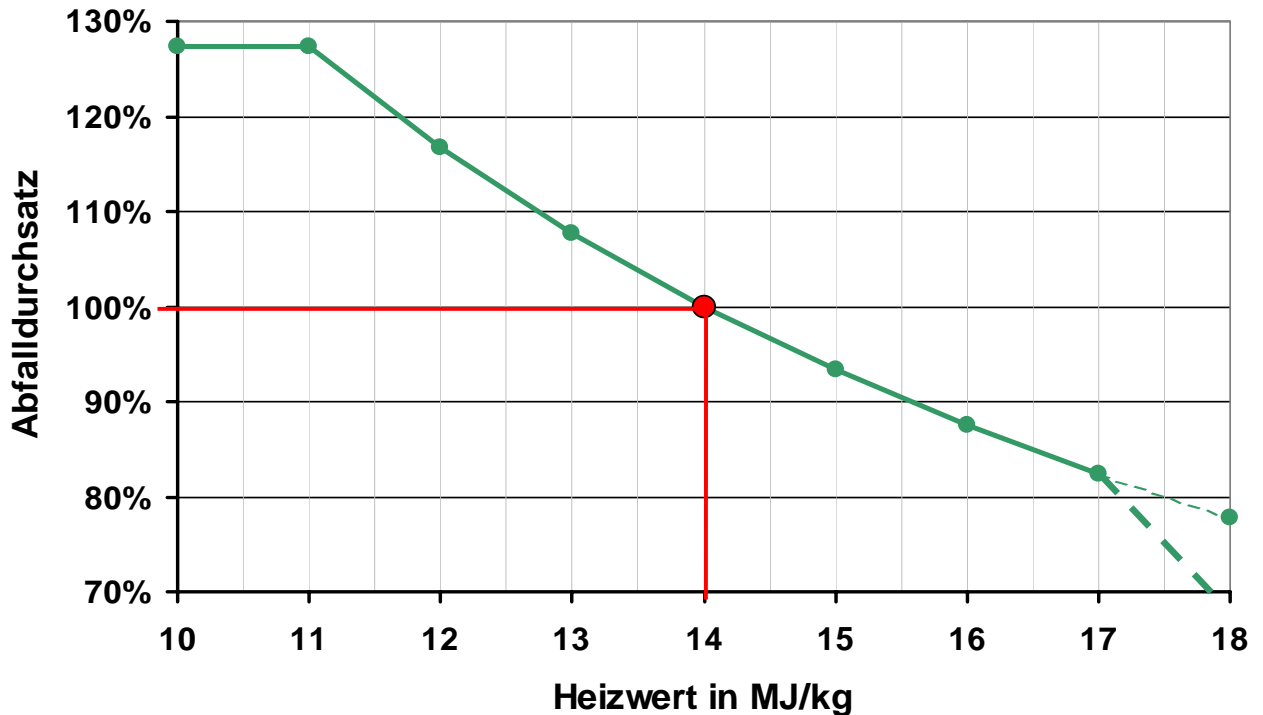


Abbildung 10: Abfalldurchsatz in Abhängigkeit vom Heizwert, Auslegungsheizwert 14 MJ/kg

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 Basisentsorgungspreis aufgeführt. Diese Preisanpassung berücksichtigt nicht Veränderungen der Chlor- und Aschemengen.

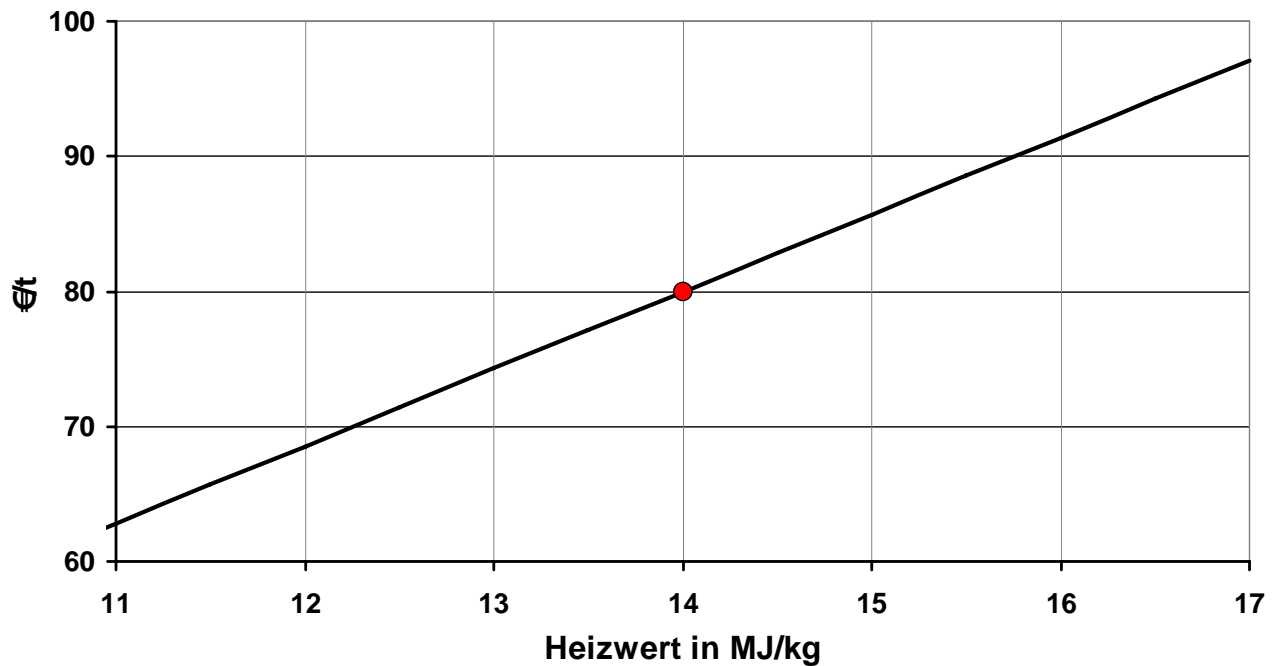


Abbildung 11: Preisanpassung in Bezug auf den Heizwert

4.2.3 Aschegehalt

Die nachfolgende Abbildung zeigt die notwendigen Preisanpassungen bei Veränderung des Ascheanteils bezogen auf Flugasche- und Schlackeentsorgungskosten.

