

# **Thermische Abfallbehandlung**

**Band 13**



## **13. Fachtagung**

# **Thermische Abfallbehandlung**

## **Herausgeber**

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Bernd Bilitewski  
Prof. Dr.-Ing. Arnd I. Urban  
Prof. Dr.-Ing. Martin Faulstich

Schriftenreihe des  
Fachgebietes Abfalltechnik  
Universität Kassel

Redaktion:

Dr. Wolfgang Mayer  
Dipl.-Ing. Christian Pacher  
Technische Universität München  
Lehrstuhl für Rohstoff- und Energietechnologie  
Petersgasse 18, 94315 Straubing  
<http://www.rohstofftechnologie.de>

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

ISBN: 978-3-89958-384-7

URN: <urn:nbn:de:0002-3845>

2008, kassel university press GmbH  
[www.upress.uni-kassel.de](http://www.upress.uni-kassel.de)

Druck und Verarbeitung: Unidruckerei der Universität Kassel

Veranstalter:

Verein zur Förderung der Fachgebiete  
Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik  
an der Universität Kassel e.V.  
Kurt-Wolters-Straße 3, 34125 Kassel

Die Informationen in diesem Buch werden ohne Rücksicht auf eventuellen Patent-  
schutz veröffentlicht. Warennamen werden ohne Berücksichtigung der freien Verwend-  
barkeit benutzt.

© Alle Rechte vorbehalten. Wiedergabe und Übersetzung nur mit Genehmigung des  
Vereins zur Förderung der Fachgebiete Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik  
an der Universität Kassel e.V., Kurt-Wolters-Straße 3, 34125 Kassel.

# **Inhaltsverzeichnis**

<b>Vorwort.....</b>	<b>7</b>
Bernd Bilitewski, Arnd I. Urban, Martin Faulstich	

## **Politik und Recht**

<b>Entwicklung neuer Rahmenbedingungen für die Thermische Abfallbehandlung .....</b>	<b>9</b>
Andreas Jaron	
<b>Grenzüberschreitende erwerbswirtschaftliche Betätigung der Kommunen und Europarecht .....</b>	<b>21</b>
Walter Frenz	
<b>Abfallmanagement und Kapazitätsentwicklung in Europa.....</b>	<b>37</b>
Holger Alwast, Bärbel Birnstengel	
<b>Vollständige Verwertung in einer MVA – Bestandsaufnahme und Klimabilanz.....</b>	<b>45</b>
Horst Fehrenbach	

## **Ersatzbrennstoffe in industriellen und konventionellen Kraftwerken**

<b>Einsatz von EBS in industriellen Kraftwerken – Erfahrungen und Weiterentwicklungen.....</b>	<b>59</b>
Ralf Borghardt	
<b>Thermische Abfallbehandlung bei EnBW .....</b>	<b>73</b>
Michael Pförtner	
<b>Die Zukunft der EBS-Verwertung in Braunkohlekraftwerken aus Sicht der Vattenfall Europe .....</b>	<b>83</b>
Frank Mielke, Sven Kappa, Andreas Sparmann	

## **Ersatzbrennstoffe in Industrie- und Monoverbrennungsanlagen**

<b>Entwicklungen für den Sekundärbrennstoffeinsatz in der Zementindustrie .....</b>	<b>95</b>
Martin Oerter	
<b>Ökologische Zweckmäßigkeit für den Einsatz von Kunststoffen</b>	
<b>als Reduktionsmittel im Hochofen.....</b>	<b>101</b>
Thomas Bürgler	
<b>Erfahrungen in Monoanlagen.....</b>	<b>115</b>
Bernd Neukirchen	

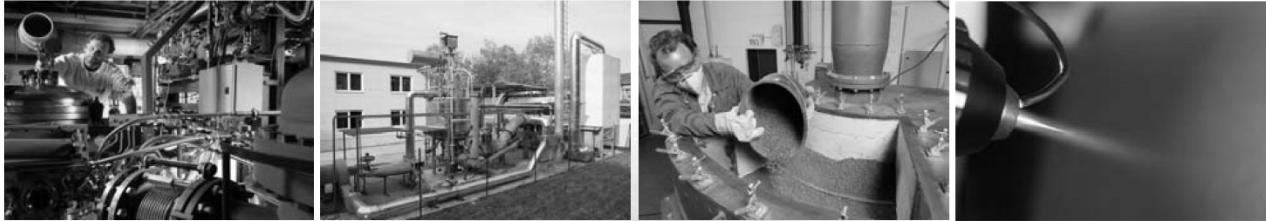
## **Energieeffizienz in Müllverbrennungsanlagen**

<b>Energieeffizienz in der AVA Amsterdam – erste Betriebserfahrungen .....</b>	<b>121</b>
Jörn Wandschneider	
<b>Verbesserungspotenziale der Energieeffizienz .....</b>	<b>135</b>
Oliver Gohlke	
<b>Erzeugung von Strom und Wärme aus Abfall – Bedeutung und Potenzial.....</b>	<b>151</b>
Rolf Kaufmann, Dirk Zachäus	
<b>Hybrid-Regelung zur Optimierung des Betriebs</b>	
<b>von Müllverbrennungsanlagen .....</b>	<b>159</b>
Dietrich-Georg Ellersiek	

## **Höherwertige Verwertung ab 2020**

<b>Perspektiven und Hinderungsgründe für die energetische</b>	
<b>Abfallverwertung in Griechenland .....</b>	<b>173</b>
Avraam Karagiannidis	
<b>Schmelzverfahren – Erfahrungen in Japan.....</b>	<b>185</b>
Alfons Buekens	
<b>Thermische Klärschlammbehandlung – ein sinnvoller Entsorgungsweg</b>	
<b>für das Schwellenland China?! .....</b>	<b>201</b>
Michael Nelles, Tao Liu, Ke Wu, Gert Morscheck	
<b>Autorenverzeichnis .....</b>	<b>218</b>
<b>Schriftenverzeichnis .....</b>	<b>220</b>





# ► VERFAHREN & WERKSTOFFE FÜR DIE ENERGietechnik



BIOMASSENUTZUNG

KORROSIONSSCHUTZ

ABFALLVERBRENNUNG

FUNKTIONSSCHICHTEN

## ENERGIE AUS BIOMASSE UND ABFALL

ANAEROBTECHNIK

SONDERWERKSTOFFE

BIOGASREINIGUNG

PULVERHERSTELLUNG

Prof. Dr.-Ing. Martin Faulstich • Dipl.-Ing. Gerold Dimaczek

ATZ Entwicklungszentrum • An der Maxhütte 1 • 92237 Sulzbach-Rosenberg  
Telefon 09661 908-400 • Telefax 09661 908-401 • E-Mail [info@atz.de](mailto:info@atz.de) • [www.atz.de](http://www.atz.de)

## **Vorwort**

Mit unserer 13. Fachtagung Thermische Abfallbehandlung in München mit den ausrichtenden Lehrstühlen der Technischen Universitäten Dresden, Kassel und München greifen wir die aktuellen, wichtigen Themen der thermischen Nutzung von Abfällen auf.

Ein Schwerpunkt der Tagung liegt bei der energetischen Nutzung von Ersatzbrennstoffen in konventionellen Anlagen der Kraftwerkstechnik. Ersatzbrennstoffe aus der MBA und aus der Sortierung von Gewerbeabfällen sind in ihrem Einsatzspektrum nur begrenzt nutzbar. Es liegen nun mehrere Jahre an Erfahrungen vor, die hier vorgestellt werden und ebenfalls für die Zukunft hinsichtlich einer Ausweitung des EBS-Einsatzes von Bedeutung sind.

Der Einsatz von EBS in Industrie- und Monoanlagen ist für die energetische Nutzung ebenfalls von entscheidender Bedeutung für die Akzeptanz von Mechanisch-Biologischen Anlagen. Beispiele aus der Zementindustrie, vom Einsatz im Hochofen, von der Wiederkehr der Vergasung und ein zusammenfassender Erfahrungsbericht in Monoanlagen runden diesen Schwerpunkt der Tagung ab.

In den vorangegangenen Fachtagungen war die Energieeffizienz und die Weiterentwicklung des Innovationspotentials bereits mehrfach ein bedeutender Tagungsbaustein. Die zentrale Frage der Energieeffizienz in den Abfallverbrennungsanlagen wird der zweite Schwerpunkt der Tagung sein.

Traditionsgemäß schauen wir auch über die Grenzen und verfolgen die Entwicklung und die Ursachen dieser Entwicklung. Erfahrungen in Asien und Griechenland mit der Nutzung beziehungsweise den Hinderungsgründen für die thermische Abfallbehandlung werden präsentiert. Die Diskussion wird daher auch auf der Basis ausländischer Erfahrungen nach der Konsequenz der Thermischen Abfallbehandlung fragen und Antworten für den weltweiten Markt für Anlagen, aber auch in Hinblick auf die zukünftige Entwicklung in Deutschland und Europas suchen.

Für den Abschlussvortrag ist es uns gelungen, den Geschäftsführer der Münchener Rück Stiftung, Herrn Thomas Loster, Mitglied der Rates für Nachhaltige Entwicklung, zu gewinnen, der über das Thema Klimaschutz und Nachhaltigkeit sprechen wird.

Unser Dank gilt den Referenten dieser Tagung und allen Beteiligten an der Organisation und Vorbereitung. Namentlich möchten wir hier Herrn Dr. Wolfgang Mayer, Herrn Dipl.-Ing. Christian Pacher und Frau Gisela Schneider stellvertretend für alle anderen nennen.

Dresden, Februar 2008

Bernd Bilitewski      Arnd I. Urban      Martin Faulstich



B. Bilitewski, A.I. Urban, M. Faulstich (Hrsg.)

**13. Fachtagung  
Thermische Abfallbehandlung**

**Entwicklung neuer Rahmenbedingungen  
für die Thermische Abfallbehandlung**

Dr. Andreas Jaron

Bundesministerium für Umwelt,  
Naturschutz und Reaktorsicherheit

Bonn

Schriftenreihe des  
Fachgebietes Abfalltechnik  
Universität Kassel

## 1 Einführung

Die thermische Abfallbehandlung – schon dieser Begriff ist überholt und zeigt nur die eine Seite der Medaille – hat heute eine Bedeutung, die über den Beseitigungsaspekt weit hinausreicht. Müllverbrennung als thermische Behandlung war in der Vergangenheit zumeist ein Instrument, um infektiöse und geruchsbelästigende Bestandteile zu zerstören und die Menge des abzulagernden Abfalls zu reduzieren. Sie war eine technisch aufwändiger Alternative oder Ergänzung zur Deponierung – aber eben doch vom Gedanken der „Beseitigung“ getragen, wenn zum Beispiel der Deponierraum knapper wurde.

Diese Zeiten sind längst vorbei! Heute sprechen wir von „waste to energy“ - Anlagen, in denen die Nutzung der im Abfall gebundenen Energie zum Leitmotiv der Müllverbrennung wird. Insbesondere an Standorten, an denen durch Kraft-Wärme-Kopplung eine besonders effiziente Nutzung des Energieträgers Abfall möglich ist, kann von einer Beseitigung des Abfalls als Hauptzweck kaum noch die Rede sein. Eine Neubewertung moderner Abfallverbrennung unter ökologischen Vorzeichen im Rahmen der Diskussion zur Novelle der Abfallrahmenrichtlinie war deshalb fällig.

Aber die Bedeutung der Müllverbrennung geht inzwischen über die genannten Aspekte der Reduzierung und energetischen Nutzung hinaus: Zum einen ist Müllverbrennung ein zentraler Baustein eines umfassenden Abfallwirtschaftskonzeptes (mit seinen Interdependenzen zu den anderen Standbeinen einer modernen Abfallbewirtschaftung), zum anderen ist ihr Beitrag zum Klimaschutz signifikant. Diese Erkenntnis führt allerdings auch zu der Notwendigkeit verstärkter Anstrengung in den Bereichen, in denen diese Zielansätze noch nicht verwirklicht werden. Dies betrifft zum einen die weniger energieeffizienten Anlagen, zum anderen die Regionen – insbesondere natürlich im Ausland – die nicht diesen Leitprinzipien gehorchen, geschweige denn entsprechen.

Im Folgenden werden drei Aspekte der Diskussion über die Bedeutung der thermischen Abfallbehandlung und der energetischen Nutzung von Abfällen besonders betrachtet:

- Die Abfallablagerungsverordnung und ihre Folgen,
- die Auswirkung der EG-Abfallrahmenrichtlinie (ARRL) sowie
- die Bemühung der Bundesregierung, integrierte Entsorgungskonzepte und Technologien in Industrie-, Schwellen- und Entwicklungsländern zu unterstützen.

## 2 Juni 2005: Die Abfallablagerungsverordnung und ihre Folgen

Als im Jahr 1993 die Technische Anleitung Siedlungsabfall als Verwaltungsvorschrift verabschiedet wurde, gingen wir davon aus, dass sich die als richtig und notwendig erkannte Beendigung der Ablagerung von biologisch-abbaubaren Abfällen bis 1999

durchsetzen ließe. Offenbar war wider Erwarten die Verbindlichkeit und Wirkung einer Verwaltungsvorschrift jedoch so gering, dass das geplante Ziel nicht erreicht wurde. Man kann darüber spekulieren, warum im Bereich der Abfallwirtschaft und -bewirtschaftung eingespielte bewährte Prinzipien des deutschen Verfassungsstaates – wie dies auch in anderen Fällen der Abfallwirtschaft zu beobachten ist – nicht mehr funktionieren. Es ist jedoch festzustellen, dass der Gesetzgeber die Situation erkannt und aufgenommen hat, um das nicht erreichte Ziel durch harte gesetzliche Regelungen, wenn auch verspätet, durchzusetzen. Mit der Abfallablagerungsverordnung hat er die Beendigung nicht vorbehandelten Abfalls ab 1. Juni 2005 bestimmt.

Interessanterweise haben die realistischer Weise zu antizipierenden Kapazitätsengpässe vor dem Juni 2005 nicht oder kaum zu den zu erwartenden Preissteigerungen auf dem Entsorgungsmarkt geführt. Weder stiegen die Entsorgungspreise, noch wurden die entsprechenden Anreize zum Schaffen von weiteren Entsorgungskapazitäten aufgegriffen. Auch hier zeigte der Entsorgungsmarkt eine untypische Reaktion: Es war von verschiedenen prognostizierenden Studien hergeleitet und vorausgesehen worden, dass mit dem 1. Juni 2005 die Entsorgungspreise exorbitant in die Höhe schnellen würden und damit für die notwendigen Kapazitätszuwächse unabdingbare Marktsignale geschaffen werden. Normalerweise reagiert ein Markt auf solche Prognosen mit vorgezogenen Preisänderungen und Kapazitätsbewegungen. Nicht so hier: Erst nach dem Juni 2005 wurde zeitweise über eine sehr große Zahl neuer Kraftwerke für Ersatzbrennstoffe (EBS) gesprochen und entsprechende Planungen begonnen. Außerdem sollten eine Reihe von weiteren Müllverbrennungsanlagen gebaut werden.

Vier Effekte dieser technischen Anforderungen und der entsprechenden Marktreaktion waren sofort nach dem Juni 2005 zu beobachten:

Die Importe, insbesondere niederländischen Abfalls (und hier insbesondere Gewerbeabfalls, der wegen der Deponiesteuer in den Niederlanden von niedrigeren Entsorgungskosten in Deutschland profitierte) nahmen rapide ab. Inzwischen haben sich die Importe bei notifizierungspflichtigen Abfällen nahezu halbiert.

Die Möglichkeiten der Reduzierung von Deponiemengen wurden im Gewerbeabfallbereich besonders durch stärkere Getrennthaltung und mehr stoffliche Verwertung genutzt. Insoweit zeigt sich der Markt durchaus als funktionierendes Instrument, Getrennthaltung, Sortierung und Recycling zu forcieren. Es ist ein altbekanntes, hier wieder bestätiges Phänomen, dass die Staaten mit dem höchsten Anteil an Müllverbrennung auch die höchsten Recyclingquoten haben.

In einigen Bundesländern wurden für unvorbehandelte Abfälle Zwischenlager in Betrieb genommen, die durch eine spätere thermische Behandlung der Abfälle wieder abgebaut werden sollten. Befürchtungen, dass hierdurch „Dauer-Zwischenlager“ entstünden, haben sich erfreulicherweise nicht bewahrheitet.

Die Klagen über fehlgeleitete Abfallströme in Ton- und Gießgruben zur Verfüllung nahmen zu. Im Rahmen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) hat das BMU die Länder intensiv aufgefordert, diesen Missständen zu begegnen – offenbar mit einem Erfolg.

Inzwischen hat sich offensichtlich die Marktsituation unerwartet rasch konsolidiert: Die zeitweise auf bis zu 200 Euro angebotenen Verbrennungspreise auf dem Spotmarkt sind inzwischen nahezu auf den Stand vor dem Juni 2005 zurückgegangen, weil durch entsprechende Ausweichreaktionen der Marktbeteiligten die Kapazitätsengpässe bei Verbrennungsanlagen soweit reduziert wurden, dass teilweise sogar wieder von einem Kapazitätsüberhang die Rede ist; italienischer Abfall winkt. Auch eine Vielzahl von geplanten EBS-Kraftwerken wird wohl unter diesen Vorzeichen kaum realisiert werden.

### **3 Die EG-Abfallrahmenrichtlinie – mehr Ressourcen- und Klimaschutz?**

Die im Jahr 1975 erstmals erarbeitete Abfallrahmenrichtlinie (ARRL) ist mit seinen Pflichten und grundsätzlichen Anforderungen das „Grundgesetz“ der europäischen Abfallwirtschaft und eine entscheidende Grundlage für Umweltschutz, Wirtschaft und Arbeitsmarkt in Deutschland und in der Europäischen Union. Die Abfallgesetzgebung der Mitgliedstaaten setzt das europäische Recht harmonisiert um.

Im Rahmen der derzeitigen Novelle der ARRL geht es zentral darum, die zwischenzeitlich aufgetretenen Probleme im Hinblick auf die Rechtssicherheit zu beseitigen und das Recht an die gestiegenen Anforderungen des Umweltschutzes, insbesondere bei der Verwertung und dem wettbewerbsfeindlichen Standard-Dumping, anzupassen. Im Vordergrund stehen neben den umweltschutzbezogenen Regelungen auch der Ressourcen- und Klimaschutz und der Abbau bürokratischer Hemmnisse.

Die Bundesregierung hat ein erhebliches Interesse an der optimalen Gestaltung der ARRL. Einerseits schlagen alle im europäischen Recht angelegten Probleme voll auf das nationale Recht durch, ohne dort repariert werden zu können, andererseits bietet ein ambitioniertes Recht nicht nur besseren Umweltschutz, sondern für die hoch entwickelte deutsche Entsorgungswirtschaft und Umwelttechnik auch arbeitsmarktwirksame Exportchancen. Dies soll die später dargestellte Exportinitiative der Bundesregierung weiter unterstützen.

Der Novellierungsvorschlag der KOM liegt seit 21.12.2005 vor. Zuvor hatten die Mitgliedstaaten in mehreren Workshops und das 5. und 6. Umweltaktionsprogramm der EU die Kommission auf die Notwendigkeit einer entsprechenden Initiative hingewiesen. Die österreichische (1. Halbjahr 2006) und die finnische (2. Halbjahr 2006) Ratspräsidentschaft haben die Diskussionen trotz Bemühungen nicht zum Abschluss bringen können. Die Vorschläge der Kommission und der Mitgliedstaaten ließen sich auf Grund ihrer Komplexität und Fülle nur schwer beherrschen und in Einklang bringen.

Das BMU hatte sich bereits im Vorfeld zur Novellierung mit einem eigenen Vorschlag zur Novelle der ARRL in die Diskussion gebracht. Aufgrund der intensiven Vorbereitung und der ausfeilten Konzeption hat das BMU die Verhandlungen sowohl im Rat, als auch im EP stark prägen können. Die BMU-Konzeption wurde auch national breit abgestimmt. Wie sich in der Befassung des Bundestages und des Bundesrates gezeigt hat, wurde die deutsche Position dort vollständig unterstützt. Allerdings konnten die Vorschläge der deutschen Präsidentschaft kein bloßes Abbild der deutschen Ausgangsforderungen sein, sondern mussten auf Grund der einzunehmenden Moderatorenrolle der Präsidentschaft die Positionen der anderen Mitgliedstaaten stärker widerspiegeln. Dies ist gelungen, wobei die Kernanliegen der Bundesregierung – Verstärkung Umweltschutz, insbesondere Klimaschutz, Verbesserung Rechtssicherheit und Abbau von Bürokratie – voll oder weitgehend umgesetzt werden.

Nach ersten Vorberatungen und Expertentreffen unter deutscher Präsidentschaft (1. Halbjahr 2007) sind die Beratungen zur ARRL sehr intensiviert worden. Nach Vorlage des ersten Entwurfs der deutschen Präsidentschaft am 27. Februar 2007 wurde wöchentlich in der RAG Umwelt verhandelt, um im Umweltrat am 28. Juni 2007 schließlich eine politische Einigung zu erreichen, die am 20. Dezember, nachdem die Erwägungsgründe und die sprach-juristische Überarbeitung beendet worden waren, in einen Gemeinsamen Standpunkt mündete. Die Resonanz der anderen Mitgliedstaaten für die Leistung der deutschen Präsidentschaft über das Erreichte ist ermutigend.

Die Eckpunkte der gefundenen Einigung entsprechen weitgehend der deutschen Positionierung:

- Gleichrangige Betonung des Ressourcenschutzzwecks neben dem Umweltschutzzweck in der ARRL,
- Stärkere ökologische Ausrichtung der Abfallhierarchie durch 5-stufigen Ansatz (Vermeiden, Wiederverwenden, Recycling, sonstige Verwertung, Beseitigung); dabei aber hinreichend Flexibilität im Hinblick auf beste Umweltoption, sowie technische, wirtschaftliche und soziale Bedingungen, wie sie bereits im Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz angelegt sind,
- Beschränkung der ARRL auf bewegliche Sachen (Altlasten und Gebäude werden aus dem Anwendungsbereich der ARRL herausgenommen),
- Dadurch Verbesserung der Rechtssicherheit gegenüber dem EuGH-Urteil zu „van de Walle“ (Altlastensanierung nach Abfallrecht),
- Klare umweltbezogene Kriterien für die Abgrenzung zwischen Nebenprodukten und Abfällen sowie zur Bestimmung des Endes der Abfalleigenschaft,
- Verbesserung von Rechtssicherheit,
- Umsetzung der Kriterien grundsätzlich auf EG-Ebene, aber auch durch den Mitgliedstaat möglich (kein Entscheidungsmonopol der KOM),
- Weiter Verwertungsbegriff – auch für die energetische Verwertung, um Anreiz für effiziente Verwertungstechnik zu liefern,

- Öffnung der energetischen Verwertung, so dass auch MVA als Verwertungsanlagen anerkannt werden können (allerdings nur, wenn diese hohe Effizienz vorweisen (Energieoutput von mindestens 60 beziehungsweise 65%),
- Hierdurch Anreiz für die Errichtung hocheffizienter MVA, die gegenüber der herkömmlichen Deponierung einen erheblichen Beitrag zum Klimaschutz leisten und zugleich Chancen für deutsche Umwelttechnik bieten,
- Schutz vor Auszehrung der kommunalen Entsorgungsstrukturen durch den weiten Verwertungsbegriff (der auch auf MVA Anwendung finden kann, siehe oben!) und durch Einführung der „Hausmüllklausel“ (gemischter Hausmüll kann von den Kommunen auch dann entsorgt werden, wenn er als Abfall zur Verwertung anzusehen ist),
- Schutz vor Überlastung nationaler Entsorgungsstrukturen durch Importschutzklausel: Führt der Import von verwertbaren Abfällen dazu, dass nationale Abfälle aus den dafür an sich vorgesehen nationalen Verwertungseinrichtungen in Beseitigungswege (etwa Deponien) verdrängt werden, kann der Mitgliedstaat dem Import widersprechen,
- Im Sinne des Bürokratieabbaus Reduzierung des obligatorischen Mindestinhalts der Abfallbewirtschaftungspläne und Abfallvermeidungsprogramme auf das notwendige Minimum und stattdessen
- Einführung des Grundsatzes der Produktverantwortung.

Wenige Elemente der deutschen Position erwiesen sich im Rat nicht als mehrheitsfähig: Die Einführung der Besten Verfügbaren Technik zur Abfallbewirtschaftung sowie Erleichterungen im Genehmigungsverfahren.

Das Europäische Parlament (EP) hatte bereits am 13. Februar 2007 die Erste Lesung abgeschlossen. Der von der deutschen Präsidentschaft erreichte Gemeinsame Standpunkt enthält viele Parallelen und nimmt etwa mit der Energieeffizienz Elemente auf, die durch Abstimmungsspannen im EP durchgefallen sind. Problematisch sind dort jedoch insbesondere Beschlüsse zu konkreten Vermeidungs- und Verwertungszielen. Diese stellen zwar nicht für Deutschland, wohl aber für einige andere Mitgliedstaaten ein Problem dar. Sie dürften aber für alle zu erheblicher Bürokratie führen, da insbesondere zur notwendigen Erhebung und Bewertung (Monitoring) die Instrumente und Statistiken fehlen.

Nun will das Parlament seit Februar 2008 versuchen, in der Zweiten Lesung eine Einigung mit dem Rat und der Kommission zu schaffen. Die Stimmung im Rat zeigt, dass die Mitgliedstaaten dies für möglich halten.

Allerdings wird es die Berichterstatterin des Parlamentes, Frau Jackson, schwer haben, die verschiedenen Einzelwünsche der Abgeordneten auf einen gemeinsamen Kurs zu bringen. Denn eine weitergehende „Öffnung“ der ARRL über den gemeinsamen Standpunkt hinaus, birgt die Gefahr, dass das Paket unterschiedlichster Kompromisse zwi-

schen den Mitgliedstaaten und der Kommission schließlich nicht mehr geschlossen werden kann. Deshalb versucht Frau Jackson, die Strömungen in der besonders wichtigen Diskussion über Ziele und Quoten für mehr Vermeidung und Recycling kulminieren zu lassen. Der Rat hatte sich mit diesen Vorschlägen des Europäischen Parlamentes aus verschiedenen Gründen nicht auseinander setzen können.

Ein besonders umstrittenes Thema – bis in die Verhandlungen im Umweltministerrat hinein – war die Abgrenzung zwischen der Verwertung und Beseitigung von Abfällen. Entscheidendes Problem sind dabei nicht so sehr die Plausibilität der Abgrenzungskriterien, sondern die Rechtsfolgen. Abfälle, die verwertet werden, unterliegen der Warenverkehrsfreiheit und können innerhalb der EU unbeschränkt grenzüberschreitend verbracht werden. Abfälle, die beseitigt werden, sind hingegen dem Prinzip der Entsorgungsaufgabe unterworfen. Sie sind grundsätzlich im Inland zu entsorgen.

Dabei wirkt die Warenverkehrsfreiheit für Abfälle zur Verwertung zweischneidig: Zwar ist sie einerseits Bedingung dafür, dass das in den Abfällen steckende Rohstoff- oder Energiepotenzial EU-weit möglichst optimal genutzt wird. Andererseits birgt der Abfalltransport aber auch das Risiko des Umweltdumpings und die Gefährdung nationaler Entsorgungsstrukturen durch Überlastung oder Auszehrung. Es wäre allerdings zu simpel, sich der Thematik mit dem Schlagwort „Mülltourismus“ zu nähern. Vor dem Hintergrund der weltweiten Ressourcenknappheit sind differenzierende Regelungen notwendig: Das Abfallrecht muss dabei die Weichen für eine verantwortliche Nutzung von Abfällen stellen. Dies ist mit dem vorliegenden Kompromiss gelungen.

Ansatzpunkt ist zunächst die Fokussierung des Verwertungsbegriffs auf die Rohstoff- oder Brennstoffsubstitution. In Anlehnung an die EuGH-Rechtsprechung liegt nach dem Vorschlag des Rates eine Verwertung vor, wenn der Abfall in dem Entsorgungsverfahren als Hauptergebnis andere Materialien ersetzt, die ansonsten zur Erfüllung einer bestimmten Funktion hätten eingesetzt werden müssen, also Ressourcen ersetzt. Allerdings werden – anders als nach der geltenden EuGH-Rechtsprechung – auch Substitutionseffekte außerhalb der Anlage zugerechnet. Damit kann auch die Verbrennung von Abfällen in einer Müllverbrennungsanlage (MVA) mit Kraft-Wärme-Kopplung eine energetische Verwertung sein. Diese Möglichkeit ist gerade für Deutschland wichtig. Die deutsche Rechtsprechung erkennt – ganz anders als der sehr „lockere“ Vollzug der Bundesländer – bei MVA wie Sondermüllverbrennungsanlagen (SVA) nur dann einen Verwerterstatus an, wenn die Substitution von Brennstoffen in der Anlage selbst erfolgt. Damit müsste die MVA darlegen, dass sie beim Ausbleiben der Abfälle Kohle, Öl oder Gas einsetzen würde; eine – auch technisch – kaum reale Vorstellung. Aus Sicht der Bundesregierung, der Mehrheit der Mitgliedstaaten – und übrigens auch der Bundesländer – muss die Verwertungsdefinition für MVA daher ausgeweitet werden.

Allerdings soll eine MVA nicht ohne weiteres in den Genuss des Verwerterstatus kommen. Nach der so genannten Energieeffizienzformel des Anhangs II, R1 der Richtlinie wird eine Verbrennung von Abfällen in MVA nur dann als Verwertung anerkannt, wenn

nach einer neu eingeführten Formel ein Energieeffizienzquotient von mindestens 60 für Altanlagen und mindestens 65 für Neuanlagen erreicht wird.

Die Energieeffizienzformel war bis in den Umweltministerrat hinein umstritten. Dabei ging es zum einen um das Problem, dass die Formel möglicherweise südliche Mitgliedstaaten benachteiligen könnte. Die dort bestehenden, oft kleinen MVA praktizieren aufgrund des geringeren Bedarfs an Fernwärme an diesen klimatisch warmen Standorten wenig Kraft-Wärme-Kopplung und Verstromung und verfehlten daher großenteils die Energieeffizienzwerte. Zum anderen wurden die Auswirkungen der Warenverkehrsfreiheit auf die MVA problematisiert.

Die deutsche Präsidentschaft hat sich jedoch frühzeitig hinter die Energieeffizienzformel gestellt. Zum einen wäre ohne diesen objektivierbaren Maßstab die Frage, ob die Verbrennung von Abfällen in Müllverbrennungsanlagen eine Beseitigung oder Verwertung darstellt, weiterhin einer fortdauernden Rechtsunsicherheit überlassen worden. Zum anderen sollte jedenfalls hocheffizienten MVA der Weg in den europäischen Entsorgungsmarkt ermöglicht werden. Dabei setzt die Effizienzanforderung bedeutende Anreize für Investitionen in energieeffizientere MVA und kann zum Klima- und Resourcenschutz entscheidend beitragen. Es werden trotz aller Vermeidungsanstrennungen immer Abfälle übrig bleiben, die verbrannt oder deponiert werden müssen. Während bei der Deponierung große Mengen an klimaschädlichem Methan (21-fach treibhausgaswirksamer als CO<sub>2</sub>) entstehen, werden bei energieeffizienter Verbrennung von Abfällen das Energiepotenzial von Abfällen genutzt und damit Primärressourcen geschont.

Daher ist die Verbrennung von Abfällen mit Energiegewinnung gegenüber der Deponierung eindeutig die umweltfreundlichere Lösung. Die Formel kann unter Annahme einer ambitionierten Wiederverwendungs- und Recyclingrate von 60% für Siedlungsabfälle bis zu 45 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>-Emissionen des Siedlungsabfalls einsparen, indem sie Anreize weg von der Deponierung und hin zu innovativer moderner Müllverbrennungstechnologie bietet. Das ist für Mitgliedstaaten mit geringem Abfallvermeidungs- und -verwertungsanteil und hohem Deponierungsanteil äußerst wichtig.

Die Höhe der Energieeffizienz war zuvor von der Kommission EU-weit evaluiert worden. Dabei zeigte sich, dass vor allem die nordeuropäischen Staaten keine Probleme mit der Zielerreichung haben. In Deutschland werden etwa 70% der MVA die Anforderungen erfüllen, andere müssen gegebenenfalls nachgerüstet werden. Das Problem, dass vor allem südeuropäische Staaten die strengen Effizienzkriterien gegebenenfalls nicht erfüllen können, konnte schließlich gelöst werden: Im Komitologie-Verfahren kann die Anwendung der Formel im Hinblick auf die lokalen klimatischen Bedingungen des Standorts der Anlage spezifiziert werden. Diese Spezifizierung erfolgt aber auf EG-Ebene und ist kein Freifahrtschein für einzelne Staaten.

Ebenso kontrovers wurde diskutiert, ob und inwieweit ein Verwerterstatus für effektiv arbeitende europäische MVA zu einer grenzüberschreitenden Konkurrenz der MVA untereinander und damit zu einer Gefährdung der Kernaufgaben der Daseinsvorsorge führen könnte. Das Risiko ist nicht von der Hand zu weisen. Um die negativen Folgen der Warenverkehrsfreiheit für MVA und nationale Entsorgungsstrukturen zu bewältigen, wurden daher verschiedene Schutzklauseln in die Richtlinie aufgenommen. Diese sind auch für Deutschland von besonderem Interesse. Die bewährten Entsorgungsstrukturen von Kommunen und Landkreisen insbesondere im Bereich der Hausmüllentsorgung sind vor den negativen Auswirkungen der Warenverkehrsfreiheit besonders zu schützen.

So wurde bereits mit der im letzten Jahr verabschiedeten EG-Abfallverbringungsverordnung – einem Vorschlag Deutschlands folgend – eine so genannte „Hausmüllklausel“ eingeführt, nach der gemischter Abfall aus privaten Haushaltungen – auch wenn er einer Verwertung zugeführt werden soll – als Abfall zur Beseitigung behandelt wird. Dieser Abfall unterliegt damit der Entsorgungsaufgabe und kann im Inland gehalten werden. In der Abfallrahmenrichtlinie ist diese Regelung nun flankiert worden. Die Entsorgungsaufgabe gilt nunmehr auch für die Verwertung von gemischten Abfällen aus privaten Haushaltungen. Hierdurch haben wir die kommunalen Überlassungspflichten nach § 13 Abs. 1 S. 1 KrW-/AbfG EG-rechtlich abgesichert. Der Abfall aus privaten Haushaltungen unterliegt auch dann, wenn er von der Kommune verwertet wird, der Überlassungspflicht. Der bewährte Status quo der deutschen Entsorgungsstruktur als ein zentrales Element der Daseinsvorsorge konnte so EG-rechtlich abgesichert werden. Von einer „Rekommunalisierung“ – so einige kritische Stimmen – kann keine Rede sein.

Eine ergänzende „Importschutzklausel“ trägt der umgekehrten Problematik Rechnung, dass nämlich infolge der Öffnung der MVA für die Verwertung nun auch ausländische Abfälle in nationale MVA strömen und dadurch die nationalen Abfälle aus den dafür an sich vorgesehenen nationalen Verwertungseinrichtungen in Beseitigungsstrukturen, etwa Deponien, abdrängen können. Dieses Risiko ist insbesondere bei dem gegenwärtigen Gefälle der Entsorgungspreise zwischen den Mitgliedstaaten ernst zu nehmen. Ein Preisgefälle gibt es nicht nur zwischen Deutschland und Dänemark, sondern vor allem auch zwischen den alten und den neuen osteuropäischen Mitgliedstaaten. So fürchten viele osteuropäischen Staaten, aufgrund ausländischer Investitionen in MVA zu den „Verbrennungsstaaten“ Europas zu werden und in ihrer eigenen Abfallpolitik überrollt zu werden. Dieses Risiko ist durch die eingeführte so genannte „Importschutzklausel“ abgewendet worden. Diese spezielle Einschränkung der Warenverkehrsfreiheit ist aus Umweltschutzgründen gerechtfertigt. Die Verdrängung von an sich energetisch zu verwertenden Abfällen in die Beseitigung verstößt gegen die abfallrechtliche Entsorgungshierarchie, die die Beseitigung als klar nachrangig statuiert.

## 4 RETECH – Die Exportinitiative der Entsorgungswirtschaft

Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit hat im Rahmen des Technologietransferprogramms der ökologischen Industriepolitik auch eine Initiative im Bereich der Entsorgungs- und Effizienztechnologien gestartet.

Der ökologische Bedarf an Umwelt schützenden, Energie- und Rohstoff sparenden sowie nachhaltigen Verfahren und Bewirtschaftungsmaßnahmen ist weltweit extrem hoch. Die Belastungen für Böden, Gewässer (insbesondere auch Trinkwasserreservoirs), Luft und Klima sowie die Gesundheit durch den unsachgemäßen Umgang mit Abfällen sind weltweit äußerst besorgniserregend. Nur in wenigen Staaten ist Abfallwirtschaft als moderner, technisch anspruchsvoller Wirtschaftssektor entwickelt. Diesen globalen ökologischen Bedarf in ökonomische Nachfrage umzuwandeln und damit Umwelt und Wirtschaft in Einklang zu bringen, ist eine der zentralen Aufgaben der internationalen Umweltpolitik. Sie wird regelmäßig in drei Schritten bewältigt werden müssen:

- Bewusstseinsbildung, das heißt im Wesentlichen auch: Analyse der Situation, Aufzeigen der Probleme, Einbindung der Regierungen, Kommunen, der Bürger und des informellen Sektors,
- Erarbeitung von Lösungsvarianten und Information über bestehende und mögliche Problemlösungskonzepte und
- Umsetzung von Lösungen durch Finanzierungs- und Technologietransferprogramme.

Die Exportinitiative RETECH (Recycling- und Entsorgungstechnik) ist ein Programm mit verschiedenen Komponenten, das zur Bewältigung der vorgenannten Aufgaben beitragen soll. Sie ist kein Finanzierungsprogramm, sondern eine Initiative zur Stärkung von bereits bestehenden Initiativen und Programmen: Hilfe zur Selbsthilfe – Schaffung von Synergien!

Dies bedeutet für potenzielle Kunden im Ausland die Informationen bereitzustellen, die sie benötigen, um den bestehenden Bedarf in tatsächliche Nachfrage umzusetzen und das entsprechende Angebot zu finden. Dies bedeutet auf der anderen Seite die notwendigen Informationen bereitzustellen, welche die deutschen Anbieter von Know-how und Technologie im Bereich der Entsorgungswirtschaft in die Lage versetzen, der entstehenden Nachfrage ein angepasstes Angebot gegenüber zu stellen.

Verschiedene Maßnahmen sind deshalb vorgesehen, um dieses Ziel zu erreichen:

- 1) Aufbau einer Internetplattform, die einschlägige Informationen bündelt und den Nutzern im Ausland wie im Inland kostenlos zur Verfügung stellt. Hierzu sind die bestehenden, aber verstreuten Informationen so aufzubereiten, dass sie in standardisierter und kurzer, übersichtlicher Form benutzerfreundlich abgerufen werden können. Dies betrifft Informationen über Technik, Dienstleistungen, Anbieter,

Daten, rechtliche Regelungen, Finanzierungsinstrumente, durchgeführte und geplante Objekte, Länderprofile, Kontaktadressen sowie weiterführende Webseiten, die über eine Suchfunktion erreicht werden können.

- 2) Die Einrichtung einer Anlaufstelle, die als Kontaktpunkt für spezifische Nachfragen aus dem Aus- und Inland schnellen Zugriff auf Expertisen erlaubt. Diese Anlaufstelle wird telefonisch, per Email und über das Internet erreichbar sein und verteilt die Anfragen entsprechend ihres Inhaltes an Institutionen, die sich an der Anlaufstelle beteiligen. Hierzu wird ein informationstechnisches Intranet einzurichten sein, das eine ständige Erreichbarkeit und Transparenz zwischen den teilnehmenden Institutionen erlaubt. Eine Geschäftsordnung wird die Grundlage für einen geordneten Ablauf dieser (virtuellen) Stelle sein.
- 3) Die Bildung von Netzwerken, das heißt von Kontakten zwischen Personen und Institutionen, die eine ähnliche Interessenlage haben, dient dazu, den Nutzerkreis der Initiative zu sensibilisieren, zu informieren und zu mobilisieren. Teile dieses Netzwerkes sind:
  - a) Entsorgungsunternehmen und Anbieter von Entsorgungsdienstleistungen sowie -anlagen,
  - b) Hochschuleinrichtungen, die mit der Ausbildung von ausländischen Studenten und mit Projekten im Ausland beschäftigt sind,
  - c) Länderministerien, die eigene entsorgungsbezogene Projekte in Partnerregionen unterstützen,
  - d) Förderungs- und Finanzierungsinstitutionen, die im Bereich der Entsorgungstechnik aktiv sind,
  - e) Beteiligte Ressorts und deren Institutionen, insbesondere das Umweltbundesamt.

Die Netzwerkbildung soll dadurch gefördert werden, dass die jeweiligen Gruppen zu Konferenzen und Workshops eingeladen werden, wo deren Erfahrungen und Wünsche gesammelt, Informationen ausgetauscht sowie Adressen und Kontakte zur Verfügung gestellt werden. Hierzu wird auch ein Internet-Newsletter dienen.

Studien zur Informationserstellung, die sowohl für die Internetplattform als auch für die Anlaufstelle und für die Netzwerke generiert werden, sollen bestehende, aber verstreute Informationen so aufbereiten, dass sie in prägnanter Form benutzerfreundlich zur Verfügung gestellt werden können. Dies betrifft insbesondere:

- a) Finanzierungs- und Förderinstrumente (national und international),
- b) Länderprofile (entsorgungsspezifisch, Zielland),
- c) Kontaktadressen im Ausland und im Inland,
- d) Erfahrungen aus abgeschlossenen Projekten der GTZ, der AHK etc.
- e) Technische Regelwerke, Leitlinien etc.
- f) Informationen über Messen, Konferenzen, Geschäftsreisen, Ministerreisen etc.

Referenzprojekte sollen begleitet und gegebenenfalls gefördert werden, um beispielhafte Lösungen und Anwendungen Entscheidungsträgern sowie einer Fach- und breiteren Öffentlichkeit in Partnerländern näher zu bringen.

Die notwendige Öffentlichkeitsarbeit umfasst insbesondere Materialien, die zur Information über die Inhalte der RETECH-Initiative und der Bewusstmachung von umweltbezogenen Problemen und ihren Lösungsmöglichkeiten dienen.

Die Beschickung und (Mit-)Organisation von Veranstaltungen zur Netzwerkbildung in Deutschland und zur Kontaktherstellung („Türöffner“) durch interessierte Institutionen im Ausland spielt eine besonders wichtige Rolle. Ministerreisen können beispielsweise von interessierten Unternehmen genutzt werden, schneller Kontakt zu Gesprächs- und Geschäftspartnern im Ausland bekommen.

Ein Strategiepapier soll als Leitfaden die gemeinsame Ausrichtung hinsichtlich der umweltpolitischen Ziele, geförderten Maßnahmen und wirtschaftspolitischen Ausrichtung der Initiative zusammenfassen. Es dient der Orientierung und wird von der Steuerungsgruppe diskutiert und abgestimmt.

Eine Steuerungsgruppe wird die Arbeit der Initiative durch ihre Expertise und Kontakte unterstützen. In dieser Steuerungsgruppe sind die jeweiligen Teile des Netzwerkes vertreten. Dies sind: die Vertreter der Entsorgungswirtschaft, des Anlagenbaus, ein Vertreter der Förderinstitutionen, das Umweltbundesamt, die beteiligten Bundesressorts und ein Vertreter der Länder.

Deutschlands Wirtschaft als Anbieter verschiedenster angepasster Entsorgungskonzepte und -komponenten dürfte von dieser Initiative profitieren. Denn nachhaltige Abfallwirtschaft setzt auf Getrennthaltung, Sortierung, Recycling, energetische Verwertung und dauerhaft sichere Deponien. Durch ein konsistentes, marktwirtschaftliches und auf Gebühren basierendes System ließen sich weltweit signifikante Beiträge zum Klima- und Ressourcenschutz erreichen.

B. Bilitewski, A.I. Urban, M. Faulstich (Hrsg.)

**13. Fachtagung  
Thermische Abfallbehandlung**

**Grenzüberschreitende erwerbswirtschaftliche  
Betätigung der Kommunen und Europarecht**

Prof. Dr. Walter Frenz  
Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen  
Aachen

Schriftenreihe des  
Fachgebietes Abfalltechnik  
Universität Kassel

## 1    **Neue Aktualität durch den Vertrag von Lissabon und § 107 GO NRW**

Die Rekommunalisierung ist in aller Munde. Das gilt vor allem für die Abfallwirtschaft. Der neue Begriff dafür ist das „Insourcing“. Die Möglichkeiten dafür öffnet aus europarechtlicher Warte auf den ersten Blick ein Zusatzprotokoll zur Daseinsvorsorge, das nach dem Beschluss der Staats- und Regierungschefs von Ende Juni 2007 dem EU-Reformvertrag, dem Vertrag von Lissabon, beigefügt werden soll. Nach Artikel 1 dieses Protokolls über Dienste von allgemeinem Interesse gehört zu den festen Werten der Union in diesem Bereich vor allem „die wichtige Rolle und der weite Ermessensspielraum der nationalen, regionalen und lokalen Behörden in der Frage, wie Dienste von allgemeinem wirtschaftlichem Interesse auf eine den Bedürfnissen der Nutzer so gut wie möglich entsprechende Weise zu erbringen, in Auftrag zu geben und zu organisieren sind“. Nach Artikel 2 dieses Protokolls berühren die Bestimmungen der Verträge „in keiner Weise die Zuständigkeit der Mitgliedstaaten, nicht wirtschaftliche Dienste von allgemeinem Interesse zu erbringen, in Auftrag zu geben und zu organisieren“.

Entsprechende Freiräume muss daher auch die Kommission den Mitgliedstaaten und ihren Untergliederungen einschließlich der Kommunen lassen, wenn sie die Prinzipien und Bedingungen der Organisation, Erbringung und Finanzierung der Dienste der Daseinsvorsorge auf europäischer Ebene feststellt. Das gilt zumal auch deshalb, weil das Subsidiaritätsprinzip auf die lokale Ebene ausgedehnt werden soll. Die EU soll danach nur noch handeln können, wenn das zu erreichende Ziel nicht ausreichend auf der nationalen, regionalen oder kommunalen Ebene, sondern besser auf der gemeinschaftlichen Ebene erreicht und verwirklicht werden kann. Im Reformvertrag selbst ist der Binnenmarkt zwar weiterhin als Ziel festgehalten, aber ohne die ursprünglich vorgesehene Spezifizierung „mit freiem und unverfälschtem Wettbewerb“.

Im Gegensatz zu dieser Entwicklung stärkt der nordrhein-westfälische Gesetzgeber die Wettbewerbsposition privater Unternehmen, indem er die Zulässigkeit wirtschaftlicher Betätigung durch eine Novellierung von § 107 GO NRW (am 20. September 2007 verabschiedet) begrenzt. Die Gemeinde darf sich danach zur Erfüllung ihrer Aufgaben insbesondere nur noch wirtschaftlich betätigen, wenn ein dringender öffentlicher Zweck die Betätigung erfordert (Abs. 1 Nr. 1) und dieser zudem durch andere Unternehmen nicht ebenso gut und wirtschaftlich erfüllt werden kann. Diese zusätzliche Bedingung entfällt für die Energie- und Wasserversorgung, den öffentlichen Verkehr und den Betrieb von Telekommunikationsleitungsnetzen (Abs. 1 Nr. 3) – mithin nicht für die Abfallentsorgung. Die wirtschaftliche Betätigung muss auch nach Art und Umfang in einem angemessenen Verhältnis zu der Leistungsfähigkeit der Gemeinde stehen (Abs. 1 Nr. 2). Die vorgenannte Begrenzung nach § 107 Abs. 1 Nr. 1 und 2 GO NRW gilt auch für eine wirtschaftliche Betätigung außerhalb des Gemeindegebiets auf aus-

ländischen Märkten (§ 107 Abs. 3, S. 3 GO NRW). Kann diese Regelung europarechtlich Bestand haben? Die Frage ist trotz der Fiktion nach § 107 Abs. 2 Nr. 4 GO NRW, dass Einrichtungen des Umweltschutzes – und dabei insbesondere der Abfallentsorgung – relevant sind, weil diese Klausel sich nach verbreiteter Auffassung nicht auf die Verwertung anderer als aus privaten Haushalten stammender Abfälle bezieht [Cosson 1999, Pippke 1999, Tettinger 1996, Tomerius 2000, Weidemann 1999, Willand et al. 2000]. Darüber hinaus sind auch die nach § 13 Abs. 1 S. 2 KrW-AbfG nicht überlassungspflichtigen gewerblichen Abfälle zur Beseitigung nicht umfasst [Frenz 2006]. Zudem begrenzt nunmehr § 107 Abs. 4 S. 3 GO NRW die nicht wirtschaftliche Betätigung auf ausländischen Märkten in gleicher Weise wie die wirtschaftliche.

Unabhängig von dieser Frage hat die Union nach Art. 36 EGRC, auf den neben den anderen Grundrechten im Vertrag von Lissabon ausdrücklich verwiesen wird, den Zugang zu Dienstleistungen von allgemeinem wirtschaftlichem Interesse, wie er durch die einzelstaatlichen Rechtsvorschriften und Gepflogenheiten im Einklang mit dem EG geregelt ist, anzuerkennen und zu achten. In dieser Vorschrift klingt aber bereits an, dass die bisherigen Rechtsvorschriften des EG nicht ausgeblendet werden dürfen. Nach ihnen haben sich feste Grundsätze entwickelt. Auf ihnen ist daher aufzubauen. Es stellt sich nur die Frage, inwieweit diese Grundsätze durch die vorgenannten Neuerungen eine andere Ausrichtung und Gewichtung bekommen haben. Auch die Herausnahme des freien und unverfälschten Wettbewerbs aus der Bestimmung zum zentralen Binnenmarktziel und damit aus den zentralen Prinzipien bedeutet nicht, dass die Wettbewerbsregeln damit außer Kraft gesetzt worden wären. Genau dies sollte auch nach dem ausdrücklichen Wunsch der Staats- und Regierungschefs von Ende Juni 2007 gerade nicht der Fall sein [Frenz 2007].