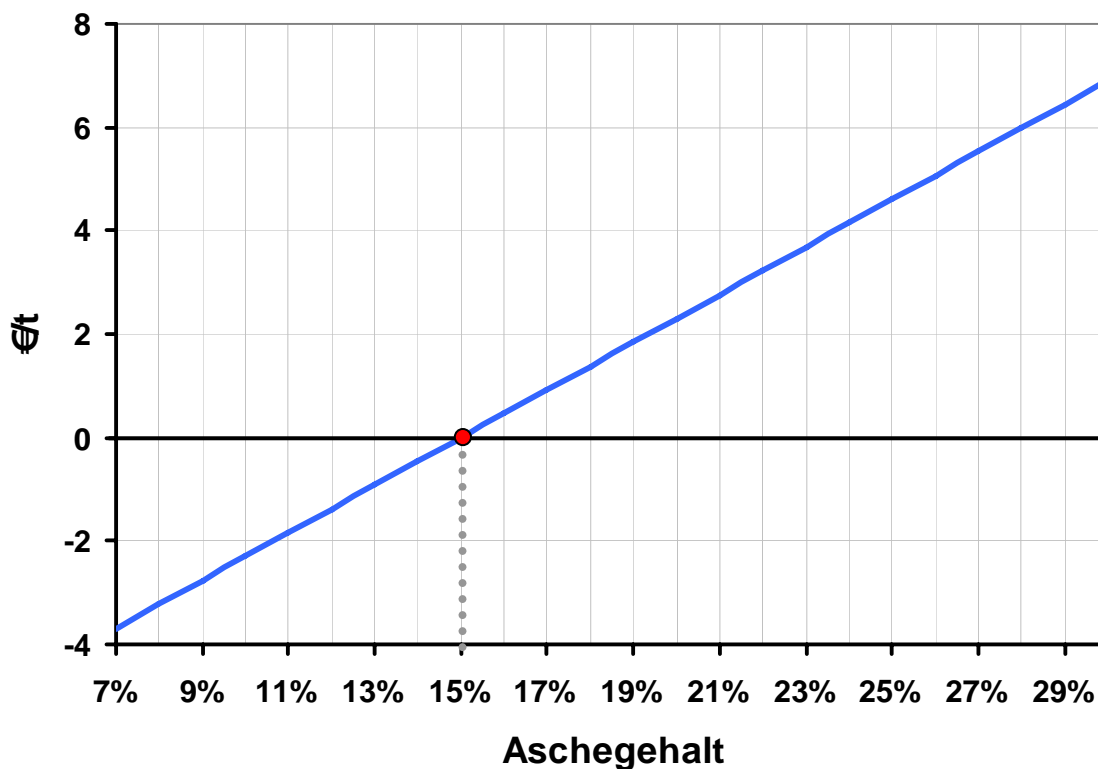


Abbildung 12: Preisgleitung für EBS in Bezug auf den Aschegehalt

4.2.4 Zusammenfassung der Preisgleitformeln

$$P - Cl = \left[CG' - \frac{Hu'}{Hu} CG \right] \bullet 1.100 \text{ €/t} \quad (1a) \text{ Korrektur Mehrpreis Chlormenge}$$

$$P - Cl = \left[CG' - \frac{Hu'}{Hu} CG \right] \bullet 900 \text{ €/t} \quad (1b) \text{ Korrektur Minderpreis Chlormenge}$$

$$P - S = \left[SG' - \frac{Hu'}{Hu} SG \right] \bullet 180 \text{ €/t} \quad (2a) \text{ Korrektur Mehrpreis Schwefelmenge}$$

$$P - S = \left[SG' - \frac{Hu'}{Hu} SG \right] \bullet 120 \text{ €/t} \quad (2b) \text{ Korrektur Minderpreis Schwefelmenge}$$

$$P' = P \frac{Hu'}{Hu} \text{ €/t} \quad (3) \text{ Preisanpassung Heizwert}$$

$$P - FA = FA \bullet \left[1 - \frac{Hu'}{Hu} \right] \bullet 100 \text{ €/t} \quad (4a) \text{ Preisanpassung Flugasche}$$

$$P - RA = \frac{1}{65\%} \left[(AG' - 1,7\%) - \frac{Hu'}{Hu} (AG - 1,7\%) \right] \bullet 36 \text{ €/t} \quad (4b) \text{ Preisanpassung Rostschlacke}$$

$$\mathbf{P\text{-}aktuell = P' + (P\text{-}Cl) + (P\text{-}S) + (P\text{-}FA) + (PRA)}$$

Die o. g. Formeln enthalten teilweise Konstanten, die sich aus Anlagentechnik, Verwertungspreisen für Schlacke und Filterstaub, projektabhängigen Betriebsmittelkosten etc. ergeben. In der folgenden Tabelle ist ein Berechnungsbeispiel enthalten

Tabelle 5: Berechnungsbeispiel EBS-Preis

EBS-Qualität neu

| | | | |
|------------------------|------------|--------------|-------|
| Heizwert | Hu' | 16 | MJ/kg |
| Chlorgehalt aktuell | CG' | 2,00% | % |
| Schwefelgehalt aktuell | SG' | 0,20% | % |
| Aschegehalt aktuell | AG' | 20% | % |

Rahmenbedingungen EBS-Vertrag

| | | | |
|--------------------------------|--------------|--------------|-------|
| Verwertungspreis EBS | Po | 80 | €/t |
| Heizwert | Hu | 14 | MJ/kg |
| Chlorgehalt Basis | CG | 0,9% | % |
| Schwefelgehalt Basis | SG | 0,2% | % |
| Aschegahalt Basis | AG | 15,0% | % |
| Flugaschemenge von Aschegehalt | FAG | 1,70% | % |
| Wassergehalt Rostschlacke | WG-RA | 35% | % |
| Behandlungskosten Flugasche | FA | 100 | €/t |
| Behandlungskosten Rostschlacke | RA | 35 | €/t |

Ergebnis

| | | | |
|------------------------------|------------------|---------------|------------|
| Korrekturpreis Chlormenge | P-CI | 11,66 | €/t |
| Korrekturpreis Schwefelmenge | P-S | -0,03 | €/t |
| Korrekturpreis Flugasche | P-FA | -0,24 | €/t |
| Korrekturpreis Rostschlacke | P-RA | 1,67 | €/t |
| Preis heizwertangepasst | P' | 91,43 | €/t |
| Summe Preisänderung | P-aktuell | 104,48 | €/t |

Durch eine Steigerung des Chlorgehaltes um 1,1%Punkte und des Heizwertes um 2 MJ/kg und des Aschehaltes um 5%Punkte erhöhen sich die Kosten der EBS-Verwertung um über 30%.

5 Nachrüstoptionen für die Abgasreinigung

Für die Problematik der erhöhten HCl-Werte im Rohgas gibt es bereits industriell umgesetzte Konzepte und Lösungen. Von Roll Inova bietet beispielsweise einen vereinfachten Nasswäscher zur HCl-Wäsche an, der speziell für diesen Zweck konzipiert ist.

Die Quenche wird direkt auf den eigentlichen Waschturm aufgesetzt; die Rauchgase werden im Gleichstrom durch die Füllkörperstufe geführt. Die gereinigten Abgase verlassen den Wäscher über den eingebauten Tropfenabscheider seitlich im unteren Teil des Waschturms und gelangen direkt über den Saugzug zum Kamin. Dadurch können die Rauchgaskanäle auf ein Minimum reduziert und der Waschturm in den Stahlbau des Gewebefilters integriert werden. [13]

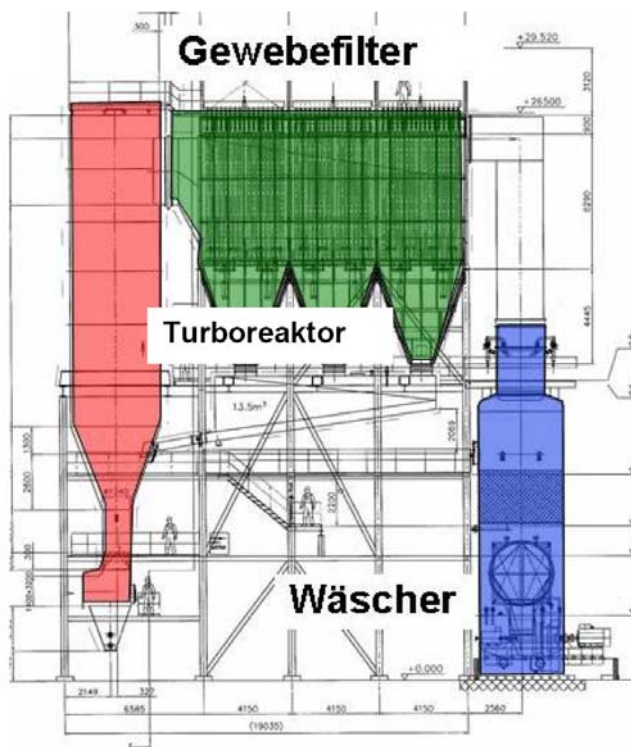


Abbildung 13: Nachrüstung eines Wäschers - Aufstellungsbeispiel Von Roll Inova, aus [13]

Die folgende Abbildung bietet einen Wirtschaftlichkeitsvergleich unterschiedlicher Abgasreinigungskonzepte in Abhängigkeit von der HCl-Konzentration im Rohgas und den Kosten für die Entsorgung der Reststoffe. Zum Vergleich sind die Deponiekosten in Frankreich und Deutschland dargestellt.