## **2 Weichenstellung wegen einer Sonderbehandlung der allgemein wirtschaftlich interessanten Dienste nach Art. 86 Abs. 2 EG**

Daher ist mit einer näheren Betrachtung der EG-Wettbewerbsregeln zu beginnen. Diese sehen in Artikel 86 Abs. 2 EG eine Sonderbehandlung für Unternehmen vor, die mit Dienstleistungen von allgemeinem wirtschaftlichem Interesse betraut sind. Für diese gelten nämlich die Vorschriften des EG und dabei insbesondere die Wettbewerbsregeln nur, soweit die Anwendung dieser Vorschriften nicht die Erfüllung der ihnen übertragenen besonderen Aufgabe rechtlich oder tatsächlich verhindert.

Die Hauptkonstellation des Artikel 86 Abs. 2 EG ist die Betrauung mit Dienstleistungen von allgemeinem wirtschaftlichem Interesse. Dieser Begriff ist ohne Vorbild in den mitgliedstaatlichen Rechtsordnungen, so dass allgemein eine weite Auslegung propagiert wird [Tettinger 1997]. Nach Auffassung der Kommission bezeichnet dieser Begriff „wirtschaftliche Tätigkeiten“, „die von den Mitgliedstaaten oder der Gemeinschaft mit besonderen Gemeinwohlverpflichtungen verbunden werden und für die das Kriterium gilt, dass sie im Interesse der Allgemeinheit erbracht werden“ [KOM 2004]. Typisch

sind flächendeckend zur gleichmäßigen Versorgung der Bevölkerung vorgehaltene Dienstleistungen, wenn diese ohne Rücksicht auf Sonderfälle und auf die Wirtschaftlichkeit jedes einzelnen Vorganges erbracht werden.

So erkannte der EuGH an, dass „das Abholen und die Behandlung von Haushaltsabfällen unbestreitbar eine im Allgemeininteresse liegende Aufgabe“ ist [EuGH 1998, EWS 1999, EuZW 1999]. Sie gehört „zu denjenigen Aufgaben, die ein Staat von Behörden wahrnehmen lassen kann oder auf die er einen entscheidenden Einfluss behalten möchte“. Diese Beschränkung auf Haushaltsabfälle verfolgte der EuGH jedoch in der Kopenhagen-Entscheidung nicht mehr, die ungefährliche Bauabfälle zum Gegenstand hatte, die einer qualitativ hochwertigen Verwertung zugeführt werden sollten. Auch darauf bezogen kann „die Bewirtschaftung bestimmter Abfälle Gegenstand einer Dienstleistung von allgemeinem wirtschaftlichen Interesse sein, insbesondere wenn diese Dienstleistung ein Umweltproblem beseitigen soll“ [Frenz 2000].

Ist die Erfüllung der jeweiligen mit einer Dienstleistung von allgemeinem wirtschaftlichem Interesse verfolgten Gemeinwohlverpflichtungen gewährleistet, ist die Rechtsform des die Dienstleistung erbringenden Unternehmens indes gleichgültig, so dass auch in Privatrechtsform betriebene Unternehmen darunter fallen können [KOM 2004]. Daseinsvorsorge und Liberalisierung schließen sich also nicht aus. Vielmehr können zunächst staatlich wahrgenommene Bereiche dereguliert und dann Privaten anvertraut werden, welche aber weiterhin im Einzelnen festgelegte Lasten wahrnehmen müssen [Nolte 2004]. Voraussetzung ist nur die Erfüllung der Gemeinwohlverpflichtungen [KOM 2000]. Das sind die besonderen Anforderungen staatlicher Behörden an den Anbieter des jeweiligen Dienstes, mit denen die Erfüllung bestimmter Gemeinwohlinteressen sichergestellt werden soll. Diese können auch auf regionaler Ebene festgelegt werden [KOM 2004]. Allein aus der Konzeption der Daseinsvorsorge oder der Dienste von allgemeinem wirtschaftlichem Interesse ergibt sich daher keine Vorgabe im Sinne einer Rekommunalisierung oder einer Öffnung für private Dienstleister, sofern nur die Erfüllung der Gemeinwohlverpflichtungen sichergestellt bleibt.

Freilich verlangt das Tatbestandsmerkmal der Betrauung nach Art. 86 Abs. 2 EG, dass ein staatlicher Einfluss besteht, der die sachgerechte Durchführung der Aufgabe durch das jeweilige Dienstleistungsunternehmen gewährleistet [Frenz 2006]. Diesen vermag zwar grundsätzlich auch eine Aufgabenübertragung auf privatrechtlicher Basis sicherzustellen, Unternehmen des öffentlichen Sektors sind aber deshalb besonders geeignet, weil auf sie der Staat auch ohne eigenen Übertragungsakt Einfluss ausüben kann [EuGH 1999]. Das gilt nicht nur bei den Regie- oder Eigenbetrieben, sondern auch bei den gemischtwirtschaftlichen Unternehmen und den in Privatrechtsform betriebenen Eigengesellschaften.

### **3 Verstärkung durch Artikel 16 EG**

#### **3.1 Ambivalentes Verhältnis zu den Wettbewerbsregeln**

Dass Artikel 16 EG das Wettbewerbsrecht nicht antasten sollte, zeigt neben der Formulierung, die unter anderem Artikel 86 EG unberührt lässt, insbesondere auch die 13. Erklärung für die Schlussakte der Amsterdamer Konferenz [ABI C 340 1997], in der die Vertragsstaaten eine Umsetzung des Artikel 16 EG „unter uneingeschränkter Beachtung der Rechtsprechung des Gerichtshofs“ bekräftigen. Damit bildet die Rechtsprechung des EuGH trotz ihres Fundaments in Artikel 86 EG den Ausgangspunkt für die Konkretisierung des Begriffs und bestimmter Rahmenbedingungen der Dienste von allgemeinem wirtschaftlichem Interesse auch nach Artikel 16 EG. Allerdings handelt es sich dabei um keine Einbahnstraße im Sinne einer bloßen Begrenzung und Festbeschreibung des Status quo. Vielmehr verankert schon Artikel 16 EG an zentraler Stelle im Vertrag die Bedeutung funktionierender Dienste von allgemeinem wirtschaftlichem Interesse. Darüber hinaus betont das 9. Protokoll zum Reformvertrag den Spielraum der Mitgliedstaaten, um dieses Ziel sicherzustellen. Das legt nahe, dass dies auch unter Verdrängung von Wettbewerbsregeln erfolgen kann. Diese können danach leichter eingeschränkt werden [EuZW 1998]. Sie werden freilich nicht gänzlich verdrängt.

Für eine mögliche Beeinflussung der zukünftigen Auslegung des Artikel 86 EG spricht damit die zunehmende Anerkennung des Stellenwertes am Gemeinwohl orientierter Dienstleistungen in Richtung einer gleichgewichtigen Komponente des Gemeinschaftsrechts [KOM 1996]. Inhaltliche Zusammenhänge bestehen dahin gehend, dass sowohl Artikel 16 als auch Artikel 86 EG einen gewissen Bestand gemeinwohlbezogener Dienstleistungen und die Möglichkeit ihrer funktionsgerechten Aufgabenerfüllung voraussetzen. Demzufolge müssen diese Vorschriften zusammen gelesen werden.

#### **3.2 Auswirkungen**

Das EuG hat zwar Artikel 16 EG in einer auf Artikel 86 EG bezogenen Entscheidung erwähnt, aber in ihm nur eine Bestätigung des Stellenwertes von Diensten von allgemeinem wirtschaftlichem Interesse gesehen, und zwar, wie im Vertrag selbst formuliert, als Bestandteil der Werte der EU sowie in seiner Bedeutung für die Förderung des sozialen und territorialen Zusammenhalts [EuG 2001]. Konkrete Bedeutung erlangte diese Bestimmung in der Abwägung des EuG, die allerdings im vorläufigen Rechtsschutz erfolgte, nicht, sondern das Gericht verwies auf die Aufgabe der Kommission nach Artikel 86 Abs. 3 EG sowie auf die Einhaltung der Verpflichtungen der Mitgliedstaaten bezüglich öffentlicher Unternehmen und solcher mit besonderen oder ausschließlichen Rechten [EuG 2001].

Durch die Hervorhebung der Dienste von allgemeinem wirtschaftlichem Interesse in Artikel 16 EG kommt diesen aber bei der Anwendung der Wettbewerbsregeln eine

besondere Bedeutung zu, die bei der Rechtfertigung von möglichen Durchbrechungen einen erheblichen Gesichtspunkt ausmacht. Dieser Gehalt des Artikel 16 EG kann und muss aufgrund des engen textuellen und sachlichen Zusammenhangs auch in Artikel 86 EG Eingang finden. Ansatzpunkte dafür sind vor allem die unbestimmten Rechtsbegriffe des Artikel 86 Abs. 2 EG. Insbesondere bildet die in Artikel 16 EG postulierte Funktionsfähigkeit der Dienste von allgemeinem wirtschaftlichem Interesse einen Indikator dafür, ob die Aufgabenerfüllung im Sinne von Artikel 86 Abs. 2 EG rechtlich oder tatsächlich verhindert wird. Die Funktionsfähigkeit gemeinwirtschaftlicher Dienste soll nach Artikel 16 EG so gestaltet sein, dass diese ihren Aufgaben nachkommen können. Auch insofern wird man vermittelt über das Kriterium der Funktionsfähigkeit eine Gefährdung dieser Aufgabenwahrnehmung als ausreichend erachten müssen, damit Artikel 16 abwägungserheblich wird.

Artikel 16 EG sichert daher die schon bislang praktizierte EuGH-Rechtsprechung ab, dass bereits eine Gefährdung einer zweckentsprechenden, gemeinwohlorientierten Aufgabenerfüllung unter wirtschaftlich tragbaren Bedingungen ausreicht, um eine Verhinderung nach Artikel 86 Abs. 2 EG anzunehmen und eine partielle Befreiung zu gewähren [Frenz 2006]. Zudem wird die durch das „soweit“ in Artikel 86 Abs. 2 EG angelegte Abwägung zwischen der Aufrechterhaltung der Wettbewerbsregeln und den nach einem Dispens verlangenden Notwendigkeiten der Aufgabenerfüllung durch Artikel 16 EG als allgemein zu beachtende Determinante unterlegt und geprägt: Die in dieser Vorschrift betonte Bedeutung der Dienste von allgemeinem wirtschaftlichem Interesse und ihr Aufgabenfeld sind adäquat zu berücksichtigen. Den Mitgliedstaaten ist dabei entsprechend der 9. Protokollerklärung zum Reformvertrag ein umfassender Gestaltungsspielraum zuzubilligen.

Die vorgenannten materiellen Komponenten können freilich nicht isoliert betrachtet werden, da es aufgrund des „soweit“ um einen Dispens von Wettbewerbsregeln in einer konkreten Situation geht. Vielmehr sind die gesamten Rahmenbedingungen der Aufgabenerledigung einzubeziehen. Welche Bedeutung die Belange der Dienste von allgemeinem wirtschaftlichem Interesse in der Abwägung haben, hängt aber maßgeblich vom Gewicht dieser Dienste nach Gemeinschaftsrecht ab. Dieses ist durch Artikel 16 EG keinesfalls schwächer geworden und wurde durch die 9. Protokollerklärung zum Reformvertrag zusätzlich verstärkt.

Darüber hinaus enthält Artikel 16 EG die Vorgabe für die Gemeinschaft und die Mitgliedstaaten, dafür Sorge zu tragen, dass die Grundsätze und Bedingungen für das Funktionieren der Dienste von allgemeinem wirtschaftlichem Interesse so gestaltet sind, dass sie ihren Aufgaben nachkommen können. Diese positive Festschreibung impliziert eine „Sorge und Schutzpflicht“ [Pielow 2001]. Haben die Mitgliedstaaten von der Möglichkeit Gebrauch gemacht, Unternehmen die Wahrnehmung gemeinwohlorientierter Dienstleistungen zu übertragen und ihnen im Gegenzug besondere oder ausschließliche Rechte gewährt, dann dürfen die Rechtsordnungen der Gemeinschaft

und der Mitgliedstaaten diese Aufgabenerfüllung prinzipiell nicht unmöglich machen. Sie müssen von daher mit den Aufgaben der Daseinsvorsorge vereinbar sein [KOM 1996]. Daraus erwächst ein gleichsam nach unten hin begrenzter Gestaltungsauftrag.

Dadurch haben sowohl die Gemeinschaftsorgane als auch die Mitgliedstaaten im Rahmen der bestehenden Kompetenzen eine Verantwortung für die Dienste von allgemeinem wirtschaftlichem Interesse, der sie durch positive Maßnahmen nachkommen müssen [CES 1999], im Rahmen der Wettbewerbsregeln, es sei denn, Artikel 86 Abs. 2 EG erlaubt eine (partielle) Durchbrechung. Diese Aktionen müssen nicht sofort sämtliche Bereiche abdecken. Es kann nicht vom Normgeber verlangt werden, auf einmal sämtliche notwendigen Maßnahmen zu treffen, zumal auch kein Endzeitpunkt als Frist bestimmt ist. Diese Sorgepflicht schließt es aber auch aus, einen bestehenden Rechtszustand ohne weiteres so zurückzubauen, dass die Rahmenbedingungen für das Funktionieren der Dienste von allgemeinem wirtschaftlichem Interesse gefährdet werden.

Allerdings betont die 9. Protokollerklärung zum EU-Reformvertrag die Gestaltungsfreiheit der Behörden in den Mitgliedstaaten, wie sie Dienste von allgemeinem wirtschaftlichem Interesse auf eine den Bedürfnissen der Nutzer so gut wie möglich entsprechende Weise erbringen, in Auftrag geben und organisieren. Damit sind sie nur auf das „Ob“ der Funktionsfähigkeit festgelegt, das „Wie“ indes obliegt ihrer Einschätzung. Daher ist es auch denkbar, durch eine Beschränkung kommunaler erwerbswirtschaftlicher Betätigung, wie in § 107 GO NRW nunmehr festgelegt, eine Konzentration auf das Kerngeschäft sicherzustellen und so die Erfüllung der Pflichtaufgaben der Daseinsvorsorge vor Ort zu stärken. Eine Grenze ist indes dort zu ziehen, wo durch eine Begrenzung kommunaler Betätigung Einheiten zu klein sind, um eine adäquate Aufgabenerfüllung zu tragbaren Kosten sicherzustellen. Eine besondere Bedeutung hat auch hier die Zulässigkeit von Quersubventionierungen [Frenz 2006]. Lässt sich anders eine wirtschaftlich tragbare Aufgabenerfüllung im defizitären Bereich nicht sicherstellen, müssen Gewinne in verwandten Feldern ermöglicht werden. Daraus kann sich daher auch ein dringender öffentlicher Zweck nach § 107 Abs. 1 Nr. 1 GO NRW ergeben.

Allerdings ist eine erweiterte kommunale erwerbswirtschaftliche Betätigung nicht der einzige Weg. Vielmehr bietet sich auch eine interkommunale Zusammenarbeit an, zumal diese Alternative in Form der Arbeitsgemeinschaft, des Zweckverbandes und der delegierenden Vereinbarung nicht vergaberechtlichen Anforderungen unterliegt [Frenz 2007]. So können etwa auch Überkapazitäten von Entsorgungsanlagen aufgefangen werden.

### **3.3 Aufgabenbezug**

Die Achillesferse der Bestimmung könnte indes sein, dass das Funktionieren der Dienste von allgemeinem wirtschaftlichem Interesse nach Artikel 16 EG nur insoweit gesichert sein muss, „dass sie ihren Aufgaben nachkommen können“. Damit ist kein

Aufgabenbestand festgelegt. Vielmehr wird an bereits vorhandene Aufgaben angeknüpft. Deshalb stellt sich die Frage, ob es die Mitgliedstaaten in der Hand haben, diesen Diensten beliebig Aufgaben zuzuweisen und zu entziehen oder ob das Bestehen dieser Dienste auch mit einem gewissen typischen Aufgabenbestand gemeinschaftsrechtlich vorausgesetzt wird, auch wenn an diesen Aufgabenbestand in dieser Bestimmung angeknüpft wird. Die Dienste von allgemeinem wirtschaftlichem Interesse sind nicht in allen Mitgliedstaaten gleichermaßen vorhanden, wie auch der traditionell bedingte deutsch-französische Gegensatz anlässlich der Entstehung dieser Vorschrift zeigte [Frenz 2006]. So ist der Tätigkeitsbereich dieser Dienste oft historisch geprägt und richtet sich nach den besonderen Gegebenheiten in dem jeweiligen Mitgliedstaat. Daher ist an die jeweiligen mitgliedstaatlichen Aufgabenzuschnitte und die darin zum Ausdruck kommende Bedeutungszuweisung anzuknüpfen. Nur dürfen die Mitgliedstaaten nicht den vorhandenen gemeinwohlorientierten Dienstleistungsunternehmen in einem solchen Umfang Aufgaben entziehen, dass ihnen letztlich kein ausfüllbares Betätigungsfeld mehr verbleibt. Zudem richtet sich der Gestaltungsauftrag eigens an die Mitgliedstaaten und erlegt diesen jedenfalls eine generelle Prüfpflicht auf, wenn sie Diensten von allgemeinem wirtschaftlichem Interesse Aufgaben wegnehmen [Linder 2004, Pernice & Wernicke 2007]. Das bedeutet, dass die Mitgliedstaaten dann, wenn sie diesen Diensten von allgemeinem wirtschaftlichem Interesse Aufgaben entziehen wollen, ihre durch Artikel 16 EG begründete Förderungspflicht zu beachten und außerdem die wichtige Bedeutung dieser Einrichtungen für die Gemeinschaft zu berücksichtigen haben. Diese Bedeutung wird letztlich umgesetzt durch konkrete Aufgaben dieser Dienste. Daher erstreckt sich der Förderungszweck und der Gestaltungsauftrag auch auf die Aufgaben dieser Dienste, soweit sie der in Artikel 16 EG betonten Bedeutung für die gemeinsamen Werte der Union und bei der Förderung des sozialen und territorialen Zusammenhalts entsprechen. Ansonsten läuft Artikel 16 EG letztlich leer.

So ist etwa bei einer gänzlichen Privatisierung der Abfallbeseitigung eine nähere Prüfung vorzunehmen, inwieweit diese bislang im Rahmen der öffentlichen Daseinsvorsorge gut aufgehoben ist und bei einer rein privaten Wahrnehmung unter Wahrung vor allem auch einer flächendeckenden Versorgung zu gleichen Preisen funktioniert. Die 9. Protokollerklärung zum EU-Reformvertrag dehnt zwar den nationalen Spielraum deutlich aus. Das betrifft aber die Gestaltung der Dienste von allgemeinem wirtschaftlichem Interesse und nicht ihre Abschaffung. Daher erstreckt sich dieser Spielraum auch nur darauf, diese Dienste in Auftrag zu geben. Eine solche Auftragsvergabe sieht bereits § 16 KrW-/AbfG vor. Die Gemeinwohlverpflichtungen müssen aber dann beibehalten werden.

### **3.4 Pflichten für Gemeinschaftsorgane**

Aus der Bedeutung der Dienste von allgemeinem wirtschaftlichem Interesse bei der Handhabung anderer Gemeinschaftspolitiken ergibt sich ein indirekter Gestaltungs-

auftrag für die Gemeinschaft [Burgi 2002], diesen Belang bei der Konkretisierung eben dieser anderen Gemeinschaftspolitiken einzubeziehen. Dies erstreckt sich insbesondere auf das Wettbewerbs- und Beihilfenrecht sowie eine Deregulierungs- und Privatisierungspolitik, gegen die Artikel 16 EG primär eine Abwehrfunktion zukommen soll. Dies kann aber auch beispielsweise die Umweltpolitik betreffen [Gassner 2001]. Das ist dann der Fall, wenn Festlegungen wie zum Beispiel im Abfallbereich getroffen werden, die Auswirkungen für in diesem Bereich tätige Dienste von allgemeinem wirtschaftlichem Interesse haben können.

Solche Effekte können sich insbesondere aus einer schrankenlosen Liberalisierung ergeben, da Dienste von allgemeinem wirtschaftlichem Interesse vielfach besonderen Rahmenbedingungen unterliegen, die sie im Wettbewerb mit freien Unternehmen in eine schlechtere Position bringen lassen. Defizite in den Funktionsbedingungen sind daher zu vermeiden. Auf europäischer Ebene können Verschiebungen zum Nachteil von Diensten von allgemeinem wirtschaftlichem Interesse etwa durch eine Aufhebung der Prinzipien der Nähe und der Entsorgungsaufgabe nach Artikel 5 EG-Abfallrahmenrichtlinie für Abfälle zur Beseitigung eintreten [EuGH 1992]. Erwachsen Defizite für das Funktionieren dieser Dienste von allgemeinem wirtschaftlichem Interesse, sind diese durch positive Maßnahmen aufzufangen [KOM 2000].

Eine zusätzliche inhaltliche Anforderung ist dabei dann zu beachten, wenn man einen Gleichbehandlungsgrundsatz zwischen privaten und gemeinwohlgebundenen Dienstleistungsanbietern auch zugunsten Letzterer annimmt. Ein Ansatz ist die Betonung des Grundsatzes der Gleichbehandlung in der 13. Erklärung für die Schlussakte der Amsterdamer Konferenz. „Aus der Betonung des Gleichbehandlungsgrundsatzes in der 13. Erklärung für die Schlussakte der Amsterdamer Konferenz darf gefolgert werden, dass Artikel 16 an die Mitgliedstaaten das Gebot richtet, das Diskriminierungsverbot auch zugunsten solcher Unternehmen anzuwenden, die mit Dienstleistungen von allgemeinem wirtschaftlichem Interesse betraut sind“ [Decker 1992]. Das müsste dann erst recht für die Gemeinschaft gelten, die vor allem auch an die Grundsätze des 1. Teils gebunden ist. Die zitierte Erklärung knüpft aber an die EuGH-Rechtsprechung an, der sich bislang jedenfalls im Rahmen von Artikel 86 EG kein solcher Gleichbehandlungsgrundsatz zugunsten der Dienste von allgemeinem wirtschaftlichem Interesse entnehmen lässt [Frenz 2006].

## 4 Grundfreiheiten

### 4.1 Problematik

Der am 20.9.2007 verabschiedete § 107 Abs. 3 GO NRW verlangt auch für eine kommunale erwerbswirtschaftliche Betätigung außerhalb des Gemeindegebiets die Wahrung eines dringenden öffentlichen Zwecks. Das gilt nach Satz 3 der Neuerung gerade auch für die Aufnahme einer wirtschaftlichen Betätigung auf ausländischen Märkten,

ebenso nach § 107 Abs. 4 S. 3 GO NRW für eine neue, nicht wirtschaftliche Betätigung. Jedenfalls wird dadurch die Dienstleistungsfreiheit beeinträchtigt [EuR 2004]. Denn diese differenziert nicht wie die Warenverkehrsfreiheit zwischen dem Hereinströmen von Anbietern aus anderen Mitgliedstaaten und dem Anbieten vom eigenen Mitgliedstaat heraus. Es wird umfassend auch vor einer Beeinträchtigung der Leistungserbringung in einem anderen Mitgliedstaat durch den Herkunftsstaat geschützt. Ein Anbieter kann sich daher auch Letzterem gegenüber auf die Dienstleistungsfreiheit berufen [EuGH 1995, Holoubek 2000], wenn er sich zwecks Erbringung einer Dienstleistung in einen anderen Mitgliedstaat begeben [EuGH 1999, Randelzhofer & Forsthoff 2007] oder vom Inland aus Dienstleistungen im EU-Ausland erbringen möchte [Randelzhofer & Forsthoff 2007, Völker 1990, Ehlers 2001]. Die Kapitalverkehrsfreiheit wird insofern beeinträchtigt, als sich ausländische Investoren durch die beschränkten Aktionsmöglichkeiten kommunaler Gesellschaften abschrecken lassen, in diese zu investieren [EWS 2007].

Dieser Schutz gilt freilich nur dann, wenn die Leistung gegenüber einem Leistungsempfänger erbracht werden soll, der in einem anderen Mitgliedstaat ansässig ist. Inländische Leistungserbringer haben aber keinen Anspruch auf Gleichbehandlung, wenn sie gegenüber Leistungserbringern diskriminiert werden, die in anderen Mitgliedstaaten ansässig sind. Dann handelt es sich um einen Fall der Inländerdiskriminierung, welche nicht gegen die Grundfreiheiten verstößt [EuGH 1979, Rolshoven 2002].

## **4.2 Grundsätzliche Berechtigung der kommunalen Unternehmen aus den Grundfreiheiten**

Indes stellt sich die Frage, ob die Grundfreiheiten auf kommunale Unternehmen anwendbar sind. Der im Rahmen der Niederlassungsfreiheit angesiedelte, indes wegen Artikel 55 EG gerade auf die Dienstleistungsfreiheit übertragbare Artikel 48 Abs. 2 EG gibt auch Hinweise auf die Reichweite der Berechtigung öffentlicher Träger und Unternehmen. Indem diese Vorschrift auch juristische Personen des öffentlichen Rechts dem gemeinschaftsrechtlichen Gesellschaftsbegriff unterstellt, werden öffentlich-rechtliche Einheiten von der Rechtsform her umfassend aus den Grundfreiheiten berechtigt. Erst recht gilt dies für privatrechtlich organisierte Gesellschaften in öffentlicher Hand [Weiß 2003], die bis auf die Trägerschaft und mögliche spezifische Bindungen mit Gesellschaften in privater Hand vergleichbar sind. Eine Grundfreiheitsträgerschaft öffentlicher Unternehmen, zu denen auch öffentlich-rechtlich organisierte gehören können [Weiß 2003], wird deshalb auch allgemein befürwortet [Badura 1997, Burmeister & Staabe 2004, Burgi 1997, Deipenbrock 1991, Frenz 2004, Junker 1990, Scholz & Langer 1992, Schwintowski 2003].

Damit kann vor allem die kommunale erwerbswirtschaftliche Betätigung von den Grundfreiheiten profitieren. Erwerbswirtschaftliche Aktivitäten öffentlicher Unternehmen bewegen sich gerade in Bereichen, die auch von Wirtschaftssubjekten in privater Hand

wahrgenommen werden. Damit handelt es sich um Tätigkeitsfelder, die typischerweise einen Erwerbsbezug haben. Beispiele als zulässig angesehener kommunaler erwerbswirtschaftlicher Betätigung sind Elektroarbeiten [Frenz 2002] und die Altautoverwertung [BGH 2003, LG Wuppertal 1999, Frenz 2000]. Die dabei eingesetzten Gesellschaften werden vielfach jedenfalls faktisch gerade deshalb tätig, um Verluste im Bereich der Pflichtaufgaben zu kompensieren. Der EuGH hält eine solche Quersubventionierung für bedingt zulässig und setzt damit zugleich einen partiellen Erwerbszweck voraus [Corbeau 1993]. Bedarf es auch nach nationalrechtlichen Vorgaben eines öffentlichen Zwecks für die wirtschaftliche Betätigung, sind Gewinne öffentlicher Unternehmen erlaubt beziehungsweise erstrebzt. Nach § 102 Abs. 2 GO BW und § 85 Abs. 2 GO Rheinland-Pfalz sollen kommunale Unternehmen einen Ertrag abwerfen.

Diese weite Konzeption der Berechtigung öffentlicher Unternehmen aus den Grundfreiheiten bricht sich auch im Rahmen von Artikel 86 EG Bahn. Artikel 86 Abs. 1 EG verbietet den Mitgliedstaaten, dem Vertragstext und damit auch den Grundfreiheiten widersprechende Maßnahmen in Bezug auf öffentliche Unternehmen zu treffen. Diese können sich daher auch im Verhältnis zu ihren öffentlich-rechtlichen Trägern auf die Grundfreiheiten berufen. Insoweit erwachsen ihnen europarechtlich abgesicherte Freiräume auch gegenüber ihren kommunalen Eignern. Daraus ergibt sich selbst in dieser Beziehung die Berechtigung zu grenzüberschreitenden Geschäften [Weiß 2003, EuR 2003, Becker 2000].

## 5 Einschränkungen

### 5.1 Kommunale Selbstverwaltung

Lehnt man erleichterte Rechtfertigungsmöglichkeiten von Beeinträchtigungen der Grundfreiheiten nach Artikel 295 EG ab [Frenz 2004], müssen Begrenzungen grenzüberschreitender kommunaler erwerbswirtschaftlicher Betätigung nach normalen Maßstäben und damit durch einen geschriebenen oder sonstigen zwingenden Gemeinwohlgrund gerechtfertigt und verhältnismäßig sein. Dazu kann etwa die Notwendigkeit einer örtlichen Beschränkung des Tätigkeitskreises gehören, um den Bedarf des jeweiligen Einzugsbereichs für die Pflichtaufgaben zu decken [EuGH 1992]. Ob dafür allein zwingende Vorgaben des deutschen Verfassungsrechts wie die Ableitung des Regionalprinzips aus der kommunalen Selbstverwaltungsgarantie nach Artikel 28 Abs. 2 GG genügen [Weiß 2003, Knauff 2005], erscheint indes angesichts der grundsätzlichen Unbeachtlichkeit der mitgliedstaatlichen Binnenstruktur bei Grundfreiheitsverstößen zweifelhaft.

Dieser nationalverfassungsrechtliche Ansatz taugt daher erst recht nicht für eine Beschränkung der Reichweite der Grundfreiheiten. Selbst die Achtung der kommunalen Selbstverwaltungsgarantie im EU-Reformvertrag hilft darüber nur bedingt hinweg [Eisenblätter 2007]. Sie derogiert nicht Artikel 48 Abs. 2 EG und sichert nur die organi-

satorische Gestaltungsfreiheit innerhalb der Kommune, die auch die 9. Protokollerklärung zum EU-Reformvertrag betont. Wurden in Wahrnehmung dieser Organisationshoheit kommunale Unternehmen gegründet, müssen sich diese an den sonstigen europarechtlichen Vorschriften messen lassen. Diese können zwar durch die nunmehr verankerte kommunale Selbstverwaltung beschränkt, aber nicht schon im Ansatz verengt werden. Das gilt zumal deshalb, weil die kommunale Selbstverwaltung nach Artikel 4 des künftigen EU-Vertrages nur als identitätsstiftende Grundstruktur und damit nicht in allen ihren Einzelausprägungen abgesichert ist. Danach achtet die Union „die Gleichheit der Mitgliedstaaten vor den Verträgen und ihre jeweilige nationale Identität, die in ihren grundlegenden politischen und verfassungsmäßigen Strukturen einschließlich der regionalen und lokalen Selbstverwaltung zum Ausdruck kommt“.

Damit könnte die Selbstverwaltung vollständig zu den grundlegenden Strukturen gehören. Indes wird die nationale Identität geschützt. Das spricht für eine Absicherung lediglich der dafür grundlegenden Elemente.

Auch die kommunale Selbstverwaltung ist damit zwar jedenfalls in ihren grundlegenden Strukturen zu wahren, enthält aber keinen Freibrief für eine Missachtung grundlegender europäischer Freiheiten. Sie verlangt daher, soweit sie nicht in identitätsstiftendem Ausmaß verletzt wird, höchstens sachgerechte Rechtfertigungsgründe für Beschränkungen, wie dies gerade auch für die durch Artikel 28 Abs. 2 GG abgesicherte kommunale Organisationshoheit praktiziert wird. Das BVerfG verlangt insoweit noch nicht einmal eine spezifische Rechtfertigung, solange organisatorische Spielräume verbleiben, um auf örtliche Gegebenheiten reagieren zu können [BVerfG 1991].

Zumindest danach kann ein Ansatz für eine Beschränkung die effektive Wahrnehmung kommunaler Selbstverwaltung sein. Diese wird aber bei einer weit ausgreifenden wirtschaftlichen Betätigung eher erweitert als verengt. Das Erzielen von Einnahmen daraus bildet vielfach eine essenzielle Basis. Dass dann die kommunalen Unternehmen Eigenrechte etwa aus den Grundfreiheiten haben, nimmt man dann gerne in Kauf.

Artikel 4 des künftigen EU-Vertrages nennt die regionale und die lokale Selbstverwaltung nebeneinander. Geraten diese in Konflikt und bezieht man die regionale Selbstverwaltung auf die deutschen Bundesländer, kann schwerlich eine Einschränkung der Grundfreiheiten herangezogen werden, um die eine (hier die regionale) Ebene die andere (hier die lokale) Ebene zu begrenzen zu lassen. Im Gegenteil streiten dann die Grundfreiheiten für eine Verhinderung der Einschränkung kommunaler Selbstverwaltung. Sie begrenzen sie jedenfalls. Vom Grundsätzlichen her könnte bei einer Absicherung nationaler Regelungen zur Begrenzung gemeindlicher Handlungsmöglichkeiten ansonsten Artikel 4 des künftigen EU-Vertrages auch gegen die kommunale Selbstverwaltung in Stellung gebracht werden, obwohl er sie gerade schützen soll.

## 5.2 Funktionierender Dienst von allgemeinem wirtschaftlichem Interesse

Alle Rechtfertigungsversuche sind mit der Bedeutung von Diensten von allgemeinem wirtschaftlichem Interesse nach Artikel 16 EG abzugleichen, die wie der Umweltschutz auch einen gleichgewichtigen Abwägungsbelang bilden und vielfach von öffentlichen Unternehmen wahrgenommen werden. Um eine ordnungsgemäße und wirtschaftlich tragbare Aufgabenerfüllung sicherstellen zu können, ist diesen auch ein Ausgreifen in lukrative Felder zu ermöglichen [Corbeau 1993, Sydhavnens Sten & Grus 2000]. Nimmt man die Erforderlichkeitsprüfung ernst, ist umgekehrt näher darzulegen, weshalb zum Beispiel eine Leistungsbeschränkung auf die Versorgung der örtlichen Bevölkerung unabdingbar ist, wo doch aus einem weiteren Aktionskreis Rationalisierungseffekte und damit auch Einsparpotenziale zugunsten der einheimischen Stammkundschaft in Betracht kommen. Daraus können sich günstigere Gebühren bei gleicher oder besserer Versorgung ergeben. Damit verstößt das Örtlichkeitsprinzip bei grenzüberschreitender Betätigung kommunaler Unternehmen insbesondere gegen die Dienstleistungsfreiheit, außer eine Konzentration auf das eigene Gemeindegebiet ist zur Erfüllung der dortigen Aufgaben notwendig. Regelmäßig wird aber deren Erfüllung durch extrakommunale Aktivitäten angesichts zusätzlicher Einnahmen eher gefördert.

## 6 Wettbewerbsfreiheit

Eine Begrenzung kommunaler erwerbswirtschaftlicher Aktivitäten auf das eigene Gebiet ist auch ein Beispiel für eine Ermöglichung wettbewerbswidrigen Verhaltens [Frenz 2006]. Sie behindert Ex- und Importe jedenfalls dann, wenn Aktivitäten in grenznahen Regionen tangiert sind und schließt andere Unternehmen von Leistungen in dem betroffenen Gebiet aus. Ist dieses Gebiet hinreichend groß, wird auch ein wesentlicher Teilmarkt des Gemeinsamen Marktes erfasst. Allerdings begehen die kommunalen Unternehmen mangels alleiniger oder in wirtschaftlicher Verbindung mit anderen begründeter beherrschender Stellung auf einem wesentlichen Teil des Gemeinsamen Marktes nur dann selbst einen Wettbewerbsverstoß, wenn sie sich etwa im Hinblick auf eine Gebietsaufteilung absprechen und damit ein Gebietskartell bilden [EuR 2004]. Das ist aber dann unschädlich, wenn man einen Verstoß gegen Artikel 86 Abs. 1 EG auch ohne einen tatsächlichen Wettbewerbsverstoß von Unternehmen bejaht [Asjes 1986, Bodson 1988, Bach 1992]. Dafür spricht, dass Artikel 86 Abs. 1 EG sich nur auf das Verhalten von Mitgliedstaaten bezieht. Deren Maßnahmen dürfen Artikel 12 und 81 ff. EG nicht widersprechen. Das ist aber schon dann der Fall, wenn sie Wettbewerbsverstöße durch öffentliche und mit besonderen oder ausschließlichen Rechten ausgestattete Unternehmen veranlassen [Banchero 1995, Düsseldorf 1998], ermöglichen [Hochbaum & Klotz 2003, Frenz 2006] beziehungsweise die Rahmenbedingungen hierfür schaffen [Sydhavnens Sten & Grus 2000]. Dagegen müssen nicht notwendig die Aktivitäten der Unternehmen verstossen. Artikel 86 Abs. 1 EG wirkt darauf bezogen nur

flankierend. Der Staat darf mithin keine Rahmenbedingungen beibehalten oder schaffen, welche solche Verstöße ermöglichen. Artikel 86 Abs. 1 EG hat also gerade präventiven Charakter.

## 7 Fazit

Trotz neuerer nationaler Beschränkungen bleiben die Möglichkeiten zu grenzüberschreitender erwerbswirtschaftlicher Betätigung weitgehend erhalten. Diese Option kann kommunalen Unternehmen insbesondere nicht mit dem Argument der kommunalen Organisationshoheit verschlossen werden. Die Grundfreiheiten setzen sich insoweit durch. Sie führen auch dazu, dass das Örtlichkeitsprinzip bei Aktivitäten in anderen EU-Staaten keine Anwendung finden kann.

## 8 Literaturquellen

- Asjes (1986), EuGH, Rs. 209-213/84, Slg. 1986, 1425 (1471).
- Bach (1992): Wettbewerbsrechtliche Schranken für staatliche Maßnahmen nach europäischem Gemeinschaftsrecht, 1992, S. 42 f.
- Badura (1997), ZGR 1997, 291 (299).
- Badura (2001), in: Liber amicorum Thomas Oppermann, 2001, S. 571 (578 ff.).
- Banchero (1995), EuGH, Rs. C 387/93, Slg. 1995, I 4663 (4699).
- BGH, NVwZ 2003, 246.
- Bodson (1988), Rs. 30/87, Slg. 1988, 2479 (2516 f.).
- Burgi, VerwArch. 2002, 255 (257).
- Burgi, EuR 1997, 261 (276).
- Burmeister & Staabe, EuR 2004, 810 (813 f.).
- BVerfG 1991, 228 – Gleichstellungsbeauftragte.
- CES 949 (1999), S. 10: positive Verpflichtung des Art. 6.
- Corbeau (1993): EuGH, Rs. C-320/91, Slg. 1993, I-2533 (2568, 2569).
- Cosson, DVBl. 1999, 891 (893 f.).
- Decker (1992), in: Ludwig/Odenthal, Recht der Elektrizitäts-, Gas- und Wasserversorgung, Art. 16, S. 5.
- Deipenbrock (1991): Die Deutsche Bundespost auf dem europäischen Binnenmarkt, S. 62.
- Düsseldorf (1998), Rs. C 203/96, Slg. 1998, 4075 (4131).
- Ehlers, Jura 2001, 266 (269).
- Ehricke, EWS 2007, Heft 12 „Die erste Seite“.

- Eisenblätter, Die extraterritoriale Kommunalwirtschaft, 2007, S. 164 f.
- EuGH, Rs. 175/78, Slg. 1979, 1129 (1135).
- EuGH, Rs. C 2/90, Slg. 1992, I 4431 (4480) – Wallonische Abfälle.
- EuGH, Rs. C 360/96, Slg. 1998, I 6821 (6866) – BFI-Holding.
- EuGH, Rs. C 67/96, Slg. 1999, I 5751 (5892 f.) – Albany.
- EuR 2003, 165 (169 ff.).
- Frenz, GewArch. 2006, 100 (101).
- Frenz, EWS 2007, 337 (337).
- Frenz (2004): Europarecht 1: Europäische Grundfreiheiten, Rn. 233 ff.
- Frenz (2006): Europarecht 2: Europäisches Kartellrecht, Rn. 2035.
- Frenz (2007): Europarecht 3: Beihilfe- und Vergaberecht, Rn. 2528 ff.
- Frenz, WRP 2002, 1367 ff.
- Frenz, DÖV 2000, 802 ff.
- Frenz, NuR 2000, 611 ff.
- Gassner (2001), in: Hendl/Marburger/Reinhardt/Schröder (Hrsg.), JUTR 2001, S. 315 (351).
- Hochbaum & Klotz (2003), in: von der Groeben/Schwarze, EUV/EGV, 6. Aufl. 2003, Art. 86 Rn. 40 mit Fn. 104.
- Holoubek (2000), in: Schwarze, EU-Kommentar, Art. 49 Rn. 48: „Ausgangsfreiheit“.
- Junker (1990), ZGR 1990, 249 (277).
- Kallmayer & Jung (2007), in: Calliess/Ruffert, EUV/EGV, 3. Aufl. 2007, Art. 16 Rn. 12.
- Knauff, VR 2005, 145 (148 ff.).
- KOM (1996) 443 endg., Rn. 15 ff.: Mitteilung der Kommission vom 11.9.1996, Leistungen der Daseinsvorsorge in Europa.
- KOM (2000) 580 endg., Rn. 21: EG Mitteilung der Kommission vom 20.9.2000, Leistungen der Daseinsvorsorge in Europa.
- KOM (2004) 374 endg. Anhang 1.
- LG Wuppertal, DVBl. 1999, 939.
- Nolte, S. (2004): Deregulierung von Monopolen und Dienstleistungen von allgemeinem wirtschaftlichen Interesse.
- Pielow, Grundstrukturen öffentlicher Versorgung, 2001, S. 100.
- Pippke, Öffentliche und private Abfallentsorgung, 1999, S. 192.
- Randelzhofer & Forsthoff (2007), in: Grabitz/Hilf, EU-Kommentar, Stand: 4/07, Art. 49/50 Rn. 48, 53.

- Rodrigues, Revue du Marché Commun et de l'Union Européene 1998, S. 37 (42).
- Rolshoven (2002): „Beschränkungen“ des freien Dienstleistungsverkehrs, S. 133.
- Scholz & Langer (1992): Europäischer Binnenmarkt und Energiepolitik, S. 121.
- Schwintowski (2003), ZögU 2003, 283 (296 f.).
- Sura, EuZW 1999, 19 f.
- Sydhavnens Sten & Grus (2000), EuGH, Rs. C 209/98, Slg. 2000, I 3743 (3799) – Kopenhagen.
- Tettinger, DÖV 1996, 764 (769).
- Tettinger, DVBl. 1997, 341 (344)
- Tettinger (2000): Überlassungspflichten für hausmüllähnliche Gewerbeabfälle zur Verwertung an öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger und europäisches Gemeinschaftsrecht, Rechtsgutachten für BDE und bvse, S. 46.
- Tomerius (2000): Zwischen Pflichtaufgaben und wirtschaftlicher Betätigung – Kommunale Abfallentsorgung in der Kreislaufwirtschaft, S. 215.
- Vestergaard (1999), EuGH, Rs. C 55/98, Slg. 1999, I 7641 (7665)
- Völker (1990): Passive Dienstleistungspflicht im Europäischen Gemeinschaftsrecht, S. 56, 59 f.
- Von der Lühe (2006), in: Frenz/Schink (Hrsg.), Die neuen abfallrechtlichen Pflichten, S. 155 ff.
- Weidemann, VerwArch. 1999, 533 (547).
- Weidemann/Otting, EWS 1999, 41 ff.
- Weiβ, DVBl. 2003, 564 (567).

B. Bilitewski, A.I. Urban, M. Faulstich (Hrsg.)

**13. Fachtagung  
Thermische Abfallbehandlung**

**Abfallmanagement und Kapazitätsentwicklung in Europa**

Holger Alwast, Dr. Bärbel Birnstengel

Prognos AG

Berlin

Schriftenreihe des  
Fachgebietes Abfalltechnik  
Universität Kassel

## 1 Abfall oder Sekundärrohstoffe?

„Abfall“ war bisher immer noch sehr stark mit einem negativen Image behaftet: schmutzig, übel riechend und sowohl gesundheitliche als auch Umweltprobleme verursachend. Die Hauptfrage war daher vorrangig, wie dieses „Problem“ beseitigt werden kann.

Nach wie vor ist die Deponierung von Abfällen Europas dominierende Behandlungsmethode. Im Jahr 2004 wurden innerhalb der EU 27 immer noch deutlich mehr als die Hälfte (50% bis 60%) der gesamten Abfälle abgelagert, darunter auch mehr als 45% der Siedlungsabfälle.

Diese Zahlen verweisen jedoch auch bereits auf eine andere Seite des „Abfalls“. In den letzten Jahren ist in der Sicht auf Abfall ein deutlicher Paradigmenwechsel erkennbar. Zunehmend wird von Abfall als Sekundärrohstoff gesprochen, der wertvolle Rohstoffe beziehungsweise (vorrangig fossile) Primärenergie ersetzen kann.

Diese deutlich differenziertere Sicht auf unseren „Abfall“ setzt sich zunehmend auch auf europäischer Ebene durch. Die Schonung der natürlichen Ressourcen durch Verbesserung der Ressourceneffizienz, Verbesserung der Rohstoffproduktivität sowie Entkopplung von Abfallaufkommen und Wirtschaftswachstum ist als zentrale Aufgabe einer nachhaltigen Wirtschafts- und Umweltpolitik definiert. Abfallpolitik wird zunehmend mit Produkt- und Ressourcenpolitik in Verbindung gebracht.

Im Vordergrund der EU-Abfallpolitik steht aktuell die Umsetzung einer neuen Abfallrahmenrichtlinie als Ersatz der mehr als 30 Jahre alten Grundsatzstrategie. Verbesserungen der Ressourcennutzung durch Recycling, Einführung des Life-Cycle-Konzeptes und der „Zero-Waste-Strategie“ sind Beispiele aus dem umfassenden Maßnahmenkatalog, der die Gemeinschaft ihren Zielen näher bringen soll.

*Aber wo stehen wir heute und wie hoch ist eigentlich das Potenzial an Sekundärrohstoffen?*

Im Rahmen eines umfassenden Projektes zum Ende der Abfalleigenschaft wurden die Prognos AG und das Institut für Umweltforschung (INFU) der Universität Dortmund im vergangenen Jahr mit der Durchführung einer Teilstudie für das Institute for Prospective Technological Studies (IPTS) der European Commission – Joint Research Centre beauftragt. Aufgabe war es, alle verfügbaren abfallwirtschaftlichen Daten der EU 27 Mitgliedsstaaten unter Stoffstromaspekten auszuwerten.

## 2 Hürden, die es zu überwinden galt

Die Frage nach der Höhe des Potenzials an Sekundärrohstoffen und der derzeitigen Nutzung war bisher auf der Grundlage der vorhandenen Datenlagen zum Abfallaufkommen und den Entsorgungswegen in den einzelnen EU 27-Ländern nicht immer einfach zu beantworten.

Sowohl zwischen den einzelnen Mitgliedstaaten, als auch zwischen einzelnen Abfallstoffströmen gibt es signifikante Unterschiede. Zu unterschiedlich waren und sind die Klassifizierung der Abfälle sowie die Methoden und der Umfang der Datenerfassung in den EU-Ländern.

Erst mit dem EU-Abfallstatistikgesetz und seiner nationalen Umsetzung wurde eine formale Grundlage geschaffen, die es ermöglichen sollte, beginnend mit den Erhebungen für 2004 von einer einigermaßen vergleichbaren Ausgangslage für alle EU 27-Mitgliedstaaten auszugehen. Es gibt jedoch deutliche Einschränkungen, die die jeweilige nationale Realität der Abfallwirtschaft widerspiegeln. Stoffstromorientierte Erhebungen abfallstatistischer Daten sind ebenso anzutreffen, wie Abfallmanagement orientierte Erhebungen. Ein Mix verschiedener Erfassungsmethoden hinterlässt seine Spuren in der Datenqualität. Nicht immer lassen sich Import- und Exporteffekte beim Abfallrecycling eindeutig abgrenzen. Darüber hinaus stehen die Daten mehrheitlich nur in zum Teil hoch aggregierter Form zur Verfügung. Eine Rückführung der Eurostat-Daten auf einzelne Abfallfraktionen nach dem 6-stelligen EWC-Schlüssel oder zumindest der kleinsten statistischen Einheit nach der Europäischen Abfallstatistikrichtlinie ist nur für einige Länder möglich.

Die von Eurostat zur Verfügung gestellten Daten waren daher in jedem Fall weiter zu analysieren, zu verifizieren und gegebenenfalls weiter zu bearbeiten, um sie für eine stoffstromorientierten Sichtweise auswerten zu können.

## 3 Wie hoch ist das Potenzial an Sekundärrohstoffen?

Ausgehend von den Ergebnissen der Studie für das IPTS wurden die wichtigsten Ergebnisse anschaulich im Rahmen des Sekundärrohstoffatlas Europa ausgewertet und für ausgewählte Abfallströme dargestellt.

Berücksichtigt wurden die folgenden Stoffströme, die über eine weitere stoffliche oder energetische Nutzung als Sekundärrohstoffe wieder in den Stoffkreislauf zurückfließen und somit einen positiven Einfluss auf den allgemeinen Energie- und Ressourceneinsatz ausüben (Tab. 1).

Tabelle 1: Überblick über die Abfallströme und deren Mengenpotenziale in EU27

Nr.	Abfallstoffstrom	Aufkommenspotenzial (in Mio. Mg /2004)	Nr.	Abfallstoffstrom	Aufkommenspotenzial (in Mio. Mg /2004)
1	Glas	21,6	10	Altholz	70,5
2	Papier	79,5	11	Textilien	12,2
3	Kunststoffe	26,2	12	Gummi & Altreifen	3,2
4	Eisen & Stahl	102,6	13	Bioabfälle	87,9
5	Aluminium	4,6	14	Ersatzbrennstoffe	70,1
6	Kupfer	1,4	15	Ölhaltige Abfälle	7,4
7	Zink	1,2	16	Lösemittel	1,6
8	Blei	1,0	17	Aschen & Schlacken	131,4
9	Sonstige Metalle	1,2	18	Mineralische Abfälle	1.794,4
					Summe (ausgewählte Abfallstoffströme)
					<b>2.417,9</b>
					Anteil am Gesamtabfallaufkommen (2.823 Mio. Mg/2004)
					<b>85 %</b>

Die analysierten und im Sekundärrohstoffatlas Europa dargestellten 18 Abfallstoffströme kommen im Betrachtungsjahr 2004 zusammen auf ein Gesamtaufkommen in der EU 27 von 2.418 Mio. Mg. Das ist ein Anteil von rund 85% des gesamten in den EU 27 Mitgliedsländern erzeugten Abfallaufkommens. Die Abfallstoffströme sind vor allem in den folgenden Abfallarten enthalten:

- Siedlungsabfälle der Haushalte (getrennt oder gemischt erfasste Abfälle),
- Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle,
- Industrielle Abfälle (nicht gefährliche und gefährliche Abfälle),
- Bau- und Abbruchabfälle,
- Elektroaltgeräte und Altfahrzeuge,
- Mineralische Massenabfälle.

Im Ergebnis der Analysen konnte – wie in nachfolgender Tabelle noch einmal zusammenfassend für alle 18 Stoffströme dargestellt – festgestellt werden, dass rund 46% (rund 1.103 Mio. Mg) recycled oder energetisch verwertet (R 1-Verfahren) wurden, während die restlichen 54% (1.314 Mio. Mg) der Beseitigung zugeführt wurden – in der Regel auf Deponien oder in Verbrennungsanlagen (D 10-Verfahren). Hier sei der Hinweis erlaubt, dass es sich nicht in jedem Fall um Deponien handelt, die den EU-Normen entsprechen. Die höchsten Recyclingraten konnten in 2004 für Gummi & Altreifen (78%) sowie Eisen & Stahl (76%, ohne Kreislaufmaterialien der Stahlhütten) identifiziert werden. Die niedrigsten Recycling- und Verwertungsraten konnten demgegenüber im gleichen Zeitraum für die Ersatzbrennstoffe (22%) ermittelt werden.

Tabelle 2: Überblick über Abfallbehandlungswege der Stoffströme in 2004

Nr.	Abfallstoffstrom*	Abfall- erzeugung (Potenzial)	Beseitigung**	Recycling	Energetische Verwertung	Verwertungs- rate***	Recycling / energ. Verwertung + (ausgewählte) Verbrennung****	
		[Mio. Mg]	[Mio. Mg]	[Mio. Mg]	[Mio. Mg]	[in %]	[Mio. Mg]	[in %]
1	Glas	21,6	10,9	10,7	0,0	50%	10,7	50%
2	Papier	79,5	35,3	44,2	0,0	56%	54,0	68%
3	Kunststoffe	26,2	17,0	4,5	4,7	35%	13,7	52%
4	Eisen & Stahl	102,6	24,9	77,7	0,0	76%	77,7	76%
5	Aluminium	4,6	1,6	3,1	0,0	66%	3,1	66%
6	Kupfer	1,4	0,5	0,9	0,0	62%	0,9	62%
7	Zink	1,2	0,5	0,7	0,0	58%	0,7	58%
8	Blei	1,0	0,4	0,6	0,0	63%	0,6	63%
9	Sonstige Metalle	1,2	0,7	0,5	0,0	39%	0,5	39%
10	Holz	70,5	24,7	21,7	24,0	65%	53,0	75%
11	Textilien	12,2	8,3	2,8	1,1	32%	6,2	51%
12	Gummi & Altreifen	3,2	0,7	1,6	0,9	78%	2,6	82%
13	Bioabfälle	87,9	55,1	28,8	4,0	37%	46,5	53%
14	Ersatzbrennstoffe	70,1	55,0	0,0	15,1	22%	29,2	42%
15	Ölhaltige Abfälle	7,4	4,4	2,2	0,8	41%	5,6	75%
16	Lösemittel	1,6	0,6	0,4	0,6	61%	1,5	90%
17	Aschen & Schlacken	131,4	48,4	82,9	0,0	63%	82,9	63%
18	Mineralische Abfälle	1.794,4	1.025,2	769,2	0,0	43%	769,2	43%
Summe		2.417,9	1.314,0	1.052,6	51,3	46%	1.271,6	48%

\* Kreislaufmaterialien bei der Verwertung von Altmetallen sind nicht enthalten.

\*\* Beseitigung schließt Deponierung, Verbrennung (D 10) und sonstige Beseitigung ein.

\*\*\* Ohne Verbrennung in MVA und sonstigen Abfallverbrennungsanlagen.

\*\*\*\* Recycling + energetische Verwertung im Vergleich zum gesamten erzeugten Abfall.

\*\*\*\*\* Verbrennung mit niedriger sowie hoher Energieeffizienz: Berücksichtigt wurden nur die folgenden Abfallstoffströme mit einem hohen energetischen Verwertungspotenzial: Papier, Kunststoffe, Altholz, Textilien, Bioabfälle, Lösemittel, ölhaltige Abfälle, Ersatzbrennstoffe, Gummi & Altreifen.

Unter Berücksichtigung von Recycling, energetischer Verwertung und Verbrennung mit niedriger oder hoher Energieeffizienz können – wie in den letzten beiden Spalten als Maximalszenario angeführt – potenziell deutlich höhere Verwertungsraten erzielt werden. Das setzt jedoch voraus, dass Abfallverbrennungsanlagen, die die Energieeffizienzkriterien erfüllen, auch einen Verwerterstatus zuerkannt bekommen. Der Sekundärrohstoffatlas Europa visualisiert die wichtigsten Ergebnisse dieser Analysen für die jeweils einzelnen Stoffströme mit Blick auf die nationalen Besonderheiten.

Wie exemplarisch am Beispiel der nachfolgenden Abbildung zu den Kunststoffpotenzialen verdeutlicht, wird zunächst mit der eingefärbten Landesfläche das nationale Abfallpotenzial in kg pro Einwohner dargestellt. Die jeweiligen Diagramme spiegeln in ihrer Größe das Gesamtabfallpotenzial des Stoffstromes wider, während die Hell-Dunkel-Differenzierung die prozentualen Anteile zwischen Recycling und energetischer Verwertung (hell) und Beseitigung (inklusive Verbrennung D 10; dunkel) darstellt.

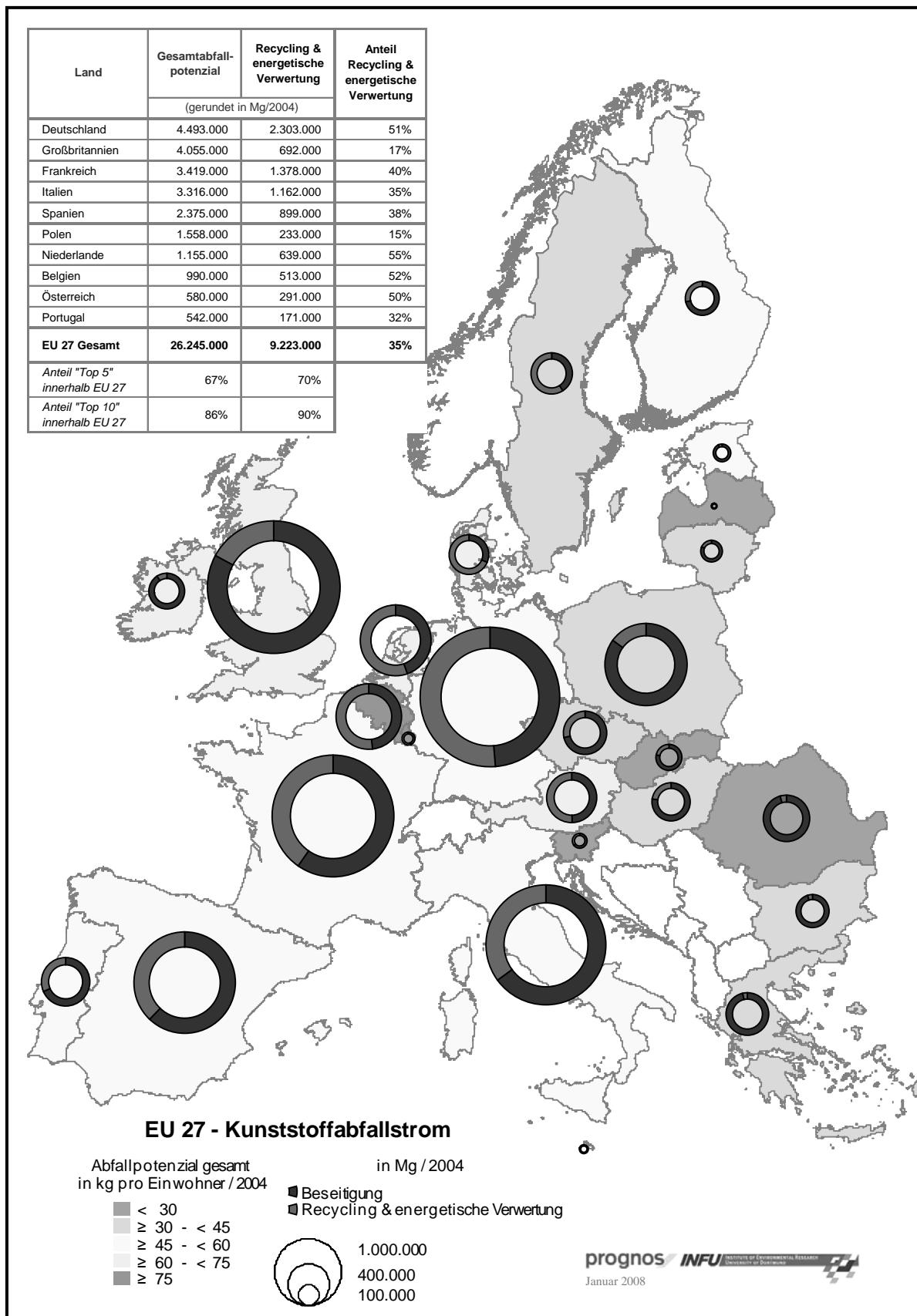


Abbildung 1: Kunststoffabfallpotenziale und Status der Abfallbehandlung 2004  
(energetische Verwertung ohne die Verbrennung in MVA – R 1, D 10)

Der Sekundärrohstoffatlas Europa kann über die Prognos AG ([www.prognos.com](http://www.prognos.com)) bezogen werden.

Es ist unbestritten, dass nachhaltige Änderungen in unserem Umgang mit Abfällen erreicht werden müssen. Sowohl aus der Sicht materieller Ressourcen, als auch der Energiesicht haben wir bis 2004 erst die Hälfte des Weges zurückgelegt!

Mit anderen Worten: Noch über die Hälfte des bestehenden Ressourcenpotenzials bleibt bisher vollkommen ungenutzt und führt zudem zu erheblichen negativen Auswirkungen auf unser Klima durch die Freisetzung von Methan im Deponiegas!

## 4 Quo Vadis Abfallwirtschaft?

Die Frage nach dem „Wohin?“ sich die Abfallwirtschaft in den nächsten Jahren entwickeln soll, stellt sich in dieser Form nicht mehr. Konsens besteht dahingehend, die Abfallwirtschaft zu einer Ressourcenwirtschaft weiter zu entwickeln. In den Mittelpunkt der Diskussionen rücken daher die Fragen nach dem „Wie?“ und „In welchem Zeitraum?“.

Die EU kann nur gemeinsame Abfallmanagementziele formulieren. Die inhaltliche Ausgestaltung der EU-Abfallrahmenrichtlinie ist konsequent voranzutreiben. Bei der Umsetzung der fünfstufigen Abfallhierarchie aus dem Gemeinsamen Beschluss des Umweltministerrates vom 21. Dezember 2007 müssen die einzelnen EU 27-Mitgliedsländer ihren neuen nationalspezifischen Weg selbst finden. Zu den bedeutendsten Herausforderungen zählen dabei aber sicherlich:

- Der Auf- und Ausbau von Getrenntsammlungssystemen,
- Flankierende, maßnahmenbezogene Standards und Anreize zur Abfallvermeidung beziehungsweise seiner stofflichen und energetischen Nutzung,
- Die Schließung von Rohstoffkreisläufen und deutliche Erhöhung der Ressourcen- und Energieeffizienz,
- Deutliche Verbesserung der CO<sub>2</sub>-Bilanzen und somit Entlastung der Klimarelevanz der europäischen Abfallwirtschaft als auch
- Die Schaffung von Kriterien und deren Anwendung auf das „Ende der Abfalleigenchaft“ bei ausgewählten Stoffströmen und dadurch Schaffung von „Produktmärkten“, wo dies sachlich begründet machbar ist.

Es stellt sich jedoch die Frage, ob die EU eine Abfallrahmenrichtlinie ohne die Formulierung von weitergehenden Anforderungen an die Zielerreichung für die Ressourcenschonung sowie an die Ablagerung von Abfällen in Europa verabschieden sollte. Dies könnten beispielsweise sein:

- Die Aufnahme von Recyclingzielen für bestimmte Abfälle, wie Siedlungsabfälle sowie Bau- und Abbruchabfälle,
- Die Aufnahme einzelner stoffbezogener Deponieverbote in der EU-Abfallrahmenpolitik, die deutlich über die geltenden Regelungen der EU-Deponierichtlinie hinausgehen oder
- Die schnellstmögliche Umsetzung eines „Europäischen Deponieverbotes für biologisch abbaubare Abfälle“, so wie es einzelne Länder bereits praktizieren.

Die Ergebnisse der Untersuchung von Prognos/INFU zeigen, Ressourcenpotenziale sind in der Abfallwirtschaft der EU 27 in Hülle und Fülle vorhanden. Der darin enthaltene Beitrag zur umfassenden weiteren Ressourcenschonung und zur CO<sub>2</sub>-Vermeidung ist mindestens genauso bedeutend, wie der wirtschaftliche Nutzen und mögliche Einspareffekte, die mittel- bis langfristig vor dem Hintergrund weltweit weiter steigender Rohstoff- und Energiepreise erzielt werden könnten.

Es bedarf allerdings einer konsequenten, flankierenden EU-Abfallpolitik, um diese Ressourcenpotenziale in der schnellsten möglichen Zeit auch soweit wie möglich zu erreichen.

B. Bilitewski, A.I. Urban, M. Faulstich (Hrsg.)

**13. Fachtagung  
Thermische Abfallbehandlung**

**Vollständige Verwertung in einer MVA  
Bestandsaufnahme und Klimabilanz**

Dipl.-Biol. Horst Fehrenbach  
IFEU – Institut für Energie- und Umweltforschung GmbH  
Heidelberg

Schriftenreihe des  
Fachgebietes Abfalltechnik  
Universität Kassel

## 1 Einführung

Das Leitbild einer nachhaltigen, also dauerhaft umweltgerechten Abfall- und Ressourcenwirtschaft umfasst die vollständige, möglichst hochwertige Verwertung von Siedlungsabfällen und die mittelfristige Schließung von oberirdischen Deponien. Diese umweltpolitische Vorgabe wurde bereits 1999 durch ein Eckpunktepapier des Bundesumweltministeriums skizziert und als „Ziel 2020“ formuliert [BMU 1999]. Ein wesentlicher Eckpfeiler dieser Strategie ist die thermische Abfallbehandlung in fortschrittlichen Müllverbrennungsanlagen (MVA), denen mit dem 1. Juni 2005 die maßgebliche Rolle in der Siedlungsabfallwirtschaft zugefallen ist.

Der Einsatz optimierter Techniken zur Abfallverbrennung und zur Aufbereitung der MVA-Rückstände ist damit ein zentrales Element zur Erfüllung einer sowohl vollständigen als auch hochwertigen Verwertung einzuschätzen. Das Umweltbundesamt hatte in diesem Zusammenhang ein Forschungsvorhaben vergeben, um den Stand, die möglichen Ansätze und Potenziale, die Müllverbrennungsanlagen in Deutschland im Hinblick auf dieses Ziel aufweisen, darzustellen und zu bewerten. Dieses Vorhaben wurde durch das IFEU, Heidelberg, durchgeführt [Fehrenbach et al. 2008].

Der Trend zur Verwertung von Reststoffen aus Müllverbrennungsanlagen zeichnete sich schon seit längerer Zeit ab. Das Ziel der „hochwertigen“ Verwertung stand dabei weniger im Mittelpunkt, als die Vermeidung einer Deponierung, die zunehmend als kostenintensiv beurteilt wurde. Zu beobachten ist, dass die Schlacke – der Hauptanteil der mineralischen Rückstände aus der Verbrennung (insbesondere nach Aufbereitung) – zunehmend in bauliche Verwertungswege geführt wird. Auch die aufkonzentrierten, vom Massenanteil her kleineren Stoffströme wie Filterstäube oder Mischsalze aus der Abgasreinigung werden kaum mehr auf oberirdische Deponien verbracht, sondern werden hauptsächlich im – als Verwertung anerkannten – Versatz eingesetzt.

Im Verlauf der 90er Jahre wurden mit der Einführung der 17. BlmSchV die Abgasreinigungstechniken in erheblichem Umfang optimiert. Erstmals wurden Müllverbrennungsanlagen nicht nur als Anlagen zur Abfallbeseitigung betrachtet. Vereinzelt wurden bereits Konzepte entwickelt und teilweise auch umgesetzt, Stoffströme aus der thermischen Abfallbehandlung zu erzielen, die für ein hochwertiges Recycling in den Stoffkreislauf geeignet sein sollen. Beispielgebend wurden technisch hochwertige Gipse, Salze oder auch Salzsäure. Neben der Vermeidung teurer Deponien sollten zusätzliche Erlöse die Verbrennungskosten senken helfen.

Solche Ansätze sind mit Blick auf das Ziel 2020 grundsätzlich begrüßenswert. Tatsächlich sehen sich heute Anlagen mit der Kritik konfrontiert, zu teuer in Betrieb und Investition zu sein, zumal sich die Erlöse für die erzeugten Stoffe oft nicht in dem erhofften Maße realisieren ließen.

In ähnlicher Weise zeichnet sich auch diese Problematik der Energienutzung bei Müllverbrennungsanlagen ab. Eine hocheffiziente Nutzung wird in der Regel zwar stets angestrebt. Höhere Investitionen in diesem Bereich waren jedoch angesichts der Energiepreise in der Vergangenheit wenig attraktiv. Energie wurde und wird daher dort effizient genutzt, wo die Randbedingungen entsprechend günstig dafür sind.

Der aktuelle Anlagenbestand von rund 70 Müllverbrennungsanlagen (von einer exakten Festlegung auf eine Anzahl wird in dieser Studie abgesehen, da sich im Bearbeitungszeitraum verschiedene Anlagenprojekte in Planung oder Bau befanden) stellt mit etwa 17 Mio. Tonnen Behandlungskapazität (Stand Mitte 2006) und seiner sehr unterschiedlichen Altersstruktur damit eine sehr heterogene Realität dar. Angesichts der seit Juni 2005 benötigten Entsorgungsleistungen ist kaum eine der Anlagen entbehrlich. Umso bedeutsamer ist es, die Potenziale technischer Optimierung gerade auch für den Bestand zu analysieren und anhand möglichst präziser Kriterien zu bewerten.

Kriterien sind dabei – grob ausgedrückt – die Gewährleistung eines Stands der Technik, die einen medienübergreifenden Umweltschutz und ebenso eine hochwertige Verwertung der energetischen und stofflichen Potenziale der behandelten Abfälle zum Ziel haben.

Mit der Diskussion zum Klimawandel und den verknüpften politischen Zielen ist auch die Entsorgungswirtschaft über kurz oder lang gefragt, ihre wesentlichen Beiträge zum Klimaschutz zu leisten. Mit der Arbeit zur Nachhaltigkeit in der Abfallwirtschaft, die das IFEU im Auftrag von BMU/UBA durchgeführt hat, wurden bereits die positiven Entwicklungen von 1990 bis 2000 herausgestellt. Diese beruhen sowohl auf der grundsätzlichen Zunahme der Abfallverbrennung gegenüber der Deponierung wie auch auf der höheren Effizienz der neueren Anlagen.

Die Kernfragen des hier vorgestellten Vorhabens formulieren sich wie folgt:

- Nach welchen Kriterien wird die Erfüllung einer vollständigen Verwertung bewertet?
- In welchem Umfang sind diese Kriterien bereits erfüllt?
- Wäre eine flächendeckende Umsetzung dieser Kriterien erreichbar?
- Wie hoch wäre der ökologische Nutzen, wie hoch die ökonomischen Kosten einzuschätzen?

## 2 Screening der Anlagen in Deutschland

Für das Screening der Anlagen wurden folgende Kriterien zu Grunde gelegt:

- *stofflicher Aspekt*: in welchem mengenanteiligen Umfang und welcher Qualität werden Schlacke, Metalle und andere Materialströme verwertet?
- *energetischer Aspekt*: mit welcher Effizienz wird der Energieinhalt des Abfalls genutzt?

- *umweltbezogene Aspekte*: In welchem Umfang wird zum Klimaschutz beigetragen (hauptsächlich eine Funktion aus den beiden oberen Aspekten)? Inwieweit ist die Minimierung der Schadstofffreisetzung in die Umweltmedien erfüllt (oder durch die anderen Kriterien beeinträchtigt)?

In Form eines Screenings wurden die „Erfüllungsgrade“ des Anlagenparks in Deutschland mit seinen 70 Müllverbrennungsanlagen analysiert. Das Ergebnis ist insgesamt sehr positiv zu werten. Die Verwertung von Stoffströmen reicht danach bereits nahe an die Vollständigkeit. Nur geringe Massenströme werden aktuell noch explizit deponiert. Allerdings muss eingeräumt werden, dass der gesetzlich als Verwertung anerkannte Versatz eine bedeutende Rolle dabei einnimmt. Für manche Stoffströme, zum Beispiel Filterstäube oder Stoffgemische und Senken der Abgasreinigung, zeichnen sich auf der Ebene der Verwertung hier keine ökonomisch gangbaren Alternativen ab.

Für den Hauptmassenstrom, der Schlacke, wird bereits heute mindestens die Hälfte als Baumaterial eingesetzt (Abb. 1). Das wesentliche Verfahren zur Gewährleistung der einschlägigen (aber nicht mehr gültigen) LAGA-Kriterien (Z2) ist dabei die dreimonatige trockene Zwischenlagerung.

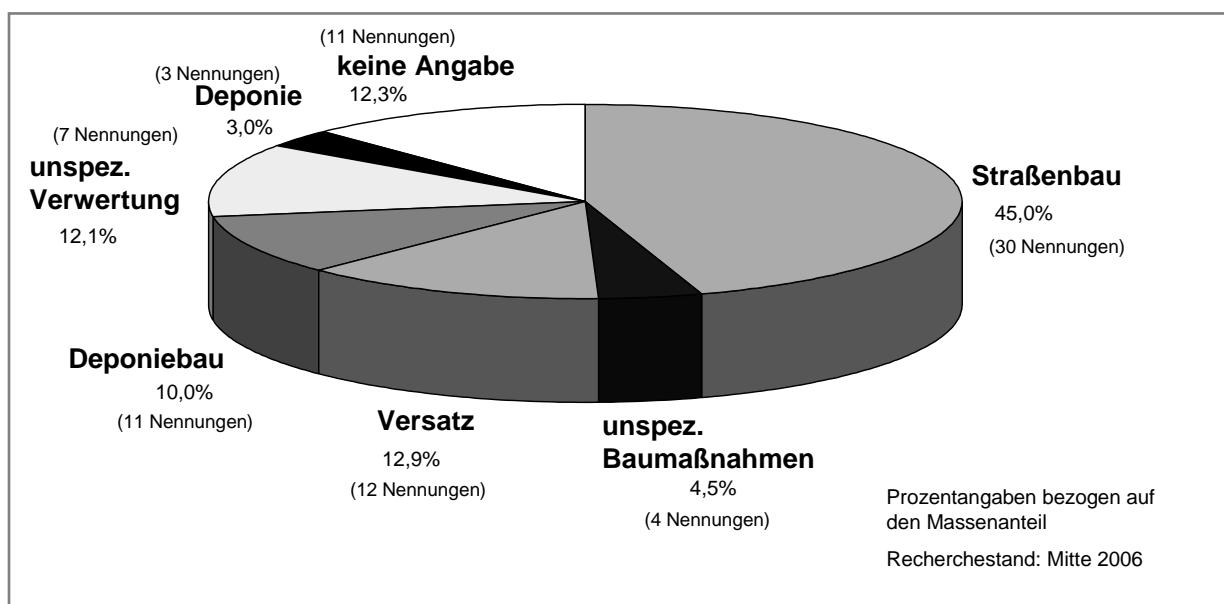


Abbildung 1: Auswertung des Kriteriums der Schlackeverwertung für 65 MVA in Deutschland; Prozentangaben nach Masse gewichtet; Anzahl Nennungen inklusive Mehrfachnennung pro Anlage; Datenquelle: öffentlich zugängliche Angaben der Betreiber und Annahmen des IFEU

Wenige Betreiber setzen zusätzlich die Schlackenwäsche an, um weitergehende Kriterien zu erfüllen. Darüber hinausgehende Maßnahmen, zum Beispiel Verglasung oder Sinterung der Schlacke, werden nicht (mehr) praktiziert.

Etwas mehr als die Hälfte der Anlagen ist mit nassen Abgasreinigungsverfahren ausgestattet und ist daher im Stande, hier die Stoffströme differenziert zu gestalten. Zahl-

reiche Anlagen erzeugen Gips, einige Salzsäure oder industriell nutzbares Salz. Dieses Vorgehen ist prinzipiell unter dem Aspekt einer höherwertigen Verwertung positiv zu beurteilen. Andererseits ist festzustellen, dass hier im Vergleich sehr geringe Massenströme auftreten.

Im Hinblick auf Energienutzung weist die Gesamtheit der Müllverbrennungsanlagen eine weite Bandbreite auf, über die hinweg sie sich ohne erkennbare Häufungen in gleichmäßiger Reihung verteilen (Abb. 2). Zahlreiche Faktoren sind dabei Ursache für die Effizienz im Einzelnen. Besonders entscheidend sind die Standortgegebenheiten. Nähe zu Siedlungsräumen und Industrie bieten die Option einer umfassenden Wärmenutzung. Auch das Alter der Anlage ist ein wichtiger Faktor, da erst im Verlaufe der 90er Jahre der „Nebenzweck“ der Energienutzung deutlich stärker in den Vordergrund trat.

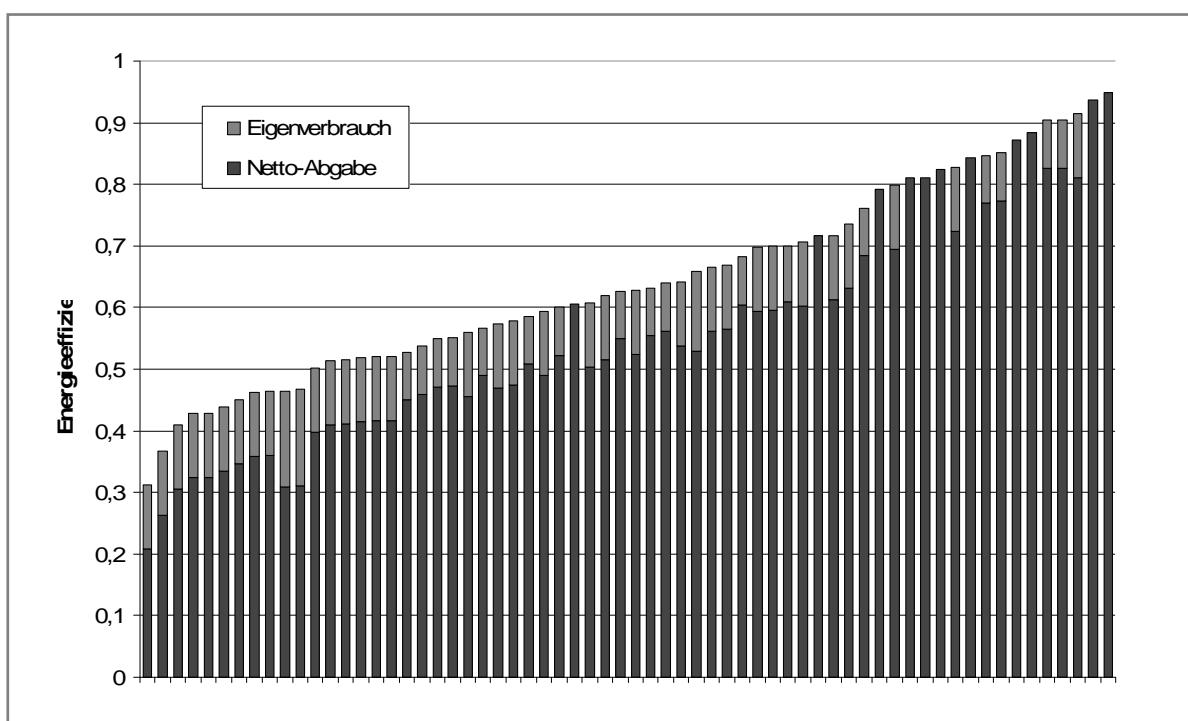


Abbildung 2: Energieabgaben der 65 MVAn in Deutschland; Datenquelle: Angaben der Betreiber und öffentlich zugängliche Daten

Aufgrund der Umsetzung der Grenzwerte der 17. BlmSchV ist erfreulicherweise nahezu durchgängig ein sehr niedriges Emissionsniveau gegeben. Wiederum zumeist altersbedingt ist bei einer meist kleineren Anzahl an Anlagen fallweise eine deutlich überdurchschnittliche Emissionsrate zu erkennen. So bei SO<sub>2</sub>, den Schwermetallen und auch den Dioxinen/Furanen. Die Grenzwerte sind dabei jedoch stets sicher unterschritten. Relativ hohe Ausschöpfungsraten sind bei NO<sub>2</sub> zum Teil gegeben. Dies ist insofern nachvollziehbar, als die NO<sub>x</sub>-Minderung spezifischer energie- und/oder

betriebsmittelintensiver Anstrengungen bedarf, während Staub, saure Gase und Metalle zumeist, dank der Kombination verschiedener Stufen (Filter, Absorption, Koks-adsorption), fast zwangsläufig abgemindert werden.

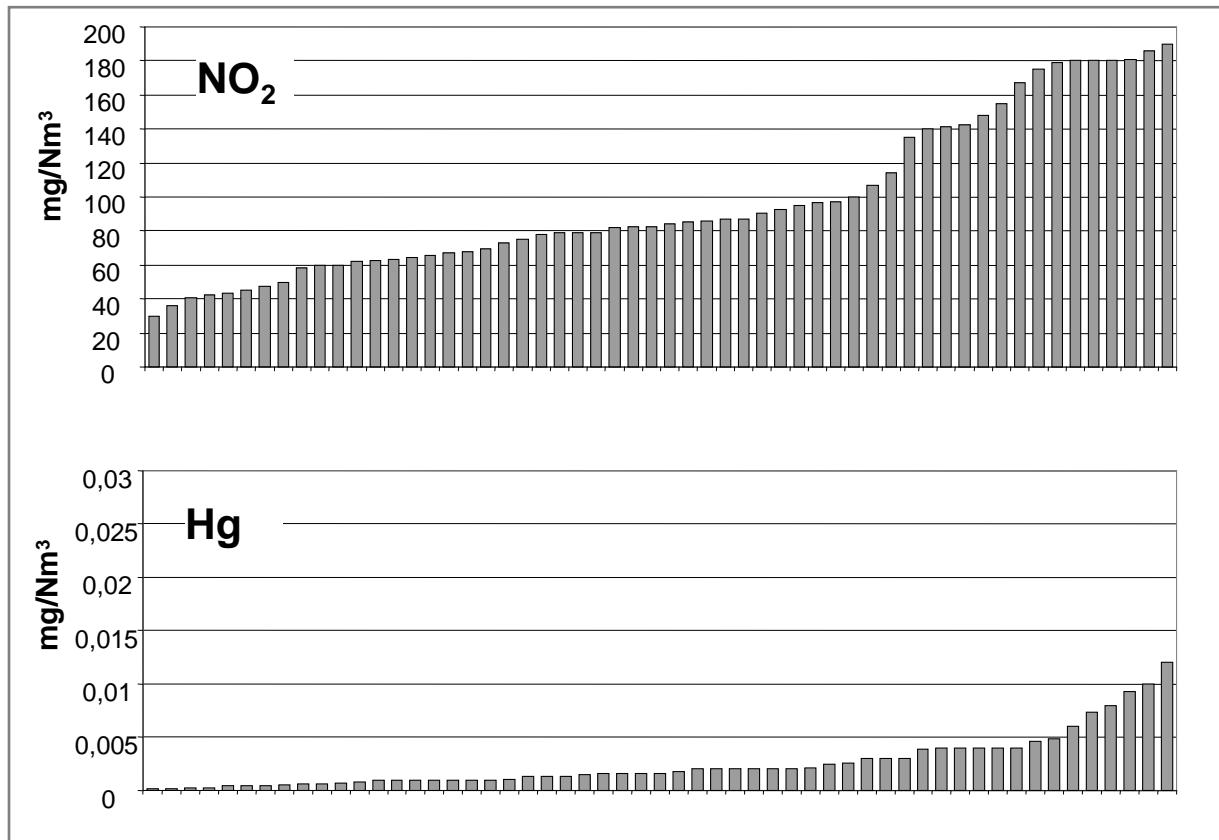


Abbildung 3: Emissionen von  $\text{NO}_x$  (als  $\text{NO}_2$ ) und Quecksilber, Spannweite der deutschen Müllverbrennungsanlagen in den Emissionskonzentrationen; Datenquelle: öffentlich zugängliche Angaben der Betreiber und Annahmen des IFEU

Der Versuch, Zusammenhänge zwischen Reinigungstechniken und Abgaswerten oder Abgaswerten und Energieeffizienz herauszuarbeiten, führte zu keinem Ergebnis. Die Zusammenhänge innerhalb einer MVA sind zu komplex, um mit einfachen Kategorien (zum Beispiel nasse Wäsche/quasitrockenes Verfahren, Festbettfilter/Flugstromverfahren) Leistungsmerkmale verbinden zu können. Selbst die Höhe des Eigenenergieverbrauchs konnte anhand der empirischen Werte nicht systematisch mit Verfahrensarten in Korrelation gebracht werden.

### 3 Falluntersuchungen

Aufschlussreich ist daher die detaillierte Analyse von vier Beispielanlagen, der dritte Schritt. Die dafür entwickelten Rechenmodelle wurden dabei dankenswerterweise von den entsprechenden Betreibern auf Stimmigkeit und Kongruenz mit den realen Betriebswerten überprüft. Ziel dieses Arbeitsschritts war, die Stoffströme von konkreten

Anlagen insgesamt nachzuvollziehen, und die Aspekte der stofflichen und energetischen Verwertung im Zusammenhang mit den anlageneigenen Emissionen zu bewerten. Als Leitindikatoren wurden dabei CO<sub>2</sub> (fossil), NOx und Quecksilber gewählt. Betriebsmittel- und externe Energieverbrauche wurden dabei genauso berücksichtigt wie die eingesparten Emissionen durch die Substitution von primären Rohstoffen und Energieträgern.

Die vier Anlagen wurden ausgewählt mit Blick auf hohe Erfüllung eines der Kernaspekte

1. stoffliche Nutzung,
2. energetische Nutzung,
3. Emissionsminimierung,

sowie in einem Fall auf mäßige Erfüllung all dieser Aspekte, sozusagen als Vergleichsanlage. Abbildung 4 zeigt das Stoffstromschaema einer der Beispiel-Anlagen.

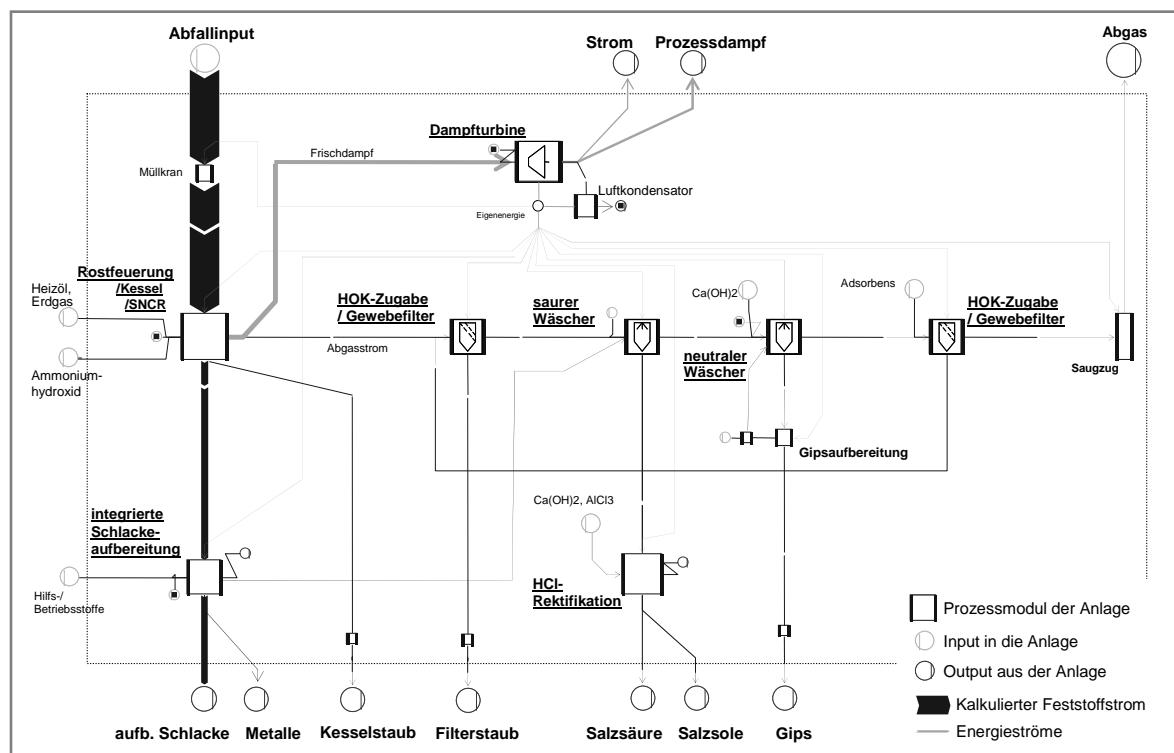


Abbildung 4: Stoff- und Energiestromschaema für Beispiel-MVA 1

Im Ergebnis zeigen die drei fortschrittlichen Anlagen über die gesamte Breite der Indikatoren eine insgesamt die Umwelt entlastende Bilanz (Abb. 5 bis 7). Die vermiedenen Emissionen sind stets höher als die selbst verursachten. Ganz herausragende Bedeutung hat dabei die Energienutzung. Sie stellt sich in dieser Analyse als der umweltseitige Dreh- und Angelpunkt dar. Eine günstige Energiebilanz verweist dabei jeden weiteren technischen Abschlag als zweitrangig. Einzige Ausnahme dabei bildet die

Quecksilberemission (Abb. 7). Hier spielt im Rahmen der dokumentierten Bandbreite die direkte Emission der Anlage – wenn in der oberen Bandbreite – die entscheidende Rolle. Emissionen im Bereich der unteren Bandbreite werden dagegen ebenso leicht von den Emissionsgutschriften für Energie überkompensiert.

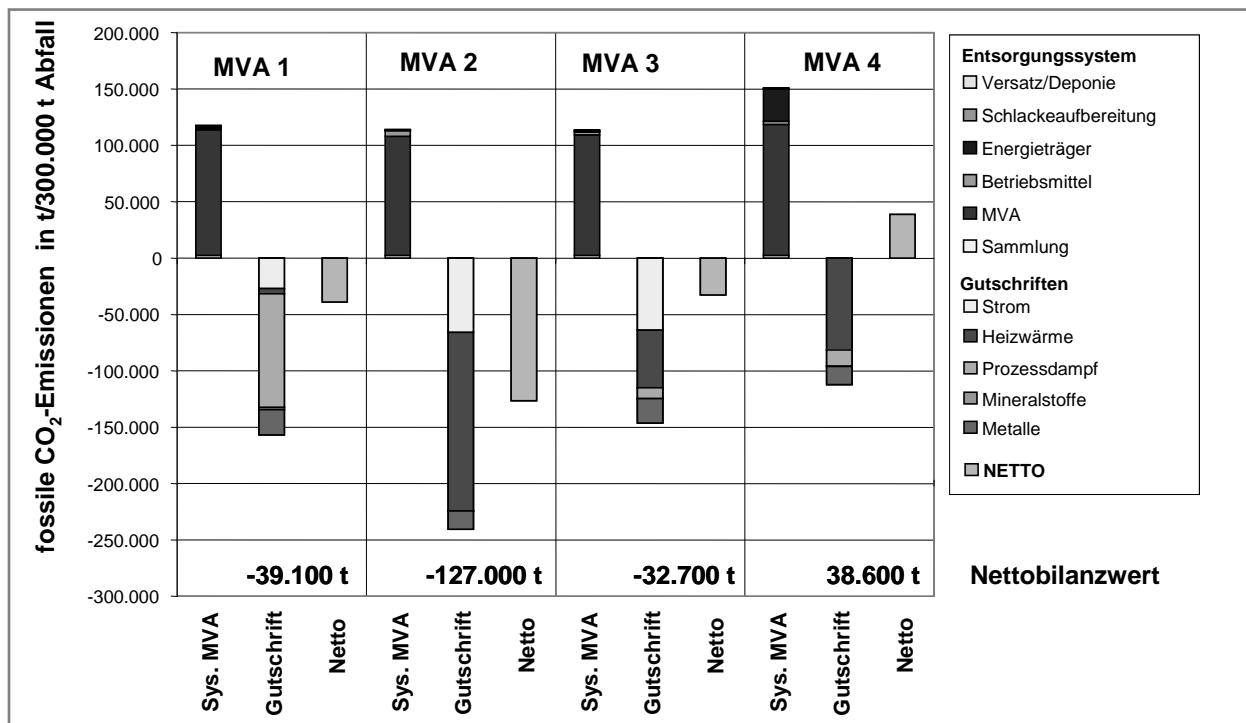


Abbildung 5: Analyse der CO<sub>2</sub>-Gesamtbilanz der vier Beispianlagen, unter Berücksichtigung von Nebenprozessen und Gutschriften aus substituierten Primärprozessen; Netto =  $\Sigma$  System MVA –  $\Sigma$  Gutschrift

Nach der Energieeffizienz ist die Rückgewinnung der Metalle aus der Schlacke der wichtigste Faktor. Aus Sicht der Klimarelevanz, aber auch der anderen Emissionsparameter, ist die Frage der Verwertung von Schlacke und Stoffströmen der Abgasreinigung deutlich nachrangig. Hier stellen sich andere Kriterien in den Vordergrund wie: sichere dauerhafte Einbindung der Spurenmetalle in die Schlacke, um eine Verwertung möglichst uneingeschränkt möglich zu machen.

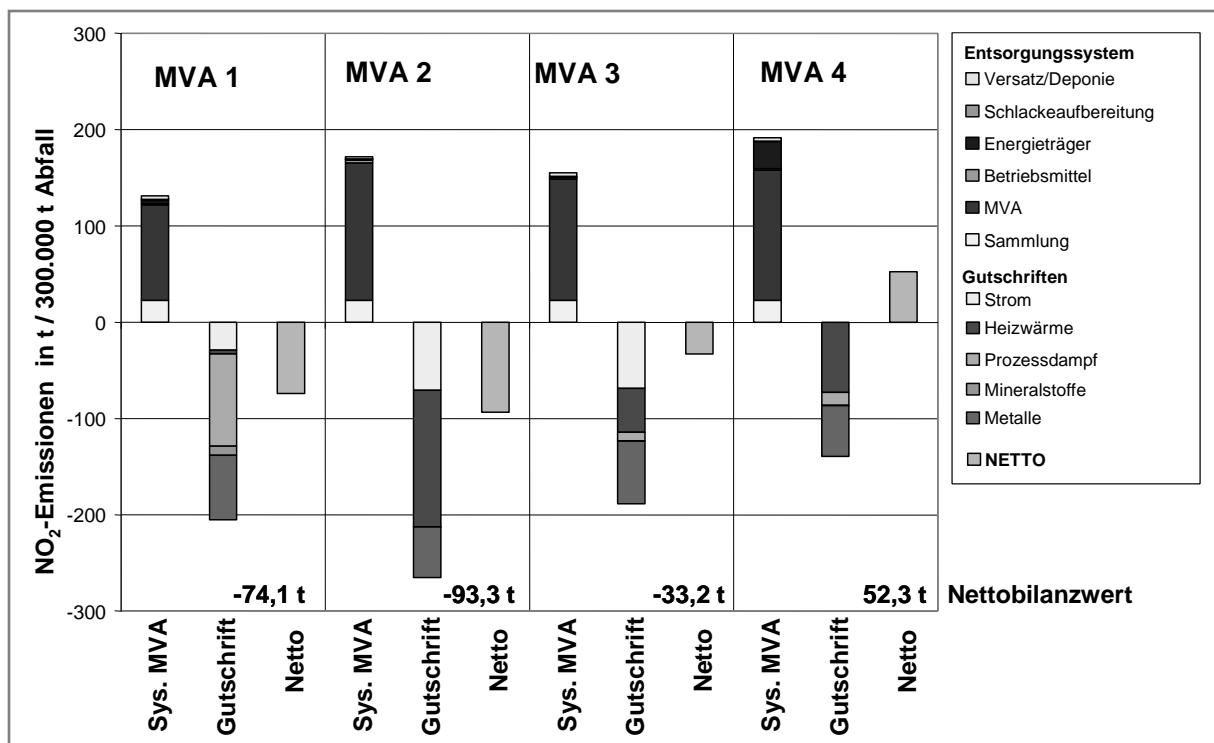


Abbildung 6: Analyse der NO<sub>2</sub>-Gesamtbilanz der vier Beispieldienstleistungen, unter Berücksichtigung von Nebenprozessen und Gutschriften aus substituierten Primärprozessen; Netto =  $\Sigma$  System MVA –  $\Sigma$  Gutschrift

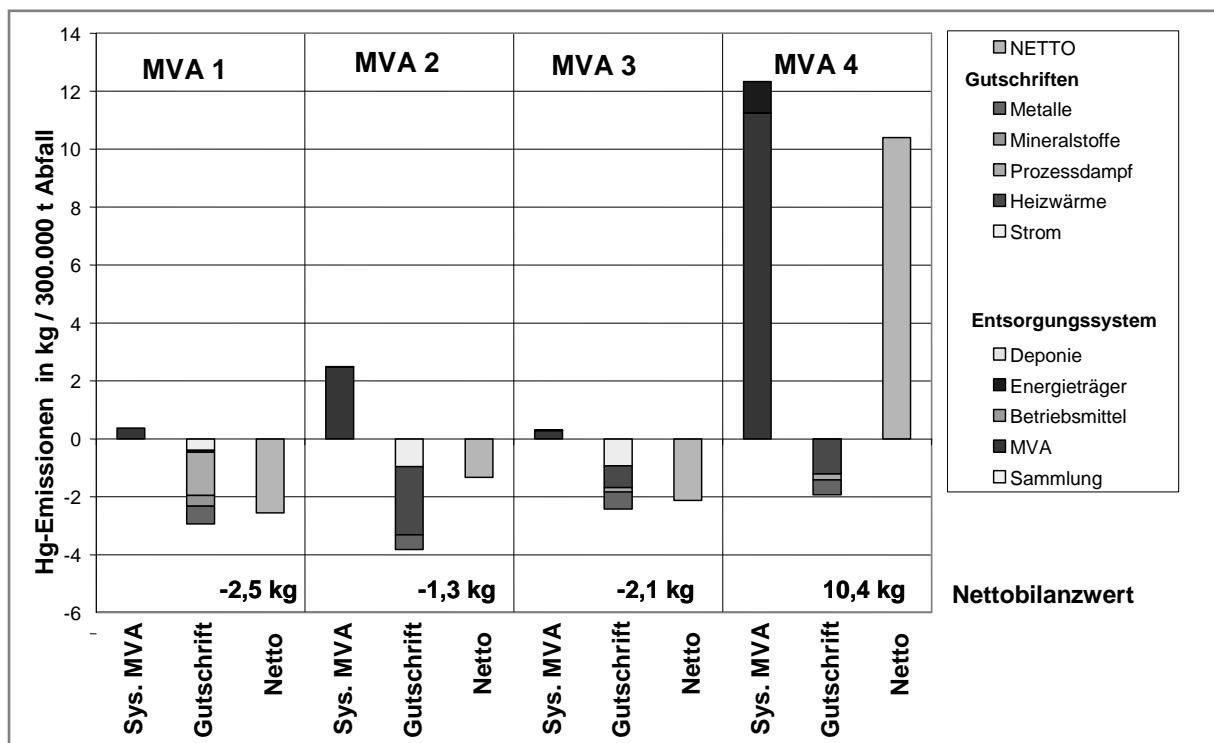


Abbildung 7: Analyse der Quecksilber-Gesamtbilanz der vier Beispieldienstleistungen, unter Berücksichtigung von Nebenprozessen und Gutschriften aus substituierten Primärprozessen; Netto =  $\Sigma$  System MVA –  $\Sigma$  Gutschrift

Schließlich wurden die relevanten Maßnahmen zur Erfüllung der Vorgaben für eine vollständige Verwertung identifiziert. Hierbei wurde erkannt, dass auf der Ebene der Emissionsminderung kein vorrangiger Handlungsbedarf besteht. Die maßgeblichen Potenziale bestehen dagegen auf Seiten der Energienutzung. An zweiter Stelle steht die möglichst umfassende Verwertung der Metalle.

Abbildung 8 fasst die Nettobilanzen (Belastung durch die MVA minus stoffliche und energetische Gutschriften) nochmals zusammen. Zur einheitlichen Darstellung werden die Werte normiert und in Einwohnerdurchschnittswerten (EDW) dargestellt. 1 EDW beschreibt dabei die mittlere Pro-Kopf-Last eines Einwohners in Deutschland. Die entsprechenden Basiswerte sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Aus der Darstellung in Abbildung 8 wird deutlich, dass eine MVA der Größenordnung 300.000 Mg/a (entspricht dem Restabfallaufkommen von circa 1,5 Mio. Einwohnern) fossile Primärenergie (KEA) in der Größenordnung des Verbrauchs von bis zu 20.000 Einwohnern einsparen kann. Das ist mehr als 1%.

Für CO<sub>2</sub> liegt dieser Effekt etwas niedriger. Hier kann die Einsparung bis zu 12.000 EDW erreichen – damit etwas weniger als 1% der Gesamtlast. Bei NO<sub>x</sub> liegen die spezifischen Belastungen und Einsparungen nochmals etwas niedriger. Bei Cadmium dagegen zeigt sich eine hohe spezifische Bedeutung des Beitrags der Müllverbrennungsanlagen. Mit niedriger Eigenemission und hoher Substitutionsleistung sind bis über 85.000 EDW Entlastung der Umwelt möglich. Das sind über 5% der Gesamtlast.