HCl-Konzentrationen von 2.000 mg/Nm^3 im Rohgas werden bereits bei Chlorgehalten von 1,3 % (FS) erreicht. Selbst bei den bisherigen niedrigen Reststoff-Entsorgungskosten in Deutschland lohnt sich hier schon die Nachrüstung mit einem Wäscher.

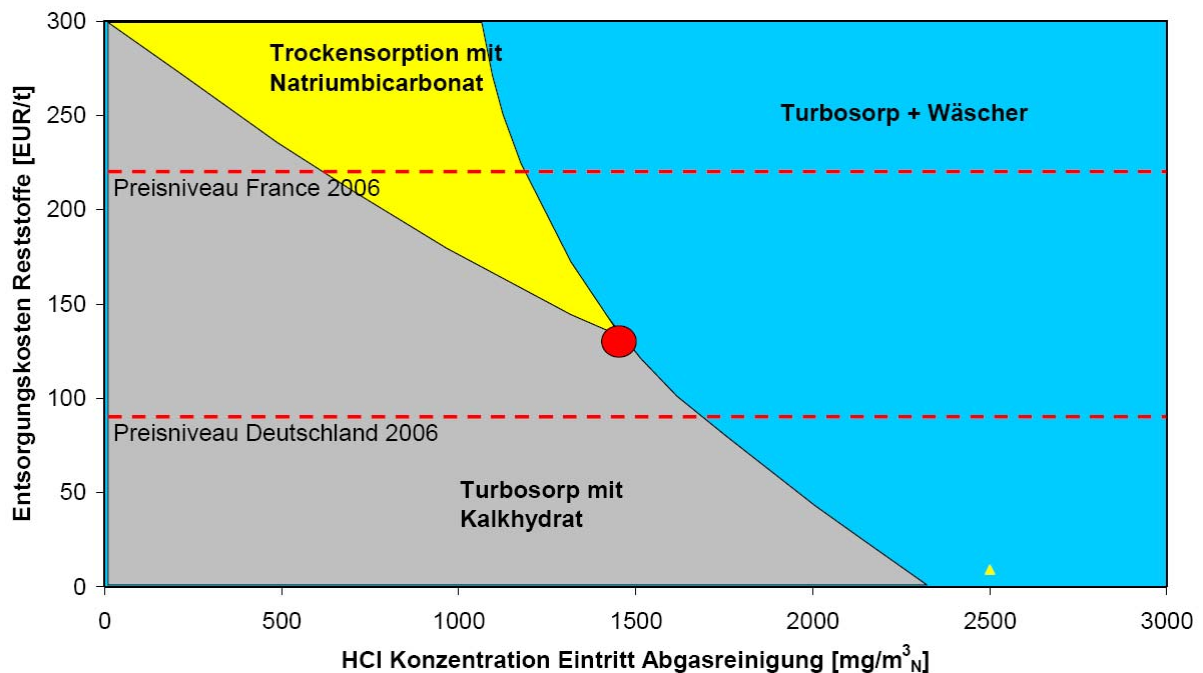


Abbildung 14: Wirtschaftlichkeit unterschiedlicher Abgasreinigungskonzepte, aus [13]

6 Abgasreinigung für EBS bei Rostverbrennungsanlagen

Die Prognose für die Emissionsentwicklung von Abfallverbrennungsanlagen ist vor dem Hintergrund der derzeitigen Genehmigungspraxis und Gesetzgebung klar in Richtung „Nullemission“ erkennbar. In dem aktuellen Entwurf der 37. BImSchV werden beispielsweise höhere Anforderungen an Abfallverbrennungsanlagen bzgl. die NO_x-Fracht gestellt als für andere Verbrennungsanlagen gleicher Leistungsgröße. Der Gesetzgeber begründet dies unter anderem mit der damit verbesserten Akzeptanz von Abfallbehandlungsanlagen.

Im Bereich der Grenzwertfestlegung in der Immissionsüberwachung von Abfallverbrennungsanlagen geht es schon lange nicht mehr um reale Immissionen. Die öffentliche Diskussion sollte daher mit Stereotypen wie „Nullemission“ geführt werden, die von der Öffentlichkeit verstanden werden.

Eine im Jahr 2013 erstellte Verbrennungsanlage sollte auch noch im Jahr 2030 betrieben werden können, ohne die Abgasreinigung komplett umzubauen.

Zur Vermeidung teurer Umbauten und Nachrüstungen im Bereich der Abgasreinigung sollte daher für neu zu bauende Abfallverbrennungsanlagen ein modulares Nullemissions-Abgasreinigungskonzept gewählt werden. Die zu installierenden Grundmodule sollten ohne Ausbau zur „Nullemission“ zu konventionellen Abgasreinigungsanlagen konkurrenzfähig sein.

Dieser Abschnitt zeigt ein Abgasreinigungskonzept auf, das die heute bekannten Anforderungen der Emissionsminimierung, Ressourcenschonung, Energieeffizienz und sozialen Verträglichkeit bei wirtschaftlicher Vergleichbarkeit zu vorhandenen Systemen erfüllt und modular bis hin zur Nullemission erweiterbar ist.

Wir bezeichnen Abfallbehandlungsanlagen mit einer modular bis hin zu einer Nullemission erweiterbaren Abgasreinigungsanlage als „Zero Emission Waste-to-Energy Conversion“ – ZEW-TEC.

6.1 Reststoffe der Abgasreinigung

Bei der Abfallverbrennung fallen neben der Rost- und Kesselasche zusätzlich Flugstäube und flüssige oder feste Reststoffe in der Abgasreinigung an.

Mit Inkrafttreten des KrW-/AbfG September 1994 ist der Begriff Reststoffe durch die Formulierungen „Abfälle zur Verwertung“ bzw. „Abfälle zur Beseitigung“ ersetzt worden. In diesem Beitrag wird aufgrund der diskutierten Scheinverwertung von Flugstäuben der Begriff „Reststoffe“ verwendet, wenn kein Recycling entsprechend der in Abstimmung befindlichen EU-Abfallrahmenrichtlinie erfolgt.

Die EU-Kommission hat das von ihr gegen Deutschland im Jahre 1998 eingeleitete Vertragsverletzungsverfahren wegen der Verwertung von Abfällen im Bergbau 2003 eingestellt. Nach der seit 24. Juli 2002 geltenden Versatzverordnung dürfen schadstoffhaltige Abfälle nur noch in Salzbergwerken genutzt werden. Enthalten Abfälle Metalle wie Zink, Blei, Kupfer, Zinn, Chrom, Nickel und Eisen, müssen diese vorrangig recycelt werden, soweit dies technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar ist.

Filterstäube aus der Siedlungsabfall- und Sonderabfallverbrennung wurden in der Vergangenheit mit hohen Schadstoffgehalten in Bergwerken eingesetzt, die nicht in trockenen Salzgesteinsformationen den dauerhaften Abschluss von der Biosphäre gewährleisten können. Im Vergleich zu den Anforderungen an die Beseitigung von Sonderabfällen in UTD hinsichtlich des Anforderungsniveaus an den Schutz der Umwelt war diese Form der Verwertung neu zu betrachten.