Tabelle 1: Gesamtemissionen in der Bundesrepublik Deutschland umgelegt auf einen Einwohner (Einwohnerdurchschnittswert EDW)

Leitindikator	Gesamtmenge		EDW		Quelle
KEA (fossil)	12.010.000	TJ/a	145.500	MJ / (EW · a)	(a)
CO <sub>2</sub> (fossil)	871.000.000	Mg / a	10.553	kg / (EW · a)	(a)
NO <sub>x</sub> als NO <sub>2</sub>	1.592.000	Mg / a	19,3	kg / (EW · a)	(a)
Quecksilber (Hg)	31	Mg / a	0,38	g / (EW · a)	(b)
Cadmium (Cd)	11	Mg / a	0,13	g / (EW · a)	(b)

a) Umweltbundesamt - Umweltdaten online; Zahlen für 2001 (Tab.: Emissionen nach Emittentengruppen in Deutschland 1990-2001, Stand April 2003)

b) UBA: Daten zur Umwelt 1996 für das Jahr 1995

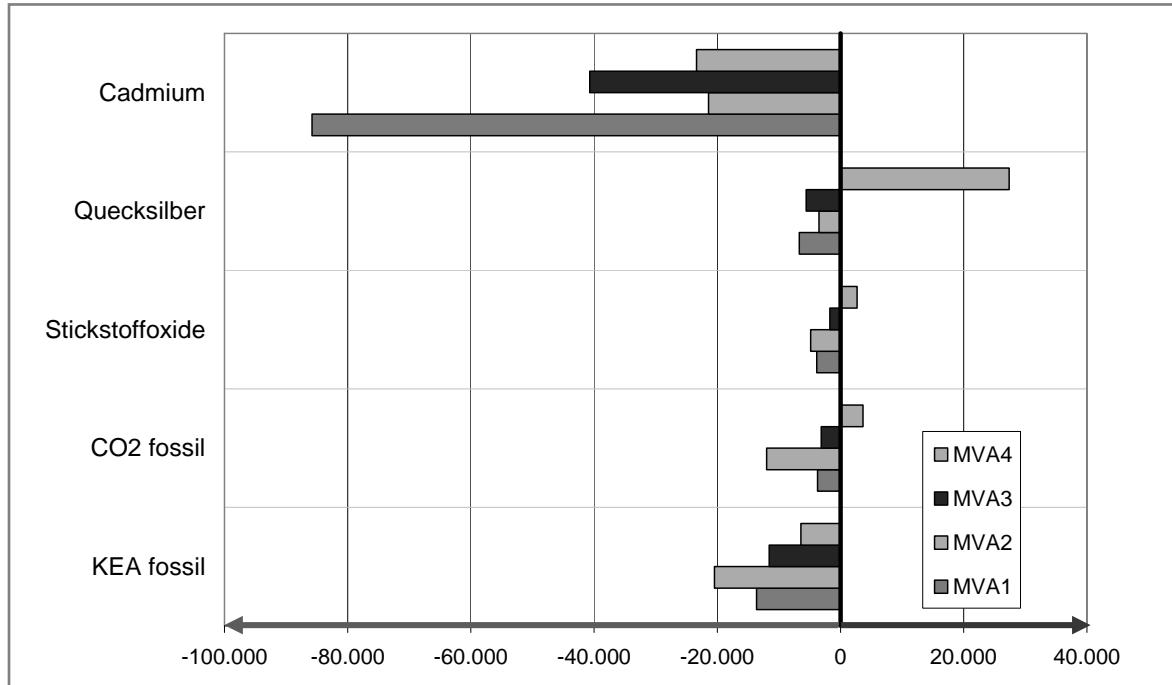


Abbildung 8: Normierung der Nettobilanzen anhand von Einwohnerdurchschnittswerten

## 5 Zusammenführung der Potenziale

Im letzten Schritt wurden Ist- und Optimierungsszenarien anhand von CO<sub>2</sub> und Umweltfaktoren sowie der Kostenanalyse zusammengefasst. Hierzu wurde eine Abschätzung der Potenziale für eine möglichst realitätsnahe Optimierung getroffen und Szenarien dem Ist-Zustand gegenüber gestellt. Dabei zeigte sich, dass auf einer im Mittel bereits aus Umweltseite positiv zu wertenden Ausgangslage,

- eine maßvolle Optimierung der Energieeffizienz (von im Mittel 10% Netto-Stromwirkungsgrad auf 14%, sowie von 30% Wärmenutzung auf 45%),
- eine umfassende Verwertung der Metalle, sowie
- eine teilweise Umsetzung einer weitergehenden Schlackebehandlung

mit einer CO<sub>2</sub>-Minderung im Bereich von rund 3 Mio. Mg/a zu rechnen ist.

In Abbildung 9 werden die Ergebnisse für den ökologischen Leitparameter CO<sub>2</sub> (fossil) dargestellt. Daraus wird ersichtlich, dass ausgehend von der aktuellen Situation (Basis 16 Mio. Tonnen Abfall in Müllverbrennungsanlagen) eine Erhöhung auf 5,2 Mio. Tonnen möglich ist.

Bei den hier vorgestellten Zahlenergebnissen ist zu beachten, dass die Resultate in ihrer absoluten Höhe sehr stark von den Modellannahmen abhängen und somit bei veränderten Annahmen teilweise deutlich variieren können. Vergleicht man die CO<sub>2</sub>-Bilanz hier zum Beispiel mit den Berechnungen aus der Studie von Bilitewski et al.

[2005] im Auftrag der EdDE, so werden dort für eine etwas höhere Abfallmenge (17,8 Mio. Mg/a) für den nicht optimierten Fall Nettoeinsparungen von 3,54 kt CO<sub>2</sub>, für den optimierten Fall (Erhöhung des Stromwirkungsgrads um 3% und der Wärmenutzung um 8%) sogar circa 6 Mio. Mg berechnet. Diese erheblich erscheinenden Unterschiede sind neben der aus den größeren Abfallmengen (circa 10%) resultierenden größeren Energiebereitstellung vorrangig darauf zurückzuführen, dass Bilitewski et al. [2005] die gesamte erzeugte Energie – also auch den Eigenverbrauch an Energie – gutschreiben. Der Eigenverbrauch macht durchschnittlich 20 bis 25% der insgesamt in der Anlage erzeugten Energie aus. Dagegen erhält in der hier vorliegenden Berechnung nur die exportierte Energiemenge eine Gutschrift, was nach Ansicht der Autoren konsistent mit der für Ökobilanzen üblichen Methodik ist. Der Berechnungsweg in der EdDe-Studie orientiert sich dagegen an der Interpretation der R1-Formel des Entwurfs der Abfall-Rahmenrichtlinie, wonach die erzeugte, nicht die exportierte Energie den Kennwert der Effizienzberechnung bildet.

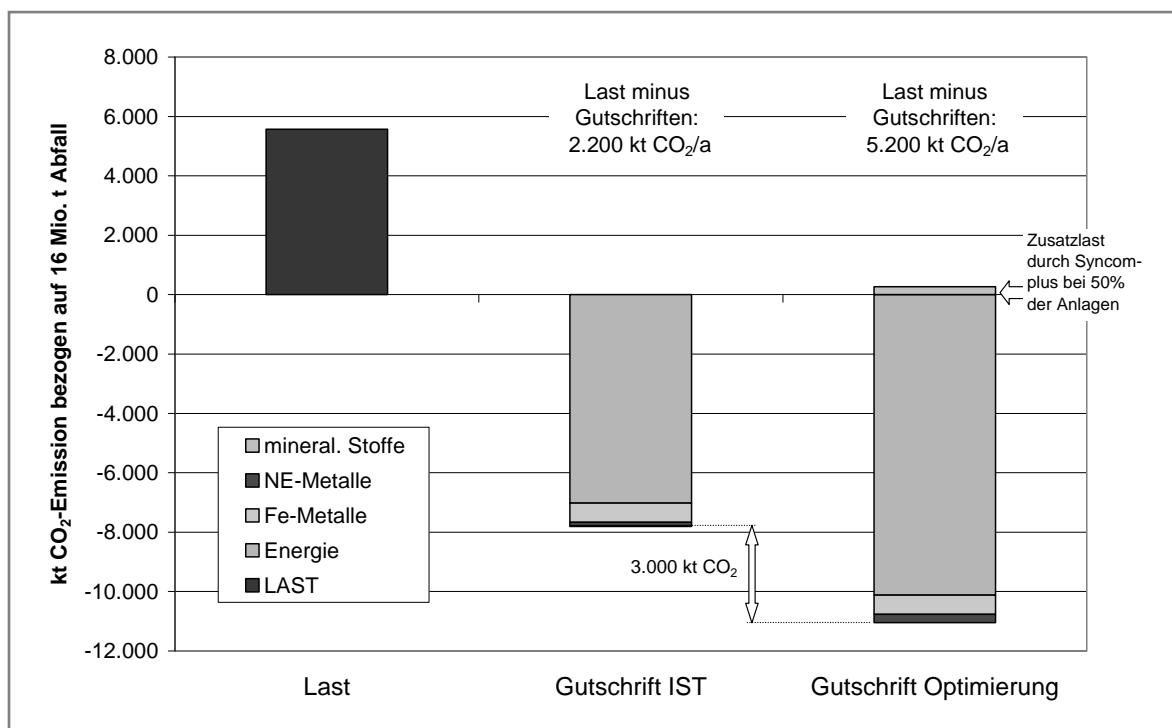


Abbildung 9: Gesamtbilanz CO<sub>2</sub> für den Ist-Stand und die „Optimierungsszenarien Energie und NE-Metalle“ bezogen auf 16 Mio. Mg Abfall pro Jahr

## 6 Handlungsempfehlungen

Als erste Empfehlung liegt die Auslotung und Realisierung der energetischen Optimierungspotenziale auf der Hand. Hierbei ist jede einzelne Anlage für sich zu betrachten. Eine Reihe von Müllverbrennungsanlagen kann bereits als optimal beurteilt werden. Bei anderen werden die Potenziale anlagen- und standortspezifisch gelagert sein.

Von hoher Wichtigkeit ist dabei die Auseinandersetzung mit den räumlich gegebenen Versorgungsstrukturen. Kooperation, so MVA und beispielsweise Stadtwerke nicht bereits in einer Hand liegen, ist hier dringlich geboten, um strukturelle Hemmnisse einer intensivierten Energienutzung auszuräumen.

Im Falle von Anlagenneuplanungen sollten von vorneherein Maßstäbe für eine optimale Energienutzung angesetzt werden. Hier können unter Umständen indirekte Mehrkosten auftreten, wenn ein kostengünstiger Standort (weit außerhalb) eben wegen monetären Gründen von Bauherrenseite unbedingt angestrebt wird.

Zu empfehlen sind auf jeden Fall auch neue Wege der thermischen Nutzung. Fernwärme-Kälte kann unter Umständen einen beträchtlichen Beitrag zur Erhöhung des Nutzungsgrades leisten. Dieser innovative Ansatz erfordert entsprechendes Engagement von Betreiberseite, vor allem auch von der Politik.

Die Politik kann an verschiedenen Stellen unterstützende Funktion für eine umfassende Energieoptimierung einnehmen. Die Anerkennung des Verwerterstatus für energieeffiziente Anlagen gemäß des ersten Entwurfs der Abfallrahmenrichtlinie ist ein solcher Schritt. Des Weiteren bieten auch Fördermaßnahmen im Rahmen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) oder des KWK-Gesetzes denkbare Anreizmöglichkeiten.

Mit Blick auf die stoffliche Verwertung ist der Schlacke als massenrelevanter Stoffstrom auch in Zukunft Aufmerksamkeit zu schenken. Das Ziel in Richtung eines uneingeschränkten Einsatzes ist schon unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit in gewisser Hinsicht vorgezeichnet. Aktuell sind Wege wie der Versatz sicher opportun und vom Prinzip auch zu begrüßen, insofern der Versatz angeordnet ist. Langfristig sollten die technischen Möglichkeiten weiter ausgeschöpft werden, um eine möglichst hohe und langfristig sichere Einbindung potenziell umweltschädlicher Spurenstoffe zu erreichen.

Die Erzeugung von differenzierten und spezifizierten Stoffströmen mit grundsätzlich hochwertigem Verwertungspotenzial (Gips, Salzsäure etc.) ist prinzipiell positiv zu bewerten. Im Kern liegt hierin der Ansatz einer nachhaltigen Stoffwirtschaft mit dem Ziel, primäre Ressourcen zu schonen und endliche Ablagerungsräume (auch Versatzbergwerke) adäquateren Materialströmen zu überlassen. Angesichts der eher geringen Massenströme und der kaum gegebenen Klimarelevanz ist diesem Punkt jedoch keine Priorität einzuräumen.

## 7 Literaturquellen

Fehrenbach, H., Giegrich, J., Mahmood, S. (2008): Beispielhafte Darstellung einer vollständigen, hochwertigen Verwertung in einer MVA unter besonderer Berücksichtigung der Klimarelevanz. Forschungsvorhaben FKZ 205 33 311 des Umweltbundesamtes. Heidelberg 2008.

Bilitewski, B., Schirmer, M., Niestroj, J., Wagner, J. (2005): Ökologische Effekte der Müllverbrennung durch Energienutzung. Studie im Auftrag der Entsorgergemeinschaft der Deutschen Entsorgungswirtschaft e.V. EdDE. Pirna 2005.

BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (1999): Siedlungsabfallentsorgung in Deutschland - Ein Jahr TASi – ab 1. Juni 2005 keine Deponierung unvorbehandelter Abfälle mehr. Bonn 1999.

B. Bilitewski, A.I. Urban, M. Faulstich (Hrsg.)

**13. Fachtagung  
Thermische Abfallbehandlung**

**Einsatz von EBS in industriellen Kraftwerken  
Erfahrungen und Weiterentwicklungen**

Dr. Ralf Borghardt

BKB Premnitz GmbH

Premnitz

Schriftenreihe des  
Fachgebietes Abfalltechnik  
Universität Kassel

## 1 Die BKB Premnitz GmbH

Die BKB Premnitz GmbH betreibt im Industriepark der Stadt Premnitz/Land Brandenburg ein Kraftwerk, das die am Standort ansässigen Industrie- und Gewerbekunden mit Elektroenergie, Dampf und Wasser versorgt. Basis der Energieerzeugung ist eine Wirbelschicht-Feuerungsanlage, in der Ersatzbrennstoffe (aufbereiteter Haus- und Gewerbeabfall) verbrannt werden. Die Absicherung der Energieversorgung erfolgt über vorhandene Dampfkessel, in denen die Brennstoffe Erdgas und Heizöl eingesetzt werden können.

Seit Oktober 2006 befindet sich eine zweite Abfallverbrennungsanlage im Bau. Diese Anlage wird mit einer Rostfeuerung ausgeführt und ist bei einer Feuerungswärmeleistung von 56 MW auf einen Durchsatz von bis zu 150.000 Mg/a ausgelegt. Die Inbetriebnahme erfolgt im Sommer 2008.

Der Anlagenverbund der BKB AG umfasst Standorte mit einer Verbrennungskapazität von aktuell 3 Mio. Mg/a und weiteren 0,5 Mio. Mg/a in Betriebsführung. Die zusätzlich im Bau befindliche Kapazität beträgt rund 1,0 Mio. Mg/a.

## 2 Die zirkulierende Wirbelschichtfeuerung

Die Kesselanlage mit zirkulierender Wirbelschichtfeuerung (ZWSF) und einer Dampfleistung von 60 Mg/h wurde ursprünglich für die Verbrennung von nicht polyamidhaltigen Teppichböden und Teppichresten ausgelegt (Abb. 1 und 2). Die Anlage war Bestandteil des Komplexes „Polyamid 2000 AG“, in der Altteppiche für ein stoffliches Recycling mit dem Endprodukt Polyamid aufbereitet werden sollten. Es war vorgesehen, den im Kesselteil erzeugten Frischdampf in die Sammelschiene des benachbarten Industriekraftwerkes einzuspeisen, so dass die Auslegungsparameter des Dampferzeugers mit 97 bar und 535°C vorgegeben waren.

Die Anlage ging im Jahr 2001 in Betrieb. Nach der Insolvenz der Polyamid 2000 AG übernahm die Energieversorgung Premnitz GmbH (seit 01.05.2006 BKB Premnitz GmbH) zuerst die Betriebsführung der ZWSF und kaufte im Jahr 2004 diese Teilanlage.

Aus Gründen der Vorsorge vor Korrosion und Verschleiß wurden die Dampfparameter schrittweise abgesenkt. Derzeit wird die Anlage mit den Frischdampfparametern 75 bar und 450°C betrieben.



Abbildung 1: Ansicht Kesselhaus der ZWSF Premnitz



Abbildung 2: Rauchgasreinigungsanlagen der ZWSF Premnitz

### 3 Eingesetzte Ersatzbrennstoffe

Die eingesetzten Abfallstoffe stammen überwiegend aus regionalen Aufbereitungsanlagen, die zum Beispiel als Mechanisch-Biologische Abfallbehandlungsanlagen (MBA) konzipiert wurden. Vor der Verwertung in der ZWSF durchlaufen alle Abfallstoffe eine weitere Aufbereitungsanlage, die sich in direkter Nachbarschaft zur ZWSF Premnitz befindet.

Dort erfolgen die Annahmekontrolle der Eingangsmaterialien, Zwischenlagerung, Nachzerkleinerung, Mischung und Homogenisierung. Als letzter Schritt wird vor dem Transport zur ZWSF eine zusätzliche visuelle Kontrolle der EBS durchgeführt, die eine händische Aussortierung von Übergrößen (Holz, Kunststoff, Metalle und NE-Metalle) einschließt.

Nur durch diese umfangreiche Qualitätskontrolle in der Brennstoffaufbereitung kann eine gleichbleibend gute EBS - Qualität gesichert werden.

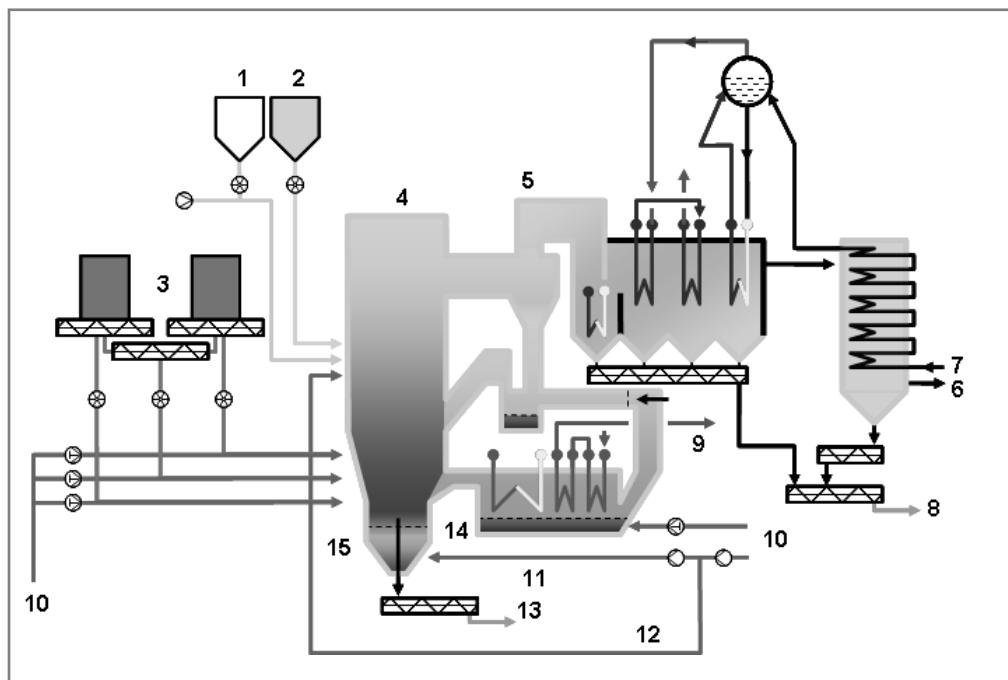
### 4 Technische Ausführung der Zirkulierenden Wirbelschicht

Wesentliche Merkmale der ZWSF Premnitz sind:

- Düsenboden, Durchmesser 2,7 m mit zentralem Ascheabzugsrohr,
- ausgemauerte Brennkammer, Höhe 29 m, Durchmesser 4,5 m,
- ausgemauerter Zyklon mit Nachbrennkammer,
- Ascherückführsystem, bestehend aus Tauchtopf und Fließbettkühler
- Verdampferbündel und Endüberhitzer (Überhitzer 3 und 4) im Fließbettkühler,
- rauchgasseitig zwei nachfolgende Verdampferzüge, wobei sich im 2. Zug zusätzliche Verdampferschotten befinden,
- Abhitzekessel in Horizontalausführung mit Klopfern zur Abreinigung,
- pneumatisches Einblasensystem für Ersatzbrennstoffe.

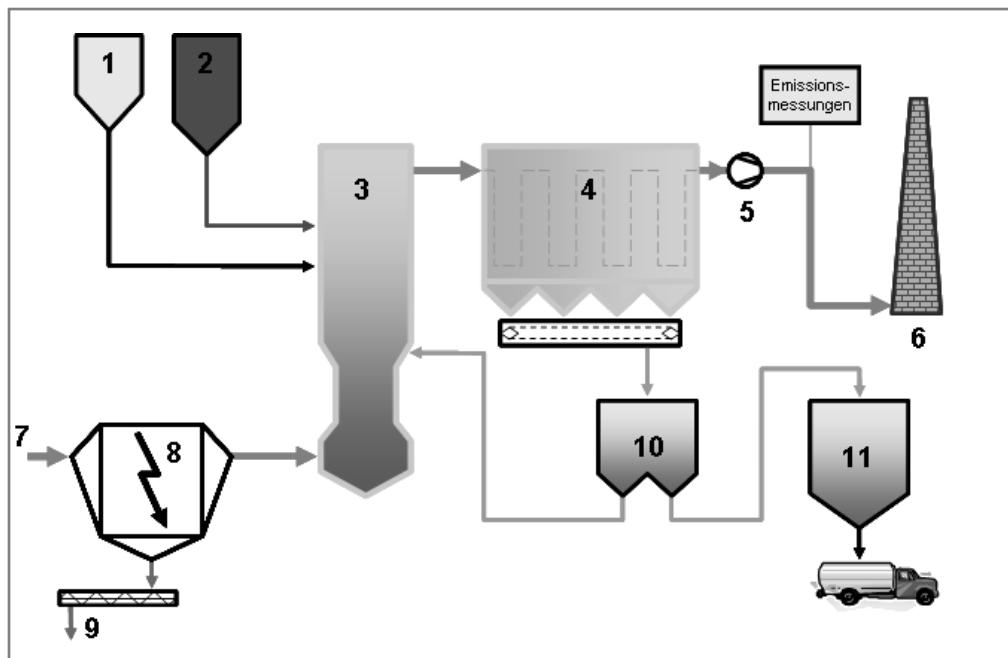
Ein vereinfachtes Verfahrensschema für Feuerung und Kessel ist in Abbildung 3 dargestellt. Abbildung 4 zeigt die Rauchgasreinigungsanlage.

Die ZWSF Premnitz ist in vielen Punkten vergleichbar mit der bereits seit einigen Jahren in Betrieb befindlichen Anlage in Lenzing (Österreich) und der im Jahr 2005 in Betrieb genommenen Anlage in Neumünster. Diese Anlagen sind in diversen Veröffentlichungen [Anderl 2004, Gerdes 2006] ausführlich beschrieben. Vieles kann auf die Anlage in Premnitz übertragen werden.



- |   |                             |    |                         |
|---|-----------------------------|----|-------------------------|
| 1 | Silo für Kalkstein          | 9  | Austritt Frischdampf    |
| 2 | Silo für Sand               | 10 | Förderluft              |
| 3 | Vorlagebehälter für EBS     | 11 | Primärluft (Wirbelluft) |
| 4 | Zylindrischer Reaktor (WBK) | 12 | Sekundärluft            |
| 5 | Zyklon                      | 13 | Bettascheaustrag        |
| 6 | Rauchgas zum Filter         | 14 | Fließbettkühler         |
| 7 | Eintritt Speisewasser       | 15 | Düsenboden              |
| 8 | Flugasche zum Silo          |    |                         |

Abbildung 3: Vereinfachtes Verfahrensschema Feuerung und Kessel



- |   |                       |    |                           |
|---|-----------------------|----|---------------------------|
| 1 | Silo für Herdofenkoks | 7  | Rauchgas vom Kessel       |
| 2 | Silo für Kalkhydrat   | 8  | E-Filter                  |
| 3 | ZWS – Adsorber        | 9  | Flugasche zum Silo        |
| 4 | Gewebefilter          | 10 | Aschevorlagebehälter      |
| 5 | Saugzug               | 11 | Silo für Reaktionsprodukt |
| 6 | Kamin                 |    |                           |

Abbildung 4: Vereinfachtes Verfahrensschema Rauchgasreinigung

Die direkte Zufuhr der Ersatzbrennstoffe beginnt an den beiden Vorlagesilos (Volumen je 100 m<sup>3</sup>), die über jeweils eine umlaufende Austragsschnecke entleert werden. Im Anschluss daran folgen die Verteilschnecken auf die 3 Brennstofflinien, die Zwischenbehälter zur Vergleichmäßigung und Entspannung der Brennstoffe, die gravimetrische Dosierung über Rotordosierwaagen, die Zellenradschleusen und die Einblasleitungen. Dieses komplexe, aber auch störanfällige System setzt einen sehr gut aufbereiteten und von Verunreinigungen möglichst befreiten Brennstoff voraus. Zudem muss der Wassergehalt des Brennstoffes auf < 30 Ma.-% limitiert werden, um Verklebungen und Verbackungen zu vermeiden.

Das Wirbelbett besteht aus umlaufendem Inertmaterial und Brennstoff. Das Inertmaterial wird aus der Brennstofffasche, Sand und Kalkstein gebildet. Übergrößen (zum Beispiel Steine, Glas, Schrott, Drähte) werden kontinuierlich über das zentrale Ascheabzugsrohr abgezogen, abgekühlt und aus dem Prozess ausgeschleust (Abb. 5).



Abbildung 5: Düsenboden mit zentralem Ascheabzugsrohr, darüber Einblasestellen für Ersatzbrennstoffe

Die im Zyklon abgeschiedenen Feststoffe werden zum größten Teil über einen als Siphon ausgeführten Tauchtopf ohne Abkühlung in die Wirbelbrennkammer zurückgeführt. Die Temperatur in der Brennkammer wird über die Menge der rezirkulierten „kalten“ Asche geregelt. Diese Aschemenge wird über die Stellung eines so genannten Spießes (Abb. 6) eingestellt. Die Asche strömt durch den Fließbettkühler, welcher aus einer Leerkammer, einer Überhitzerkammer und einer Verdampferkammer besteht. In der Überhitzerkammer sind die Heizflächen der Überhitzer 3 und 4 untergebracht. Die Asche gelangt mit Temperaturen von 550 bis 650°C in die Brennkammer zurück und bewirkt die notwendige Abkühlung in diesem Bereich.

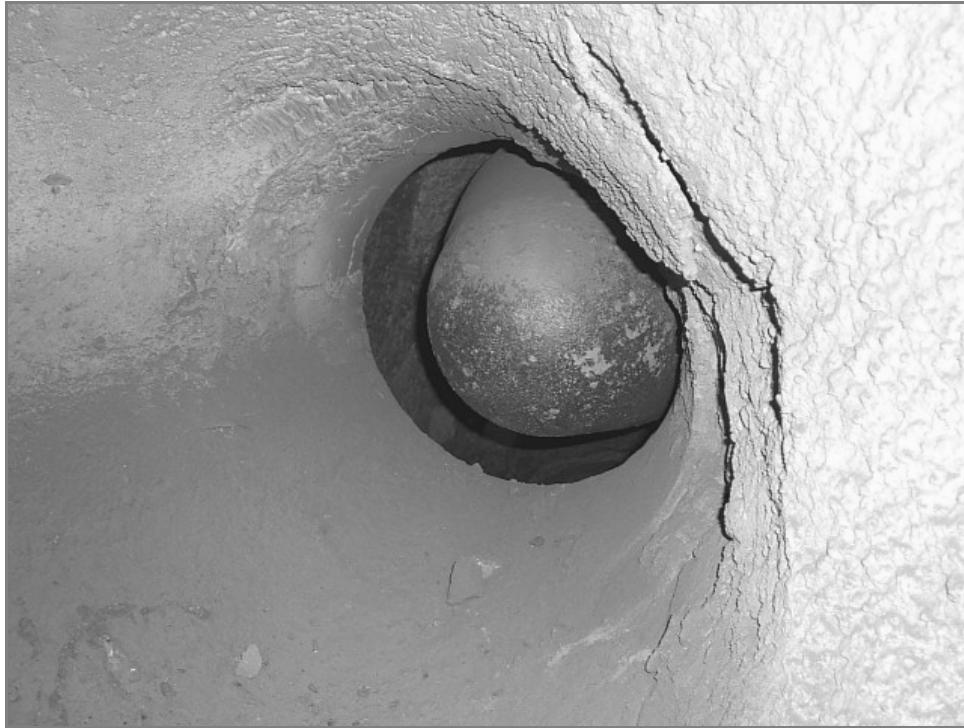


Abbildung 6: Spieß zur Regelung des Aschestromes in den Fließbettkühler

Das heiße Rauchgas durchströmt nach dem Zyklon eine Nachbrennkammer, in der auch ein gasbetriebener Nachbrenner zur Einhaltung der Temperaturen nach 17. BImSchV installiert ist. Danach folgen die beiden Verdampferzüge in Membranwand-ausführung und der Horizontalzug. In den beiden Verdampferzügen sind keine Heizflächenreinigungseinrichtungen vorhanden. Die Heizflächen im Horizontalzug werden durch Klopfer gereinigt. Die weitere Abkühlung der Rauchgase erfolgt in einem nachfolgend angeordneten Economiser, so dass die Rauchgase mit 160 – 170 °C zur Rauchgasreinigungsanlage gelangen. Die Rauchgasreinigung ist zur Einhaltung der Grenzwerte nach 17. BImSchV ausgelegt und besteht aus einem Elektrofilter als Vorabscheider, einem Reaktorsystem zur Zugabe und Einmischung von Kalkhydrat und Herdofenkoks mit der Möglichkeit der Befeuchtung des Rauchgases und dem Gewebefilter. Das Reaktionsprodukt wird mehrfach rezirkuliert. Damit ist eine sehr gute Ausnutzung des freien Kalkanteils möglich.

## 5 Betriebserfahrungen

Die ZWSF Premnitz erreicht bislang Verfügbarkeiten in der Größenordnung von 7.400 - 7.500 h/a. Den Haupteinfluss auf die Verfügbarkeit der ZWSF Premnitz haben die folgenden Punkte:

- Qualität der eingesetzten Brennstoffe (insbesondere Aufbereitung),
- Standzeiten der Überhitzer.

Die Qualität der eingesetzten EBS ist bestimmd für die Dosierbarkeit (pneumatischer Transport in die Brennkammer hinein) und für einen störungsfreien Abzug der Grobaschen. Weiterhin beeinflussen Störstoffe im EBS (Steine, FE-Metalle, NE-Metalle) die Standzeit der Luftdüsen wesentlich. Abbildung 7 zeigt die Auswirkungen dieser Störstoffe. Nach 4.000 Betriebsstunden sind die Düsen vollkommen verschlissen, weiterhin ist die Durchlässigkeit für die Verbrennungsluft stark eingeschränkt.



Abbildung 7: Düsen nach 4000 Stunden Betrieb mit Verstopfungen



Abbildung 8: Detailansicht der Düsenköpfe

Eine Besonderheit der genannten ZWSF-Anlagen ist die Verwendung eines Fließbettkühlers. Den theoretischen Vorteilen dieses Bauteiles zur Erreichung hoher Dampfparameter und zur Einhaltung konstanter Brennkammertemperaturen steht der Nachteil der Verschleißanfälligkeit gegenüber. Hauptursache ist sicherlich die Erosion, welche durch die heiße Umlaufasche hervorgerufen wird. Die horizontale Bewegung der Asche von der Leerkammer zurück zur Brennkammer wird noch durch die vertikale Bewegung des in den einzelnen Kammern erzeugten stationären Wirbelbettes unterstützt. Konstruktive Änderungen der Endüberhitzer haben bereits zu einer deutlichen Verbesserung des Verschleißverhaltens geführt. Insbesondere wurde die Gestaltung der Heizflächen deutlich vereinfacht und im Rahmen der Absenkung der Dampfparameter eine Reduzierung der Heizflächengröße auf etwa 50% realisiert (Abb. 9).



Abbildung 9: Überhitzer 3 und 4 während des Einbaus (links) und modifizierte Heizfläche im Überhitzer 3 (rechts)

Bemerkenswert ist der hohe Wärmeübergang der Endüberhitzer 3 und 4. Bei einer Heizfläche von nur  $60 \text{ m}^2$  wird eine Temperaturerhöhung des Dampfes von  $300^\circ\text{C}$  auf  $450^\circ\text{C}$  erreicht.

Die vorgelagerten Überhitzer 1 und 2 sind dagegen konventionell im Horizontalzug des Abhitzekessels angeordnet. An den Rohren der Überhitzer, insbesondere an den in Anströmrichtung ersten Rohrreihen, waren mit Beginn des Einsatzes von EBS starke Korrosions- und Erosionserscheinungen zu erkennen. Die Standzeit der Rohre reduzierte sich auf wenige Monate.

Als Gegenmaßnahme wurden auch hier 50% der Heizfläche entfernt. Dabei wurde die Rohrteilung von 120 mm auf 240 mm vergrößert, womit die Erosion nachließ. Gleichzeitig wurde die Austrittstemperatur je Überhitzer von  $350^\circ\text{C}$  auf  $325^\circ\text{C}$  verringert, um der Korrosion entgegen zu wirken.

## 6 Emissionen

Ein wesentlicher Vorteil der ZWSF ist der hervorragende Ausbrand der Rauchgase und der Aschen. Durch das gleichmäßige Temperaturprofil über alle Verbrennungszonen (Reaktor + Zyklon + Nachbrennkammer) bei Temperaturen von 850 - 870 °C sind die CO-Emissionen äußerst gering. Dies gilt auch für Kohlenwasserstoff-Verbindungen. Gleichzeitig ergeben sich sehr geringe NOx-Emissionen, so dass der Grenzwert nach 17. BImSchV im Normalbetrieb ohne Zugabe von Additiven, wie Ammoniak oder Harnstofflösung, eingehalten werden kann.

Die eingesetzte Rauchgasreinigungsanlage sichert zuverlässig die Einhaltung der Grenzwerte nach 17. BImSchV.

Maßgeblich für die Zudosierung von Kalkhydrat ist der HCl-Gehalt im Reingas. Neben der ausreichenden Zudosierung von Kalkhydrat ist die Rezirkulation der Reststoffe zur Ausnutzung der freien Kalkanteile und zur Einhaltung der Grenzwerte zwingend notwendig.

## 7 Qualitätskontrolle der Ersatzbrennstoffe

Die eingesetzten Abfallstoffe stammen überwiegend aus regionalen Aufbereitungsanlagen, wie zum Beispiel aus Mechanisch-Biologischen Abfallbehandlungsanlagen (MBA).

Die kraftwerkseigene Qualitätskontrolle beginnt bei der Anlieferung, wo von jedem Fahrzeug Proben genommen werden. Die Mischproben einer Woche werden je Lieferant zusammengefasst und analysiert.

Wesentliche Kenngrößen für die Bewertung der EBS sind:

- Chlorgehalt,
- Wasser- und Aschegehalt und
- Schwermetalle.

In Tabelle 1 ist beispielhaft eine statistische Auswertung der EBS-Analysen der Jahre 2006 und 2007 für die beiden Hauptlieferanten (bezeichnet als Lieferant 1 und Lieferant 2) zusammengefasst.

Tabelle 1: Analysen der Ersatzbrennstoffe, Jahre 2006 und 2007

Kenngröße	Einheit	Lieferant 1		Lieferant 2	
		Durchschnitt	Median	Durchschnitt	Median
Heizwert	MJ/kg, i.roh.	12,5	12,4	16,3	16,2
Wasser	Ma%, i.roh.	30,7	30,6	20,0	19,4
Asche	Ma%, i.roh.	13,0	12,8	13,0	12,8
Kohlenstoff	Ma%, i.roh.	32,6	32,8	40,5	40,7
Chlor	Ma%, i.roh.	0,34	0,29	0,44	0,38
Blei	mg/kg, i. TS	136	108	146	120
Chrom	mg/kg, i. TS	75	38	68	60
Kupfer	mg/kg, i. TS	111	74	302	131
Zink	mg/kg, i. TS	518	431	595	528

Beispielhaft sind der Verlauf des Wassergehaltes (Abb. 10) und des Heizwertes (Abb. 11) über ein Jahr dargestellt.

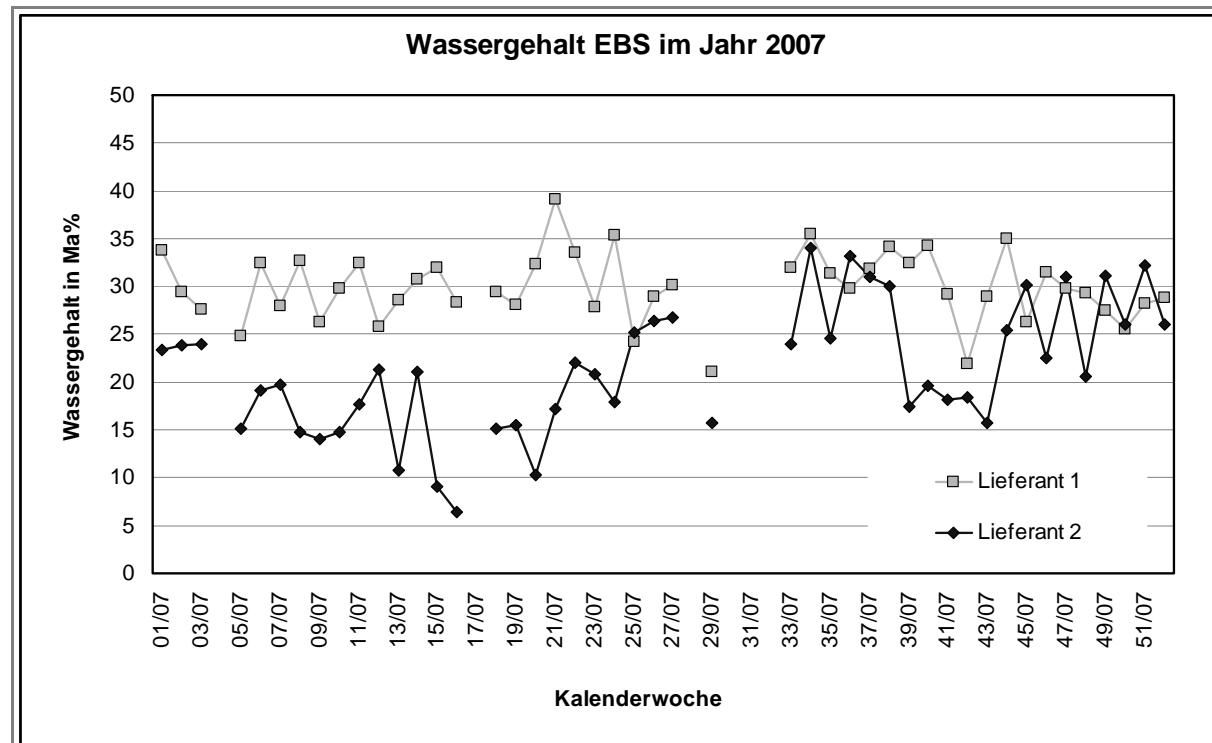


Abbildung 10: Verlauf Wassergehalt im Ersatzbrennstoff im Jahr 2007

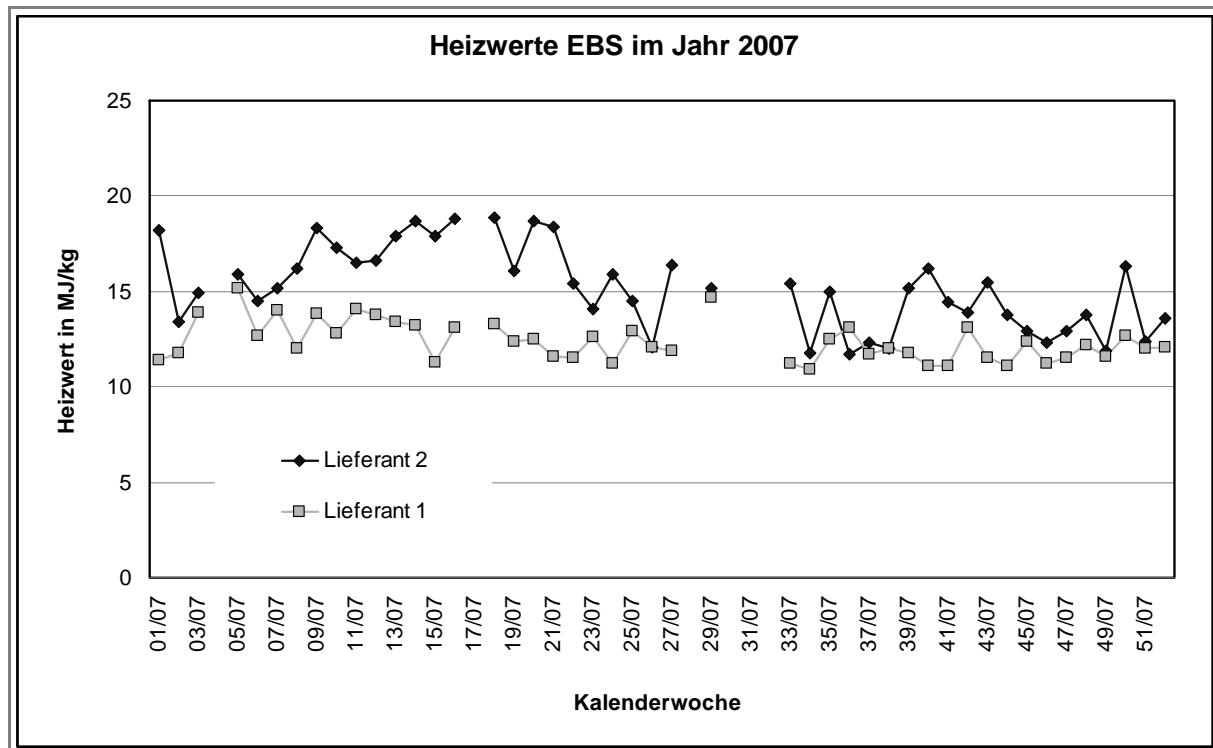


Abbildung 11: Verlauf Heizwert des Ersatzbrennstoffs im Jahr 2007

## 8 Neubau einer Verbrennungsanlage mit Rostfeuerung

Mit der im Bau befindlichen Verbrennungsanlage wird die Erneuerung des Kraftwerkes bei gleichzeitiger Nutzung vorhandener Synergien fortgeführt. Die Auswahl der Technologie Rostfeuerung anstelle der bereits vorhandenen Wirbelschichtfeuerung geschah aus folgenden Gründen:

- Umfangreiche Erfahrungen innerhalb der BKB AG mit rostgefeuerten Abfallverbrennungsanlagen [Büchner 2007],
- Reduzierung des Aufbereitungsaufwandes für die Abfallstoffe,
- Nutzung der Möglichkeit, hoch- und niedrigkalorische Abfallstoffe in die jeweils optimierte Anlage (Wirbelschicht- oder Rostfeuerung) zu steuern.

Der technische Aufbau der Anlage ist in Veröffentlichungen [Heinig 2007] bereits umfangreich dokumentiert. Der Dampfkessel wurde auf die klassischen Parameter 40 bar und 400°C bei einer Dampfleistung von 60 Mg/h ausgelegt. Die Energienutzung erfolgt über eine vorhandene Entnahme - Kondensationsdampfturbine mit wassergekühltem Kondensator. Über die Turbinenentnahme kann Heizdampf mit einem Druck von 3 bar ausgekoppelt werden. Die Rauchgasreinigungsanlage arbeitet mit einer Kombination von Sprühabsorption (Zugabe von Kalkmilch), Partikelkonditionierung (Zugabe von Kalkhydrat), Gewebefilter und Rezirkulation von Reaktionsprodukt [Margraf 2007].

Die Inbetriebnahme der Anlage wird im Sommer 2008 erfolgen.

## **9 Zusammenfassung**

Die ZWSF Premnitz ist durch die Anbindung an ein bestehendes Industriekraftwerk auf hohe Dampfparameter ausgelegt. Als Brennstoffe werden Ersatzbrennstoffe mit hohen Heizwerten und zum Teil beträchtlichem Chlorgehalt eingesetzt. Die Kombination dieser drei Randbedingungen war und ist ein Problem.

Wesentliche Nachteile der ZWSF beim Einsatz von Ersatzbrennstoffen sind die noch nicht ausreichende Verfügbarkeit und der hohe apparative und finanzielle Aufwand für die Brennstoffaufbereitung.

Die Wirbelschichtfeuerung ist aber ein sehr geeignetes Feuerungsprinzip, wenn gut aufbereitete Brennstoffe zur Verfügung gestellt werden. Dann können auch sehr unterschiedliche Brennstoffe im Mix eingesetzt werden. Heizwertschwankungen zwischen 13 - 20 MJ/kg können gut ausgeregelt werden. Somit ergänzt die Wirbelschichtfeuerung sehr gut die Palette der am Markt angebotenen Feuerungssysteme.

## **10 Literaturverzeichnis**

Anderl, H.; Offenbacher, E.; Ortner, T. (2004): Thermal Treatment of waste fuels in CFB boilers - latest design and experience, ISWA 2004

Gerdes, R.; Offenbacher, E. (2006): Verbrennung von Abfallstoffen in der zirkulierenden Wirbelschicht. In: Thome-Kozmiensky, Beckmann; Energie aus Abfall, Band 1, TK Verlag 2006

Büchner, H. P. (2007): Evolutionäre Anlagenentwicklung auf der Basis von Erfahrungen. In: Thome-Kozmiensky, Beckmann; Energie aus Abfall, Band 2, TK Verlag 2007

Heinig, H. (2007): Sicherung der Energieversorgung für den Industriestandort Premnitz. In: Thome-Kozmiensky, Beckmann; Energie aus Abfall, Band 3, TK Verlag 2007

Margraf, R. (2007): Konzepte für die Abgasreinigung am Beispiel der Abfallverbrennung in Premnitz. In: Thome-Kozmiensky, Beckmann; Energie aus Abfall, Band 2, TK Verlag 2007



B. Bilitewski, A.I. Urban, M. Faulstich (Hrsg.)

**13. Fachtagung  
Thermische Abfallbehandlung**

**Thermische Abfallbehandlung bei EnBW**

Dr. Michael Pförtner  
EnBW Energie Baden-Württemberg AG  
Karlsruhe

Schriftenreihe des  
Fachgebietes Abfalltechnik  
Universität Kassel

## 1 Ausgangslage

Die EnBW ist seit über 40 Jahren sehr erfolgreich in der thermischen Abfallbehandlung tätig. Sie hat mit ihren Aktivitäten in der thermischen Abfallbehandlung ihren regionalen Schwerpunkt vorwiegend in Baden-Württemberg und ist über Beteiligungen in Nordrhein-Westfalen und in Österreich und Ungarn vertreten.

Der Konzern verfügt im In- und Ausland inklusive der Beteiligungen über jährliche Entsorgungskapazitäten in thermischen Anlagen zur Abfallbehandlung von insgesamt knapp 1,9 Mio. Tonnen.

Auf der Stoffstromseite ist die EnBW einer der großen Stoffstrommanager in Deutschland mit Aktivitäten im Ausland. Die Entsorgungsunternehmen der EnBW und deren Beteiligungen akquirieren, strukturieren, bündeln Abfallströme, organisieren die Logistik und entsorgen jährlich ca. 2,3 Mio. Tonnen Abfälle, davon in Deutschland über 1,7 Mio. Tonnen und im benachbarten Ausland circa 600.000 Mg/a. Zentrale Führungsgesellschaft für das Stoffstromgeschäft ist die EnBW Waste Management GmbH mit der Tochter T-plus GmbH. Zusätzlich koordiniert sie weitere Stoffstromgeschäfte mit den Schwesterunternehmen EnBW Kraftwerke AG (Kraftwerksbetrieb Müllheizkraftwerke) und AWISTA GmbH (für die Region NRW und Düsseldorf).

In dem Geschäftsbereich Entsorgung wird mit etwa 1.400 Mitarbeitern ein Jahresumsatz von rund 450 Mio. € erzielt. Vor diesem Hintergrund ist die EnBW in Deutschland seit langem einer der größten Player im deutschen Markt der thermischen Abfallbehandlung und sie ist in diesem Markt auch im Ausland über Beteiligungen vertreten. EnBW definiert die thermische Abfallbehandlung zur Strom- und Wärmeerzeugung als Kraftwerksgeschäft und als Bestandteil ihres übergeordneten Geschäftsmodells.

## 2 Die Transformation und die Restrukturierung des Entsorgungsgeschäftes

In der Vergangenheit war es das Ziel der Energieversorgungsunternehmen, die komplette Wertschöpfungsstufe des Abfallgeschäftes im Konzern abzubilden. Dieses frühere Geschäftsmodell war ursprünglich in der Wahrnehmung der Energieversorgungsunternehmen als Komplettanbieter für Kommunen, große Industrie- und Gewerbe Kunden und für Massenkunden begründet. Die Energieversorgungsunternehmen haben sich in den achtziger und neunziger Jahren des letzten Jahrhunderts als Multi-Utility Versorgungsunternehmen für die verschiedenen Kundengruppen definiert. So haben die „Versorger“ ihren Kunden - den Landkreisen, den Gemeinden, den Industrie- und Gewerbe Kunden, die sie bereits mit Strom und oft auch mit Gas versorgt haben – zusätzlich die ganzheitliche Lösung des Abfallproblems angeboten. Dahinter verbarg

---

sich ein überaus komplexes und herausforderndes Geschäftsmodell, das die komplette Wertschöpfungsstufe des Abfallgeschäftes abdeckte.

Die Umsetzung dieses Modells bei EnBW fand in der Bildung und im Aufbau der U-plus Umweltservice AG ihren Ausdruck. Die U-plus war zeitweise auf der kompletten Wertschöpfungsstufe des Abfallgeschäftes vertreten. Sie hat für die Gemeinden Hausmüll, für die Gewerbekunden Gewerbeabfälle mit Sammelfahrzeugen eingesammelt, transportiert, in entsprechenden Sortieranlagen in die verschiedenen Wertstoffe getrennt, sie hat die verschiedenen Abfälle in Recyclinganlagen bearbeitet und zu neuen Wertstoffen aufbereitet, ferner Hausmüllabfälle mit sehr innovativen Verfahren bearbeitet mit dem Ziel, die inerten Fraktionen einer Deponierung zuzuführen und vieles mehr. Dieses breit gefächerte Angebot bedurfte eines mindestens ebenso breit angelegten und umfassenden Knowhows in technischer, prozessualer, organisatorischer und personeller Hinsicht mit den entsprechenden Managementkapazitäten und -strukturen. Innerhalb des Geschäftsbereiches sind komplexe Prozesse entstanden, die für den Konzern in zunehmendem Maße Steuerungsprobleme des Teilkonzerns und dessen Geschäftsmodells mit sich brachten.

Als Innovationsführer unter den Energieunternehmen hat die EnBW vor etwa zehn Jahren damit begonnen, in innovative Abfallentsorgungstechnologien zu investieren. So wurden zum Beispiel nennenswerte Investitionen in zwei mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen nach dem ISKA-Prinzip (Integriertes Stoff- und Kundenorientiertes Abfallwirtschaftskonzept) getätigt. Diese Anlagen haben sich in der realiter vorhandenen Auslegung unter anderem wegen technischer Unzulänglichkeiten, aber auch und nicht zuletzt wegen der in Deutschland geltenden strengen Abfallablagerrungsvorschriften als nicht erfolgreich herausgestellt. Darüber hinaus hätten die Anlagen nicht wirtschaftlich betrieben werden können.

In der Energiebranche vollzog sich sukzessive im Laufe der ersten Hälfte dieses Jahrzehnts in Bezug auf das Geschäftsmodell ein Strategiewechsel. Die „Energieversorger“ haben sich in der Vergangenheit von kerngeschäftsfremden Geschäftsfeldern, wie der Telekommunikation, der Sammlung, dem Transport und dem Recyceln von Abfällen getrennt und die Erlöse in das Kerngeschäft, den Betrieb von Netzen und von Kraftwerken, investiert. In diesem Zuge hat sich die EnBW 2007 im Rahmen eines Verkaufs von der U-plus getrennt.

Der Geschäftsbereich Entsorgung der EnBW hat sich in den vergangenen Jahren grundlegend geändert: Das eher arbeitsintensive Geschäft des Sammelns, Transportierens, Sortierens, Recyclings von Abfällen wurde desinvestiert, die Abfallstoffströme im Konzern wurden neu strukturiert, die thermischen Abfallbehandlungskapazitäten wurden durch die Inbetriebnahme zweier neuer Kessel im Restmüll-Heizkraftwerk in Stuttgart-Münster ausgebaut und der Fokus liegt heute auf der thermischen Abfallbehandlung in überwiegend eigenen Anlagen zur Strom- und Wärmeerzeugung.

### 3 Der Rückzug aus der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung

Das damalige Geschäftsmodell der früheren Tochtergesellschaft der U-plus sah vor, dass die T-plus im Teilkonzern U-plus das Geschäftsfeld Hausmüllentsorgung übernehmen sollte. Dies umfasste die Akquisition und die Behandlung von Hausmüllabfällen mit dem Schwerpunkt in Baden-Württemberg. Zu diesem Zweck wurden unter anderem die mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen (MBA) in Heilbronn und in Buchen mit einer Durchsatzkapazität von insgesamt 220.000 Mg/a gebaut und 2005 in Betrieb genommen. Es gab bereits im Anfangsstadium der Inbetriebnahme technische und wirtschaftliche Probleme. In technischer Hinsicht gab es eine schwere mechanische Havarie an den Perkolatoren. In den Perkolatoren wurde der zuvor ausgesortierte und zerkleinerte Hausmüll „gewaschen“. Die Perkolatoren hatten unter anderem den Zweck, den Zeitraum und den Prozess des Schadstoffabbaus zu verkürzen und somit die nachgelagerte Rottedauer zu straffen. Es gab des Weiteren technische Probleme mit der RTO-Anlage zur regenerativen thermischen Oxidation. RTO-Anlagen werden im Rahmen der Erfüllung von Auflagen der 30. Verordnung zum Bundesimmissionsschutzgesetz zur Verringerung von gasförmigen organischen Emissionen in mechanisch-biologische Anlagen zur Hausmüllaufbereitung integriert [Neese et. al. 2006]. Es traten sowohl werkstoffseitig (Korrosion), als auch im Hinblick auf die Kapazitäten der RTO Unzulänglichkeiten auf. Ferner gab es immer wieder technische Vorfälle bei den Zerkleinerern, den Förderbändern, dem eigentlichen Rotteprozess und den Fermentern. Darüber hinaus traten zahlreiche, weitere technische Herausforderungen auf.

Die akkumulierten technischen Probleme führten dazu, dass der Prozess des Schadstoffabbaus (vor allem das Erreichen der gesetzlich vorgeschriebenen Abfallablagierungskriterien, zum Beispiel der AT4- und  $TOC_{ELUAT}$ -Werte) nicht zuverlässig und zielgerichtet ablief. Die gesetzlich vorgeschriebenen Abfallablagierungskriterien konnten im Rahmen des Betriebsprozesses mit den so konfigurierten Anlagen nicht sicher, zuverlässig und nachhaltig erreicht werden. Selbst nach einer potentiellen Nachinvestition in zweistelliger Millionenhöhe (circa 40% des ursprünglichen Investitionsvolumens) konnte kein zuverlässiger Betriebsprozess mit den geplanten Durchsätzen (das heißt keine dauerhaften technischen Pannen, keine unzumutbaren Geruchsemissionen, ein nachhaltiges und sicheres Erreichen der gesetzlich vorgeschriebenen Abfallablagierungskriterien) mit einer halbwegs hohen Wahrscheinlichkeit von den technisch Sachverständigen zugesagt werden.

Auf einem ganz anderen Blatt stand die wirtschaftliche Bewertung. Die Abweichungen der Betriebs-Ist-Kosten von den Plankosten beider Anlagen lagen (ohne Kapitalkosten) im dreistelligen prozentualen Bereich, was dazu führte, dass jede Tonne Hausmüll, die den Betriebsprozess der Anlage durchlief, zu hohen Verlusten führte. Diese wären bei einer Nachinvestition unter dem Strich noch gestiegen. Das hat den Gesellschafter

---

EnBW dazu veranlasst, die Anlagen zu schließen und abzuschreiben und den Hausmüll der Vertragspartner in anderen Müllverbrennungsanlagen ersatzweise zu entsorgen. Die EnBW hat in diesem Zuge dafür gesorgt, dass die Entsorgung der Hausmüllabfälle jederzeit durch eine seriöse und zuverlässige Lösung gewährleistet wurde und die Vertragspartner, zahlreiche Landkreise in Baden-Württemberg, somit ihrer Entsorgungsverpflichtung nach Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz sicher nachkamen. Sie hat stets und konsequent ihre vertraglichen Zusagen erfüllt und wird dies auch weiterhin tun.

Die EnBW ist aus den geschilderten Gründen aus der Technologie der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung ausgestiegen. Die Erfahrungen der EnBW zeigen, dass im Falle einer solchen massiven Problemanhäufung mit einer mechanisch-biologischen Anlage ein starker, kompetenter und strategischer Partner in der Lage ist, mit seinen Kommunen und Landkreisen, das Entsorgungsproblem zuverlässig, nachhaltig und erfolgreich zu lösen. Sollten einmal andernorts bei Kommunen, Landkreisen oder Industrieunternehmen ähnliche Probleme mit mechanisch-biologischen Anlagen auftreten, könnte die EnBW diese bewiesene Problemlösungskompetenz einbringen.

## 4 Die Konzentration auf die thermische Abfallbehandlung

### 4.1 Der Markt für thermische Abfallbehandlung

Es wird in Fachkreisen und in der Öffentlichkeit viel über das zu erwartende langfristige so genannte Markt(un)gleichgewicht auf dem Markt für die thermische Abfallbehandlung diskutiert und spekuliert [Alwast 2005, Kaufmann & Heinemann 2007, Rethmann 2007, Trendresearch 2006]. Erstens sei hier aus ökonomischer und ordnungspolitischer Sicht eine Bemerkung den folgenden Ausführungen vorausgeschickt: Aus gesamtwirtschaftlicher Sicht können in einer Marktwirtschaft die langfristigen zukünftigen Kapazitäten (Angebot) und Mengen (Nachfrage) eines Gutes zwar prognostiziert, jedoch nicht mit Sicherheit vorhergesagt werden. Das langfristige Gleichgewicht wird in funktionierenden Märkten durch Angebot und Nachfrage, den Preismechanismus und die wirtschaftspolitischen Rahmenbedingungen (wie Eigentumsrechte, Investitions- sicherheit, Preisstabilität etc.) bestimmt. Dies gilt für den Markt für Automobile, für Elektronikgüter, für Lebensmittel genauso wie für Aktien, Flugtickets und den Markt für thermische Abfallbehandlung. Insofern lautet die erste Quintessenz: Keiner weiß sicher, ob es in 5 oder 10 Jahren bei den Anlagen für thermische Abfallbehandlung Über-, Unterkapazitäten oder ein Gleichgewicht geben wird. Wenn wir uns auch noch so bemühen, wir werden es heute nicht herausfinden. Damit haben wir es im Falle einer Investition in thermische Anlagen zur Abfallbehandlung mit einer typischen unternehmerischen Entscheidungssituation unter Unsicherheit zu tun.

Zweitens sprechen jedoch einige Anhaltspunkte und Argumente dafür, dass sich der Markt mittel- bis langfristig bei einem Gleichgewicht zwischen Abfallmengen (zum Beispiel Nachfrage nach Kapazitäten) und Anlagenkapazitäten (Angebot von Kapazitäten) einpendeln wird, wenn die Politik die richtigen Rahmenbedingungen setzt. Dazu gehören eine berechenbare Abfallpolitik und eine zuverlässige und stetige Abfallgesetzgebung auf europäischer, Bundes-, Landes- und kommunaler Ebene. Aus Investorensicht ist eine Neubewertung des Beitrags der thermischen Abfallbehandlung zum Klimaschutz im Bewusstsein der Öffentlichkeit und der Bevölkerung genau so wie eine Erhöhung der Akzeptanz bei der kommunalen und regionalen Flächennutzungsplanung erforderlich.

Die häufig prognostizierte Inflation des Baus von EBS-Projekten und die damit verbundene Prophezeiung von Überkapazitäten übersieht, dass die Investitionen in thermische Abfallbehandlungsanlagen hohe Kapitalbeträge erfordern, die bei Erreichen eines Betriebsgrößenoptimums meistens im dreistelligen Millionenbereich liegen. Kompetente Investoren, wie zum Beispiel die Energieunternehmen, werden diese Investitionen nur tätigen, wenn sie die Abfallstoffstromseite, das heißt die Brennstoffbeschaffung für das geplante Müllheizkraftwerk oder das Ersatzbrennstoffkraftwerk, beherrschen. Zuverlässige Stoffstromlieferanten werden ihrerseits ein Interesse daran haben, langfristige Lieferverträge nur mit renommierten und kompetenten Kraftwerksbetreibern beziehungsweise Investoren abzuschließen, weil sie andernfalls Gefahr laufen, dass ihr Geschäftsmodell in einigen Jahren mangels Anlagenverfügbarkeit gefährdet ist. Daneben ist die Entwicklungs- und Genehmigungsfähigkeit eines Standortes eine *conditio sine qua non*.

In dieser Konstellation spielt zwar einerseits der Preis eine wichtige Rolle, es geht aber andererseits auch um qualitative Aspekte eines Investments bzw. einer Partnerschaft. Zu Letzteren gehören Zuverlässigkeit, technische Kompetenz, eine hohe Reputation und eine sehr gute Bonität. Der Investor benötigt vor allem das Vertrauen der finanzierenden Banken in seine Reputation, seine Problemlösungskompetenz und in sein Geschäftsmodell. Bereits wegen dieses Aspektes werden viele angekündigte Projekte scheitern. Hinzu kommt eine restriktivere Kreditvergabepolitik der Kreditinstitute, infolgedessen einige diskutierte Projekte mangels Stellung von Sicherheiten abgebrochen werden [Europäische Zentralbank 2008]. Vor diesem Hintergrund werden zahlreiche angekündigte Bauprojekte entweder nicht das Stadium der Bauphase oder - was keinem Investor zu wünschen ist - nach Baubeginn nicht das Stadium einer erfolgreichen Inbetriebnahme erreichen.

Der Versuch einer quantitativen Analyse und Prognose kann zwar eine Orientierung in Bezug auf eine Investitionsüberlegung bieten. Eine zentral- und planwirtschaftliche Analyse von Daten zu künftigen Mengen und Anlagenkapazitäten kann aber keinesfalls ein ausschlaggebendes Kriterium für eine Investitionsentscheidung sein. Aus Sicht der EnBW sind die Faktoren realisierbarer Standort, Brennstofflieferung durch einen

renommierten Partner und zuverlässige Technik die kritischen Erfolgsfaktoren. Wenn diese beherrscht werden, wird sich ein Projekt langfristig rechnen. Auf dieser Basis ist eine Investitionsentscheidung sinnvoll.

## 4.2 Die Geschäftsaktivitäten des Entsorgungsbereiches der EnBW

Wie eingangs kurz beschrieben, verfügt der EnBW Konzern mit seinen Beteiligungen im In- und Ausland über jährliche Entsorgungskapazitäten in thermischen Anlagen zur Abfallbehandlung in Höhe von insgesamt knapp 1,9 Mio. Tonnen. Auf der Stoffstromseite strukturiert der Konzern über jährlich rund 2,3 Mio. Tonnen Abfälle aus Haus- und Gewerbemüll. Der Geschäftsbereich macht einen Jahresumsatz in Höhe von rund 450 Mio. € und beschäftigt circa 1.400 Mitarbeiter.

Wesentliche Gesellschaften sind dabei die EnBW Waste Management GmbH mit ihrer Tochter, die EnBW Kraftwerke AG mit ihren Töchtern, die Stadtwerke Düsseldorf AG mit der AWISTA GmbH und den Entsorgungstöchtern, die Beteiligung an der EVN AG in Österreich und die Beteiligung an Matra in Ungarn.

Tabelle 1: Kennzahlen des Geschäftsbereiches Entsorgung der EnBW AG

		Umsatz in Mio. €	Mengen in Mg/a	Behandlungs- kapazitäten in Mg/a	Mitarbeiter <sup>2</sup>
EnBW AG (Inland) <sup>1</sup>	Haus- und Sperrmüll		905.000	870.000	
	Gewerbeabfälle		180.000		
	Biomasse		225.000	200.000	
	Klärschlamm		350.000	165.000	
	Zwischensumme		<b>1.660.000</b>	<b>1.235.000</b>	<b>1.200</b>
EnBW AG (Ausland) <sup>3</sup>	Abfälle inkl. Biomasse		620.000	620.000	200
	<b>Summe</b>	<b>449</b>	<b>2.280.000</b>	<b>1.855.000</b>	<b>1.400</b>

<sup>1</sup> inklusive Mehrheitsbeteiligungen Inland

<sup>2</sup> inkl. Mitarbeiter der AWISTA GmbH

<sup>3</sup> Beteiligungen in Österreich und Ungarn

Auf der technischen Seite verfügt die EnBW seit mehr als 40 Jahren über sehr gute Erfahrungen mit der bei thermischen Anlagen zur Abfallbehandlung dominierenden Rostfeuerungstechnik. Die EnBW hat in diesem langen Zeitraum einen großen Erfahrungsschatz mit dem Bau und dem Betrieb von Anlagen dieser Technik gewonnen. Sie hat alleine in den letzten 15 Jahren 3 Linien mit jeweils 140.000 Mg/a gebaut und in Betrieb genommen. Im Jahr 2007 wurden im Restmüll-Heizkraftwerk Stuttgart-Münster zwei neue und hocheffiziente Müllkessel mit einem Jahresdurchsatz von je 140.000 Tonnen erfolgreich und ohne Probleme in Betrieb genommen. Neben der Erhöhung

der Verfügbarkeit und der langfristigen Sicherung der Fernwärmeversorgung wird mit dem Betrieb der neuen Kessel auch die Umweltbilanz am Standort nachhaltig verbessert, da bei gleicher Energieproduktion am Standort große Teile des CO<sub>2</sub>-emittierenden Brennstoffs Kohle ersetzt wurden.

### **4.3 Klima- und umweltschutzpolitische Bewertung**

Aus Klima- und Umweltschutzgründen sollte die thermische Abfallbehandlung einer sachlichen Neubewertung unterzogen werden. Die thermische Abfallbehandlung in Müllheizkraftwerken und in Ersatzbrennstoffkraftwerken zur Strom- und Wärmeerzeugung kann durch den erheblichen biogenen Kohlenstoff-Anteil des Brennstoffs „Abfall“ einen signifikanten Beitrag zur CO<sub>2</sub>-Reduktion leisten, denn der klimaneutrale regenerative Kohlenstoff im biogenen Anteil des Abfalls ermöglicht ein deutliches Einsparpotenzial an klimarelevanten CO<sub>2</sub>-Emissionen. Die Höhe des biogenen Anteils im Brennstoff hängt natürlich von der Abfallart ab. In Fachkreisen geht man davon aus, dass dieser bei Beseitigungsabfällen mindestens 60% und bei EBS-relevanten Verwertungsabfällen mindestens 30% beträgt [Bilitewski et. al. 2005].

Heute wird mehr als die Hälfte des Hausmülls als Biomüll, Altpapier, Altklar oder Verpackungen verwertet. Des Weiteren wurden im Rahmen des technologischen Fortschritts im Anlagen- und Filterbau die Schadstoffemissionen aus der thermischen Abfallbehandlung minimiert. Nach Meinung des Bundesumweltministeriums spielen Müllverbrennungsanlagen durch die strengen gesetzlichen Regelungen heute bei den Emissionen von Dioxinen, Staub und Schwermetallen keine Rolle mehr [BMU 2008].

Die EU-Kommission wertet die Verbrennung von Hausmüll zur Stromerzeugung sogar als erneuerbare Energie. Die Brüsseler Kommission erklärte kürzlich, dass die geplanten EU-Vorgaben zum Ausbau solcher Energiequellen die Müllverbrennung als Biomasse einordneten. Hausmüll würde damit der Energieerzeugung aus Wind, Wasser, Sonne oder Gärgasen aus der Landwirtschaft gleichgestellt [Verivox 2008]. Es bleibt abzuwarten, ob die EU-Staaten und das Europa-Parlament den Vorschlägen der EU-Kommission zustimmen werden.

Auf dem Weg zu einer höheren Akzeptanz der Müllverbrennung bei der Bevölkerung in Deutschland muss die Politik und die Branche noch grundlegende Arbeit leisten. Hier ist der Ansatz der EU-Kommission und das Bundesumweltministeriums begrüßenswert.

---

## 5 Ausblick

Die EnBW, deren Ziel die Unternehmenswertsteigerung über einen klar definierten Wachstumspfad ist, prüft im Geschäftsfeld Entsorgung, ob sie eine Weiterentwicklung des Geschäftsfeldes über einen Ausbau der thermischen Abfallbehandlungskapazitäten vornimmt. Dies könnte erstens über den Bau einer Anlage für die thermische Abfallbehandlung in Baden-Württemberg geschehen. Hier gibt es Planungen, technische und genehmigungsrechtliche Analysen für eigene Standorte und für Standorte von Partnern an verschiedenen geeigneten Orten. Aufgrund der bereits kontrahierten Stoffströme wird eine Durchsatzgröße von 300.000 t/a angestrebt. Zweitens sind Anlagenweiterungen im Rahmen eines Neubaus in Düsseldorf langfristig denkbar. Die EVN AG plant den Zubau einer dritten Linie ihrer Anlage in Höhe von 200.000 Mg/a.

Der EnBW Konzern ist traditionell im Geschäftsbereich thermische Abfallbehandlung sehr erfolgreich und bietet als zuverlässiger und seriöser Problemlöser seinen Kunden die Abfallbehandlung, -verwertung beziehungsweise -beseitigung in thermischen Abfallbehandlungsanlagen an. Mit ihrem langjährigen Knowhow als Kraftwerksbetreiber ist die EnBW eine feste Größe im deutschen und punktuell im europäischen Markt.

## 6 Literaturverzeichnis

Alwast, H., Analyse und Darstellung der durch die TA Siedlungsabfall und Abfallablageregsverordnung ausgelösten Investitionen und sowie Arbeitsplatzeffekte, Abschlußbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes, Prognos AG, Berlin 2005.

Bilitewski, B. et. al., Ökologische Effekte der Müllverbrennung durch Energienutzung, Projektstudie im Auftrag der Entsorgergemeinschaft der Deutschen Entsorgungswirtschaft e.V. – EdDE-, Pirna 2005.

Kaufmann, R., Heinemann, S., Stabile Marktverhältnisse in Aussicht, in: Müllmagazin, Nr. 1. 2007, S. 36 – 43.

Neese, O., Carlowitz, O., Reindorf, T., Probleme bei der Abgasreinigung durch RTO bei mechanisch-biologischen Abfallaufbereitungsanlagen, in: Thome-Kozmiensky, K.J., Beckmann, M. Energie aus Abfall, Band 1, TK Verlag Karl Thome-Kozmiensky, Neuruppin 2006.

Rethmann, L., Memo, Überkapazität im Hausmüll- und Sonderabfallverbrennungsmarkt, Lünen 2007.

trend:research, Institut für Trend- und Marktforschung, Potenzialstudie Ersatzbrennstoffkraftwerke 2030, Bremen 2007.

BMU - Bundesumweltministerium (2008): Müllverbrennung – ein Gefahrenherd?. Internet: [>> Abfallwirtschaft >> Entsorgung von Siedlungs- und Gewerbeabfällen.](http://www.bmu.de)

ECB – European Central Bank (2008): The Euro Area Bank Lending Survey. Internet: [http://www.ecb.int/stats/pdf/blssurvey\\_200801.pdf](http://www.ecb.int/stats/pdf/blssurvey_200801.pdf).

Spiegel (2008): Internet: <http://www.spiegel.de/wirtschaft/0,1518,499980,00.html>

Verivox (2008): <http://www.verivox.de/News/ArticleDetails.asp?aid=22730>

B. Bilitewski, A.I. Urban, M. Faulstich (Hrsg.)

**13. Fachtagung  
Thermische Abfallbehandlung**

**Die Zukunft der EBS-Verwertung in Braunkohlekraftwerken  
aus Sicht der Vattenfall Europe**

Dipl.-Ing. Frank Mielke

Vattenfall Europe Waste Management GmbH

Hamburg

Dipl.-Ing. Andreas Sparmann, Dipl.-Ing. Sven Kappa

Vattenfall Europe Generation AG & Co. KG

Cottbus

Schriftenreihe des  
Fachgebietes Abfalltechnik  
Universität Kassel

## 1 Einleitung

Die Vattenfall Europe Generation AG & Co. KG (VE-G) ist, wie schon mehrfach publiziert, bereits seit 1999 neben ihrem Kerngeschäft, der Elektroenergieerzeugung, im Bereich der energetischen Verwertung von Abfällen tätig.

Die Mitverbrennung von Ersatzbrennstoffen (EBS) in den Braunkohlekraftwerken entwickelte sich zu einem neuen Geschäftsfeld des Unternehmens. Tabelle 1 gibt einen Überblick über den Einsatz aller Mitverbrennungsstoffströme an den jeweiligen Kraftwerksstandorten.

Tabelle 1: Mitverbrennung von Ersatzbrennstoffen bei VE-G

Kraftwerk	Mitverbrennungsstoffstrom	Inbetriebnahme (DB = Dauerbetrieb) (VB = Versuchsbetrieb)	Kapazität [Mg/a]
Boxberg Werk III	Klärschlamm Tiermehl Ersatzbrennstoff (EBS)	DB seit 03/1999 DB seit 12/2002 VB seit 2007	160.000 35.000 20.000
Jänschwalde	Ersatzbrennstoff (EBS)	DB seit 02/2005	400.000
Lippendorf	Klärschlamm (gem. mit E.ON & EnBW)	DB seit 07/2004	385.000 (VE-G 192.500)
Schwarze Pumpe	Mischbrennstoff Faserschlämme Ersatzbrennstoffe (EBS)	DB seit 06/2001 DB seit 12/2005 DB seit 08/2007	220.000 100.000 80.000

Neben der Mitverbrennung von Ersatzbrennstoffen errichtet die Vattenfall Europe New Energy GmbH (VE-N) derzeit zwei EBS-Kraftwerke an den Standorten Rüdersdorf und Rostock, in denen zukünftig etwa 400.000 Mg Ersatzbrennstoff energetisch verwertet werden sollen.

Mit dem Inkrafttreten der Technischen Anleitung Siedlungsabfall im Jahr 2005 hat sich das Bild der deutschen Abfallwirtschaft grundlegend geändert. Haus- und Siedlungsabfälle und auch der überwiegende Teil der Gewerbeabfälle sind ohne Vorbehandlung von der Ablagerung auf Deponien ausgeschlossen. Wesentliche Ziele der Vorbehandlung sind die Abtrennung von Wertstoffen wie zum Beispiel Eisen- und Nichteisenmetalle, die Herstellung einer ablagerungsfähigen Fraktion und die Gewinnung einer heizwertreichen Mittelkalorik- und Hochkalorikfraktion. Die letztgenannte Stoffgruppe bildet die Grundlage für die Herstellung von Ersatzbrennstoffen mit unterschiedlichen Qualitätskriterien, die entweder in der Zementindustrie, meist braunkohlegefeuerten Kraftwerken oder in so genannten EBS-Kraftwerken thermisch behandelt werden.

Nachfolgend soll im Wesentlichen auf die beiden letztgenannten Einsatzziele eingegangen werden.

## 2 Anforderungen an den Ersatzbrennstoff

### 2.1 Ersatzbrennstoffe für die Mitverbrennung in Braunkohlekraftwerken

Als EBS für die Mitverbrennung bezeichnen wir heizwertreiche Abfälle aus der mechanischen oder mechanisch-biologischen Aufbereitung von Haus- oder Siedlungsabfällen und ähnlichen Gewerbeabfällen sowie getrennt erfasste und aufbereitete Abfälle, die der Abfallkategorie 1912 (aus Abfallbehandlung) gemäß Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV) zuzuordnen sind.

In der Tabelle 2 sehen Sie einen Auszug der für die Annahme von EBS in den Kraftwerken der Vattenfall wichtigsten Qualitätsparameter, die verbindlich und in allen Fällen auch vertraglich fixiert sind. Diese sind als Mindestanforderungen anzusehen.

Tabelle 2: Auszug der wichtigsten Parameter für die Annahme von EBS in den Kraftwerken Boxberg, Jänschwalde und Schwarze Pumpe

Qualitätspараметер	Einheit	Boxberg <sup>1)</sup>	Jänschwalde	Schwarze Pumpe
Heizwert H <sub>U</sub>	kJ/kg	11.000 – 25.000	11.000 – 25.000	9.000 – 25.000
Aschegehalt	Ma.-%	< 30	< 30	-
Wassergehalt	Ma.-%	< 35	< 15	-
Schüttdichte	Mg/m <sup>3</sup>	0,35 – 0,6	0,2 – 0,5	ca. 0,5
Chlor	Ma.-%	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Cadmium	mg/kg TS	< 10	< 9	< 10
Blei	mg/kg TS	< 500	< 500	< 300
Kupfer	mg/kg TS	< 800	< 1.800	< 1.600
Quecksilber	mg/kg TS	< 1,2	< 1,2	< 2

<sup>1)</sup> Versuchsgenehmigung

### 2.2 Ersatzbrennstoffe für EBS-Kraftwerke

Unter Ersatzbrennstoffen für EBS-Kraftwerke verstehen wir im Wesentlichen die Mittelkalorik aus der mechanischen oder mechanisch-biologischen Aufbereitung von Haus- oder Siedlungsabfällen und Gewerbeabfällen sowie diverse andere Abfallarten, die ohne Vorbehandlung die Qualitätskriterien der Anlagen erfüllen. Wesentlicher Unterschied zu den oben genannten EBS-Qualitäten ist der geringere Aufbereitungsgrad. Entscheidende Kriterien sind der Heizwert, der Chlorgehalt sowie die Stückigkeit. Kriterien wie das Vorhandensein von Störstoffen spielen eine untergeordnete Rolle.

Tabelle 3: Auszug der wichtigsten Parameter für die Annahme von EBS bei Ersatzbrennstoffkraftwerken

Qualitätspараметер	Einheit	EBS-Kraftwerk
Heizwert $H_U$	kJ/kg	11.000 – 18.000
Aschegehalt	Ma.-%	$\leq 30$
Wassergehalt	Ma.-%	$\leq 25$
Chlor	Ma.-%	$\leq 1,0$
Cadmium	mg/kg TS	$\leq 30$
Blei	mg/kg TS	$\leq 1.500$
Kupfer	mg/kg TS	$\leq 1.200$
Quecksilber	mg/kg TS	$\leq 3$

### 3 Aktueller Stand der Mitverbrennung von Ersatzbrennstoffen

Die VE-G hat systematisch ihre Kapazitäten zur Mitverbrennung von Ersatzbrennstoffen in den letzten Jahren ausgebaut und verfügt heute über zwei Kraftwerksstandorte, an denen der Ersatzbrennstoffeinsatz genehmigt ist. Am dritten Standort, dem Kraftwerk Boxberg, liegt eine Versuchsgenehmigung vor. Diese Standorte werden im Folgenden kurz beschrieben.

#### 3.1 Kraftwerk Jänschwalde

Im Spree-Neiße-Kreis, Bundesland Brandenburg, etwa 16 km nördlich der Stadt Cottbus, ist das Kraftwerk Jänschwalde gelegen. Zum Standort gehören drei Werke mit einer elektrischen Leistung von je 1000 MW. Die täglich durchgesetzte Menge an Rohbraunkohle beträgt für alle drei Werken rund 82.000 Mg.

Die Anlagen zur Annahme, Dosierung und Förderung der Ersatzbrennstoffe (EBS) und zur Mitverbrennung im Dampfkessel der zwei 1.000 MW-Module (Werk I & II) bestehen im Wesentlichen aus den Komponenten Annahmebunker, Schubboden, Dosierschnecke, Trogkettenförderer, Gurtbandförderer und Bandwaage. Die Dosierung erfolgt über eine leittechnische Anbindung an die Kohleförderung. Voraussetzung zur Dosierung von EBS ist eine Mindestfördermenge an Rohbraunkohle. Der maximale Förderstrom EBS ist dabei begrenzt auf 3,6 Ma.-% bezogen auf die aktuelle Fördermenge Rohbraunkohle. Das Brennstoffgemisch wird anschließend über die Kohlehauptbänder, Tagesbunker und die Kohlemühlen bis zur Einblasung in den Kessel gefördert.

Im nachstehenden Diagramm (Abb. 1) sind die eingesetzten EBS-Mengen monatlich und werksbezogen dargestellt für den Zeitraum der letzten zwei Jahre.

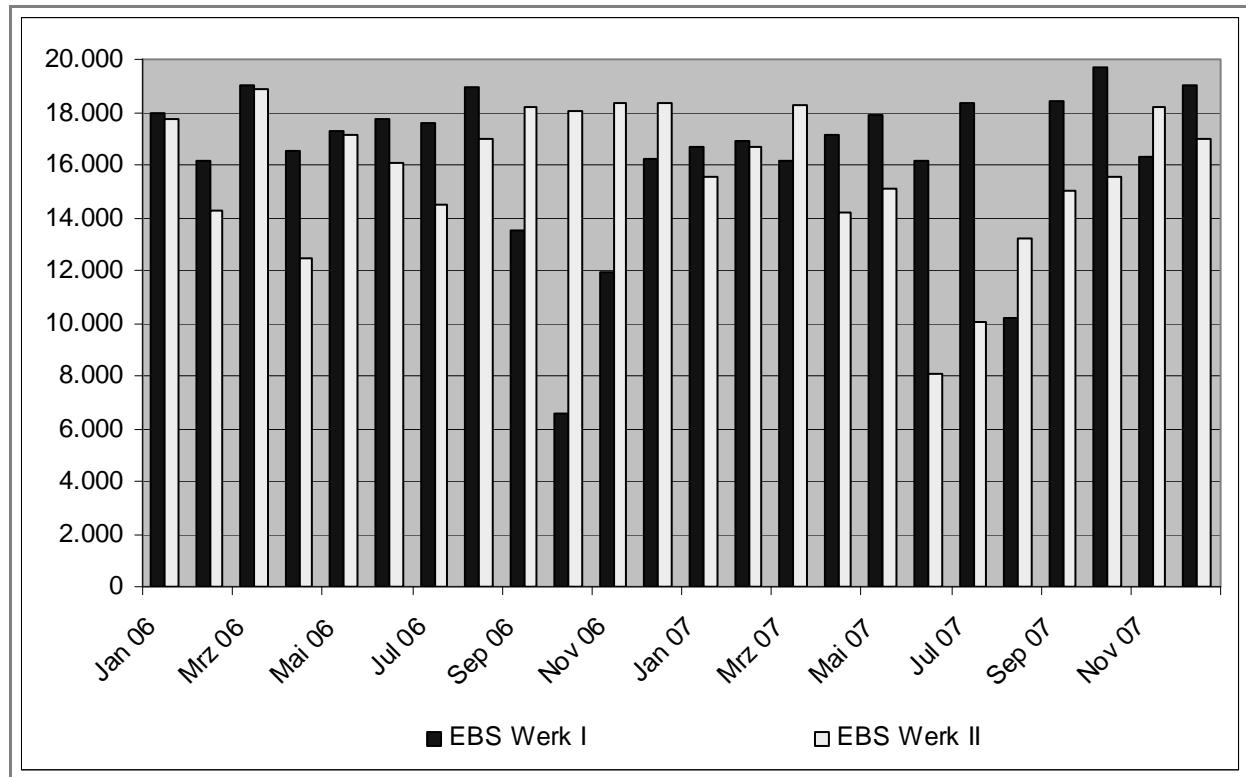


Abbildung 1: Einsatzmengen [Mg] EBS Kraftwerk Jänschwalde (werksbezogen)

### 3.2 Kraftwerk Schwarze Pumpe

Neben dem dauerhaften Einsatz von EBS im Kraftwerk Jänschwalde erfolgte Anfang dieses Jahres der versuchsweise Einsatz von EBS im Kraftwerk Schwarze Pumpe.

Das Kraftwerk Schwarze Pumpe liegt ebenfalls im Landkreis Spree-Neiße, Bundesland Brandenburg, etwa 20 km südlich der Stadt Cottbus. Die beiden Module zur Annahme, Dosierung und Förderung von EBS im Kraftwerk Schwarze Pumpe bestehen im Wesentlichen aus den Komponenten Annahmebunker, Schubboden, Trogkettenförderer, Schlauchförderer (Pipe Conveyor). Die Dosierung erfolgt ebenfalls über eine leittechnische Anbindung an die Kohleförderung. Das Brennstoffgemisch wird ebenfalls wie im Kraftwerk Jänschwalde über die Kohlehauptbänder, Tagesbunker und die Kohlemühlen bis zur Einblasung in den Kessel gefördert. Die Untersuchungen zum Einsatz von EBS im Kraftwerk Schwarze Pumpe konzentrierten sich im Wesentlichen auf den Einfluss des EBS auf die unterschiedlichen technischen Randbedingungen (Annahme-, Dosier- und Förderverhalten). Aufbauend auf die bereits bestehende Genehmigung zur Mitverbrennung von Mischbrennstoffen wurde im August dann von der zuständigen Behörde die Anzeige gemäß § 15 Abs.1 BlmSchG zur Mitverbrennung von Ersatzbrennstoffen gemäß der Beschreibung des Kapitels 2 im Kraftwerk Schwarze Pumpe positiv beschieden. Zunächst soll die Kapazität auf 80.000 Mg EBS beschränkt werden.

### 3.3 Kraftwerk Boxberg

Das Kraftwerk Boxberg liegt im Bundesland Sachsen, rund 100 km östlich der Stadt Dresden und etwa 25 km von der polnischen Grenze entfernt. Die Anlage zur Annahme, Dosierung und Förderung trockener Produkte besteht im Wesentlichen aus den Komponenten Annahmebunker, Austragsschnecke und Trogkettenförderer. Die Dosierung erfolgt ebenfalls über eine leittechnische Anbindung an die Kohleförderung, jedoch wird der EBS erst in den Vorlagebehältern vor den Kohlemühlen zur Kohle dazu gegeben und dann als Brennstoffgemisch über die Kohlemühlen in den Kessel gefördert.

Am Standort Kraftwerk Boxberg wird im Rahmen einer einjährigen Versuchsgenehmigung in der Anlage zur Annahme von trockenen Produkten unter anderem der Einsatz von EBS untersucht. Dabei muss der EBS nach der Aufbereitung als Pellets angeliefert werden. Zusätzlich zu den Untersuchungszielen im Kraftwerk Schwarze Pumpe werden im Kraftwerk Boxberg die Einflüsse des EBS auf die Reststoffe (Asche, Gips etc.) untersucht. Aufgrund des erhöhten Aufwandes werden die Untersuchungen zum Jahresende abgeschlossen sein. Die Änderungsgenehmigung gemäß § 16 Abs. 1 BImSchG zur dauerhaften Mitverbrennung von EBS wird voraussichtlich Mitte 2008 vorliegen für eine Mitverbrennungskapazität von rund 35.000 Mg/a.

## 4 Zukunft der Mitverbrennung von Ersatzbrennstoffen

Grundsätzlich ist die Aussage über die Zukunft der Mitverbrennung von EBS in den Braunkohlekraftwerken der VE-G von folgender Fragestellung abhängig:

„Wird es im Dialog mit den EBS-Herstellern gelingen, langfristig die Lieferung von qualitätsgerechtem EBS mit vertretbarem Aufwand sicher zu stellen?“

Markteinflüsse und sich politisch verändernde Randbedingungen haben derzeit aufgrund des Abschlusses von Langfristverträgen eine untergeordnete Bedeutung. Inwiefern sich dies bei grundlegenden Änderungen in der Zukunft verändert wird, bleibt abzuwarten.

### 4.1 Kurzübersicht über die Qualitätsprobleme und Ihre Auswirkungen auf den Kraftwerksprozess

Wie bereits an verschiedenen Stellen berichtet, gab es in den Jahren 2005/2006 diverse Qualitätsprobleme, die im Wesentlichen folgende Schwerpunkte hatten:

- Vorhandensein von Störstoffen und Nichteinhaltung der Korngrößen,
- Nichteinhaltung der Schüttddichte,
- Überschreitung des zulässigen Chlorwertes von 1 Massenprozent.

Während die erstgenannten Probleme spätestens Mitte 2006 durch den ständigen Dialog mit den EBS-Herstellern abgestellt werden konnten, hat sich die Chlorthermatik zum Dauerthema entwickelt. Ein wesentlicher Grund hierfür ist aus unserer Sicht, dass nach wie vor keine nennenswerten Verwertungswege für die aussortierten Chlorfrachten existieren. Die Situation hat sich mit der Außerbetriebnahme der Vergaser am Standort Schwarze Pumpe weiter verschlechtert. Die Beantwortung der Frage ist daher untrennbar mit der Lösung der Chlorproblematik verbunden, auf die im Folgenden vertiefend eingegangen werden soll.

Allein bei den im Jahr 2006 durchgeführten Inputkontrollen ergaben sich bei 725 durchgeführten Analysen 282 (circa 40%) Überschreitungen für den Grenzwert Chlor (Abb. 2).

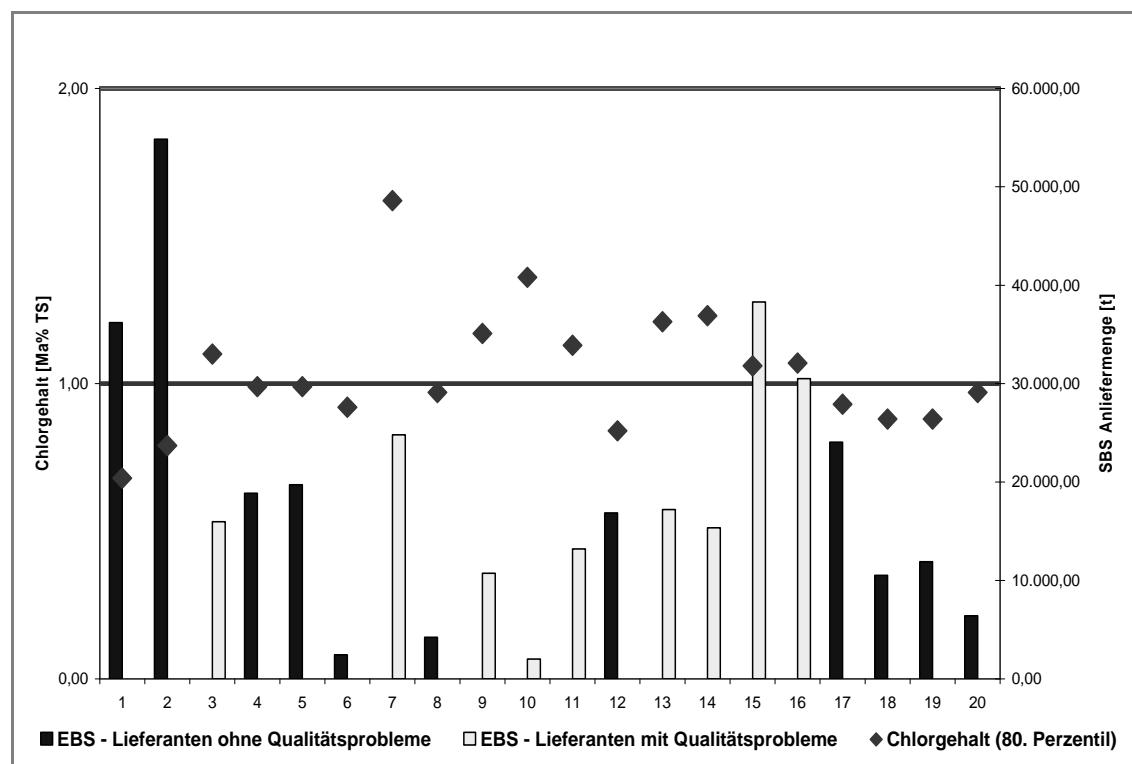


Abbildung 2: Übersicht EBS-Menge & Chlorgehalt der Erzeugeranlagen für das Jahr 2006

## 4.2 Chlor und seine Auswirkungen auf die Anlagen zur Rauchgasentschwefelung

Das im Verbrennungsprozess freigesetzte Chlor gelangt zum überwiegenden Teil über die Rauchgase in die Rauchgasentschwefelungsanlage (REA) und findet sich im REA-Wasser und Gips wieder. Zwangsläufig erfolgt eine Anreicherung von Chlorid in den Wäscherkreisläufen. Limitierender Faktor ist die materialtechnische Auslegung der Rauchgasentschwefelungsanlagen (REA). Für Quencher, Rührwerke und Klappen der mit Kalkmilch betriebenen nasschemischen Rauchgasentschwefelungsanlagen wurde

Edelstahl der Spezifikation 2.4819 eingesetzt. Dies bedeutet, dass mit Überschreitung einer Chloridkonzentration von 40 g/l die materialtechnischen Grenzen erreicht sind. Spitzenwerte bei der Chloridkonzentration in den Quencherkreisläufen der REA wurden im Oktober 2005 und nochmals April 2006 festgestellt. Über einen zeitweiligen Lieferausschluss und Mengenreduzierungen bei den auffälligen Lieferanten und technische Maßnahmen in der REA war es möglich, die Chloridfracht in der Quenchersuspension zu senken und den angestrebten Bereich von 32 g Chlorid/l zu erreichen.

## **4.3 Eingeleitete Maßnahmen zur Qualitätssicherung**

### **4.3.1 Sofortmaßnahme – Anlagenaudit**

Durch VE-G werden Vor-Ort-Termine zur Qualitätsüberwachung bei den EBS-Aufbereitungsanlagen durchgeführt. Hierfür bedient sich VE-G der Unterstützung durch einen externen Gutachter oder Berater, die GfBU. Im Rahmen der Anlagenüberwachungen werden dabei folgende Schwerpunkte zusammen mit der Besichtigung und den Gesprächen mit der Betriebsleitung und dem Personal geprüft:

- EBS-Aufbereitungstechnik,
- Abfallinput und Abfalloutput,
- Qualitätsmanagementsystem (zum Beispiel Probenahme, Überwachung),
- Ergebnisse der Eigenüberwachung des Abfallerzeugers (inklusive deren Umgang mit Qualitätsabweichungen),
- Kontrolle und Diskussion der Beanstandungen und der eingeleiteten Maßnahmen,
- weitere Festlegungen und Maßnahmen zur Verbesserung der EBS-Qualität.

### **4.3.2 Stichprobenartige Überwachung von Einzelleferungen**

Für die gezielte Überwachung von Einzelleferungen wurde die ehemalige Großversuchsanlage im Werk II umgebaut. Sie ermöglicht eine Beprobung direkt aus dem Förderstrom. Die Probenahme erfolgt über eine Förderschnecke, welche zyklisch in die Abwurfparrabel des EBS hineingefahren wird. Damit ist eine tiefergehende Beprobung ausgewählter LKW-Lieferungen voll umfänglich möglich. Ein zusätzlich installierter Magnetabscheider dient der Erfassung vorhandener Fe-Bestandteile. Die visuelle Begutachtung der Einzelleferung eines LKW als Haufwerk oder des Förderstromes wird hierdurch möglich.

Die Nutzung der Anlage erfolgt für die stichprobenartige Überwachung aller Lieferanten, aber auch für Neulieferanten und Lieferanten mit Qualitätsproblemen. Damit werden zugleich eine Nachweisführung im Einzelfall und eine Qualitätsverbesserung bei den EBS-Herstellern durch gezielte Hinweise zur aktuellen EBS-Beschaffenheit möglich.

#### **4.3.3 Abgleich der Verfahren zur Probenaufbereitung und Analytik**

Die Ergebnisse aus der Eigenanalytik im KW Jänschwalde lassen sich nicht in jedem Fall mit den Analysen aus den Aufbereitungsanlagen vergleichen. Über den Zeitraum der letzten beiden Jahre wurde jeweils zwischen dem Labor im Kraftwerk Jänschwalde und den Laboren der Aufbereitungsanlagen gemeinsam Einigung erzielt über die Verfahren zur Probenaufbereitung und Analytik. Dazu erfolgte mit jedem Labor ein Abgleich der verwendeten Methoden hinsichtlich der Probenaufbereitung und Analytik sowie die Festlegung einer gemeinsamen Vorgehensweise.

#### **4.3.4 Zertifizierung der Probenahme im Kraftwerk Jänschwalde**

Im Zusammenhang mit der Diskussion der Analysenergebnisse wurde vielfach auch die Vorgehensweise bei der Probenahme im Kraftwerk Jänschwalde hinterfragt. Hierzu wurde die Gütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe (BGS) durch die VE-G beauftragt, das bestehende Probenahmekonzept bei der Anlieferung von Sekundärbrennstoffen im Kraftwerk zu prüfen, zu bewerten und daraus abgeleitet gegebenenfalls Optimierungsvorschläge zu entwickeln. Auf der Basis der bestehenden Erfahrungen aus den Arbeiten der BGS sowie den aufgenommenen Daten wurden die bestehenden Anweisungen zur Probenahme angepasst und ein Konzept zur detaillierten Vorgehensweise bei der Probenahme nach einem von der BGS anerkannten Probenahmestandard erstellt. Mit Abschluss der Bewertung durch die BGS und nach Umsetzung aller Maßnahmen und Anpassung der Anweisungen zur Probenahme wird die Probenahme im Kraftwerk Jänschwalde im IV. Quartal dieses Jahres durch die BGS zertifiziert.

#### **4.3.5 Schlussfolgerung**

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass sich die Maßnahmen zur Qualitätssicherung bewährt haben. Bei den im Jahr 2007 durchgeführten Inputkontrollen ergaben sich bei 677 durchgeführten Analysen 182 Überschreitungen (circa 25 %) für den Parameter Chlor. Alle EBS-Lieferanten haben diesen Prozess aktiv unterstützt, in dem sie entsprechende Inputmenüsteuerungen eingeführt haben und Technologien zur Aushaltung von chlorhaltigen Materialien nachgerüstet haben.

Wirtschaftliche Zwänge und teilweise organisatorische Mängel führen jedoch immer wieder dazu, dass es zeitweilig zu größeren Qualitätsabweichungen kommt. Wir gehen davon aus, dass sich diese Situation mit der Inbetriebnahme der ersten EBS-Kraftwerke weiter verbessern wird, weil sich damit neue Verwertungswege für die oben genannten Stoffströme in Abhängigkeit von der Anlagenauslegung ergeben werden.

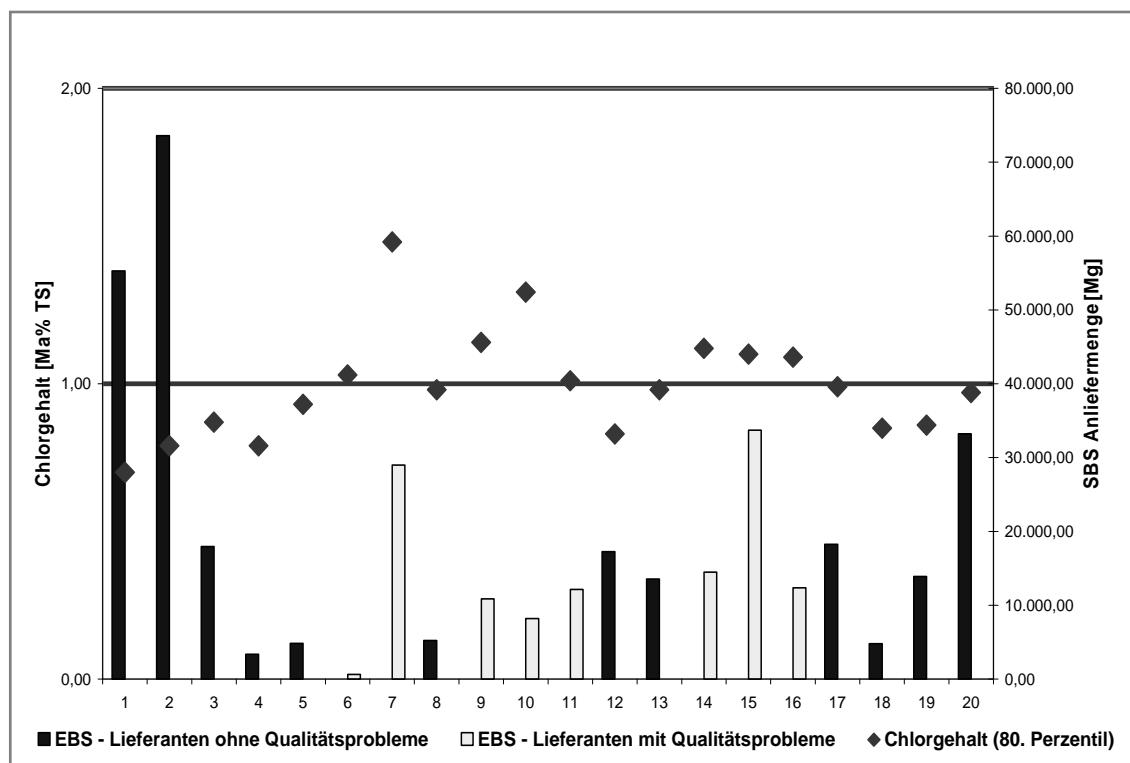


Abbildung 3: Übersicht EBS-Menge & Chlorgehalt der Erzeugeranlagen für das Jahr 2007

## 5 Neue Wege bei der Verwertung von Ersatzbrennstoffen

Mit der Neugründung der Vattenfall New Energy GmbH (VE-N) ist innerhalb von Vattenfall Europe ein Unternehmen entstanden, in der die gesamte Kompetenz der Vattenfall-Europe-Gruppe auf dem Gebiet der Abfallwirtschaft sowie der Erneuerbaren Energien zusammengefasst wurde. Ziel der Gesellschaft ist es, die bestehende Marktposition auszubauen und neue Aufgabengebiete in diesen Feldern zu entwickeln.