Flugstäube aus MVA werden heutzutage überwiegend als Bergversatz verwertet, wobei diese Entsorgung eher einer Untertagedeponierung gleicht. Die Filterstäube aus MVA können in Europa nur in Deutschland verwertet werden. Der Bergversatz von Sonderabfällen ist nur in Deutschland rechtlich als Verwertung erlaubt, in keinem anderen Land Europas.

Als Bergversatzmaterial wurden 2005 ca. 2,2 Mio. t Abfälle verwendet. Davon sind ca. 59 % (ca. 1,3 Mio t) gefährliche Abfälle. Das entspricht ca. 7 % des Gesamtaufkommens gefährlicher Abfälle (18,5 Mio t) in Deutschland. Daneben werden Filterstäube aus MVA aus Frankreich, Dänemark, Holland, Österreich, Luxemburg, Italien, Schweiz und aus noch anderen europäischen Ländern in Deutschland verwertet.

Bis Mitte der 90er Jahre wurden in Deutschland noch Entsorgungspreise von 400 - 600 DM/t Flugstaub gehandelt. Das war die Phase der Erprobung von Einschmelzverfahren. In dieser Zeit wurden Verfahren wie das Schwel-Brenn-Verfahren, Noell-Konversionsverfahren, Thermoselect-Verfahren und VEBA mit integrierter Einschmelzung aller Aschen, sowohl Rostschlacken als auch Kesselaschen und Filterstäube angeboten.

Daneben wurden noch eine Reihe spezifischer Einschmelzverfahren entwickelt, um die Qualitäten aller oder ausgewählter Rückstände von anderen thermischen Anlagen zu verbessern und auf das Niveau von Schmelzgranulat zu bringen:

- Elomelt-("Redmelt")Verfahren (Einschmelzung im elektrischen Lichtbogen)
- Fosmelt-Verfahren (Einschmelzung in brennstoffbeheizter Glaswanne)
- Lusor-Verfahren (Einschmelzung in elektrisch beheizter Glaswanne)
- Ebara-Kubota-Verfahren (Einschmelzen im Schachtofen durch direkte Öl-/Gasbeheizung)
- verschiedene Plasmaofenverfahren
- CORMIN-N-Verfahren, KHD, Zyklonfeuerung mit Kohle

Mit Inbetriebnahme der GRUBE TEUTSCHENTHAL im Mai 1995 mit Entsorgungskosten von 185 DM/t Flugasche und Reaktionsprodukten aus der Abgasreinigung von MVA hat sich der Markt neu orientiert. Planungen für Einschmelzverfahren wurden eingestellt. Deutschland ist heute Verwertungsmonopolist in Europa für Sonderabfälle aus der Abgasreinigung von MVA und SVA.

Neben dem später entwickelten und ausgeführten Syncom-Verfahren der Firma Martin werden keine weiteren Versinterungs- oder Einschmelzverfahren für Flugstäube mehr auf dem deutschen Markt angeboten. 1994 wurden dann Aschewasch-Verfahren entwickelt von Techform und von der Firma von Roll Inova als FLUWA-System.

Ab 1996 wurden von der Firma von Roll Inova mindestens sieben Anlagen als saure und eine neutrale Aschewäsche in der Schweiz und 1999 eine saure Aschewäsche in der Tschechischen Republik installiert.

Beim von Roll-FLUWA-Prozess (Flugaschewaschung) werden Kessel- und Filterasche mit dem sauren Abwasser des ersten (sauren) Rauchgaswäschers bei einem pH-Wert von 3,5, einem Lösungsmittel/Feststoffverhältnis von 4 und einer Verweilzeit von 45 Minuten gewaschen. Die behandelte Asche wird mit Wasser nachgereinigt und zusammen mit der Schlacke deponiert. Die gelösten Metalle werden durch Neutralisation und/oder Zugabe von Fällungsmitteln gefällt oder durch Ionentausch abgetrennt. Der gereinigte Filterkuchen enthält bis zu 25 % Zink und kann in metallurgischen Prozessen zur Gewinnung von Zink, Cadmium und Quecksilber eingesetzt werden. Aus der Flugasche werden ≥ 85 % des enthaltenen Cadmiums, ≥ 85 % des Zinks, ≥ 33 % des Kupfers und Bleis sowie ≥ 95 % des Quecksilbers abgetrennt. Die Kosten der Flugascheentsorgung nach diesem Verfahren betragen ca. 150 - 250 €/t (Winter).

6.2 Katalysatorbasierte Abgasreinigung

Eine Abgaskatalyse wird Standard einer neuen Generation von Nullemissions-Kraftwerken sein. Durch die multifunktionale Abgaskatalyse können Schadstoffe zerstört und die Produktion von Wertstoffen katalysiert werden.

Katalysatoren für die Rauchgasentstickung reduzieren neben NO_x auch Dioxine, Furane, Kohlenwasserstoffe, CO und viele andere oxidierbare Moleküle.

Schwermetallmoleküle werden ionisiert, wodurch die Lösbarkeit erhöht wird und nach einer sauren Waschung der Rauchgase und Aschen können diese Schwermetalle ausgewaschen, konzentriert und damit recycelt werden.

Durch die Katalyse wird das Gleichgewicht SO₂/SO₃ in Richtung SO₃ verschoben und die Schwefelsäureproduktion ermöglicht. Daneben ist auch die Produktion von Zinkblende (ZnS), Anhydrit CaSO₄, Kieserit (MgSO₄) Glaubersalz Na₂SO₄ mit Schwefeltrioxyd möglich.

Die Entwicklung der Abgasreinigung wird von folgenden Prämissen und Leitparametern geprägt:

Prämissen Abgasreinigung

- SCR-Katalysator zur Entstickung
- Nasse Abgasreinigung
- Chlorrecycling
- Metallrecycling
- Recycling der Feststoffe

Leitparameter

- NO_x, NH₃
- SO_x, HCl,
- Hg
- Dioxine
- Feinstaub

Die multifunktionale Abgaskatalyse ist direkt oder indirekt für die Reduzierung der Leitparameter NO_x, NH₃, Hg, Dioxine und Feinstaubreinigung erforderlich. Für Chlorrecycling, Metallrecycling und Recycling der Feststoffe ist die nasse Abgasreinigung unabdingbar.

6.2.1 Entstickung und NH₃-Reduktion

Zur katalytischen Entstickung gibt es drei generelle Schaltungsvarianten. Die Tail-End-SCR wird meist für Nachrüstungen verwendet. SCR-Schaltungen, die eine Aufheizung der Abgase erfordern, sind mit einem hohen Energieverlust verbunden und widersprechen den Kriterien der Energieeffizienz.

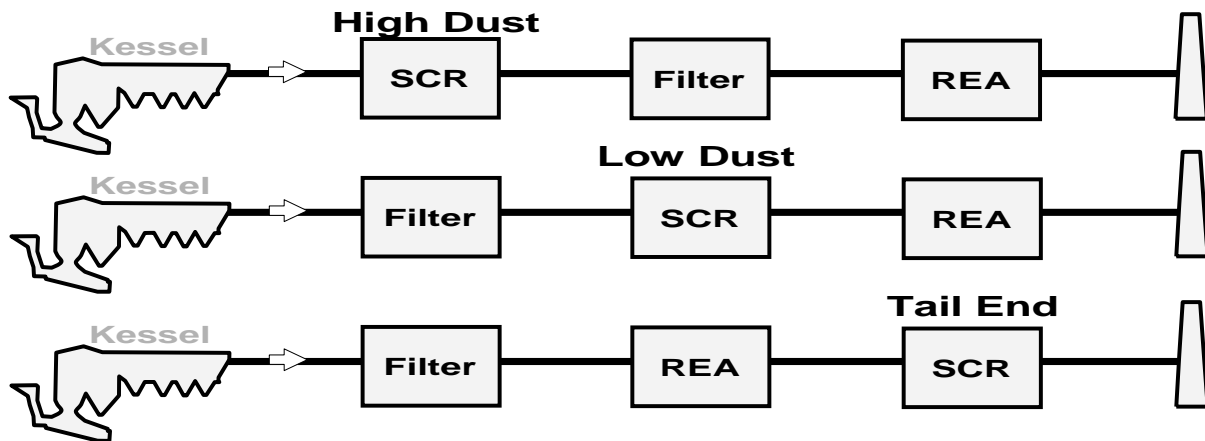


Abbildung 15: Varianten SCR-Schaltung in der Abgasreinigung

Aufgrund der hohen Schwefelfracht ist es bei Abfallbehandlungsanlagen nicht möglich, eine SCR als Low Dust oder High Dust bei Temperaturen < 280 °C mit ausreichender Verfügbarkeit durchzuführen, da ausfallendes Ammoniumsulfat den Katalysator blockieren würde. Temperaturen oberhalb von 320 °C verursachen Katalysatorvergiftungen durch auskondensierende Schwermetallsalze wie z. B. Bleichlorid.