Die VE-N errichtet an den Standorten Rüdersdorf bei Berlin und Rostock zwei EBS-Kraftwerke. In Rüdersdorf wird ein Industriekraftwerk mit einer elektrischen Nettoleistung von circa 32 MW errichtet, um zukünftig die sichere Stromversorgung der CEMEX Ost Zement GmbH Werk Rüdersdorf zu großen Teilen zu übernehmen. Basis für die Energieumwandlung ist der Einsatz von rund 250.000 Mg Ersatzbrennstoffen. Die warme Inbetriebnahme ist für März 2008 vorgesehen.

In Rostock sollen zukünftig rund 170.000 Mg Ersatzbrennstoffe zum Einsatz kommen. Die elektrische Leistung der Anlage beträgt etwa 17,5 MW. Optional ist die Auskopplung von Wärme vorgesehen. Entsprechende Verhandlungen hierzu werden derzeit durchgeführt.

Mit diesen beiden Anlagen erweitert die Vattenfall-Europe-Gruppe ihr Leistungsangebot an die Entsorgungswirtschaft nochmals deutlich. Für die energetische Verwertung in EBS-Kraftwerken wird ab Ende 2008 damit eine Gesamtkapazität von etwa 420.000 Mg zur Verfügung stehen. Derzeitig werden weitere Projekte auf ihre Machbarkeit untersucht.

## 6 Zusammenfassung

Vattenfall Europe Generation betreibt am Standort Kraftwerk Jänschwalde zwei Anlagen zur Mitverbrennung von Ersatzbrennstoffen im Dauerbetrieb mit einer Gesamtkapazität von 400.000 Mg/a. Aufgrund der großen Nachfrage nach Verwertungskapazitäten für EBS wurden und werden zusätzlich Kapazitäten zur Mitverbrennung von Ersatzbrennstoffen für den regionalen Entsorgungsmarkt an den bestehenden Anlagen im Kraftwerk Boxberg für rund 35.000 Mg und im Kraftwerk Schwarze Pumpe für 80.000 Mg geschaffen.

Vattenfall verfügt damit zukünftig über eine Mitverbrennungskapazität für Ersatzbrennstoffe von insgesamt etwa 515.000 Mg/a und trägt somit wesentlich zur Entsorgungssicherheit in den Bundesländern Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Berlin, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen bei. Im Verbund der Kraftwerksbetreiber in Deutschland verfügt Vattenfall über die größten Mitverbrennungskapazitäten für Ersatzbrennstoffe.

Der Aufwand für die Qualitätsüberwachung der EBS ist bedeutend höher als bei der Rohbraunkohle. Die im Zusammenhang damit erforderlichen Anpassungen des Qualitätssicherungssystems an die Anforderung aus der Mitverbrennung von EBS waren eine große Herausforderung. Im Ergebnis der letzten zwei Jahre konnten entscheidende Qualitätsverbesserungen erzielt werden:

- Es gibt kaum noch Beanstandungen aufgrund von Störstoffen und mangelhaften Korngrößen sowie der Nichteinhaltung der vorgegebenen Schüttdichten.
- Der Abgleich der Labore hinsichtlich Probenaufbereitung und Analytik sowie die Zertifizierung der Probenahme durch die BGS haben erheblich zur Akzeptanz der Eigenanalytik im Kraftwerk Jänschwalde beigetragen.
- Die Kontrolle zur Einhaltung des Chlorgehaltes wird auch zukünftig ein Hauptbestandteil der Qualitätssicherung bleiben. Mit der Arbeit der letzten zwei Jahre wurden bisher nur Teilerfolge erzielt. Hier kann die Zielstellung nur mit intensiver Inputüberwachung, konsequenten zeitnahen Mängelanzeigen und insbesondere durch zusätzliche verfahrenstechnische Änderungen bei den EBS-Herstellern erreicht werden.
- Die Zertifizierung zum Entsorgungsfachbetrieb nach § 52 KrW-/AbfG trägt ebenfalls zur Akzeptanz der Mitverbrennung bei.

Die Qualitätssicherung lässt sich aufgrund des Erfordernisses der Eigenüberwachung nur mit hohem Aufwand betreiben. Durch das Vorhandensein der unterschiedlichen Abfallfraktionen in den Einzugsgebieten der Aufbereitungsanlagen fehlen zum Teil die Entsorgungswege für problembehaftete Abfallströme, so dass diese in unterschiedlichen Zeitabständen dem EBS beigemischt werden. Vor diesem Hintergrund wird die Eigenüberwachung im Kraftwerk Jänschwalde auch zukünftig ein wichtiger Bestandteil der Qualitätssicherung bleiben.

Mit den neuen EBS-Kraftwerken in Rüdersdorf und Rostock werden neue Kapazitäten in Ergänzung zu den vorhandenen Kapazitäten geschaffen. Diese bilden eine gute Ergänzung und ermöglichen den Aufbau eines intelligenten Stoffstrommanagements in der Zukunft.

Die Vattenfall-Europe-Gruppe zählt mit Ihren Kapazitäten zu den Marktführern in der EBS-Verwertung in Deutschland. Zum Ausbau der Marktposition werden derzeitig verschiedene Optionen für die Errichtung von weiteren EBS-Kraftwerken untersucht.

## 7 Literaturverzeichnis

Hörtlinger, T. Menge, F.; Kohde, H.-M.; Ringel, J.; Piekos, S. (2006): Qualitätsüberwachung bei der Mitverbrennung von Sekundärbrennstoff im Kraftwerk Jänschwalde, VGB PowerTech, 6, 72-77.

Brunne, T.; Hörtlinger, T.; Schneider, R. (2004): Mitverbrennung von Sekundärbrennstoffen in Braunkohlekraftwerken der Vattenfall Europe Generation AG & Co. KG, SIDAF Abfallkolloquium 2004, Schriftenreihe 17, 205-215.

Hassa, R; Breuer, H. (2005): Mitverbrennung aus Betreibersicht. VGB PowerTech, 4, 52-58.

Abfallablagerungsverordnung (2001): Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen, BGBl. I Nr. 10 vom 27.02.2001, S.305.

Mielke, F.; Kohde, H.-M, Schneider, R.; Hörtlinger, T. (2006) Potentiale und Betriebserfahrungen bei der Verwertung von Ersatzbrennstoffe am Standort des Braunkohlekraftwerkes Jänschwalde der Vattenfall Europe Generation AG & Co. KG, VGB PowerTech,12.

B. Bilitewski, A.I. Urban, M. Faulstich (Hrsg.)

**13. Fachtagung  
Thermische Abfallbehandlung**

**Entwicklungen für den Sekundärbrennstoffeinsatz  
in der Zementindustrie**

Dr.-Ing. Martin Oerter  
Forschungsinstitut der Zementindustrie GmbH  
Düsseldorf

Schriftenreihe des  
Fachgebietes Abfalltechnik  
Universität Kassel

## 1 Einführung

Unabhängig von der Art des eingesetzten Brennstoffs stellt das Klinkerbrennen einen Stoffumwandlungsprozess dar. Dabei werden die feingemahlenen Rohstoffe (Kalkstein, Ton, Kalkmergel) in Drehrohröfen bis zum Sintern erhitzt. Aus den Ausgangsstoffen bilden sich dann die so genannten Klinkerphasen, die dem Produkt Zement seine charakteristischen Eigenschaften der hydraulischen Erhärtung verleihen. Damit die mineralogischen Reaktionen zur Bildung des Klinkers ablaufen können, müssen die Rohstoffe auf circa 1.450°C erhitzt werden, wozu Flammentemperaturen von etwa 2.000°C erforderlich sind.

Damit stellt der Klinkerbrennprozess ein geeignetes Verfahren zur umweltverträglichen energetischen und simultanen stofflichen Verwertung von Abfällen dar. Die hierfür wesentlichen verfahrenstechnischen Merkmale können wie folgt zusammengefasst werden:

- maximale Gastemperaturen im Drehrohrofen von 2.000°C
- Verweilzeiten der Gase im Drehofen von etwa 8 s bei Temperaturen von über 1.200°C
- oxidierende Gasatmosphäre im Drehrohrofen
- Brennguttemperaturen von etwa 1.450°C
- Verweilzeiten der Gase in der Zweitfeuerung von mehr als 2 s bei Temperaturen von über 850°C
- Brennguttemperaturen in der Zweitfeuerung beziehungsweise im Calcinator von 850°C
- Gleichmäßige Ausbrandbedingungen auch bei Lastschwankungen aufgrund der hohen Wärmekapazität des Drehofens
- Zerstörung organischer Schadstoffe durch hohe Temperaturen bei ausreichend langen Verweilzeiten
- Sorption gasförmiger Komponenten wie HF, HCl und SO<sub>2</sub> an alkalischen Reaktionspartnern
- hohes Rückhaltevermögen für partikelgebundene Schwermetalle
- kurze Verweilzeit der Abgase im Temperaturbereich der PCDD/F-Neubildung (keine de-Novo-Synthese)
- vollständige Nutzung der Brennstofffaschen als Bestandteile des Klinkers
- daher simultane stoffliche und energetische Verwertung unabhängig vom Heizwert
- chemisch-mineralogische Einbindung der Spurenelemente in den Klinker

## 2 Abfalleinsatz in der deutschen Zementindustrie

Der Prozess des Klinkerbrennens erfordert einen verfahrenstechnisch bedingt hohen Energieaufwand. Im Jahr 2006 ist es der deutschen Zementindustrie gelungen, mehr als 50% ihres gesamten Brennstoffenergiebedarfs durch den Einsatz geeigneter Abfälle zu substituieren. Dadurch konnten bundesweit mehr als 1.500.000 Mg Steinkohleeinheiten an Primärenergie eingespart werden. Als Regelbrennstoffe werden nach wie vor im wesentlichen Braunkohle und Steinkohle sowie in geringerem Umfang auch Petrolkoks eingesetzt.

Den größten Anteil an den verwerteten Ersatzbrennstoffen haben seit einigen Jahren aufbereitete Industrie- und Gewerbeabfälle. Seit der Umsetzung des Deponierungsverbotes für unbehandelte Abfälle zum 1. Juni 2005 ist auch ein vermehrtes Aufkommen an Fraktionen aus aufbereiteten Siedlungsabfällen zu beobachten. Die in der deutschen Zementindustrie verwerteten Abfälle werden regelmäßig veröffentlicht. Die jährlich aktualisierten Zahlen können im Internet unter [www.vdz-online.de](http://www.vdz-online.de) eingesehen werden.

Die in den Drehofenanlagen der Zementindustrie zu verwertenden Abfälle werden in jedem Fall sorgfältig ausgewählt und überwacht. Dabei spielen zunächst verfahrenstechnische Parameter (zum Beispiel Stückigkeit, Feuchte, Ausbrandverhalten etc.) eine wesentliche Rolle. Die beim Klinkerbrennen eingesetzten Sekundärbrennstoffe müssen so aufbereitet und gegebenenfalls konditioniert werden, dass ihr Einsatz störungsfrei und im Einklang mit den durch die Verfahrenstechnik vorgegebenen Randbedingungen erfolgen kann.

Weiteres wesentliches Auswahlkriterium ist die Forderung nach einer umweltverträglichen Verwertung der Sekundärbrennstoffe. Der Ersatz von Primärressourcen darf zu keiner nachteiligen Veränderung der Emissionssituation eines Zementwerkes führen. Weiterhin darf der Einsatz von Sekundärstoffen auch die Produktqualität nicht negativ beeinträchtigen. Durch die strengen Emissionsgrenzwerte der 17. BlmSchV wird zudem sichergestellt, dass für Mitverbrennungsanlagen die gleichen Anforderungen gelten wie für Müllverbrennungsanlagen. Darüber hinaus ist in verschiedenen aktuellen Studien dargelegt worden, dass der Abfalleinsatz in den deutschen Zementwerken keine nachteiligen Auswirkungen auf die Produktqualität und insbesondere auf die Spurenelementgehalte der Zemente hat.

## 3 Auswirkungen des Abfalleinsatzes auf das Emissionsverhalten

Die Staubemissionen beim Klinkerbrennen sind unabhängig vom Abfalleinsatz. Die Schwermetallemissionen hängen vom Verhalten der einzelnen Schwermetalle in der Drehofenanlage, der Eintragssituation sowie dem Abscheidegrad der Entstaubungsanlage ab. Die Eintragssituation wird durch die Spurenelementanteile in den eingesetzten Roh- und Brennstoffen bestimmt. Dabei ist zu beachten, dass das Verhältnis

der eingesetzten Massen von Roh- und Brennstoffen bei der Klinkerherstellung etwa 10:1 beträgt. Die Spurenelementeinträge und damit auch die Emissionen werden somit maßgeblich durch die rohmaterialbedingten Spurenelemente beeinflusst.

Wegen des hohen Rückhaltevermögens des Wärmetauschers und der Abgasreinigungsanlage für partikelgebundene Schwermetalle sind die Auswirkungen eines Abfalleinsatzes auf die Schwermetallemissionen beim Klinkerbrennprozess gering. Quecksilber liegt bei der Entstaubung je nach Abgastemperatur partikelgebunden und/oder in gasförmiger Form vor. Dabei kann es zur Begrenzung der Emissionen an Quecksilber erforderlich sein, den Eintrag dieses Elementes über die Abfälle in das Ofensystem zu limitieren.

Die anorganischen Abgasbestandteile  $\text{NO}_x$ ,  $\text{HCl}$  und  $\text{HF}$  hängen nicht von der Wahl der Einsatzstoffe ab und werden durch den Abfalleinsatz nicht signifikant beeinflusst. Dies gilt auch für die Komponenten  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$  und  $\text{TOC}$ . Die Emissionen dieser Komponenten hängen maßgeblich vom Eintrag leichtflüchtiger Schwefelverbindungen oder leichtflüchtiger organischer Verbindungen über den Rohmehlpfad ab.

Die zuvor beschriebenen Verbrennungsbedingungen in den Drehofenanlagen gewährleisten geringe Emissionskonzentrationen an Dioxinen und Furanen. Umfangreiche Messergebnisse zeigen, dass die Emissionen an PCDD/F in der Praxis, unabhängig vom eingesetzten Abfall, einen Wert von 0,1 ng I-TEQ/m<sup>3</sup> deutlich unterschreiten.

## 4 Auswirkungen des Abfalleinsatzes auf die Produktqualität

Abfälle, die beim Klinkerbrennprozess eingesetzt werden, können den Spurenelementanteil im Zement verändern. In Abhängigkeit vom Gesamteintrag über die Roh- und Brennstoffe kann sich die Konzentration einzelner Elemente im Produkt durch einen Abfalleinsatz erhöhen oder erniedrigen. Haupteintragsquelle für Spurenelemente in das Produkt stellen allerdings stets die Rohmaterialien dar. Da Zement gemeinsam mit Zuschlägen (zum Beispiel Kies, Sand) zur Herstellung von Beton oder Mörtel verwendet wird, ist letztlich das Verhalten der Spurenelemente im Baustoff (Beton oder Mörtel) von Bedeutung, um die umweltrelevanten Auswirkungen eines Abfalleinsatzes beim Klinkerbrennen auf die Produktqualität beurteilen zu können.

Die Freisetzungsraten von Schwermetallen aus Mörtel und Beton ist gering. Umfangreiche Untersuchungen bestätigen, dass Schwermetalle in der Zementsteinmatrix fest eingebunden sind. Darüber hinaus gewährleistet gefügedichter Beton einen hohen Diffusionswiderstand, der zusätzlich einer Freisetzung entgegenwirkt. Untersuchungen an Mörtel- und Betonprüfkörpern haben gezeigt, dass die Konzentrationen in Eluaten beispielsweise die Werte der Trinkwasserverordnung deutlich unterschreiten. Auch die Lagerung unter unterschiedlichen, zum Teil extremen Bedingungen, hat zu keiner umweltrelevanten Freisetzung geführt. Dies gilt auch, wenn das Probenmaterial vor dem Auslaugtest gebrochen und zerkleinert wurde. Auf Grundlage der bisherigen

Erfahrungen kommt es durch den Abfalleinsatz zu keiner negativen Auswirkung auf die Umweltqualität des Produktes. Zement kann somit weiterhin uneingeschränkt zur Herstellung von Mörtel und Beton verwendet werden. Auch die Recyclingfähigkeit dieser Materialien bleibt im vollen Umfang erhalten.

Umwelt- und Sicherheitsaspekte werden für alternative Brennstoffe, ebenso wie für Primärbrennstoffe, in immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsbescheiden festgelegt. Die darin festgeschriebenen Auflagen sind von den Anlagenbetreibern zu erfüllen. Durch die sorgfältige Auswahl und gegebenenfalls erforderliche Aufbereitung der alternativen Brennstoffe stellen die Zementhersteller sicher, dass der Produktionsprozess durch die Ersatzbrennstoffe nicht gestört wird. Der Einsatz von Sekundärstoffen kann somit in Abhängigkeit von Art und Herkunft dieser Materialien durch einen im Vergleich zum ausschließlichen Gebrauch von Primärbrennstoffen höheren Analysen- und Überwachungsaufwand gekennzeichnet sein.

## 5 Ökologische Bedeutung der Mitverbrennung in Zementwerken

In jedem Fall ist der Einsatz von Sekundärstoffen in den deutschen Zementwerken sowohl ökonomisch als auch ökologisch als sinnvoll anzusehen. Dies wird nicht zuletzt durch aktuelle Ökobilanzen bestätigt, wie sie beispielsweise Ende des Jahres 2007 vom Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV) veröffentlicht wurden. Dort konnte insbesondere bei den wichtigen Parametern Energieeffizienz und Treibhauseffekt der deutliche Vorteil der industriellen Mitverbrennung gegenüber einem Abfalleinsatz in Monoverbrennungsanlagen nachgewiesen werden. Hinzu kommt, dass durch die bereits zuvor erwähnte qualifizierte Aufbereitung und Überwachung der in den Klinkerbrennprozess einzusetzenden Ersatzbrennstoffe der Schadstoffeintrag in das System limitiert und vor allen Dingen kontrolliert werden kann. Dies führt dazu, dass der in früheren ökobilanziellen Betrachtungen postulierte vermeintliche Nachteil der industriellen Mitverbrennung gegenüber der Monoverbrennung bei den Emissionen praktisch ausgeglichen werden konnte.

Dieses wesentliche Ergebnis der Ökobilanz zeigt, dass die in Deutschland betriebenen Zementwerke in der Lage sind, einen nachhaltig positiven Beitrag zu einer umweltverträglichen und schadlosen Abfallentsorgung zu leisten. Weiterhin zeigt diese Studie, dass es grundsätzlich zwischen Abfallverbrennungsanlagen und Mitverbrennungsanlagen keine direkte Konkurrenz um Einsatzstoffe geben dürfte, da die entsprechenden Anforderungskriterien der verschiedenen Anlagentypen stark unterschiedlich sind. Letztlich zielen Müllverbrennungsanlagen im Gegensatz zu Mitverbrennungsanlagen eher auf Einsatzstoffe mit geringeren Heizwerten ab. Außerdem müssen Müllverbrennungsanlagen grundsätzlich immer in der Lage sein, auch Stoffe mit höheren Schadstoffgehalten umweltverträglich und schadlos entsorgen zu können. Dies hat zwangs-

läufig zur Folge, dass solche Anlagen mit aufwändigen End-of-pipe-Abgasreinigungs-einrichtungen ausgerüstet sein müssen.

Demgegenüber bedeutet eine qualifizierte Mitverbrennung eine strenge Überprüfung der jeweiligen Stoffe vor deren Verwertung, wodurch bereits der Eintrag ungeeigneter Stoffe in die Mitverbrennungsanlagen vermieden wird. Dadurch kann im gleichen Maße wie bei den Müllverbrennungsanlagen sichergestellt werden, dass die eingesetzten Materialien umweltverträglich und schadlos verwertet und zusätzlich fossile Ressourcen geschont werden können. Dies ist insbesondere vor den aktuellen Diskussionen zur Minderung des Treibhauseffektes ein wesentlicher Aspekt.

B. Bilitewski, A.I. Urban, M. Faulstich (Hrsg.)

**13. Fachtagung  
Thermische Abfallbehandlung**

**Ökologische Zweckmäßigkeit für den Einsatz von  
Kunststoffen als Reduktionsmittel im Hochofen**

Dipl.-Ing. Thomas Bürgler

voestalpine Stahl GmbH

Linz

Schriftenreihe des  
Fachgebietes Abfalltechnik  
Universität Kassel

## 1 Einführung

Zahlreiche Institute haben Studien zu Mengen und Qualitäten von Kunststoffabfällen, aber auch zum Thema der Kosten und des ökologischen Nutzens verschiedener Optionen für die Verwertung von Altkunststoffen erstellt. Viele Unternehmen im Bereich der Abfallwirtschaft haben innovative Systeme und Anlagen errichtet oder geplant, die Kunststoffabfälle erfassen, sortieren und aufbereiten und auf hohem technischen Standard verwerten.

Auch verschiedene Maßnahmen des Gesetzgebers haben dazu geführt, dem Thema Kunststoffabfall immer wieder Beachtung zu schenken. Hier gibt es jedoch kein einheitliches europäisches Vorgehen (Abb. 1) [OECD Eurostat 2004]. Durch die österreichische Deponieverordnung ist das Deponieren von Kunststoffabfällen ab 2004 beziehungsweise in einigen Regionen ab 2009 nicht mehr gestattet. Daraus resultierte sowohl ein gewisser Bedarf an Verwertungskapazitäten, als auch die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen für verschiedene Formen der Kunststoffverwertung. Parallel zur Umsetzung der Deponieverordnung wird die Sammlung von Kunststoffverpackungen aus Haushalten nach und nach auf stofflich gut verwertbare Fraktionen konzentriert, wodurch wieder mehr Kunststoffverpackungen in den Restmüll gelangen. Zusätzlich steigen auch die Mengen an Kunststoffabfällen aus den Bereichen Bau und Elektro/Elektronik an.

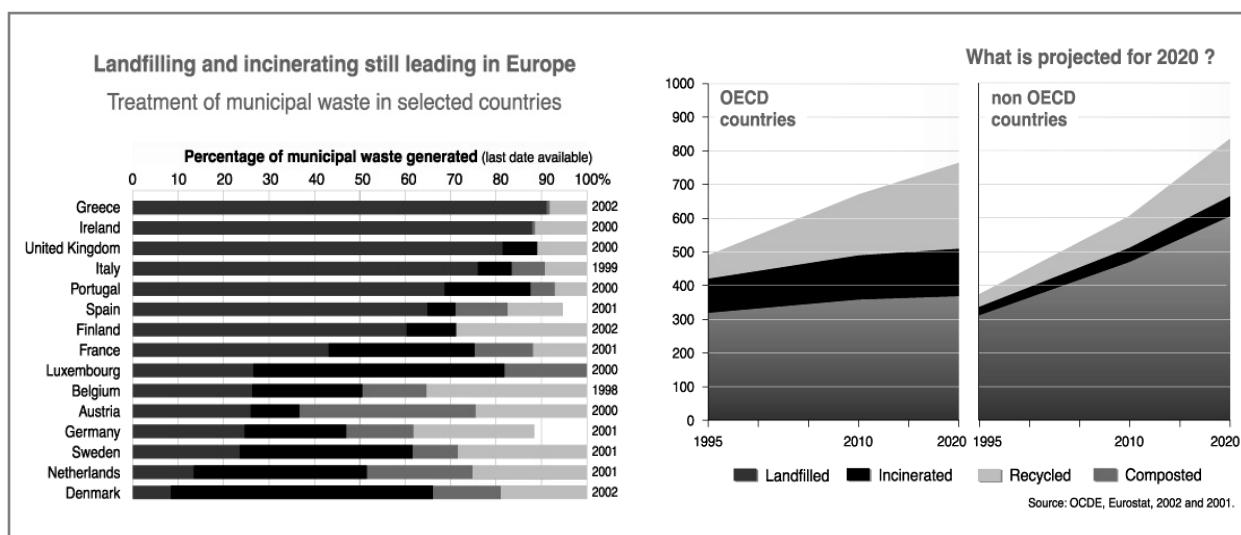


Abbildung 1: Behandlung von Restmüll 1995 - 2020

In den EU-Direktiven zu Verpackungsabfällen, Altautos und Elektroaltgeräten ist derzeit für Kunststoffe „Recycling“ verschieden definiert. In der derzeit in Ausarbeitung befindlichen Revision der europäischen Abfallrahmenrichtlinie ist das Thema der Definition von Recycling ebenfalls angesprochen worden. Der Diskussionsprozess ist jedoch bis-

her zu keinem Ergebnis gekommen. Festlegungen jeder Art werden jedenfalls massiven Einfluss auf die Bewirtschaftung von Kunststoffabfällen in Europa haben. Jedenfalls ist nach derzeitigem Wissenstand zu bezweifeln, dass die Recyclingquoten der EU-Direktiven zu Altfahrzeugen (Abb. 2) und Elektroaltgeräten im Rahmen von positiven Kosten-Nutzen-Bilanzen erfüllt werden können, wenn im Bereich der Kunststoffverwertung nur sortenreine werkstoffliche Verwertung als Recycling angesehen würde.

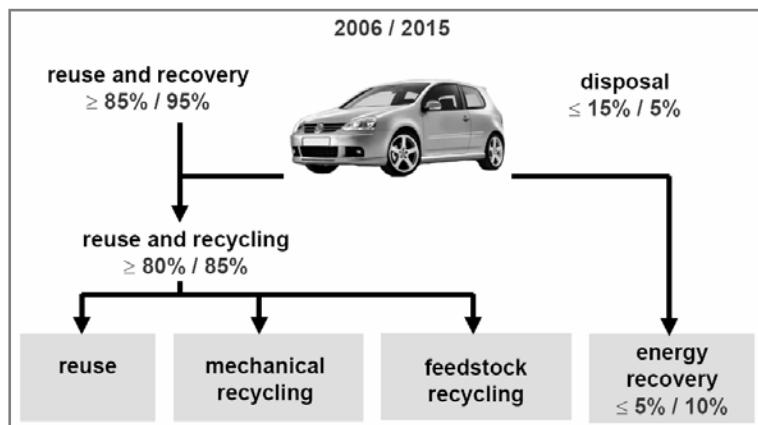


Abbildung 2: EU-Richtlinie Altauto

Vor dem Hintergrund von steigendem Konkurrenzdruck in der produzierenden Industrie und gleichzeitig steigenden Rohölpreisen wird das Bewusstsein für das Ressourcenpotenzial in Altkunststoffen immer größer. Eine steigende Anzahl von Unternehmen sieht in der Nutzung von Sekundärrohstoffen aus Kunststoff bedeutende Möglichkeiten, den Verbrauch von Primärrohstoffen und damit auch deren Kosten zu senken.

Alle diese Rahmenbedingungen führten 2002 zur Entwicklung eines Projekts zur Verwertung von Altkunststoffen im Hochofenprozess durch die voestalpine Stahl GmbH. Aus Kunststoffen wird im Hochofen Reduktionsgas erzeugt (CO und H<sub>2</sub>), das zur Schmelzreduktion von Eisenoxid verwendet wird. Dabei ersetzen Altkunststoffe Schweröl oder Koks – Primärrohstoffe, die üblicherweise dazu verwendet werden, um mit maximal erreichbarer Effizienz das benötigte Reduktionsgas zu erzeugen (Abb. 3).



Abbildung 3: Kunststofffraktionen als Reduktionsmittel im Hochofenprozess

Als Entwicklungspartner auf der Rohstoffseite konnten mit der AVE Gruppe, die unter anderem auch Anlagen zur thermischen Verwertung und energetischen Nutzung von Kunststoffabfällen betreibt und der TBS, einem Unternehmen, dass sich auf die Aufbereitung von Shredderabfällen spezialisiert hat, führende Unternehmen der Abfallwirtschaft gewonnen werden. Durch die Zusammenarbeit von AVE, TBS und voestalpine wurde eine neue Form des optimierten Managements von Abfallfraktionen und Sekundärrohstoffen realisiert: Heizwertreiche Abfallfraktionen verschiedenster Herkunft sollen durch Aufbereitungsprozesse zu definierten Sekundärrohstoffen und -brennstoffen mit verschiedenen Spezifikationen (zum Beispiel hoher, mittlerer und niedriger Heizwert) verarbeitet werden, wobei jede gewonnene Fraktion an die jeweils am besten geeignete Anlage weitergegeben wird [Bürgler 2007].

Im Jahr 2003 wurde im Rahmen eines UVP-Verfahrens die Grundsatzgenehmigung zur Errichtung der anlagentechnischen Voraussetzungen (Abb. 4) für den Einsatz von Kunststoffen im Hochofen A sowie zur Durchführung von Betriebsversuchen erteilt. Im Jahr 2004 fanden Aufbereitungsversuche zur Bestimmung der wesentlichen Anlagenparameter statt. Die Errichtung der Aufbereitungs- und Einblasanlagen wurde im zweiten Quartal 2006 abgeschlossen. Die Betriebsversuche mit 30.000 Tonnen aufbereiteten Kunststoffen wurden in der zweiten Jahreshälfte 2006 durchgeführt und im Mai 2007 die Detailgenehmigung für den Einsatz von 220.000 Tonnen Kunststoffen pro Jahr als Reduktionsmittel im Hochofenprozess erteilt.



Abbildung 4: Hochofen A der voestalpine Stahl GmbH in Linz

Begleitende Studien zur Bewertung der ökologischen Zweckmäßigkeit der Verwertung von aufbereiteten Kunststoffen im Hochofenprozess wurden durch die Denkstatt GmbH (damalige GUA GmbH) aus Wien mit einem Critical Peer Review durch die TU Wien, Institut für Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft sowie der GEO Partner AG aus Zürich durchgeführt.

## 2 Rohstoffbasis für den Einsatz von Kunststoffen als Reduktionsmittel im Hochofenprozess

Im Jahr 2015 werden in Österreich etwa 950.000 Tonnen Kunststoffabfälle anfallen. Abbildung 5 zeigt die unterschiedlichen Herkunftsbereiche [Pilz 2007].

Welche Inputmaterialien für bestimmte Kunststoffverwertungsprozesse grundsätzlich in Frage kommen, wird durch mehrere Faktoren bestimmt:

- Geeignete Gehalte an Kohlenstoff und Wasserstoff,
- Geeignete mechanische Beschaffenheit, so dass die im Verwertungsprozess gewünschte Größe/Masse/Form durch Zerkleinern, Pelletieren, Agglomieren etc. hergestellt werden kann,
- Geeignete chemische Zusammensetzung (Einhaltung bestimmter Grenzwerte hinsichtlich der Gehalte an Metallen, Chlor, Schwermetallen etc.) und
- „ökonomische Verfügbarkeit“ der Abfallfraktion, aus der der Sekundärrohstoff oder Sekundärbrennstoff gewonnen werden soll.

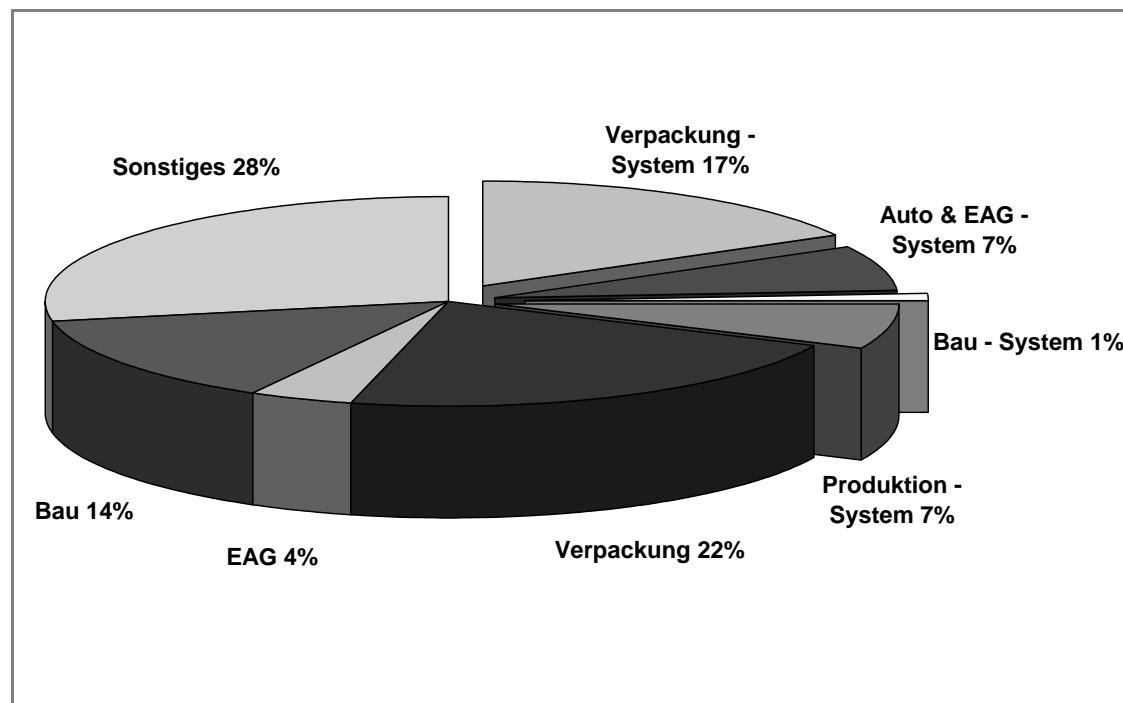


Abbildung 5: Prognostizierte Herkunftsbereiche von Kunststoffabfällen in Österreich 2015

Der zuletzt genannte Faktor sorgt in einem funktionierenden, unverzerrten Markt, dem alle erzeugten Abfallfraktionen unterliegen und in naher Zukunft unterliegen sollten, dafür, dass in aller Regel nur gemischte Altkunststoffe als Input für rohstoffliche und thermische Verwertungsprozesse in Frage kommen sollten. Diese stellen mit rund 70% den überwiegenden Anteil der Abfallfraktionen dar.

Sortenreine Kunststoffe, die mit dem Ziel einer nachfolgenden werkstofflichen Verwertung durch getrennte Sammlung, Sortierung, Demontage etc. erzeugt wurden, haben heute und auch zukünftig für die werkstoffliche Verwertung einen höheren Marktwert als für die rohstoffliche oder thermische Kunststoffverwertung.

Auf dem Markt der produzierten Abfallfraktionen stellt die Verwertung von Kunststoffen im Hochofen daher mit Sicherheit keine Konkurrenz zur sortenreinen werkstofflichen Verwertung dar. Welche Abfallfraktionen produziert werden, ist vor allem eine Frage der umweltpolitischen und legistischen Vorgaben. Da also im Hochofen in aller Regel nur gemischte Kunststoffe zum Einsatz kommen sollten, beschäftigt sich die vorliegende Studie grundsätzlich nur mit Verwertungsoptionen im Bereich der gemischten Kunststoffabfälle.

Aus den obigen Ausführungen folgt auch, dass die Verwertung von Kunststoffen nicht direkt mit der sortenreinen werkstofflichen Verwertung verglichen werden kann, da die Inputmaterialien in beiden Fällen grundsätzlich verschieden sind.

Die aufbereiteten Kunststoffe für die Verwertung im Hochofen der voestalpine werden in drei verschiedenen Produktionsprozessen erzeugt. Die Leichtfraktion aus der Windsichtung des gemischten Gewerbemülls, Mischkunststofffraktionen (Sortierreste aus der getrennten Sammlung von Kunststoffverpackungen) und die Leichtfraktion aus den mechanisch-biologischen Anlagen (MBA) für Restmüll aus Haushalten durchlaufen gemeinsam einen Pelletierprozess bei der AVE-Gruppe. Aus der Aufbereitungsanlage der TBS GmbH für Reststoffe aus Shredderanlagen (Shredderleichtfraktion, Shredderschwerfraktion) stammen Kunststoffgranulate. Mischkunststoffagglomerate und -kompaktate aus Sortierresten der getrennten Sammlung von Kunststoffverpackungen entstehen in verschiedenen Anlagen in Deutschland. Alle diese drei Sekundärrohstoffe besitzen ein Kornband von 0 – 10 mm und werden pneumatisch über 32 Förderleitungen und Einblaslanzen mit einem Durchmesser von 25 mm in die Vergasungszone des Hochofens befördert, wo sie in einem Zeitraum von etwa 20 ms und bei Temperaturen von 2.200°C zu Kohlenmonoxid, Wasserstoff und Kohlenstoff umgesetzt werden und so am Schmelzreduktionsprozess der Eisenoxide teilnehmen (Abb. 6 und 7) [Bürgler 2007].

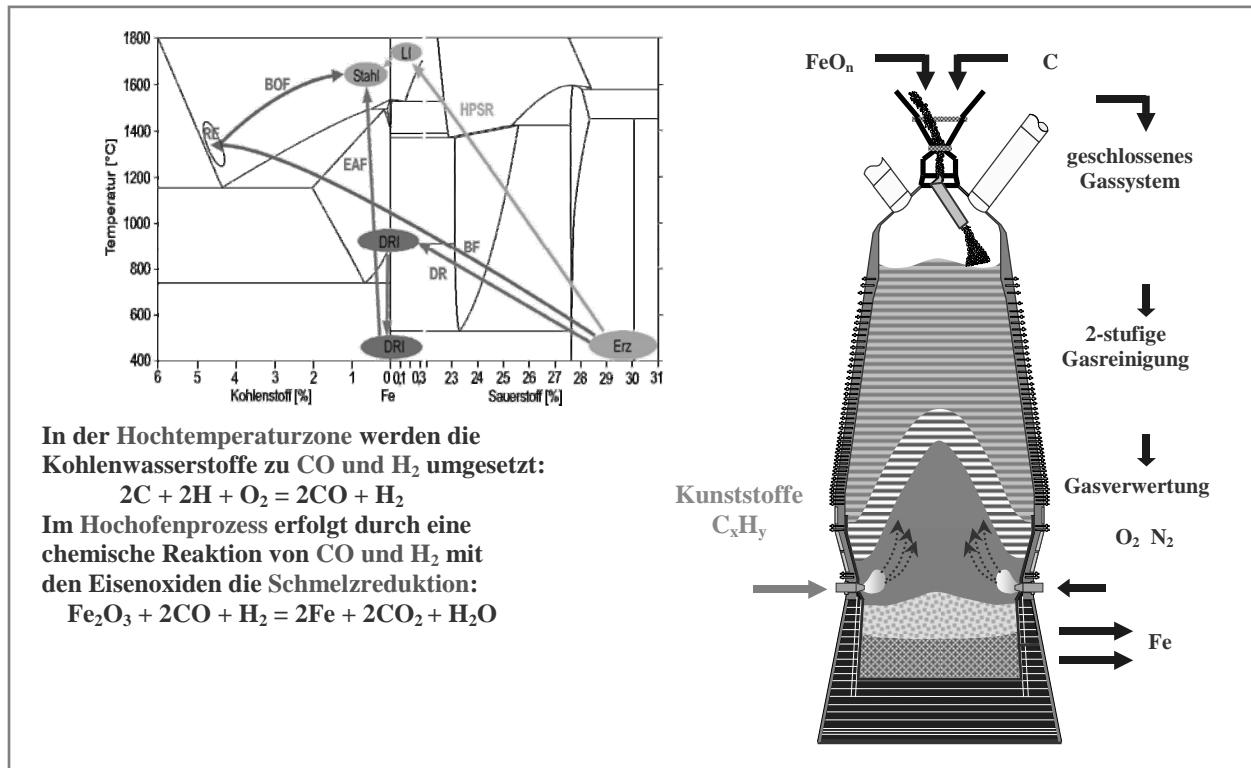


Abbildung 6: Der Hochofenprozess

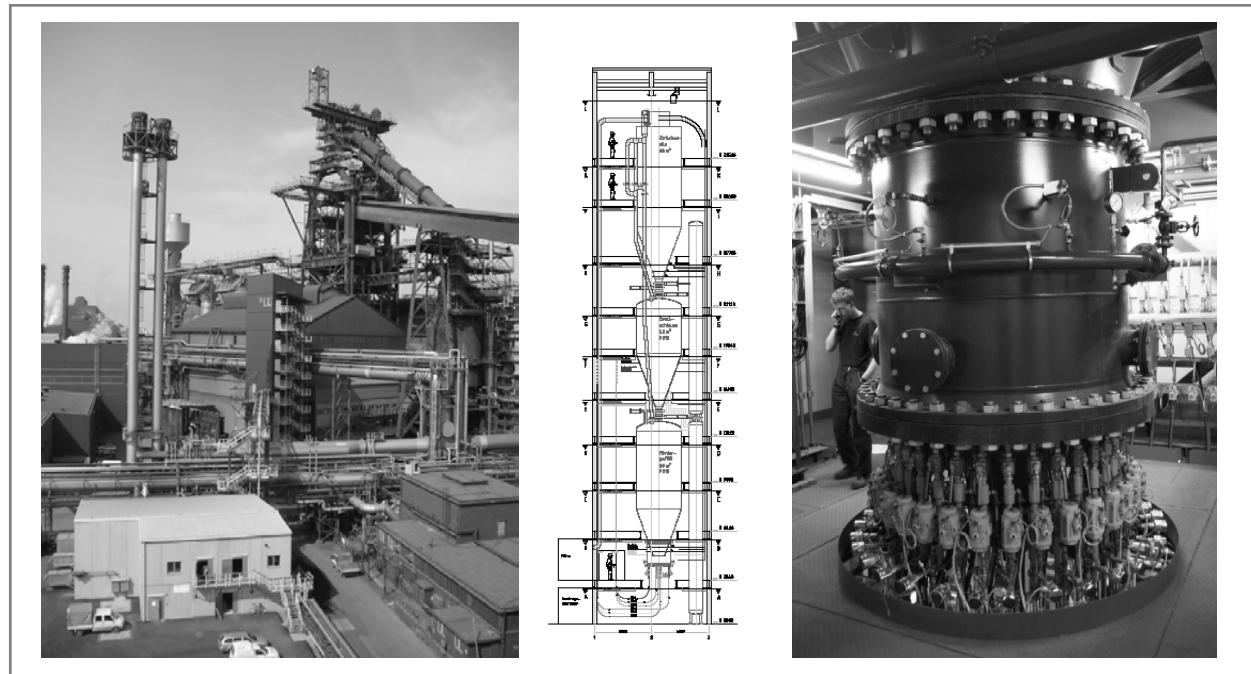


Abbildung 7: Anlagentechnik für die pneumatische Förderung der Kunststoffe

### 3 Grundlagen der Bewertungsstudie für die ökologische Zweckmäßigkeit – Systemdefinition und Umwelteffekte

Hauptaufgabe der Studie [Pilz 2007] war der Vergleich des Hochofenprozesses mit werkstofflichen und thermischen Verwertungsverfahren von gemischten Kunststoffen. Die beiden werkstofflichen Verfahren sind die Produktion von Dachziegeln und Palissaden, die beiden thermischen Verfahren der Einsatz im Wirbelschichtprozess zur Dampferzeugung für die Zellstoffproduktion (AVE-RVL) und im Zementdrehrohrofen.

Jeder Verfahrensvergleich wurde modelliert, indem zwei mögliche Varianten einander gegenübergestellt wurden, die am Beispiel des Hochofenprozesses und der Wirbelschichtverbrennung erläutert werden (Abb. 8):

**Variante 1:** Aufbereiteter Kunststoffabfall wird in der Wirbelschichtverbrennung verwertet, gleichzeitig erfolgt die Erzeugung von Roheisen mit Primärrohstoffen.

**Variante 2:** Aufbereiteter Kunststoffabfall wird im Hochofen verwertet, gleichzeitig erfolgt die Erzeugung von Strom und Wärme mit Primärbrennstoffen.

Beschreibt also die erste Variante einen bestimmten Verwertungsprozess, so bildet die zweite Variante den diesem Verwertungsprozess äquivalenten Primärprozess ab und umgekehrt. Jede Variante besteht daher aus zwei voneinander unabhängigen Systemen, einem Sekundärsystem mit Abfall als Hauptinput (zum Beispiel Wirbelschichtsekundär) und einem Primärsystem (zum Beispiel Hochofen-primär), in dem nur Primärrohstoffe bzw. -brennstoffe verwendet werden.

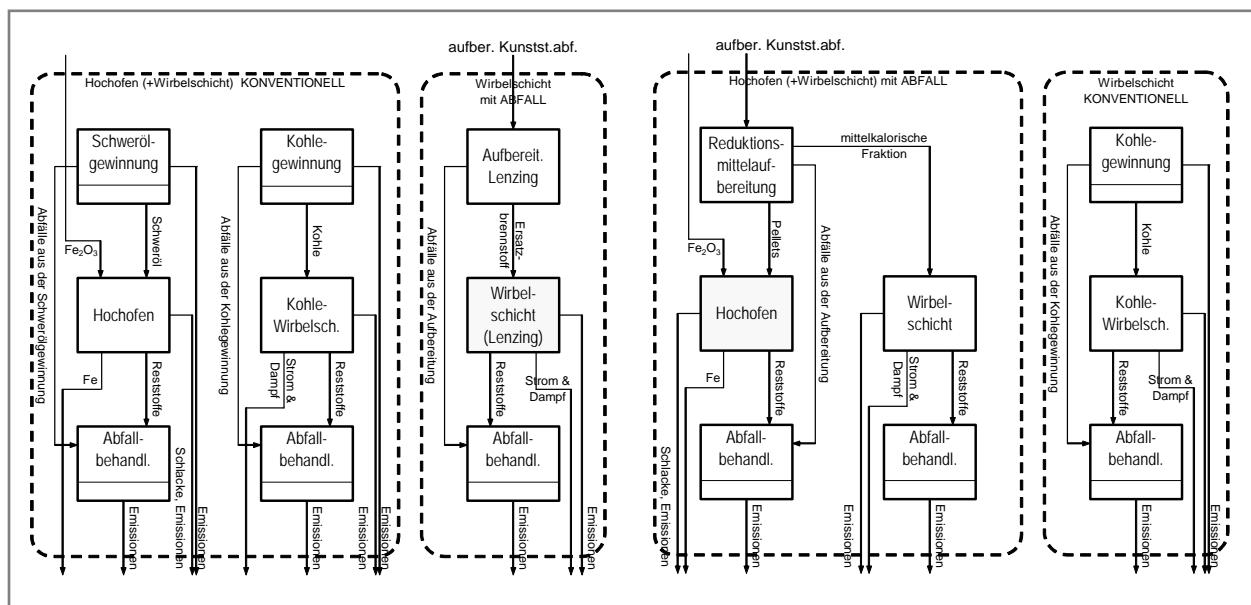


Abbildung 8: Systemvergleich Bewertungsstudie

Um die beiden Varianten vergleichbar zu machen, werden die Systeme so definiert, dass jedes Sekundärsystem den gleichen Abfallinput erhält und dass die sich jeweils entsprechenden Primär- und Sekundärsysteme die gleichen Produkte produzieren. Diese Produkte sind die „funktionelle Einheit“, auf die die miteinander verglichenen Varianten, wie in LCA-Studien üblich, quasi normiert sind.

Für den quantitativen Vergleich der ausgewählten Verwertungsverfahren beziehungsweise der beschriebenen Verwertungssysteme wurden folgende Umwelteffekte als Bewertungsparameter ausgewählt:

- Verbrauch von energetischen Primärressourcen
- Treibhausgasemissionen: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O
- Ausgewählte Luftemissionen: Staub, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, Pb, Cd, Hg
- Stoffflüsse von Pb, Cd und Hg in Richtung Emissionen, Produkte und Deponien
- Berechnung der Stoffkonzentrierungseffizienz (SKE)
- Deponiemengen nach Deponietypen

Für die relative Gewichtung der einzelnen Bewertungsparameter werden in dieser Studie fünf verschiedene Aggregationsmethoden angewandt:

- CML 2001 (inkl. Normalisierung)
- Ecoindicator 1999
- Ecological Scarcity 1997 (Ökopunkte)
- Vermeidungskosten
- „Best-Of“ (GUA 2006)

Trotz bestehender Unterschiede und Unsicherheiten in den Gewichtungsfaktoren der genannten Aggregationsmethoden leistet deren Anwendung wertvolle Unterstützung in zwei Bereichen: Einerseits bei der Auswahl von relevanten Bewertungsparametern (welche könnten relevant sein, welche nicht) und andererseits bei der groben Prüfung der Relevanz einzelner Effekte im Gesamtergebnis.

Die Arbeit mit den Aggregationsmethoden hat weiter gezeigt, dass in Teilbereichen große Unterschiede bei der Gewichtung bestehen können. Daher empfiehlt es sich, nicht nur eine bestimmte Methode, sondern möglichst mehrere Methoden parallel zu verwenden.

#### **4 Ergebnisse der Bewertungsstudie – Energetische Primärressourcen, Treibhausgas- und Luftemissionen**

Durch die Verwertung von aufbereiteten Kunststoffen im Hochofenprozess werden mehr Primärressourcen und Treibhausgasemissionen eingespart als durch die werkstoffliche Verwertung gemischter Kunststoffe, da die Menge des substituierten Schweröls oder Kokses größer ist als die ersparten energetischen Ressourcen zur Erzeugung

von Palisaden oder Dachziegeln. Der genannte Vorteil ist etwa gleich groß wie der Energieinhalt der aufbereiteten Kunststoffe und ist damit relevant (Abb. 9).

Die Verwertungsverfahren Hochofenprozess, Wirbelschichtverbrennung und Zementdrehrohr führen hinsichtlich ersparter Primärressourcen und Treibhausgasemissionen zu etwa gleich großen Nutzeffekten, wenn gleiche oder ähnliche Primärressourcen substituiert werden. Werden dagegen unterschiedliche Primärressourcen ersetzt, führen unterschiedlich große Aufwände für deren Gewinnung und Bereitstellung sowie unterschiedlich hohe spezifische Treibhausgasemissionen zu deutlichen Unterschieden im Ergebnis. Bei Substitution von verschiedenen Primärressourcen wird daher der eigentliche Verfahrensvergleich von einem davon unabhängigen Einfluss überlagert, wodurch verfahrensbezogene Unterschiede schlechter erkennbar werden.