In der nachfolgenden Grafik sind einige ausgeführte SCR-Schaltungen dargestellt. In der Anlage WTE Delfzijl der BKB wird die Problematik der Ammoniumsulfatverblockung durch eine Teilschwefelung durch die Zugabe von Natriumbicarbonat vor dem Filter umgangen. Diese Schaltung müsste klassisch als Tail-End-SCR bezeichnet werden, da bereits eine Entstaubung und Entschwefelung durchgeführt wurde. Vorteilhaft bei dieser Schaltung ist die nicht erforderliche Wiederaufheizung, da durch die Eigenschaften von Natriumbicarbonat eine Schwefelabscheidung auch bei 240 °C möglich ist.

In der TREA Breisgau (Freiburg) ist eine typische Low Dust-SCR dargestellt. Die Wabenkatalysatoren wurden kürzlich durch Plattenkatalysatoren eingetauscht. Ausreichende Standzeiterfahrungen bestehen bisher nicht. In Mainz wurde zwar eine SCR vorgesehen, jedoch nie in Betrieb genommen.

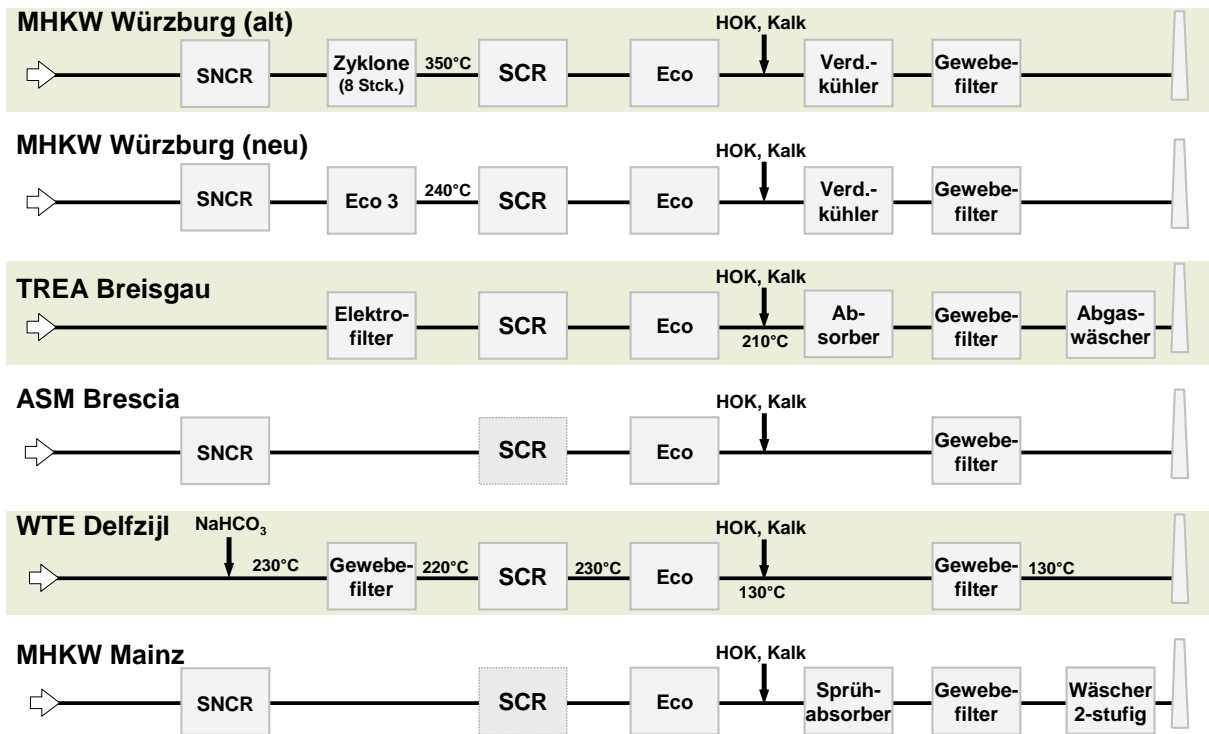


Abbildung 16: Schaltungsvarianten von SCR-Katalysatoren in Abfallverbrennungsanlagen [20]

Auffallend ist, dass zurzeit keine SCR als High Dust-Schaltung ausgeführt wurde, da die Schaltungen mit vorgelagerter SNCR als reine Schlupfkatalysatoren ausgeführt wurden, die vorrangig zur NH_3 -Reduktion dienen.

Der Wirkungsgrad der NO_x -Reduktion liegt bei unter 50 %, da wegen der Ammoniumsulfat-Problematik kein frisches NH_3 vor dem Katalysator zugegen sein wird. Nach Auftreten der Probleme mit Blei-Katalysatorinhibierung im MHKW Würzburg bei einer Temperatur von 350 °C wurde die Temperatur durch die Nachrüstung eines Economizers auf 240 °C drastisch reduziert und es wurde auf die Zyklonentstaubung verzichtet.

In der ASM Brescia wurde im Rahmen des Forschungsprojektes NextGenBioWaste ein High-Dust-Katalysator als Schlupfkatalysator getestet. Es wurde eine Reduktion von NO_x um 40 % und gleichzeitig von NH_3 um 33 % erreicht. Für das Forschungsprojekt wurde ein Budget von 29 Mio. € angesetzt.