Die Prüfung von Auswirkungen der Verwertungsverfahren im Bereich der Luft- und Wasseremissionen hat gezeigt, dass nur Unterschiede im Bereich der Luftemissionen SO<sub>2</sub>, sowie Pb, Cd und Hg für den durchgeführten Verfahrensvergleich relevant sind. Da der Schwefelgehalt von Koks geringfügig höher und von Schweröl deutlich höher liegt als bei aufbereiteten Kunststoffen, verringert der Einsatz von aufbereiteten Kunststoffen die SO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Gichtgasverwertung nach dem Hochofenprozess.

Zur Erstellung eines von anderen Effekten möglichst unbeeinflussten Vergleichs der Verwertungsverfahren wurden in dieser Studie beim Abfallinput in die jeweiligen Verwertungssysteme gleiche Inputgehalte an Schwermetallen angenommen. Damit führen beim Hochofen höhere Transferkoeffizienten in die Luft bei Pb und Hg zu etwas höheren Luftemissionen (pro funktionelle Einheit, also pro Tonne Abfallinput in das Verwertungssystem) als bei der Wirbelschichtverbrennung nach MVA-Standard. Im aggregierten Gesamtergebnis ist jedoch bei allen angewandten Aggregationsmethoden die Bedeutung der ersparten SO<sub>2</sub>-Emissionen etwa gleich oder größer (Faktor 1-3) und die Bedeutung der oben genannten ersparten Primärressourcen und Treibhausgase deutlich größer (typischer Faktor 5-10) als diese zusätzlichen Emissionen im modellhaften Vergleich.

In der Realität liegen aber die Schwermetallgehalte im Inputmaterial der Wirbelschichtverbrennung nach MVA-Standard (AVE-RVL) bzw. generell in Müllverbrennungsanlagen höher als in der Modellrechnung dieser Studie. Die Kombination dieser unterschiedlichen, realistischen Inputgehalte mit den Transferkoeffizienten der jeweiligen Anlagen führt letztlich beim Hochofen zu Cd- und Hg-Emissionen, die im Bereich des aktuellen MVA-Standards liegen. Bei Pb liegen die Emissionen beim Hochofen etwas höher als beim MVA-Standard, gleichzeitig unterschreiten sie aber den entsprechenden Grenzwert der Abfallverbrennungsverordnung um das Fünf- bis Zehnfache.

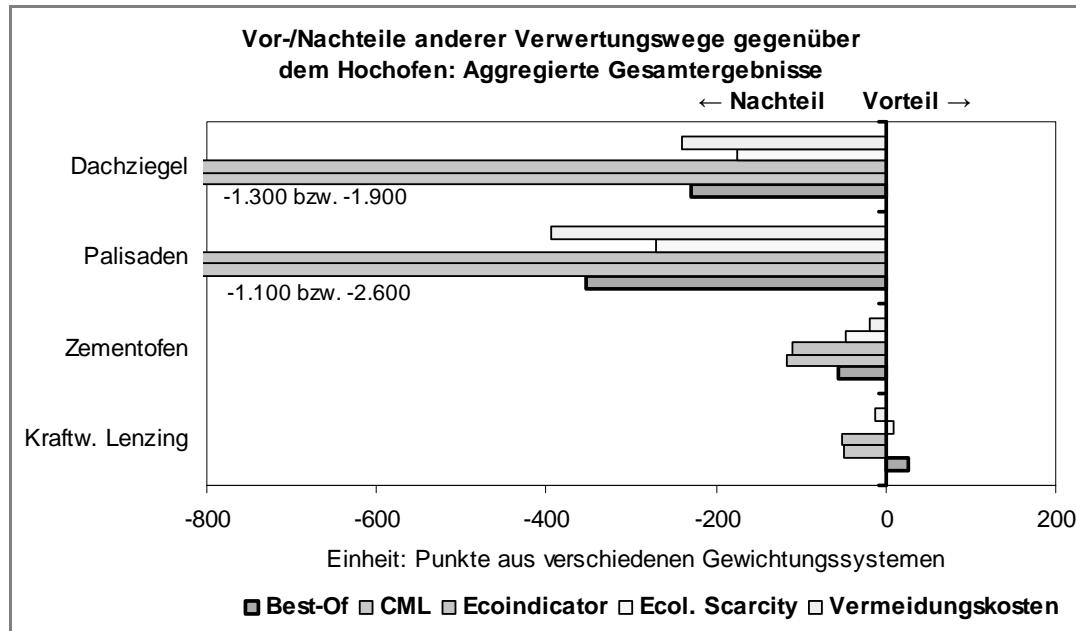


Abbildung 9: Ergebnisse des Variantenvergleichs nach Aggregation der Ergebnisse in den Bereichen Primärressourcen, Treibhausgase und Luftemissionen durch verschiedene Aggregationsmethoden

## 5 Ergebnisse zur Stoffsteuerung von Schwermetallen – Stoffkonzentrierungseffizienz

Aus der Sicht der Stoffsteuerung von Schwermetallen ist es wünschenswert, Schwermetalle entweder zu rezyklieren oder so gut wie möglich aus Stoffkreisläufen in Richtung geeigneter Deponien auszuschleusen. Beim Hochofenprozess werden 95% des Hg, 87% des Pb und 95% des Cd auf Deponien ausgeschleust. Zusätzlich werden 8% des Pb in konzentrierter Form an Recyclingprozesse abgegeben.

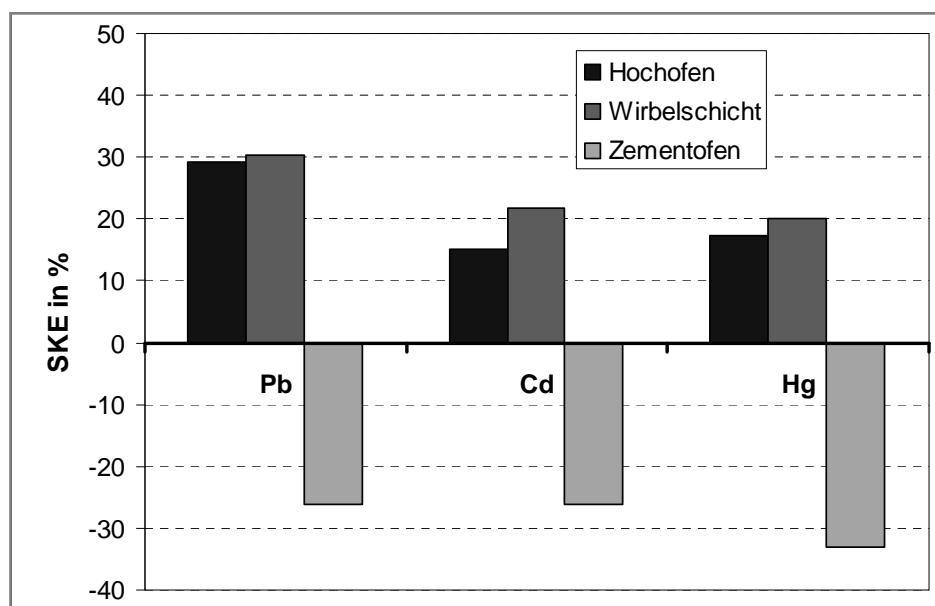


Abbildung 10: Vergleich der Stoffkonzentrierungseffizienz von Verwertungsverfahren

Rezyklieren als auch Ausschleusen von Schwermetallen bedürfen eines Konzentrierungsschrittes. Die Berechnungen zur Stoffkonzentrierungseffizienz (SKE) der Verwertungsverfahren zeigen, dass die SKE des Hochofens bei Pb, Cd und Hg ähnlich gute Werte erreicht wie bei der Wirbelschichtverbrennung [Rechberger 2007]. Das bedeutet, dass diese Stoffe durch den Hochofen mehrheitlich konzentriert und geeignet aus dem Stoffkreislauf ausgeschleust werden können.

## **6 Energetischer Netto-Nutzen verschiedener Verwertungsoptionen**

Recycling kann eine sinnvolle abfallwirtschaftliche Option darstellen – nicht, weil die Kreislaufführung von Stoffen an sich positiv zu bewerten ist, sondern weil Recycling in vielen Fällen beträchtliche Einsparungen an natürlichen Ressourcen und Emissionen aus Bereitstellung und Verwendung dieser Ressourcen verursacht.

Besonders beim Recycling von Kunststoffen können die Nutzeffekte verschiedener Verwertungsprozesse sehr unterschiedlich ausfallen. So bewegt sich zum Beispiel der Nutzeffekt eingesparter energetischer Ressourcen bei werkstofflicher Verwertung von Kunststoffabfällen abhängig vom angewendeten Prozess in einem Bereich von 0 bis 60 MJ pro kg rezykliertem Kunststoff-Abfall. 60 MJ/kg werden in Verwertungsprozessen erreicht, in denen sortenreine Kunststoffabfall-Fraktionen zu Granulat, einem wertvollen sekundären Rohstoff, verarbeitet werden. In vielen werkstofflichen Verwertungsprozessen für gemischte Altkunststoffe, wie der Herstellung von Kunststoff-Palisaden, Kunststoff-Dachziegeln und ähnlichem, sind dagegen die Nutzeffekte von Recycling sehr gering oder betragen sogar 0 MJ/kg (das heißt die beim Recycling verbrauchte Energie entspricht dem energetischen Nutzen der Substitution), da die Primär-Materialien, die ersetzt werden (Beton, Holz, Dachziegel etc.) mit geringem Energieaufwand hergestellt werden können.

Verglichen dazu liegt der Nutzen von rohstofflicher Verwertung im Hochofen bei etwa 47 MJ/kg – zweifellos höher als der Nutzen von stofflichem Recycling von Mischkunststoff-Fraktionen, aber auch deutlich höher als der durchschnittliche Nutzen werkstofflicher Recyclingprozesse [Pilz 2007].

Die Angaben beziehen sich auf 1 kg Altkunststoff-Input in die Verwertungsprozesse. Die vergleichsweise kleinen energetischen Aufwände für Sammlung und Sortierung bzw. Aufbereitung sowie anteilige Effekte von mitgesammelten, aber im Zuge der Sortierung bzw. Aufbereitung abgetrennten Fraktionen sind nicht enthalten. Dadurch ist der Netto-Nutzen der einzelnen Verwertungsoptionen deutlicher erkennbar als in Szenarien, in denen die Effekte aller aus dem ursprünglichen Sammelgut erzeugten Fraktionen addiert und vermischt werden.

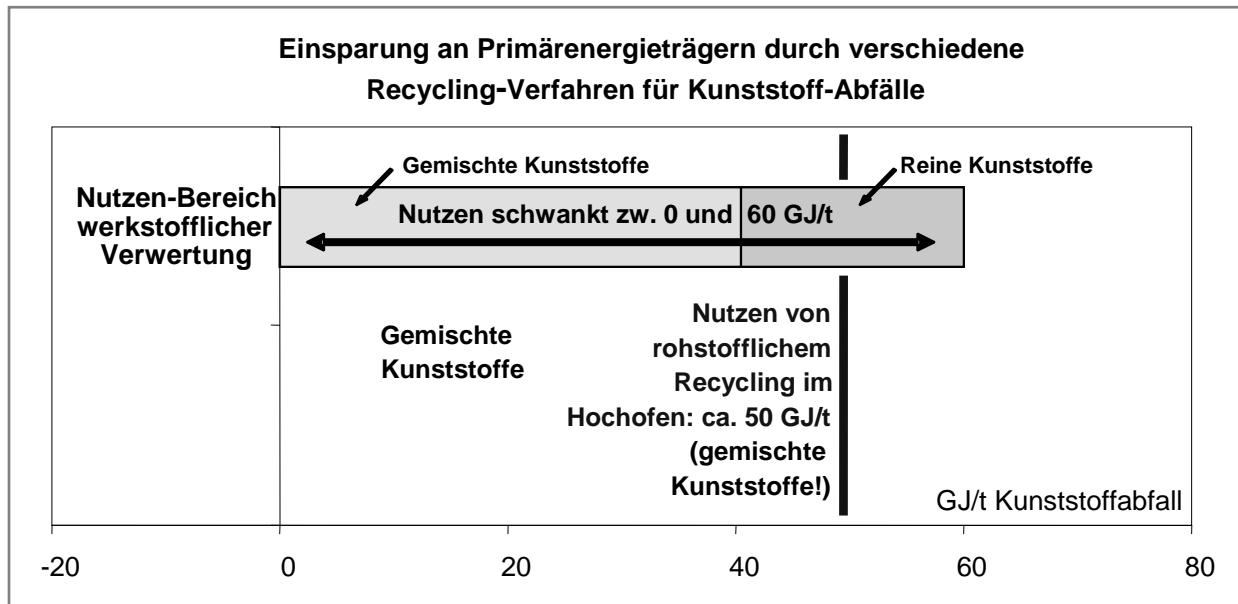


Abbildung 11: Nutzen der Kunststoffverwertung im Hochofen im Vergleich mit der Nutzenbandbreite von werkstofflichen Verwertungsverfahren für sortenreine und gemischte Kunststoffabfälle

An dieser Stelle soll darauf hingewiesen werden, dass bei der Berechnung des energetischen Netto-Nutzens von sortenreiner werkstofflicher Verwertung angenommen wurde, dass im Verwertungsprozess nur 5% Verwertungsabfall anfällt. Bezogen auf ein bestimmtes Produkt, das immer wieder verwertet würde, ergäben sich daraus theoretisch 20 Umläufe für ein Polymer. Eine derart hohe Zahl von Umschmelzprozessen würde die Qualität der Polymere allerdings deutlich beeinträchtigen. In der Praxis tritt diese Verminderung der Qualität der Polymere aber nicht ein, da in der heutigen Abfallwirtschaft ein kleiner Anteil von Produkten aus Rezyklaten mit einer großen Menge von Produkten aus Primärkunststoff vermischt wird, wodurch nur ein sehr kleiner Anteil der Kunststoffe den Prozess der werkstofflichen Verwertung mehrmals durchläuft.

## 7 Nachhaltige Weiterentwicklung des Hochofenprozesses

Im Hochofen A der voestalpine Stahl GmbH werden bis zu 220.000 Tonnen Kunststoffe als Reduktionsmittel eingesetzt. Motivation für dieses Projekt ist die Unterstützung der Automobilindustrie zur Erfüllung der EU-Richtlinie „Altauto“ und ein erheblicher Beitrag zur Ressourcenschonung bei Primärrohstoffen wie Kohle, Koks und Schweröl durch die Nutzung von Abfallströmen als Rohstoffe. Damit wird der Begriff „Urban Mining“ zur Realität. Der Hochofenprozess hat weiters den höchsten Ressourceneinspareffekt im Vergleich unterschiedlicher Verwertungsverfahren für Mischkunststoffe.

Die 220.000 Mg Kunststoffe entsprechen mehr als einem Drittel der aktuell in Österreich jährlich anfallenden Gesamtmenge an Kunststoffabfällen (rund 600.000 Tonnen)

und stammen aus der Aufbereitung von Gewerbe-, Produktions-, Verpackungs- und Haushaltsabfällen. Sie ersetzen im Hochofenprozess 150.000 Mg Schweröl und entlasten damit die Umwelt um bis zu 550.000 Mg CO<sub>2</sub> jährlich, die bei anderen Verwertungsverfahren entstehen. Das sind beachtliche 0,6% der gesamten österreichischen CO<sub>2</sub>-Emissionen. Durch den schwefelarmen Kunststoff verringern sich auch die SO<sub>2</sub>-Emissionen des Hochofenprozesses um 15%. Die Thermodynamik und Metallurgie des Hochofenprozesses konzentriert die in den Kunststoffen enthaltenen Schadstoffe in Outputströmen zur weiteren Behandlung. Als Voraussetzung für die behördliche Genehmigung verpflichtete sich die voestalpine des Weiteren zu einem weltweit einzigartig niedrigen Staubgrenzwert im Reingichtgas von 1 mg/m<sup>3</sup>. Damit wird ein weiterer Beitrag zur Verringerung der Staubbelastung im Großraum Linz geleistet.

Die voestalpine Stahl GmbH ist damit weltweit das erste Unternehmen der Stahlbranche, welches dieses Recyclingprojekt realisiert hat und ihre Kunden aus der Automobilindustrie dabei unterstützt, die von der EU vorgegebenen Recyclingquoten von 85% der in einem Auto verwendeten Werkstoffe zu erfüllen. Mit den nachhaltigen Umweltauswirkungen durch die Reduktion des CO<sub>2</sub>-, SO<sub>2</sub>- und Staubausstoßes wird die globale Verantwortung mit lokalem Handeln verbunden. Damit ist der Hochofen ein zentraler Prozess für die Kunststoffverwertung und erfüllt alle Kriterien europäischer Abfallrahmenrichtlinien.

## 8 Literaturverzeichnis

OECD Eurostat (2004): [http://maps.grida.no/go/graphic/landfilling\\_and\\_incinerating\\_still\\_leading\\_in\\_europe](http://maps.grida.no/go/graphic/landfilling_and_incinerating_still_leading_in_europe).

Buerbler, Th.; Brunnbauer, G.; Pillmair, G.; Ferstl, A. (2007): Waste plastics as reducing agent in the blast furnace process – Synergies between industrial production and waste management processes. METEC InSteelCon, Düsseldorf, 2007, Proceedings, 1047 – 1043.

Pilz, H. (2007): Bewertung der ökologischen Zweckmäßigkeit der Kunststoffverwertung im Hochofen der voestalpine Stahl. Studie, Denkstatt GmbH, Wien.

Rechberger, H. (2007): Bewertung der Stoffkonzentrierungseffizienz für die Kunststoffverwertung im Hochofenprozess. Studie, Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft, TU Wien.

B. Bilitewski, A.I. Urban, M. Faulstich (Hrsg.)

**13. Fachtagung  
Thermische Abfallbehandlung**

**Erfahrungen in Monoanlagen**

Prof. Dr.-Ing. Bernd Neukirchen  
Essen

Schriftenreihe des  
Fachgebietes Abfalltechnik  
Universität Kassel

## 1 Einführung

Für beide Begriffe, Ersatzbrennstoffe (EBS) und Monoanlagen, hat sich eine einschränkende Vorstellung durchgesetzt, die bei genauerem Hinsehen einer Korrektur bedarf. Bei der Mitverbrennung in Industrieanlagen ersetzen EBS sehr direkt Brennstoffe wie Braunkohle, Steinkohle, Öl und andere. In Monoanlagen (EBS-Kraftwerken) ersetzen Abfälle oder EBS irgendwelche Brennstoffe dagegen irgendwo in unbekannten Kraftwerken. Wo ist da der Unterschied zur Müllverbrennung (MVA)? Ist der Input in eine MVA nicht auch Ersatz-Brennstoff?

Klassische Brennstoffe können somit durch

- Produktionsabfälle,
- Siedlungsabfälle,
- Sortierte und behandelte Abfälle (EBS) und
- Biomasse

ersetzt werden.

Unter Monoanlagen können wir sowohl Biomassekraftwerke, Klärschlammverbrennungsanlagen, EBS-Kraftwerke, aber eben auch die üblichen Müllverbrennungsanlagen verstehen. In der Regel meinen wir aber bei dem Begriff Monoanlagen nur EBS-Kraftwerke, wenn über den Einsatz von vorbehandeltem Abfall diskutiert wird. Diese Monoanlagen sind insbesondere seit dem Deponieverbot für Siedlungsabfälle im Jahr 2005 in den Vordergrund gerückt. Namensänderungen um die Abfallverbrennung mit energetischer Verwertung akzeptierbar zu machen, ziehen sich schon seit den 80er Jahren wie ein roter Faden durch die Abfallwirtschaft. Ein entscheidender Unterschied der EBS-Kraftwerke gegenüber der MVA ist allerdings, dass sie Lieferverpflichtungen für Dampf, Wärme oder elektrische Energie eingehen (müssen) und damit auch häufig für Ausfallersatz zu sorgen haben.

Mit dem dezentralen Anlagenkonzept kleinerer Monoanlagen sollen günstigere Standorte gefunden werden, um dadurch eine bessere energetische Verwertung der Abfälle erreichen zu können. Die Hoffnung, weniger Widerstand in der Bevölkerung gegen die Abfallverbrennung zu erreichen, hat sich allerdings in der Regel nicht bestätigt.

## 2 Brennstoffe

Der Idealfall für ein EBS-Kraftwerk ist ein Unternehmen, das in seiner Produktion den Abfall-Brennstoff erzeugt, diesen dann im selbst gebauten und betriebenen Kraftwerk einsetzt und die gewonnene Energie für die eigene Produktion nutzt. Dagegen sehen bei der energetischen Verwertung der Siedlungsabfälle die Verursacher, EBS-Hersteller und der Kraftwerksbetreiber mit ihren unterschiedlichen Interessen bezüglich der

Gebühren, Erlöse, Kostenminimierung und Gewinnmaximierung höchst unterschiedlich aus (Abb. 1).

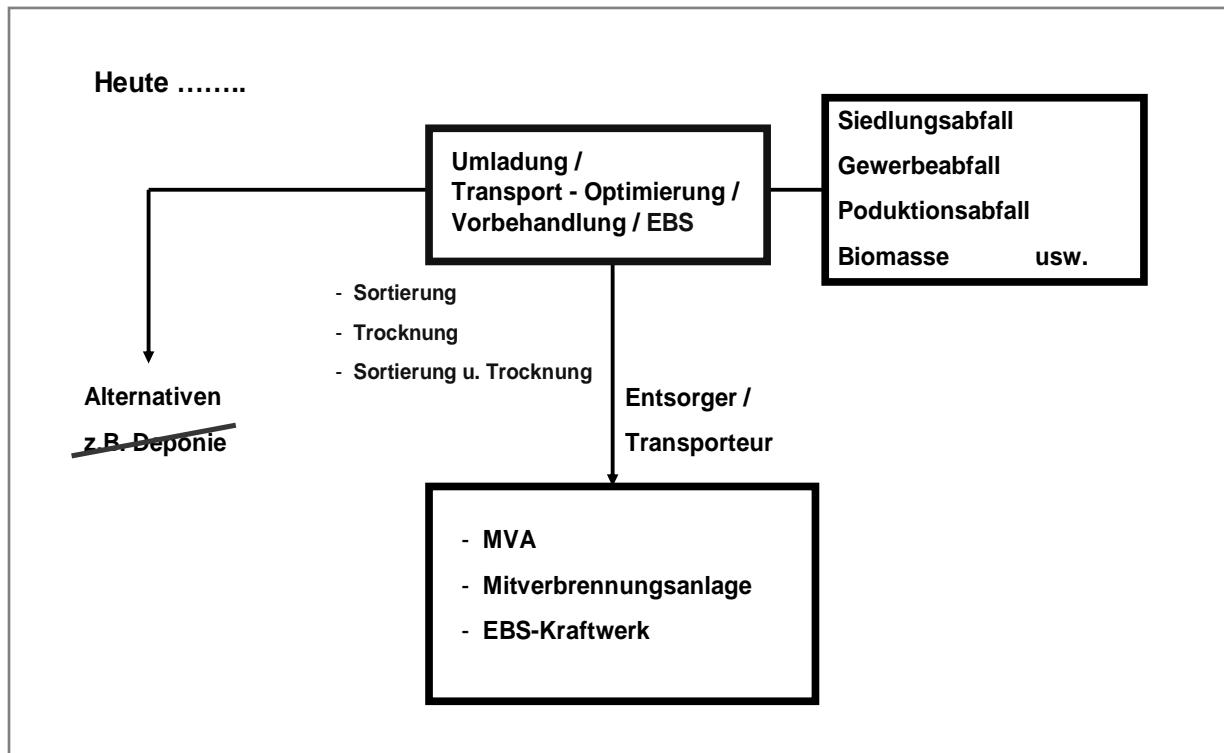


Abbildung 1: Die zwischengeschaltete Umladung und/oder Vorbehandlung

Die stoffliche Verwertung beispielsweise von aussortierten Metallen ist bei derzeitigen Schrottpreisen sinnvoll. Die Separierung der heizwertreichen Fraktion aus dem Siedlungsabfall führt aber auch zur Frage nach dem Verbleib der heizwertarmen Abfallfraktion und den Schadstoffbilanzen. Der ausschließliche Blick auf die Herstellung eines attraktiven Ersatzbrennstoffs mit besonderen Qualitätsmerkmalen und unterschiedlich intensiven Behandlungsverfahren drängt die Gesamtentsorgungsverpflichtung der Abfälle häufig in den Hintergrund.

### 3 Anlagenkonzepte

Der gleichmäßigere Brennstoff mit engen Bandbreiten für Heizwerte und Inhaltstoffe führt zu der risikoreichen Annahme, dass die Monokraftwerke weniger Flexibilität haben müssen und damit viel einfacher gebaut werden können. Auch der Versuch mit erheblich höheren Dampfparametern (Druck, Temperatur) einen deutlich besseren Wirkungsgrad der Anlagen erzeugen zu können, ist durch Korrosionsprobleme in verschiedenen EBS-/Biomasse-Kraftwerken inzwischen gedämpft worden. 40 bar und 400°C sind immer noch die von Betreibern bestätigten Daten, die bisher nicht ohne besonderen Grund überschritten werden sollten.

Der Brennstoff-Annahmebereich einer EBS-Monoanlage unterscheidet sich gegenüber einer MVA durch preiswerte Flachbunker bei kleineren Anlagen. Dagegen erfordert bei Großanlagen, wie der geplanten Anlage in Frankfurt am Main, die geringe Stapelfähigkeit der EBS ein neues Tiefbunkerkonzept (Abb. 2).

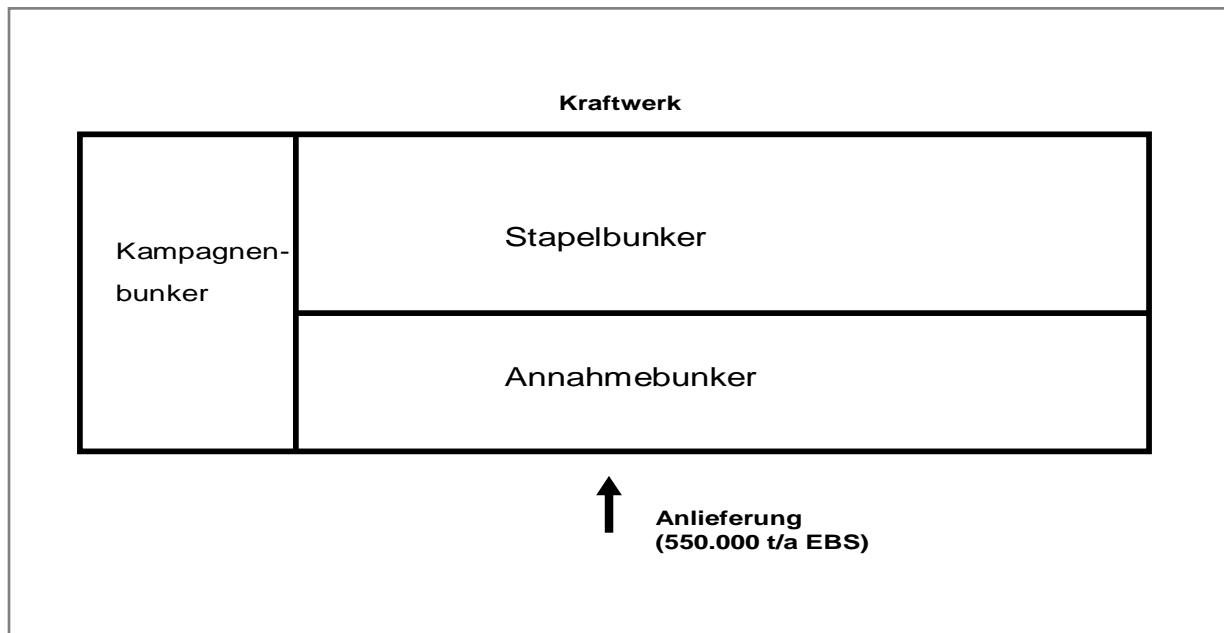


Abbildung 2: Bunkerkonzept des geplanten EBS-Kraftwerks in Frankfurt am Main (InfraServ Höchst KG)

Neben den Feuerungssystemen mit wassergekühlten Rosten werden auch verschiedene Wirbelschichtverfahren wegen der Gleichmäßigkeit des Brennstoffs verstärkt in die Planungs-Überlegungen miteinbezogen.

Die Abgasreinigungsanlagen werden durch die geringer schwankenden Inhaltstoffe des EBS einfacher gegenüber den MVA der 80er Jahre gebaut, aber auch mit erheblich geringerem energetischen Eigenbedarf (Energieeffizienz). Einem SNCR-Verfahren folgt in der Regel ein Sprühabsorber, eine Reaktionsstrecke (Herdofenkoks, Kalkhydrat) und ein Gewebefilter. Schon jetzt beklagen Betreiber aber die Grenzen dieses Abgasreinigungssystems bei hohen Chlor- und Schwefel-Werten.

Ob diese Ausstattung auch in Zukunft ausreicht, hängt auch von den gesetzlichen Bestrebungen ab, die Emissionsgrenzwerte, beispielsweise bei den Stickstoffoxiden, zu verschärfen.

Bisher werden die Investitionskosten für geplante EBS-Kraftwerke zwischen 200 und 700 €/Mg Jahreskapazität angegeben (Tab. 1). Die großen Unterschiede sind in der EBS-Herkunft, der Größe der Anlage, den Standortbedingungen, den Energie-Versorgungsverträgen, den Flexibilitätsanforderungen bei unterschiedlichen Brennstoffen und den Risikobeurteilungen begründet.

Tabelle 1: Investitionskosten einiger geplanter EBS-Kraftwerke

Anlage	Jahreskapazität [Mg/a]	Investitionskosten [€/Mg]
Ettringen	500.000	200
Bernburg	600.000	250
Brunsbüttel	2 x 163.000	307
Mönkeloh	115.000	539
Trostberg	150.000	566
Dormagen	100.000	600
Schelklingen	190.000	632
Schwedt/Oder	210.000	729
Bozen (MVA)	130.000	754

## 4 Effizienz und Wirtschaftlichkeit

Durch bessere Standortoptimierung zum Energieabnehmer und gleichmäßige Brennstoffe mit erhöhtem Heizwert ist der Wirkungsgrad der Monoanlagen den klassischen Müllverbrennungsanlagen überlegen. Bei heizwertreichen Monoabfällen aus Produktionen können entsprechende Anlagen wirtschaftlich sinnvoll gestaltet werden.

EBS aus Siedlungsabfall erfordert bei einem Vergleich von MVA und EBS-Monoanlage einen Bilanzkreis (Bewertungsrahmen), der die EBS-Herstellung und die abgezweigten Abfallteilströme aus der Vorbehandlung mit einschließen, denn auch ein EBS-Kraftwerk hat eine Entsorgungsfunktion.

Auf der Abfallwirtschafts- und Energiekonferenz 2008 in Berlin haben sowohl ein Anlagenbauer, ein Entsorger als auch zwei Betreiber in ihren Vorträgen technische und wirtschaftliche Bedenken bis hin zur Ablehnung gegenüber Monoanlagen für EBS aus Siedlungsabfällen geäußert.



B. Bilitewski, A.I. Urban, M. Faulstich (Hrsg.)

**13. Fachtagung  
Thermische Abfallbehandlung**

**Energieeffizienz in der AVA Amsterdam  
Erste Betriebserfahrungen**

Dipl.-Ing. Jörn Wandschneider

Wandschneider & Gutjahr Ingenieurgesellschaft mbH

Hamburg

Schriftenreihe des  
Fachgebietes Abfalltechnik  
Universität Kassel

## 1 Einführung

Der elektrische Netto-Wirkungsgrad, der sich realistisch für eine Neubau-MVA darstellen lässt, beträgt etwa 30%. Hierbei handelt es sich um einen technisch plausiblen Wert, der bei einer üblichen und wirtschaftlich notwendigen Betriebssicherheit und Verfügbarkeit erreicht werden kann. Die entsprechende Technologie ist erstmalig in der HR AVI in Amsterdam umgesetzt worden. Noch höhere Wirkungsgrade wären bereits heute möglich. Allerdings steigen die Kosten überproportional, insbesondere in Folge von Kesselverschleiß und Produktionsausfall oder durch die entsprechend teuren Gegenmaßnahmen.

Typische derzeitig betriebene Müllverbrennungsanlagen mit entsprechend komplexer Abgasreinigung erreichen elektrische Netto-Wirkungsgrade von etwa 18 bis 22%. Zum Vergleich wird bewusst der elektrische Netto-Wirkungsgrad als Bezugsgröße herangezogen, da sich diese Werte konkret umschreiben und gut vergleichen lassen. Für die wünschenswerte Kraft-Wärmekopplung sind Prüfungen des Einzelfalles nötig, da sich die individuellen Randbedingungen hier besonders stark auswirken und rein zahlenmäßige Vergleiche verfälschen. Die politisch aufgestellten Formeln zur Bezeichnung des Wirkungsgrades sind völlig unzureichend.

Nachfolgend soll über die ersten Betriebserfahrungen der HR AVI berichtet werden, deren vorläufige Übernahme nach erfolgreichem Probebetrieb am 01.08.2007 erfolgte. Dazu sollen zunächst die wesentlichen verfahrenstechnischen Lösungen zur Wirkungsgradsteigerung kurz erläutert werden.

## 2 HR AVI Amsterdam

Die 'Hoog Rendement Afval Verwerkings Installatie – HR AVI' ist eine MVA mit sehr hohem Wirkungsgrad. Es handelt sich bei der HR AVI um eine Erweiterung der am Standort bestehenden vier Verbrennungslinien, die bereits mit einer Verbrennungskapazität von 840.000 Mg/a ausgestattet sind. Die zwei zusätzlichen Linien der HR-AVI stellen mit der zugehörigen Turbine einen eigenständigen Kraftwerksblock dar, der für weitere 530.000 Mg/a dimensioniert ist. Insgesamt ergibt das eine der weltgrößten Müllverbrennungsanlagen mit 1,3 Mio. Mg/a Durchsatz. Ein Rekordniveau beim Netto-Wirkungsgrad der HR AVI ist das erklärte Projektziel, nämlich 30% oder mehr. Als unabdingbares Nebenziel gilt die Verfügbarkeit, die mindestens den Wert von 90% erreichen soll.

Die HR AVI befindet sich seit Ende März 2007 in der Warm-Inbetriebsetzung mit Mülldurchsatz. Der Probebetrieb wurde am 31.07.2007 beendet, seit 01.08.2007 ist die Anlage übernommen. Abbildung 1 zeigt die HR AVI im jetzigen Zustand.

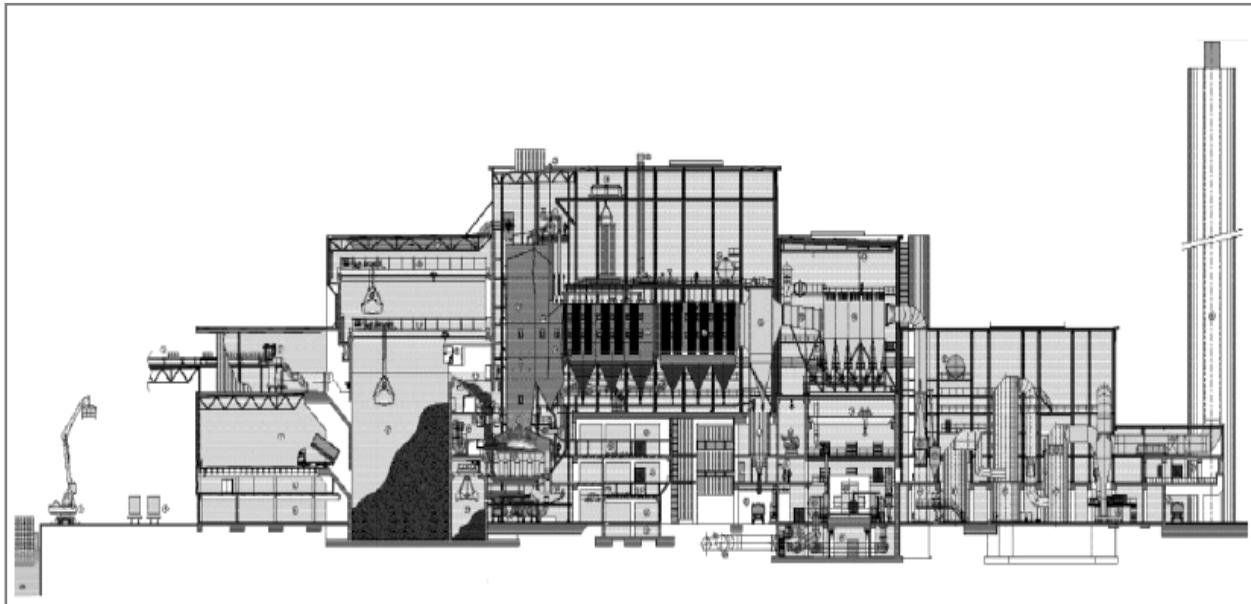


Abbildung 1: Gesamtschnitt HR AVI

## 2.1 Ursprung der HR AVI

Auftraggeber ist der 'Afvalenegiebedrijf' (AEB), eine Gesellschaft, die zu 100% der Gemeinde Amsterdam gehört. AEB blickt auf eine mehr als 100-jährige Geschichte der Abfallverbrennung zurück. Seit 1993 ist die AVI Amsterdam als dritte Anlage in Betrieb. Diese Anlage war von Beginn an ein technischer und wirtschaftlicher Erfolg.

Die vom Umweltministerium prognostizierte Unterdeckung an Verbrennungskapazität von mindestens 2 Mio. Mg/a in den Niederlanden (best case) hat bei der AEB im Jahre 2000 zur Entscheidung geführt, eine Erweiterung der bestehenden AVI vorzunehmen. Dieses Projekt wurde in umfangreichen Untersuchungen und Vorstudien durch W + G als Ingenieurberater von AEB herstellerneutral entwickelt und als Vorplanung detailliert.

Ein wesentlicher Hintergrund für die extreme Zielsetzung der HR AVI war das niederländische Moratorium zur Abfallverbrennung. Dieses forderte zwingend den Einsatz der Wirbelschicht für die Abfallverbrennung wegen des mit über 30% angenommenen höheren Wirkungsgrades. AEB war von der Wirbelschicht für üblichen Hausmüll wenig überzeugt, weshalb die HR AVI mit Rostfeuerung und einem ähnlich hohen Wirkungsgrad als Gegenentwurf entstand. Das Moratorium wurde inzwischen von der Politik zurückgezogen, das Projekt der HR AVI jedoch nicht verändert, da eine Wirtschaftlichkeit des Konzeptes nachgewiesen werden konnte. Es wird mit dem Konzept der Anspruch verfolgt, die zukünftige Generation der thermischen Abfallbehandlung zu realisieren.

## 2.2 Technisches Konzept

Das technische Konzept basiert wesentlich auf konventioneller Verbrennungstechnologie. Die Bausteine der HR AVI kommen prinzipiell für jede rostgefeuerte Müllverbrennungsanlage in Frage. Das verfahrenstechnische Konzept ist teilweise auch aus Abbildung 1 ersichtlich und umfasst:

- Rostfeuerung mit Teil-Wasserkühlung,
- Kessel mit Naturumlauf, Horizontalkessel mit drei Leerzügen,
- Abgasreinigung mit SNCR, E-Filter, Flugstromverfahren und Wäschern,
- Dampfturbine mit separatem Hoch- und Niederdruckteil,
- Kondensator mit Wasserkühlung (Hafenwasser) und
- Salzfabrik.

Umfangreiche Simulationsrechnungen weisen den elektrischen Gesamt-Netto-Wirkungsgrad mit 30,5% aus. Hierbei sind einige vorsichtige Annahmen insbesondere zum Eigenbedarf inbegriffen, so dass tatsächlich über 31% erwartet werden. Dieser hohe Wirkungsgrad ist im Zusammenhang mit dem gewählten Konzept für die Abgasreinigung zu sehen, die wegen der hohen Anforderungen an die Emissionsminderung eher als „Energiefresser“ bezeichnet werden kann.

Die Bruttowärmeleistung einer Linie beträgt 93,3 MW, entsprechend 33,6 Mg/h Durchsatz bei einem Heizwert von 10 MJ/kg im Auslegungspunkt DLC.

## 2.3 Maßnahmen zur Wirkungsgradsteigerung

Die entscheidenden Aspekte für den hohen Wirkungsgrad sind

- Der Luftüberschuss,
- Die Dampftemperatur und der Dampfdruck,
- Der Kondensationsdruck,
- Die Kondensatvorwärmung,
- Die Nutzung der Rest-Abgaswärme (Eco 2 und Eco 3) und
- Die Zwischenüberhitzung.

Diese Parameter sowie die wesentlichen Einzelentscheidungen werden in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben. Zur Erzielung des hohen Netto-Wirkungsgrades sind selbstverständlich alle generellen Vorkehrungen getroffen, beispielsweise der Einsatz von Frequenzumformern, Pumpen und Gebläse mit hohem Wirkungsgrad und weiteres.

### 2.3.1 Luftüberschuss

#### Idee

Der Luftüberschuss wird als Puffer wegen der bekannten und unvermeidlichen Unregelmäßigkeit des Brennstoffes Müll benötigt. Gleichzeitig bestimmt der Luftüberschuss den Abgasverlust und den Stromverbrauch am Saugzug. Ein niedrig eingestellter O<sub>2</sub>-Sollwert sorgt für eine hohe Dampf- und damit Stromproduktion.

#### Realisierung

Der Sollwert ist mit 6,5% trocken entsprechend 5,2% feucht am Kesselende definiert. Voraussetzung für so niedrige O<sub>2</sub>-Sollwerte ist ein gleichmäßiger Feuerungsbetrieb. Bei der HR AVI trägt hierzu bereits die Dimensionierung nicht unerheblich bei, die Rostbreite beträgt über 12 m. Durch die große Durchsatzleistung wirken sich die einzelnen Brennstoffbestandteile und Wandeinflüsse relativ wenig aus.

Weiter sind durch die drei Rostbahnen mit je vier Antriebs- und sieben Luftzonen umfangreiche Regelungsmöglichkeiten gegeben. Die Primär-Luftzufuhr kann zu jeder Zone einzeln gemessen und eingestellt werden. Die engen Toleranzen der wassergekühlten Rostoberfläche sorgen für eine sichere Luftverteilung und ermöglichen niedrige Primärluftanteile. Eine zweistufige dampfbeheizte Luftvorwärmung ist installiert.

Für eine stabile und gestufte Nachverbrennung wird zunächst rezirkuliertes Abgas über Vorder- und Rückwanddüsen als Sekundärluft zugegeben, Tertiärluft anschließend in der darüber liegenden Düsenebene.

Die Sensorik für die Feuerleistungsregelung ist auf die Standardausstattung beschränkt. Es ist keine flächige Temperaturmessung über Ultraschall oder eine Kameraüberwachung vorgesehen, allerdings sind Öffnungen für die Nachrüstung vorhanden. Die Regelgüte der Feuerleistung ist vertraglich mit  $\pm 2\%$  Dampfstrom festgelegt.

Wie bereits bei der bestehenden AVI sind Zünd- und Stützbrenner für die HR AVI nicht vorhanden. Damit entfällt der recht große benötigte Kühlluftstrom, das Anfahren erfolgt manuell mittels Gaslanze.

### 2.3.2 Dampftemperatur

#### Idee

Der Turbinenwirkungsgrad hängt direkt von der Dampftemperatur ab (Abb. 6). Höhere Temperaturen ermöglichen eine größere nutzbare Enthalpiedifferenz. Allerdings begrenzt die Korrosionsrate des Kessels die Dampftemperatur. Sie stellt neben zahlreichen weiteren Faktoren wie Brennstoff-Chlorgehalt oder Ascheschmelztemperatur den wesentlichen Korrosions-Parameter dar. Die Überhitzerheizflächen, aber auch die Membranwände sind besonders betroffen. Als Stand der Technik und als Kompromiss haben sich in Europa die bekannten etwa 420°C Heißdampftemperaturen eingebürgert.

Höhere Dampftemperaturen können nur mit erhöhtem Aufwand zur Vermeidung von Korrosion realisiert werden.

### Realisierung

Bei der HR AVI ist die Dampftemperatur mit 440°C definiert, diese Erhöhung reicht für den Ziel-Wirkungsgrad aus. Diese Temperatur liegt nur 10°C über dem gegenwärtigen Wert der bestehenden AVI. Dort wird mit 430°C erfolgreich betrieben, obwohl die Anlage dafür ursprünglich nicht ausgelegt ist.

Für den Austausch der Überhitzer der HR AVI sind alle Einrichtungen für einen Schnellwechsel vorgesehen (siehe Längsschnitt). Die kompletten Bündel werden als Verschleißteil betrachtet und können in nur 72 Stunden ausgetauscht werden. Dazu sind die Rohrleitungen entsprechend geführt, ein direkt über dem horizontalen Kesselzug installierter Reparaturkran kann die Bündel ziehen.

Zum Schutz der Membranwände sind diese im gesamten ersten Kesselzug – also einschließlich Dach und auch unter der Ausmauerung – mit Cladding versehen. Im zweiten Zug ist noch der gesamte Eintrittsbereich mit Inconell versehen.

Auch die Kesselreinigung trägt zu niedrigem Korrosionsrisiko bei. Hier sind Explosionsreinigungen, sowie zu einem späteren Einbau die Wasserstrahlreinigung vorgesehen. Schließlich ist der Kessel mit erheblichen Dimensionierungsreserven ausgestattet, die das Korrosionsrisiko weiter mindern. Zu nennen sind niedrige Gasgeschwindigkeit durch große Kesselvolumina, eine niedrige Gastemperatur vor dem Überhitzer sowie generell eine großzügige Auslegung einschließlich der Wasser-/Dampfseite, Rohrteilung und Wandstärke. Selbstverständlich ist eine sehr gute Zugänglichkeit für die Instandhaltung sichergestellt, es kann grundsätzlich in mehreren Ebenen gleichzeitig gearbeitet werden.

Die gewählte Frischdampftemperatur von 440°C stellt eine moderate Steigerung gegenüber dem Stand der Technik dar. Es sollen zunächst Betriebserfahrungen gesammelt werden. Zeigen sich die erwarteten, ausreichend niedrigen Korrosionsraten, so soll eine Erhöhung der Temperatur weiteres Wirkungsgrad-Potenzial mobilisieren. Eine Steigerung auf 480°C ist vorbereitet. Hierzu ist im Horizontalzug ein Leerraum angeordnet, der zur Installation einer weiteren Bündelheizfläche dient (siehe Längsschnitt). Je nach dem sich ergebenden Verschmutzungs- und damit Temperaturprofil des Kessels kann darüber entschieden werden, ob eine Eco- oder eine Überhitzer-Erweiterung sinnvoll ist. Die übrigen Komponenten einschließlich Wasser-/Dampfkreis sind für diese nachträgliche Temperatursteigerung weitgehend vorbereitet.

### 2.3.3 Kondensationsdruck

#### Idee

Ähnlich direkt wie die Frischdampftemperatur wirkt sich der Kondensationsdruck direkt auf die Leistung der Turbine aus. Der Druck ist begrenzt durch die erreichbare Temperatur, die wiederum vom Kühlmedium am Kondensator abhängt. Eine weitere Begrenzung liegt in der Turbine selbst: Bei den wünschenswerten niedrigeren Drücken nimmt der Wassergehalt im Abdampf zu, dieser beansprucht die Beschaukelung an der Turbinen-Endstufe. Mit direkter Wasserkühlung lässt sich ein Abdampfdruck von 0,03 bar<sub>a</sub> erreichen, im Vergleich dazu stehen erheblich ungünstigere 0,07 bar<sub>a</sub> bei Luftkondensation.

#### Realisierung

In Amsterdam steht Hafenwasser als Kühlmedium direkt am Standort zur Verfügung. Die unterschiedlichen Kühlwassertemperaturen im Sommer bzw. Winter beeinflussen den Wirkungsgrad spürbar. Die angegebenen 30% Wirkungsgrad beziehen sich auf den Jahres-Durchschnittswert des Kühlwassers mit etwa 15°C.

Der erhebliche Vorteil der Durchlaufkühlung kann leider nur in wenigen Müllverbrennungsanlagen genutzt werden, da dieser Gesichtspunkt bisher bei der Standortwahl wenig oder gar kein Gewicht hatte, im Gegensatz zu üblichen Kraftwerken.

### 2.3.4 Kondensationsvorwärmung

#### Idee

Dampf aus Anzapfungen der Turbine wird üblicherweise zur Kondensatvorwärmung eingesetzt. Eine mehrstufige Vorwärmung erhöht dabei den Wirkungsgrad. Wirtschaftliche Grenzen sind durch den Aufwand für Apparate und Leitungen gesetzt, technisch können nicht beliebig viele Anzapfungen im Turbinengehäuse untergebracht werden. Bei mehr als drei Anzapfungen zur Vorwärmung vor dem Speisewasserbehälter steigt der Wirkungsgrad im Leistungsbereich von MVA-Turbinen nur noch wenig.

#### Realisierung

Im normalen Dauerbetrieb der HR AVI erfolgt die Vorwärmung in vier Stufen (Abb. 4), nämlich mit den Wärmetauschern Eco 2 und Eco 3 sowie mit dem Wärmetauscher, der die Abwärme der Rostkühlung nutzt; als weitere Stufe ist ein dampfbeheizter Vorwärmer vorgesehen, bevor die endgültige Vorwärmung in Speisewasserbehälter erfolgt. Der 4 bar-Dampfvorwärmer arbeitet mit Anzapfdampf. Er ist so ausgelegt, dass die erwarteten Schwankungen der Rost-Abwärme ausgeglichen werden.

Eine fünfte Vorwärmstufe ist als Option eingeplant. Dieser Vorwärmer arbeitet mit 0,6 bar Anzapfdampf und dient zur weiteren Wirkungsgrad-Steigerung.

### 2.3.5 Nutzung der Rest-Abgaswärme

#### Idee Eco 2

Das Abgas wird im Rahmen der Abgasreinigung üblicherweise durch quenching, also mit Wassereinspritzung auf die gewünschte niedrige Waschtemperatur gebracht. Hierzu sind auch Wärmetauscher geeignet, die bis in den nassen Bereich hinein arbeiten können und die Wärme nutzbar werden lassen.

#### Realisierung

Für die gasberührten Oberflächen des Wärmetauschers sind korrosionsbeständige Werkstoffe erforderlich, bei der HR AVI wird die Kombination aus doppelter Emaillierung und einem Überzug aus teflonähnlichem PFA verwendet. Pro Linie ist ein Wärmeübertrag von 3 MW bei Nennleistung vorgesehen. Der Eco 2 bringt einen erheblichen Beitrag zur Wirkungsgradsteigerung.