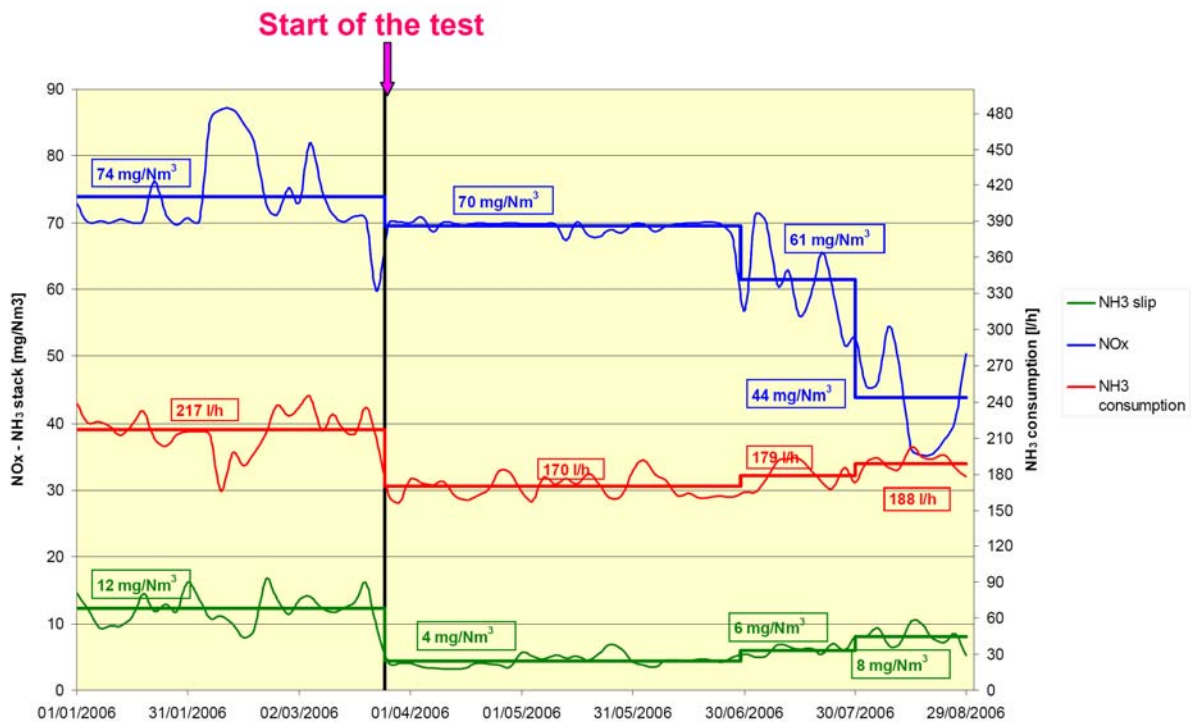


Abbildung 17: Ergebnisse mit SNCR und nach Zuschaltung der SCR in der ASM Brescia [9]

Erfolg versprechend ist eine Low Dust SCR bei 290 °C mit einer Abweichung von 10 Kelvin. Bleisalze kondensieren bei Temperaturen > 320 °C und können sich als Kondensat nicht mehr auf den aktiven Zentren des Katalysator absetzen, sondern werden als Staub durch den Katalysator getragen. Gleichzeitig wird durch Temperaturen > 280 °C eine Verblockung durch Ammoniumsulfat vermieden. Für die Entstaubungstechnik bei > 300°C haben sich bisher nur E-Filter und Zyklone bewährt. Nachteil der E-Filter ist die in diesem Temperaturbereich katalysierte Dioxinentstehung. Zwar werden die Dioxine im Katalysator bei entsprechender Auslegung als De-Diox-SCR wieder zerstört, die Aschen bleiben jedoch weiter belastet und müssen als Sonderabfall beseitigt werden.

Der Zyklon scheidet bei entsprechender Auslegung und Einstellung die Feinstkornfraktion < 10 µm kaum ab und kann somit eine dioxinarmer Aschefraktion abscheiden. Zusätzlich zur Staubabscheidung wird die für den Katalysator wichtige homogene Temperatur- und Schadstoffverteilung eingestellt. Durch gezielte Eindüsung von Ammoniak im Zyklonaustritt wird eine optimale NH₃-Verteilung im Katalysator gewährleistet. Durch die hohe Salzfracht im Rauchgas ist eine angepasste Katalysatorreinigung durch Russbläser und u. U. auch Infraschall unerlässlich.

Bei Biomassekraftwerken ist die Kombination SNCR mit SCR in High-Dust-Schaltung aus den Projekten Wien-Simmern und Alkmaar bekannt. Mit dieser Schaltung werden NOx-Reingaswerte << 50 mg/m³ gesichert eingehalten.

6.2.2 Ionisation von Quecksilber

Neben der Entstickung führt der Katalysator zusätzlich einen Hg-Shift [30] von schwerlöslichem metallischem Hg⁰ zu leichtlöslichem ionisiertem Hg²⁺ durch, dieses wird über die nasse Rauchgasreinigung vollständig erfasst. Elektrofilter heben diese Wirkung des Katalysators zum

Teil wieder auf und sollten nicht nach dem Katalysator eingesetzt werden. Ionisiertes Quecksilber als auch andere ionisierte Schwermetalle bilden mit Chlor lösliche Schwermetallchloride, die im Wäscher abgeschieden werden. Wichtig bei der Auslegung des Wäschers ist ein pH-Wert von $< 3,5$. Bei einem höheren pH-Wert kann es zu einer Disproportionierung kommen und metallisches Quecksilber frei werden. Eine stark saure Wäsche verstärkt die Ionisation von Quecksilber und bei Anwesenheit von Chlor wird Quecksilberchlorid komplett ausgewaschen. Der Einsatz von Aktivkohle zur Quecksilberemission ist dann nicht mehr erforderlich.

6.2.3 Zerstörung von Dioxinen

Der SCR-Katalysator wird mit geringen Änderungen für die Zerstörung von organischen Verbindungen inkl. Dioxine und Furane eingesetzt. Für die komplette katalytische Dioxin-Zerstörung werden von verschiedenen Herstellern Katalysatoren wie beispielsweise ZERONOX® D von Envirotherm, DIOx-Katalysatoren von Siemens und NOx-DeDioxin von BASF angeboten und mit großem Erfolg eingesetzt. Der Einsatz von Aktivkohle und auch die Entsorgung eines Aktivkohle-Flugasche-Gemisches ist dann überflüssig, da Quecksilber ebenfalls über Katalyse und Waschung ausgeschleust wird.

Als weiterer Vorteil der multifunktionalen Katalyse ist die absolute Umsetzung von NH_3 , wodurch die Entstehung von Ammoniumchlorid bei Temperaturen $< 200 \text{ }^\circ\text{C}$ sicher vermieden wird.

Das zur HOK- und reststofffreien Abgasreinigung vorgeschlagene Verfahren ist in Abbildung 18 dargestellt

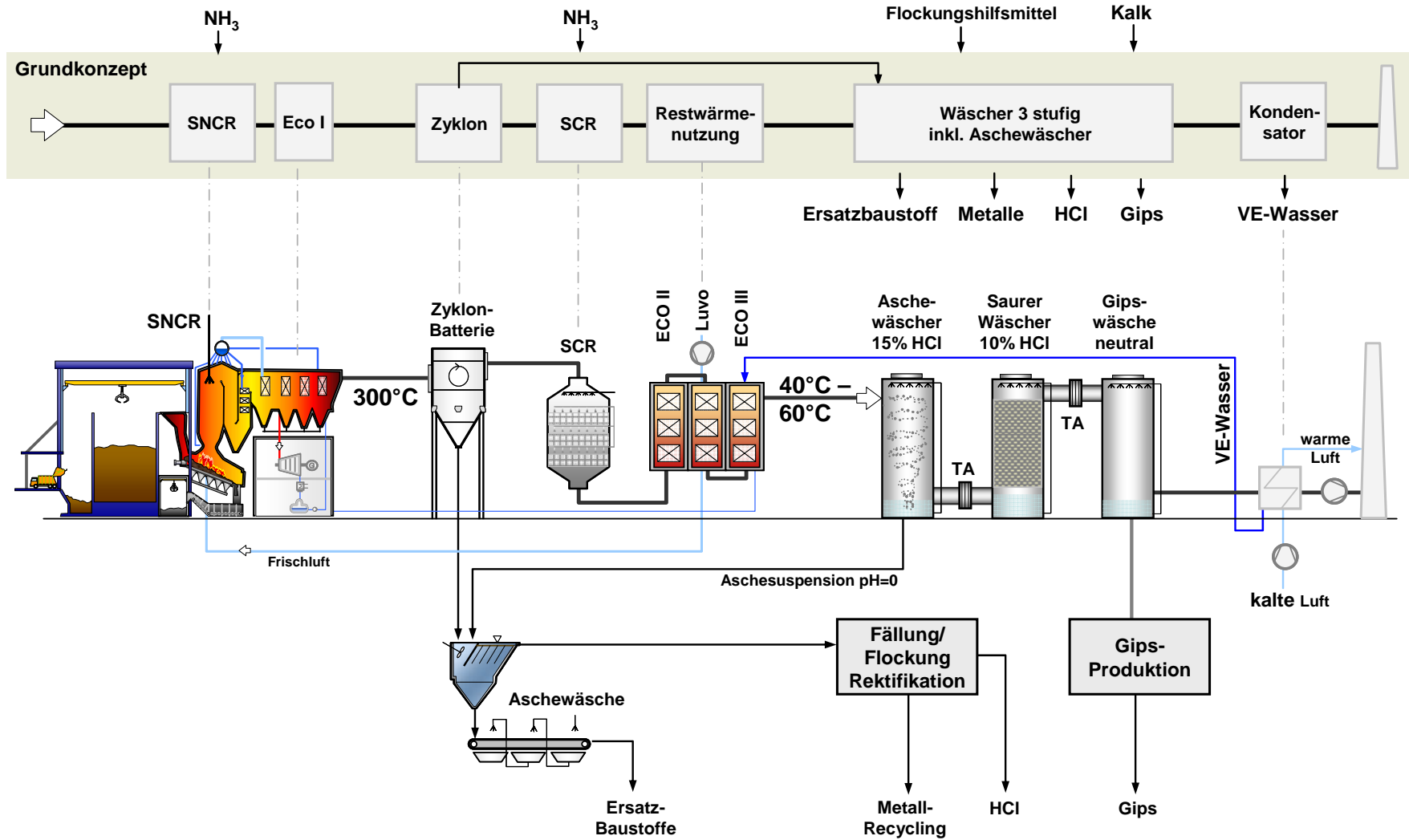


Abbildung 18: HOK- und reststofffreie Abgasreinigung mit Restwärmee-nutzung

In Abbildung 18 wird ein Abgasreinigungskonzept vorgestellt, das keine Aktivkohle oder Herdofenkoks (HOK) und keine Additive zur Chlorreduktion einsetzt. Durch den minimierten Additiv-einsatz werden auch die entsprechenden Reststoffmengen zur Entsorgung vermieden. Zusätzlich werden die Aschen in einer Weise abgeschieden sowie katalytisch und chemisch-physikalisch behandelt, dass die Flugaschen wieder einem stofflichen Recycling zugeführt werden können.

Der UN-Klimarat IPCC hat bestätigt, dass CO₂-Emissionen einen verheerenden Einfluss auf die Erwärmung haben werden, wenn sie bis zum Jahr 2050 nicht um 50 % - 80% gesenkt werden. Doch wenn man sich vor Augen führt, dass mit einer Zunahme des Weltenergiebedarfs um 60 % zwischen 2002 und 2030 gerechnet wird, während erneuerbare Energien bis 2050 voraussichtlich lediglich ein Drittel des Energiemixes ausmachen werden, wird das immense Ausmaß der Herausforderung deutlich.

Obgleich eine Erhöhung der Energieeffizienz bereits einen großen Beitrag leisten kann, wird dies alleine das Problem nicht lösen können.

Unter Nullemission könnte man - wie in der Kohleverbrennung üblich - verstehen, dass eine Anlage kein klimarelevantes CO₂ mehr emittiert. Klimarelevant ist bei Abfall nur der fossile CO₂-Anteil und der beträgt pro Tonne Abfall ca. 40 % - 60% der Gesamt-CO₂-Emissionen. Der biogene CO₂-Anteil wird als Emission bewertet, da Biomasse der Atmosphäre während des Wachstums CO₂ entzieht und somit den CO₂-Kreislauf mit neutraler Bilanz darstellt.

Da CO₂ einen Schadstoff und eine Belastung für nachfolgende Generationen darstellt, kann man die Entsorgung der abfallstämmigen klimarelevanten CO₂-Anteile auch als Atmosphären-Deponierung bezeichnen, die genauso wie die terrestrische Deponierung ein Erbe an unsere Kinder darstellt.

Fossiles CO₂ aus der Abfallverbrennung stellt einen Reststoff aus der Abfallbehandlung dar, der nach der Abfallrahmenrichtlinie entweder vermieden, wiederverwendet oder recycelt werden sollte.

Ist ein Stoff dann kein Abfall, weil man ihn nicht sehen kann, nicht fühlt und er keinen direkt erkennbaren Einfluss auf die menschliche Gesundheit hat? Fossiles CO₂ stellt immerhin 30 % - 40 % der Abfallmasse dar.

Dow Deutschland GmbH & Co. OHG, Werk Stade betreibt seit 1990 eine Sonderabfallverbrennungsanlage, genannt RVA (Reststoffverwertungsanlage) für 40.000 t/a hochkalorische Kunststoffreste mit hohem PVC-Anteil und produzieren 40.000 t/a Salzsäure und 40.000 t/a Soda (Na₂CO₃·10H₂O, Dehydrat des Natriumcarbonates) zur werkseigenen Verwertung. Der Massenanteil der verwertbaren CO₂-Produkte aus dem Abfall beträgt 100 % des Abfallanfalls. Im Werk Stade wurde schon 1990, also vor der internationalen Klimadiskussion 1992 in Rio de Janeiro, aus reiner Motivation des wirtschaftlichen Recyclings CO₂ verwertet.

Die Fabrik von Shell Chemicals in Scotford, Alberta, Australien will künftig 60 % ihres gegenwärtigen CO₂-Ausstoßes an die benachbarte Firma Air Liquide verkaufen.

In Bild 16 ist eine CO₂-Abscheidungsvariante dargestellt. Für eine Nullemission reicht es aus, nur ca. 40 % bis 60 % des entstandenen CO₂ zu verwerten.

Als weitere modulare Erweiterung könnte eine Luftzerlegungsanlage Stickstoff, CO₂ und Edelgase am MVA-Standort produzieren, somit würde eine schornsteinfreie MVA entstehen.

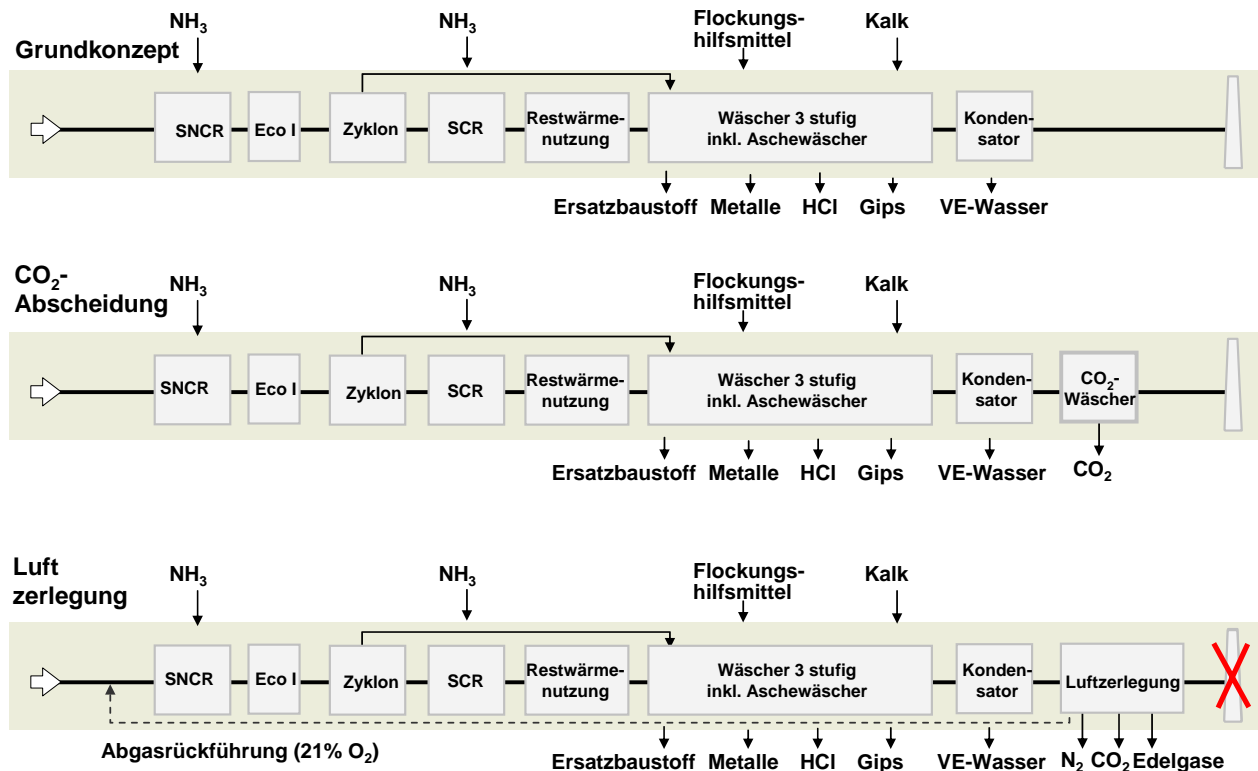


Abbildung 19: Modulare Erweiterung zur CO_2 -Abscheidung oder kompletten Abgaszerlegung zur Produktion von technischen Gasen

Im Grundkonzept wird das Abgas soweit gereinigt, dass eine weitergehende Abgasreinigung erweitert werden kann.

7 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.

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 sowie der schwierigen Abschätzung der zukünftigen Zusammensetzung von Ersatzbrennstoff ist eine Vorausschauende Planung von Abfallverbrennungsanlagen erforderlich.

Obwohl es schon lange absehbar war, dass vor allem der Chlorgehalt im Ersatzbrennstoff stark ansteigt, wurden häufig Anlagenkonzepte mit vereinfachter Abgasreinigung und geringen korrosionsschutztechnischen Vorkehrungen für Chlorgehalte $< 1\%$ realisiert. Die Kosten für die EBS-Verwertung können kurzfristig um 20% alleine durch erhöhte Chlorgehalte ansteigen.

Die heute in Betrieb oder in der Realisierung befindliche EBS-Kraftwerke der 1. Generation werden durch einen hohen Anteil an hausmüllstämmigem 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 kurzfristigen Bewältigung der Schadstofffrachten aus dem Gewerbeabfallbereich ist die Vermischung mit schadstoffärmeren Restabfällen bei der Erweiterung von MVA-Kapazitäten zur Mitverbrennung von Gewerbeabfällen.

8 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 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 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 Stand: 20.12.2006
- [8] Becker, O.: Herausforderungen einer Finanzierung bei EBS-Anlagen. Vortrag beim VDI-Wissensforum Seminar 430411, 5. Dezember 2006, Berlin
- [9] Bonomo, A.: Industrial Installation and Testing of an innovative Catalyst System for NOx Removal in WTE Units. In: WTERT 2006 Annual Meeting at Columbia University, New York, 19./20.10.2006. Download: http://www.nextgenbiowaste.com/Publications/Presentations/WTERT%202006%20_Antonio%20Bonomo%20ASM.pdf, Stand: 20.11.2007
- [10] Büll, U.; Zwisele, B.; Nogueira, M.; Niestroj, J.: Erhebung repräsentativer Planungsdaten für die Restabfallbehandlung eines Entsorgungsgebietes. Müll und Abfall, 1,2005
- [11] Consultic Marketing & Industrieberatung GmbH: Kunststoffabfälle und die deutsche Entsorgungswirtschaft. April 2008
- [12] EU Kommission: Mitteilung der Kommission an das europäische Parlament, den Rat, den europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen: 20 und 20 bis 2020 - Chancen Europas im Klimawandel, 23.01.2008
- [13] Frey, R.: Konzepte zur Abgasreinigung: Tiefe Emissionen trotz hohem Schadstoff-Input. In: 4. Potsdamer Fachtagung 22.-23. Februar 2007 (5/2007), Texocon GbR
- [14] Fuchs, C.: Abgasreinigung bei neuen Herausforderungen In: Thomé-Kozmiensky, Beckmann (Hrsg.): Optimierung der Abfallverbrennung 3. Neuruppin: TK Verlag, 2006, S. 596-616
- [15] 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
- [16] Grundmann, J.: Ersatzbrennstoffmengen, Projekte, Entwicklung. Vortrag beim VDI-Wissensforum Seminar 430411, 5. Dezember 2006, Berlin

- [17] Ketelhut, R.: Chloranalytik in heizwertreichen Abfällen – nicht mehr (als) nötig! 2. Teil. In: Müll und Abfall 2/2008. Berlin: Erich Schmidt Verlag GmbH & Co., S. 80-86
- [18] Ketelhut, R.: Chloranalytik in heizwertreichen Abfällen – nicht mehr (als) nötig! 1. Teil. In: Müll und Abfall 1/2008. Berlin: Erich Schmidt Verlag GmbH & Co., S. 25-32
- [19] Ketelhut, R.: Qualitätssicherung für Ersatzbrennstoffe in Schleswig-Holstein. Abschlussbericht, November 2007
- [20] Kleppmann, F.; Grüttner, W.; Dima, B.: Heiße DeNOx (katalytische Entstickung) im Müllheizkraftwerk Würzburg. In: Müll und Abfall 6/07. Berlin: Erich Schmidt Verlag GmbH & Co., S. 269-273
- [21] PVCplus Kommunikations GmbH, PVCH, API (Hrsg.): Produktinformation: Wissenswertes über PVC, August 2005 Download: http://www.agpu.com/fileadmin/user_upload/produktinfo1.pdf Stand: 20.12.2006
- [22] Rothert, A.: Positionen zur Chemie mit Chlor. Hrsg.: Verband der chemischen Industrie, 18.11.2005
- [23] 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 Stand: 20.12.2006
- [24] Schu, R., Niestroj, J.: Anlagenauslegung, Brennstoffbeschaffung und Qualitätssicherung für Abfallverbrennungsanlagen. In: Thomé-Kozmiensky (Hrsg.): Energie aus Abfall 2, Neuruppin: TK Verlag, 2007, S.319-344
- [25] Schu, Reinhard; Seiler, Udo: HOK- und reststofffreie Abgasreinigung im Jahr 2013. In: Thomé-Kozmiensky, Beckmann (Hrsg.): Energie aus Abfall – Band 4 Neuruppin: TK Verlag, 2008
- [26] Seiler, U.: Aktueller Stand bei der Abgasreinigungsanlagen hinter Verbrennungsanlagen. In: Stand der Technik Rauchgasreinigungsanlagen und thermischen Prozessen, 6. Unabhängiges Symposium, Stuttgart 16. – 17. März 2004
- [27] 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
- [28] Seiler, U.: Gegenüberstellung der spezifischen Behandlungskosten von quasitrockenen Abgasreinigungsanlagen beim Einsatz verschiedener Sorbentien, Vortrag beim VDI-Wissensforum Seminar 431201, 16. – 17. Mai 2006, Ratingen
- [29] Seiler, U.: Gegenüberstellung der spezifischen Behandlungskosten von Quasitrocknen Abgasreinigungsanlagen beim Einsatz verschiedener Sorbenzien. In: Fachtagung VDI Wissensforum "Sorbentien / Betriebsmittel in der Rauchgasreinigung". Köln, 18./19.10.2007
- [30] Srivastava, R. K.: Status of Mercury Control Technologies for Coal-Fired Power Plants. In: MIT Air Toxics Symposium, 05.08.2004