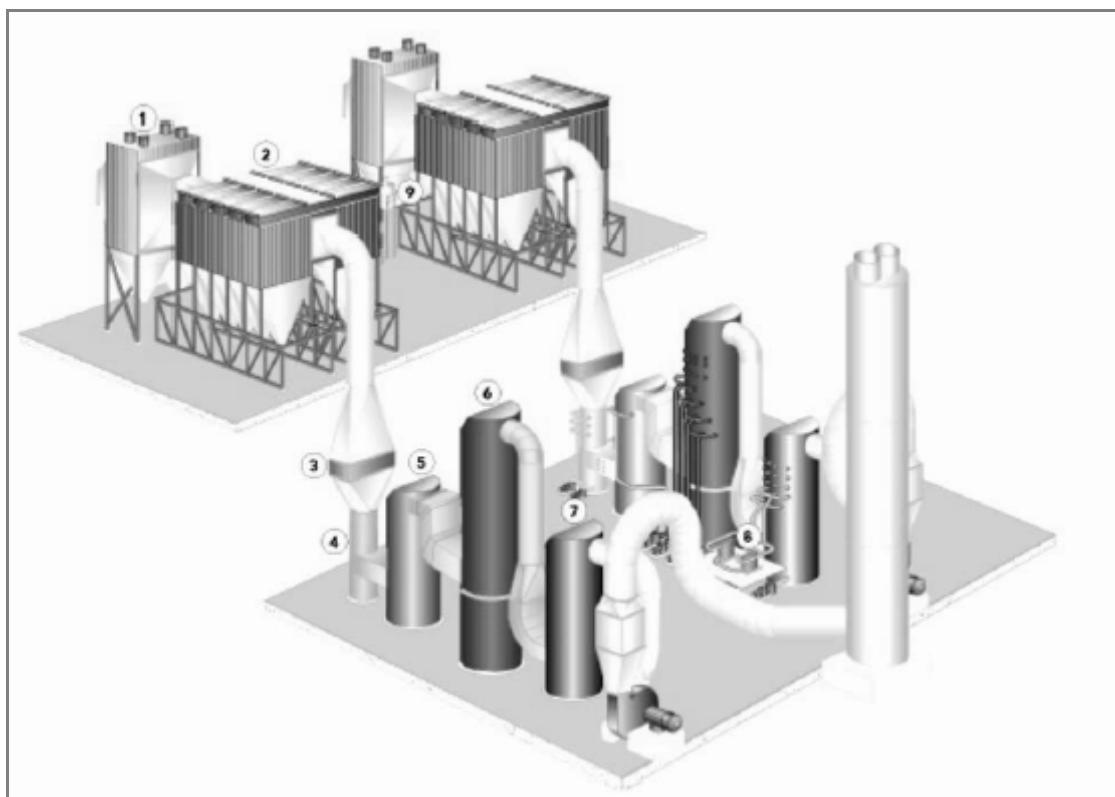


Abbildung 2: Eco 2 und Eco 3 in der Abgasreinigung

#### Idee

Die Wärme im Waschwasserkreislauf der nassen Abgasreinigung ist auskoppelbar, wenn dieser Kreis über einen Wärmetauscher geleitet wird. Die Voraussetzung zur Nutzung auf dem niedrigen Temperaturniveau ist bei der HR AVI gegeben, denn die mit Wasserkühlung erreichte Kondensattemperatur liegt ausreichend tief. Ein zusätz-

licher Vorteil ist die erhöhte Reinigungswirkung des Wäschers durch die niedrigere Arbeitstemperatur, die insbesondere die Kondensation der Aerosole bewirkt.

### Realisierung

Es ist ein Wasser/Wasser-Plattenwärmetauscher aus Titan installiert. Das gasseitig im Wäschere kondensierte Wasser wird in den vorgeschalteten Stufen der Abgasreinigung eingesetzt. Der Nenn-Wärmeübergang beträgt 2 MW.

## **2.3.6 Zwischenüberhitzung**

### Idee

Durch Wiederaufheizen des Dampfstromes zwischen dem Hoch- und dem Niederdruckteil der Turbine ergibt sich eine durchgreifende Erhöhung der nutzbaren Enthalpiedifferenz (Abb. 3).

In Kraftwerken ist die Technik der Zwischenüberhitzung üblich, bei Müllverbrennungsanlagen gibt es bisher kein Beispiel. Dafür ist gasseitige Kesselkorrosion verantwortlich, die hauptsächlich die Überhitzer trifft. Die zusätzlichen Heizflächen, die für eine Zwischenüberhitzung notwendig sind, sind hinsichtlich der Korrosion genauso gefährdet wie der Endüberhitzer, die Ausfallrate des Kessels würde sich demzufolge annähernd verdoppeln.

Bei der HR-AVI wird der Zwischenüberhitzer deshalb nicht mit Abgas, sondern mit Sattdampf aus der Kesseltrommel beheizt. Damit ist Korrosion im Bereich der Zwischenüberhitzung im Wesentlichen ausgeschlossen, es gibt keine abgasberührten Bauteile. Dieser Vorteil wiegt weitaus schwerer als der Nachteil, nämlich dass die Zwischendampf-Temperatur bei dieser Beheizung begrenzt ist auf unterhalb Trommeldampf-Temperatur.

### Realisierung

Die Zwischenüberhitzung erfordert zwangsweise einen hohen Frischdampfdruck, der mit 130 bar definiert ist. Abbildung 4 zeigt den Aufbau sowie den übrigen thermischen Kreis für die HR-AVI.

Für jeden der beiden Kessel ist ein eigener Zwischenüberhitzer vorhanden, um unterschiedliche Kessellasten ohne Schieflagen einstellen zu können. Sie sind im Bereich der Turbine aufgestellt, um Leitungswege und damit Druckverluste auf der Seite des Mitteldruck-Turbinendampfes niedrig zu halten.

Der Zwischenüberhitzer ist auf der Trommeldampfseite ungeregelt. Die Kondensationswärme wird ohne nennenswerte Unterkühlung abgegeben und die Kondensatpumpe hat die Funktion eines Kondensomaten. Sie muss im Wesentlichen die geodätische Höhe zur Kesseltrommel überwinden und ist in hermetisch geschlossener Bauart nicht redundant ausgeführt.

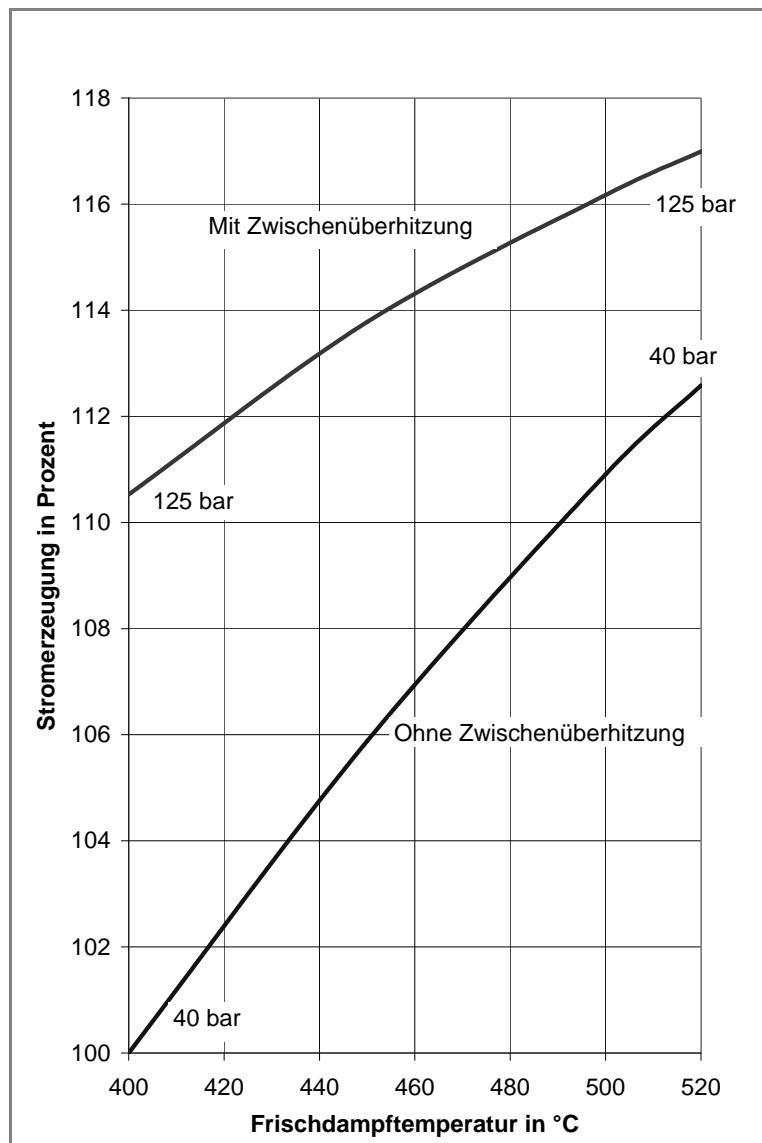


Abbildung 3: Wirkungsgradsteigerung durch Zwischenüberhitzung und Dampftemperatur

Der Aufbau der Zwischenüberhitzung ist damit prinzipiell einfach, der Aufwand innerhalb der Maßnahmen zur Steigerung des Wirkungsgrades dennoch mit Abstand der größte. Entsprechend bewirkt die Zwischenüberhitzung allerdings einen Sprung beim Wirkungsgrad.

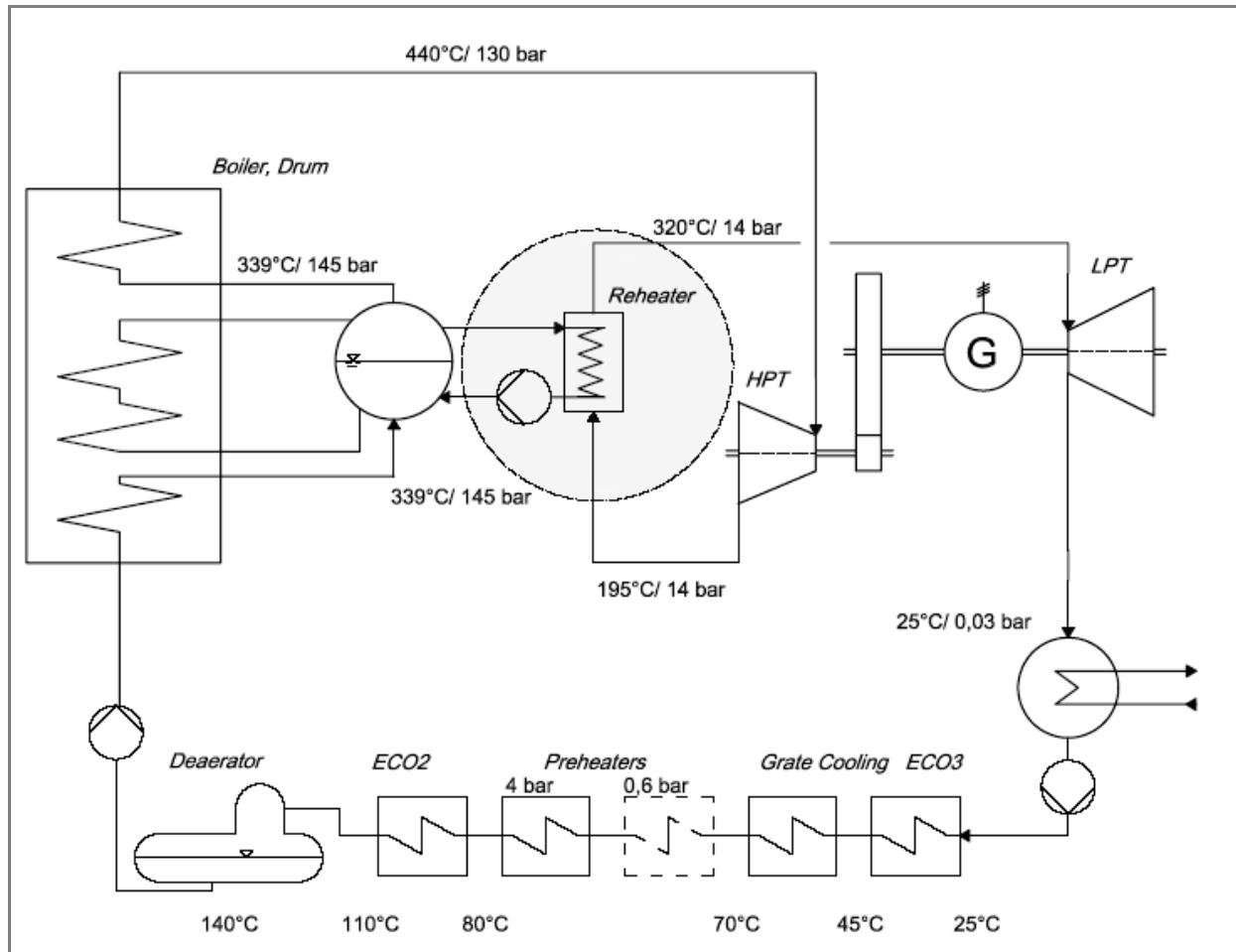


Abbildung 4: Thermischer Kreis HR AVI

## 2.4 Chancen des Konzeptes und vorhandene Potenziale

Einige der in der HR AVI eingesetzten Komponenten haben innovativen Charakter oder sind in dieser Kombination und Dimensionierung bisher nicht eingesetzt. Insbesondere der Kessel und die Komponenten der Zwischenüberhitzung sind nicht marktüblich und haben sich als teuer erwiesen. Aus der ungewohnten Technik resultieren erhebliche Unsicherheiten. Alle übrigen Komponenten sind durchgehend handelsüblich und entsprechen üblichen Anlagen. Insofern kann das Risiko als gering eingeschätzt werden.

Für den Wirkungsgrad bestehen weitere Steigerungsmöglichkeiten, im Wesentlichen bei der Dampftemperatur. Die vorbereitete Steigerung von 440 auf 480°C bewirkt eine Verbesserung beim Gesamt-Nettowirkungsgrad der HR AVI um weitere 0,5%-Punkte. Neben diesen technischen Verbesserungen besteht Hoffnung auf einen niedrigeren Eigenverbrauch. Bei der Vielzahl kleiner Verbraucher kann dieser bisher nur unzureichend abgeschätzt werden.

Insgesamt und mittelfristig erscheint damit ein Netto-Gesamtwirkungsgrad der HR AVI von 32% als realistisch.

Inzwischen kommt für die HR AVI eine Subvention zur Anwendung, die bei der Planung noch gar nicht bestand. Dabei besteht die Vorgabe, dass der Bezugswert nicht ein Maximalwert, sondern der Mittelwert ist. Zur Erzielung des maximalen Zuschusses ist daher eine dauernde Überschreitung erforderlich. HR AVI kann diese 10 Jahre lang nutzen und wird damit nachträglich für die mutige Entscheidung belohnt. Die Höhe des Zuschusses ist gestaffelt nach Wirkungsgrad, ab 30% wird die Höchsterstattung erzielt.

### 3 Betriebserfahrungen

Zunächst kann festgestellt werden, dass die HR AVI den berechneten Wirkungsgrad problemlos erreicht. Die wesentlichen Daten der Garantiemessungen sind in Tabelle 1 und 2 dargestellt. Sie beziehen sich auf Feuerung und Kessel, da die Abgasreinigung und die Turbine selbstverständlich alle Garantiewerte einhalten und deutlich unterschreiten. Der Wirkungsgrad von > 30% wird in jedem Fall eingehalten (Tab. 1).

Tabelle 1: Wirkungsgrad und Leistungsfahrt

	Einheit	100% Last		110% Last	
Datum	--	24.7.2007		25.7.2007	
Zeitraum	--	16:00 - 22:00		8.00 - 14:00	
Zeitdauer	h	6		6	
Ziel-Netto-Wirkungsgrad	%	≥ 30		> 30	
Messinstitut	--	Lieferfirma	KEMA (Tüv)	Lieferfirma	KEMA (Tüv)
Kessel-Wirkungsgrad	%	85,2	85,5 ±1	85,8	85,5 ±1
Anlagen-Netto-Wirkungsgrad	%	30,5 <sup>1)</sup>	30,6 ±1,6	30,8 <sup>1)</sup>	30,9 ±1,6

<sup>1)</sup> Berechnungen der Planung

Wie bereits angedeutet, ist aufgrund der Betriebsaufzeichnungen ebenfall abgesichert, dass der elektrische Eigenverbrauch der Gesamtanlage deutlich geringer ist als in den Rechnungen angenommen. Die Zahl aus Tabelle 2 für Los 1 zeigt den Trend. Dennoch wurde während der Leistungsfahrt kein wesentlich besserer Wirkungsgrad gemessen, da diverse Kondensatoren und Abschlämmungen usw. nicht ausreichend geschlossen waren. Hier wird derzeit nachgebessert, um ungewünschte Verluste in jedem Fall zu vermeiden.

Tabelle 2: Messwerte der Leistungsfahrt für Feuerung und Kessel

Parameter	Einheit	Garantiewert	Messwert <sup>2)</sup>
Kesselwirkungsgrad	%	85	85,2
Verweilzeit (DLC)	s	> 2	5
Eigenverbrauch (Los 1)	kW	< 850	498
thermische Leistung (DLC)	MW	93,3	96,9 / 97,07 <sup>1)</sup>
thermische Leistung (max.)	MW	102,7	103,63 / 102,93 <sup>1)</sup>
Durchsatz (DLC)	Mg/h	33,6	34,89 / 34,94 <sup>1)</sup>
Heizwert	MJ/kg	10	9,94 / 10,26 <sup>1)</sup>
Schwankung Frischdampfmenge	%	2	-0,72 bis +1,18 / -1,57 bis +0,75
O <sub>2</sub> -Gehalt (Kesselende)	%	6,5	6 - 6,73 (Ø < 6,5)
CO Kesselende	mg/m <sup>3</sup>	≤ 30	6
NO <sub>x</sub> (Kesselende)	mg/m <sup>3</sup>	70	66 - 68
NH <sub>3</sub> (Kesselende)	mg/m <sup>3</sup>	≤ 5	3
TOC	%	≤ 1,5	0,1 - 0,66
Dampfmenge (DLC)	kg/s	28,4	28,46 / 28,52 <sup>1)</sup>
Kesselaustrittstemperatur	°C	180 (konst.)	177,35 - 183,75
Schwankung Dampftemperatur	± K	4	3,87 / 1,92 <sup>1)</sup>

DLC = Auslegungspunkt

<sup>1)</sup> Messwert Linie 35/36<sup>2)</sup> Garantiemessung

Insgesamt lässt sich sagen, dass die Feuerung und der Kessel sehr stabil laufen und wenig verfahrenstechnische Probleme zeigen. Alle Werte sind gut und zeigen die großzügige Dimensionierung von Feuerung und Kessel. Der niedrige CO-Wert steigt selbst bei O<sub>2</sub>-Werten von 5%, die längere Zeit gefahren wurden, nicht an und bestätigt die gute Verbrennung.

Probleme gibt es mit der Leittechnik. Diese ist teilweise völlig überzogen und sicherheitstechnisch zu stark verriegelt. Die Ursache liegt im losweisen Denken, dies führt zu übertriebenen Sicherheitsschaltungen für das eigene Los, das die Anforderungen des benachbarten Loses unzureichend berücksichtigt und damit eine Konstellation schafft, die für die Gesamtanlage nicht zuträglich ist.

Die Inbetriebnahme einiger Teilsysteme und Komponenten war teilweise fast unmöglich. Hinterher gab es dann infolge der übertriebenen feed-forward-Verriegelungen enorm viele Abschaltungen und Turbinentrips. Ursache ist selbstverständlich eine unzureichende Kommunikation der Projektbeteiligten und das Fehlen einer regulierenden Hand!

Erhebliche Probleme gibt es auch im gesamten mechanischen und elektrischen Bereich. Hierzu haben teilweise falsche Auslegungen, falsche Kosteneinsparungen und fehlende Erfahrungen der Lieferfirmen geführt. Beispielhaft sei die Bestückung des Gewebefilters, der mit PTF Schläuchen bis zu 250 Grad Betriebstemperatur ausgeschrieben war. Dies wurde angesichts einer Kesselaustrittstemperatur von lediglich 180°C als übertrieben angesehen und durch weniger qualitätsvolle Schläuche ersetzt. Inzwischen sind mehrere Betriebsstörungen durch Löcher in den Schläuchen (Glimmbrände) entstanden und haben erhebliche Ausfälle verursacht.

In der Abgasreinigung arbeiten die Abwasser- und Verbrennungsbehandlungsanlage und die Salzfabrik noch völlig unbefriedigend. Längerfristige Provisorien ermöglichen den Betrieb, derzeit erfolgt eine Ableitung in die Vorflut oder bei Überschreitung der zulässigen Grenzwerte eine Zwischenlagerung in aufgestellten Containern. Da dieses Teilproblem den Betrieb der HR AVI nicht unmittelbar negativ beeinflusst, kann die Problemlösung schrittweise erfolgen, deutliche Verbesserungen wurden bereits erreicht.

Bei allen Begehungungen hat die Anlage, insbesondere der Kessel, einen ausgezeichneten Eindruck gemacht und keinerlei unerwartete Verschmutzungen aufgewiesen.

Der Turbinenbetrieb hat sich anfangs als ausgesprochen schwierig erwiesen. Die Turbine selbst muss als Rennpferd bezeichnet werden und war als Arbeitstier anfangs kaum zu gebrauchen. Nachteilig hat sich auch erwiesen, dass die Auslegungstemperatur der Turbine bei 440 bis 480°C Dampftemperatur liegt, derzeit aber nur 440°C betrieben werden. Bei geringfügiger Unterschreitung der Frischdampftemperatur bzw. bei Regelungenauigkeiten der Einspritzung hat die Turbine bereits getripppt. Durch Änderungen der Software ist eine Anpassung dahingehend erfolgt, dass derzeit ein stabiler Betrieb möglich ist.

Durch Nachlässigkeit des Betriebes ist ein Versagen der Austragsschnecken innerhalb der Umlenkung 2. auf 3. Zug nicht bemerkt worden, in den Kesseln befindet sich etwa 900 Mg Staub, die ausgetragen werden müssen. Auch solche Vorfälle – menschliches Versagen - führen zu erheblichen betrieblichen Problem, die natürlich planerisch kaum vorab geschätzt werden können.

B. Bilitewski, A.I. Urban, M. Faulstich (Hrsg.)

**13. Fachtagung  
Thermische Abfallbehandlung**

**Verbesserungspotenziale der Energieeffizienz**

Dr. Oliver Gohlke

MARTIN GmbH für Umwelt- und Energietechnik

München

Schriftenreihe des  
Fachgebietes Abfalltechnik  
Universität Kassel

## 1 Einführung

Die Nutzung von Energie aus Abfall kann mit Rost- und Wirbelschichtfeuerungen oder durch die Mitverbrennung in Kohlekraftwerken sowie Industrieprozessen realisiert werden. Die heute eingesetzten Technologien sind das Resultat von vielfältigen Innovationen, unter anderem bei der Feuerungstechnik, Vorbehandlung, Abgasreinigung und Qualität der Nebenprodukte.

In diesem Beitrag liegt der Fokus auf den Möglichkeiten zur Erhöhung der Wirkungsgrade bei der energetischen Nutzung von Siedlungsabfällen. Allerdings wird hierbei zur Vereinfachung der Vergleiche die ausschließliche Erzeugung von Strom betrachtet. Die zusätzliche Nutzung von Wärme ist zwar eine sinnvolle Maßnahme, wird aber hier ausgeklammert, weil sie mehr durch die örtliche Verfügbarkeit von Netzen oder Abnehmern und weniger von der Technologie abhängig ist.

Die MARTIN GmbH für Umwelt und Energietechnik mit Firmensitz in München ist ein führender Anbieter von Technologien zur Gewinnung von Energie aus Abfall. Die erste von MARTIN für Abfälle realisierte Rostfeuerungsanlage wurde 1959 in São Paulo/Brasilien noch ohne Stromerzeugung oder Wärmenutzung realisiert. Vielfache Innovationen haben dazu geführt, dass heute in allen aktuellen Projekten die Erzeugung von Strom oder Wärmenutzung vorzufinden ist. In Europa kommen hierfür in den meisten Fällen Kessel mit Dampfparametern von 380 bis 400°C bei 40 bar zum Einsatz. Diese Anlagen haben Nettowirkungsgrade von 15 bis 21%, wenn man nur die Stromerzeugung berücksichtigt (im Folgenden jeweils als  $\eta_{el,netto}$  bezeichnet). Eine Erhöhung auf 25% konnte mit den 1998 und 2004 in Betrieb genommenen Einheiten in Brescia erreicht werden. Die treibende Kraft für diese Entwicklung war, dass in Italien die Erzeugung von Strom aus Abfall als weitgehend erneuerbare Energie über Zuschüsse bei der Stromeinspeisung von bis zu 180 €/kWh gefördert wurde [Pfeiffer 2003].

*Wie wird jedoch die zukünftige Entwicklung aussehen?*

In den USA werden Abfälle vorrangig ohne jede Vorbehandlung oder energetische Nutzung mit Lastwagen über weite Strecken zu den Megadeponien transportiert. Dies ist allerdings eine Praxis, die unter dem Eindruck der Knappheit von Erdöl und Energie als nicht besonders zukunftsträchtig erscheint. Auch mit der in den USA aggressiv als Umweltschutzmaßnahme propagierten Deponiegasnutzung erreicht man letztlich nur Wirkungsgrade der Stromerzeugung um die 5% (bezogen auf den Energiegehalt des Abfalls). In China ist die Situation eindeutiger: Es gibt einen Regierungsbeschluss, der vorsieht, den Anteil der energetisch zu verwertenden Abfälle von heute 2% auf 30% in 2030 zu erhöhen, so dass dort eine sehr dynamische Entwicklung im Sinne einer energieeffizienten Abfallwirtschaft zu erwarten ist.

In Deutschland haben zwar vielfache Neuerungen in der Abfallwirtschaft stattgefunden, aber die Entwicklung für die Zukunft erscheint weniger klar. Die energieeffizienten Abfallkonzepte wurden in den letzten Jahren vorrangig in Skandinavien, Italien und den Niederlanden realisiert, während in Deutschland der Schwerpunkt stärker auf dem Ausbau der mechanisch-biologischen Aufbereitung lag (MBA). Die entstehenden Feinfraktionen werden hierbei deponiert und die Grobfraktion als Ersatzbrennstoff (EBS) verbrannt. Dabei kann man bei der Mitverbrennung von EBS in Kohlekraftwerken oder in modernen Verbrennungsanlagen für Ersatzbrennstoffe durchaus gute Wirkungsgrade erzielen, aber wenn man den erzeugten Strom auf die Gesamtenergie des ursprünglich verwendeten Abfalls bezieht, erreicht man für Hausmüll in der Praxis vielfach nur Wirkungsgrade um die 10%. Dies gilt übrigens auch für die Vergasungs-technologien, die in Japan und Großbritannien trotz schlechter Wirkungsgrade immer noch diskutiert werden.

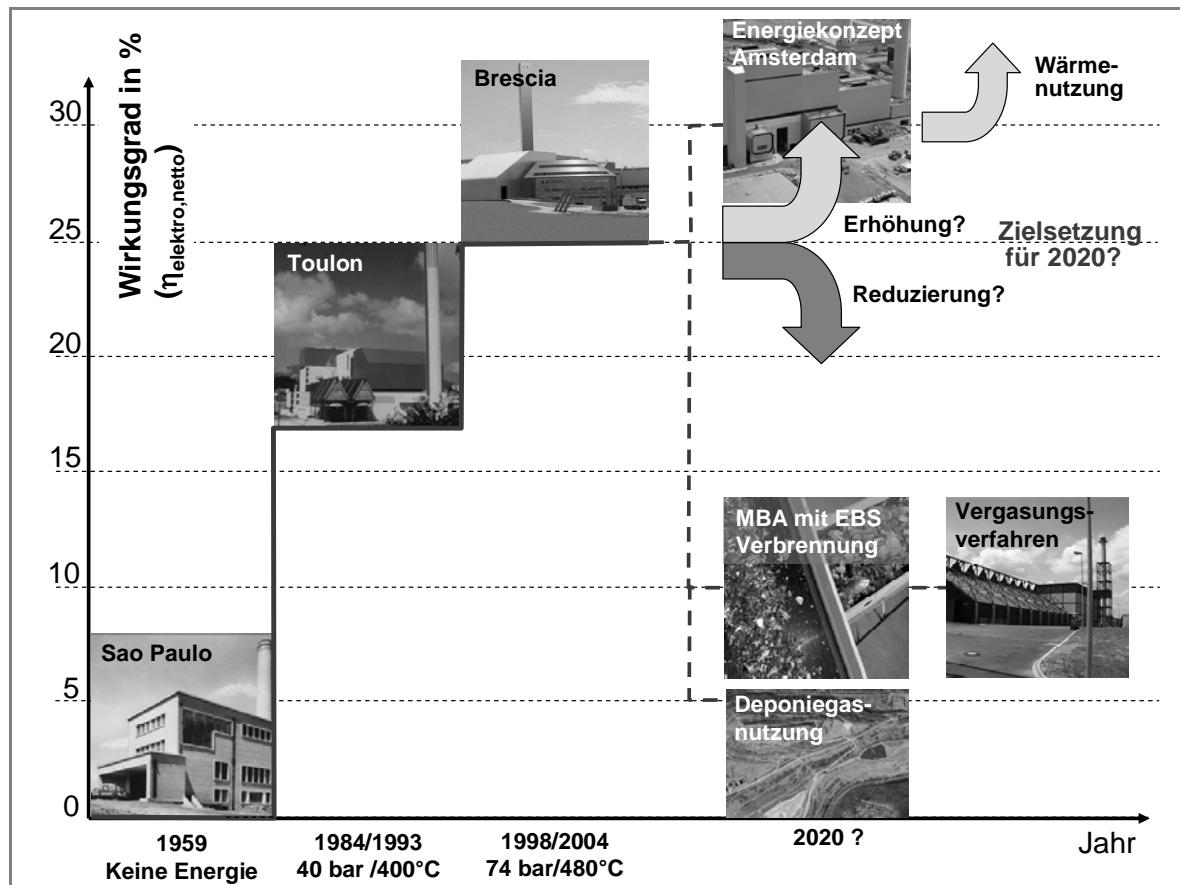


Abbildung 1: Fortschritte zur Energieeffizienz bei der Nutzung von Energie aus Abfall

In diesem Beitrag soll das Thema „Verbesserungspotenziale der Energieeffizienz“ sein und deswegen werden die Abfallbehandlungsvarianten MBA/EBS, Vergasung und Deponiegasnutzung, die offensichtlich eine massive Verschlechterung gegenüber dem heute Möglichen darstellen, nicht in Betracht gezogen. Der Fokus liegt auf der Effi-

zienzsteigerung bei Rostfeuerungsanlagen, um Wirkungsgrade  $\eta_{el,netto}$  von über 19% zu erreichen. Dieser Wert ist notwendig, damit das Verfahren bei reiner Stromerzeugung entsprechend dem Entwurf der EU-Abfallrahmenrichtlinie als energetische Verwertung eingestuft wird [EU Commission 2005]. Als Beispiel für die heute maximal mögliche Wirkungsgradsteigerung wird das Energiekonzept der 2007 in Betrieb gegangenen Anlage Amsterdam beschrieben, die einen Wirkungsgrad  $\eta_{el,netto}$  von über 30% erreicht.

Dieser Beitrag verwendet eine vereinfachte Form des Nettowirkungsgrades der Stromerzeugung  $\eta_{el,netto}$ . Der Verbrauch von zusätzlichen Brennstoffen für das An- und Abfahren sowie die kombinierte Erzeugung von Wärme und Energie werden nicht in Betracht gezogen.

$$\eta_{el,netto} = \frac{P_{erzeugt} - P_{Eigenverbrauch}}{\dot{Q}_{Brennstoffwärmeleistung}}$$

Formel 1: Nettowirkungsgrad der Stromerzeugung

Der Entwurf der europäischen Abfallrahmenrichtlinie sieht einen Schwellenwert für das Effizienz-Kriterium  $R1 > 0,6$  vor, damit eine Anlage als Verwertungsanlage eingestuft wird [EU Commission 2005]. Für ab 2009 zugelassene Anlagen wird  $R1 > 0,65$  gefordert. In dem vereinfachten Fall, dass ein Prozess keine zusätzlichen fossilen Brennstoffe verwendet und ausschließlich Strom erzeugt, kann  $R1$  vereinfacht entsprechend Formel 2 berechnet werden.

$$R1 = \frac{E_p \times 2.6}{0.97 \times E_w}$$

$E_p$ : jährliche produzierte und genutzte Energie in Form von Strom (GJ/Jahr); elektrischer Eigenverbrauch wird nicht abgezogen (brutto)  
 $E_w$ : jährliche Energiezufuhr in Form von Abfall (GJ/Jahr)  
0,97: Faktor für unvermeidlichen Energieverlust  
2,6: Faktor zur Umrechnung von Strom in Energie-Äquivalente

Formel 2: Vereinfachte Berechnung des  $R1$ -Wertes bei ausschließlichem Einsatz von Abfall als Brennstoff und ausschließlich Erzeugung von Strom

Als Basisfall wurde der untenstehende typische Prozess zur Nutzung von Energie aus Abfall mit einem berechneten Wirkungsgrad  $\eta_{el,netto} = 20,6\%$  und  $\eta_{el,brutto} = 24\%$  verwendet. Dies entspricht einem  $R1$ -Wert von 0,63. Auf dieser Basis kann man umgekehrt grob abschätzen, dass die  $R1$ -Schwellenwerte von 0,6 und 0,65 jeweils  $\eta_{el,netto}$  von etwa 19 und 21% entsprechen. Diese Entsprechung kann jedoch bei abweichenden Eigenverbräuchen deutlich variieren.

In der Praxis führt gegenüber den hier beschriebenen Beispielen die Verwendung von Heizöl oder Erdgas zum An- und Abfahren zu einer leichten Reduzierung des R1-Wertes. Zu beachten ist außerdem, dass der R1-Wert sich auf eine Jahresbilanz bezieht, während die hier dargestellten Beispiele einen Betrieb im optimalen Design-Punkt beschreiben. Auf der anderen Seite führt die Berücksichtigung der Wärmenutzung zu einer deutlichen Erhöhung der R1-Werte gegenüber den Darstellungen in diesem Beitrag.

Im Kapitel Abgasreinigung und Entstickung wird auch die Wiederaufheizung des Abgases mit Dampf oder einem Erdgas-Brenner diskutiert. In diesem Fall muss folgende Formel für R1 angewendet werden:

$$R1 = \frac{(E_p * 2,6) - E_i}{0,97 * E_w} \quad E_i: \text{Jährliche verbrauchte Erdgasmenge zur Abgaswiederaufheizung (GJ/Jahr)}$$

Formel 3: Vereinfachte Berechnung des R1-Werts bei ausschließlicher Erzeugung von Strom und Verwendung von Erdgas zur Abgaswiederaufheizung

Für die Berechnung des  $\eta_{el,netto}$  wird in diesem Beispiel der Erdgasverbrauch des SCR nicht als Brennstoffwärmeleistung angesehen (was den Wirkungsgrad weiter verschlechtern würde).

## 2 Basisfall einer typischen Müllverbrennungsanlage

Ein Verbrennungssystem, ausgelegt für 21,6 Tonnen Abfall pro Stunde mit einem Heizwert von 10 MJ/kg und einem Wirkungsgrad von  $\eta_{el,netto} = 20,6\%$ , wurde als Basisfall einer typischen modernen Müllverbrennungsanlage gewählt. Die Kenndaten für dieses Beispiel sind wie folgt (Abb. 2):

- 40 bar / 380°C Dampfparameter,
- 209°C Abgastemperatur am Kesselende,
- Luftüberschusszahl von 1,75 (Abgas O<sub>2</sub> von 8,4% trocken),
- Abdampfdruck von 150 mbar am Luftkondensator,
- Eigenbedarf von 2,1 MW<sub>el</sub> (etwa 0,1 MWh/Tonne Abfall).

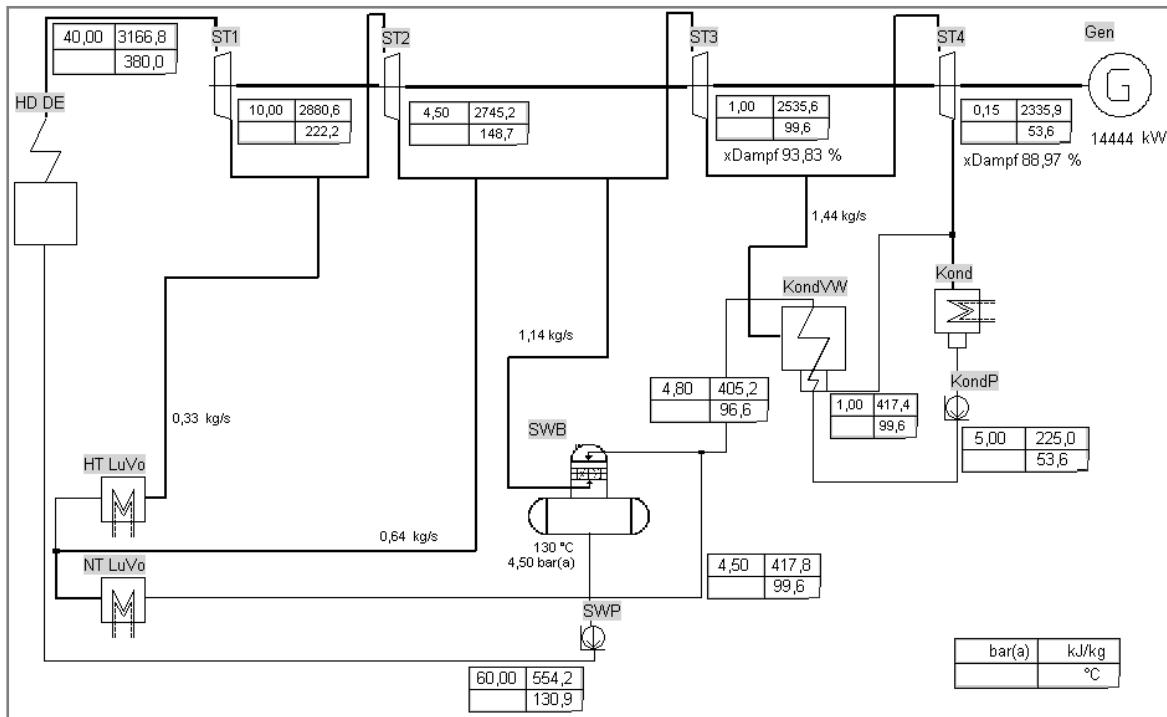


Abbildung 2: Wasser-Dampf-Kreislauf des Basisfalls als Beispiel für eine typische Anlage mit einer Durchsatzleistung von 21,6 Mg Abfall/Stunde und 14 MW elektrischer Leistung (brutto)

Entscheidende Einflussfaktoren für den Wirkungsgrad sind hier die Abgasverluste (Luftüberschusszahl und Temperatur am Kesselende), die Dampfparameter und die Konfiguration des Wasser-Dampf-Kreislaufes.

Der Dampf mit 40 bar/380°C wird im Dampferzeuger (HD DE) erzeugt und in der Hochdruckturbine (ST 1 bis ST 2) entspannt. Bei Drücken von 10 und 4,5 bar findet eine Anzapfung an der Turbine statt, um die Primärluft auf 120°C (NT Luftvorwärmer) und dann weiter auf 150°C (HT Luftvorwärmer) zu erhitzen. Das hierbei entstehende Kondensat wird bei einem Druck von 4,5 bar und einer Temperatur von 100°C mit dem Hauptkondensat aus dem Kondensat-Vorwärmer vermischt und zum Entgaser gefördert, der mit dem Anzapfdampf bei einem Druck von 4,5 bar erhitzt wird. In den ND-Stufen der Turbine (ST 3 und ST 4) entspannt sich der Restdampf auf einen durch den Luftkondensator bestimmten Kondensationsdruck von 150 mbar (Nassdampfbereich). Die dargestellte Kondensationsturbine im 15 MW-Bereich ist für einen Abdampfgehalt von circa 89% bei einem entsprechenden Kondensationsdruck von 150 mbar ausgelegt. Bei größeren Kraftwerksturbinen wäre dieser Dampfgehalt schon kritisch, da verstärkte Tropfenerosion an den Turbinenschaufeln zu erwarten wäre. Ein Dampfgehalt bis 12% ist hingegen für Turbinen in vergleichsweise kleinen Müllverbrennungsanlagen meistens tolerierbar. Die Kondensatpumpe fördert das Kondensat in den Entgaser, von wo aus es mit der Speisewasserpumpe bei einer Temperatur von etwa 131°C in den Economiser des Kessels gepumpt wird.

### 3 Abgasreinigung und Entstickung (DeNox)

Der beschriebene Basisfall wurde berechnet unter der Annahme, dass mit einer SNCR-Entstickung ein NO<sub>x</sub>-Emissionswert entsprechend der europäischen Verbrennungsrichtlinie [EU Commission 2000] von kleiner 200 mg/m<sub>n</sub><sup>3</sup> erreicht wird (SNCR = Selective Non Catalytic Reduction). Bei einer weitergehenden Entstickung auf 80 mg/m<sub>n</sub><sup>3</sup> mittels SCR-Katalysator (SCR = Selective Catalytic Reduction) führt dies jedoch zu einer Verschlechterung des Wirkungsgrades, weil die Druckverluste im Abgasweg steigen und insbesondere eine Abgaswiederaufheizung notwendig ist. In Abbildung 3 sind hierfür zwei typische Varianten dargestellt:

- Aufheizung auf 260°C mit Erdgas
- Aufheizung auf 240°C mit Trommeldampf

Für diese SCR-Varianten wurde ein Wärmeverschiebesystem mit Röhrenwärmetauschern angenommen (Basis: Grädigkeit von etwa 30°C), womit vor der Aufheizung durch Erdgas oder Dampf schon etwa die Hälfte der erforderlichen Temperaturerhöhung mit der Abgaswärme nach dem Katalysator bewältigt wird. Das R1-Kriterium von 0,6 wird in beiden SCR-Varianten unter den gegebenen Rahmenbedingungen nicht mehr erreicht. Die Effizienzverluste sind aber reduzierbar, wenn größere Wärmeverschiebesysteme eingesetzt werden.

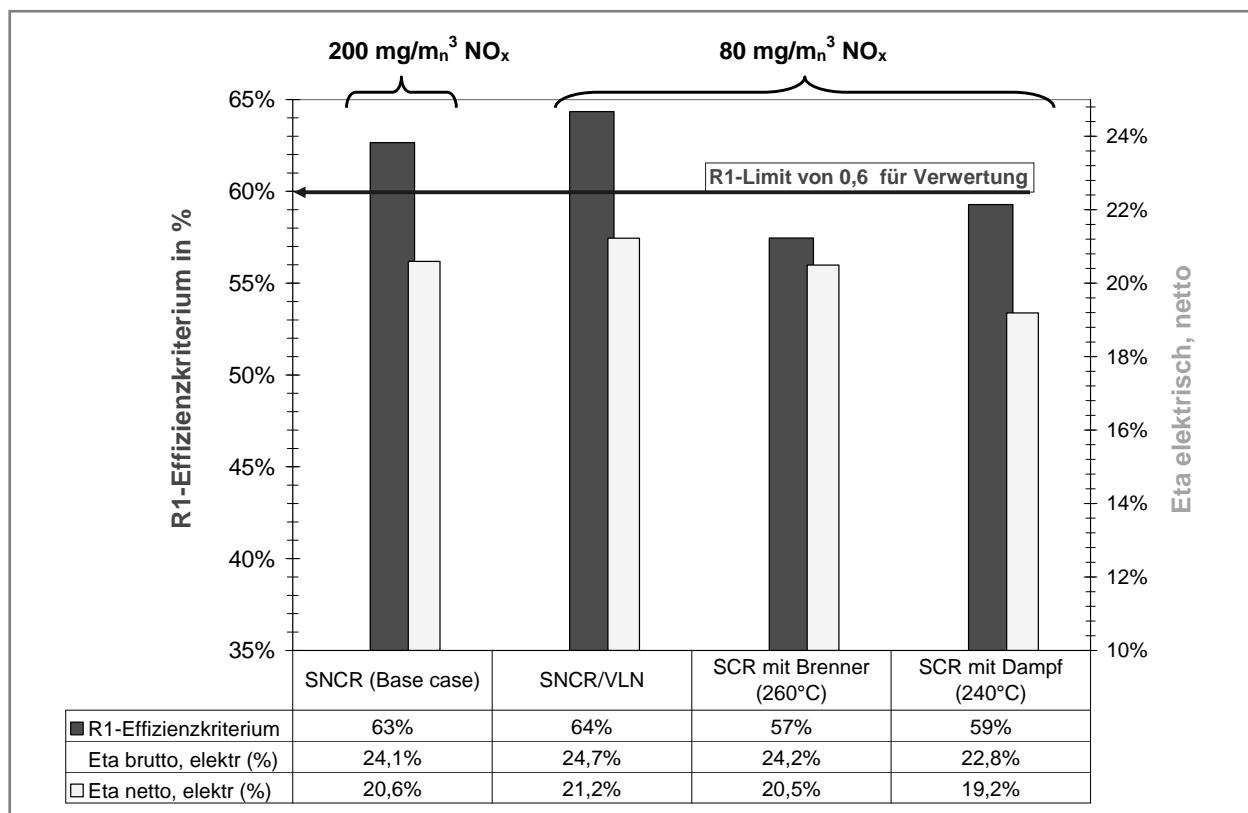


Abbildung 3: Einfluss der DeNox auf den Wirkungsgrad (SCR und VLN bei 80 mg/m<sub>n</sub><sup>3</sup> NO<sub>x</sub>; SNCR bei 200 mg/m<sub>n</sub><sup>3</sup> NO<sub>x</sub>)

Weniger verbreitet sind bisher die SCR-Systeme, die durch High-Dust Katalysatoren, Niedertemperatur-Katalysatoren beziehungsweise Natriumbicarbonat-Abgasreinigung auf eine Abgaswiederaufheizung weitgehend verzichten können.

Außerdem sind neue Verfahren in der Entwicklung, die deutlich reduzierte NO<sub>x</sub>-Emissionen ohne Katalysator bei einer Steigerung der Energieeffizienz ermöglichen. Ein Beispiel hierfür ist das von MARTIN entwickelte Very-low NO<sub>x</sub>-Verfahren (VLN), das bisher versuchsweise in Großanlagen in den USA und Frankreich eingesetzt wird. Das Grundprinzip beim VLN-Verfahren ist die Verwendung eines internen Rezirkulationssystems, das die feuerungsinhärenen NO<sub>x</sub>-Minderungsvorgänge fördert. Zusätzlich erhält man im Bereich der Ammoniakzugabe wesentlich verbesserte Turbulenz- sowie Reaktionsbedingungen, weil dort das interne Rezirkulationsgas als Mischmedium dient. Ein weiteres Merkmal des VLN-Verfahrens ist die Reduzierung des Luftüberschusses auf etwa 1,5 (entsprechend einem Abgas O<sub>2</sub> von etwa 7%<sub>trocken</sub>).

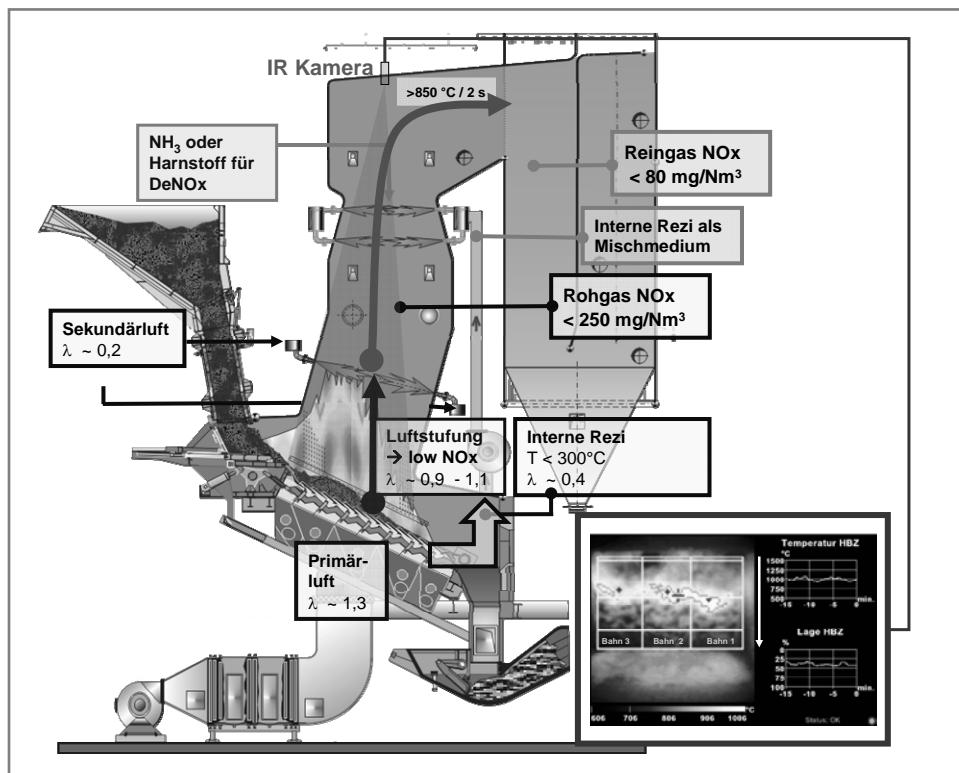


Abbildung 4: Prinzipbild des VLN Verfahrens (hohe Wirkungsgrade bei NO<sub>x</sub>-Emissionen kleiner 80 mg/m<sub>n</sub><sup>3</sup>)

## 4 Luftüberschusszahl

Traditionell hat man beim Betrieb von Rostfeuerungen für Abfälle relativ hohe Luftüberschusszahlen zwischen 1,8 und 2,2 verwendet (O<sub>2</sub> trocken im Bereich von 9,4% bis 11,5%). In den letzten Jahren wurde die Luftüberschusszahl in neuen Anlagen jedoch deutlich reduziert, wobei dann besondere Maßnahmen beim Feuerfestmaterial und

beim Korrosionsschutz notwendig sind. Außerdem muss eine leistungsfähige Feuerungsregelung für die Kompensation von Brennstoffschwankungen vorhanden sein.

Gemischter Siedlungsabfall ist relativ homogen und deswegen für reduzierte Luftüberschusszahlen gut geeignet. Schwieriger ist die Situation bei vorbehandeltem Hausmüll oder Gewerbeabfällen, die in der Praxis weniger homogen angeliefert werden.

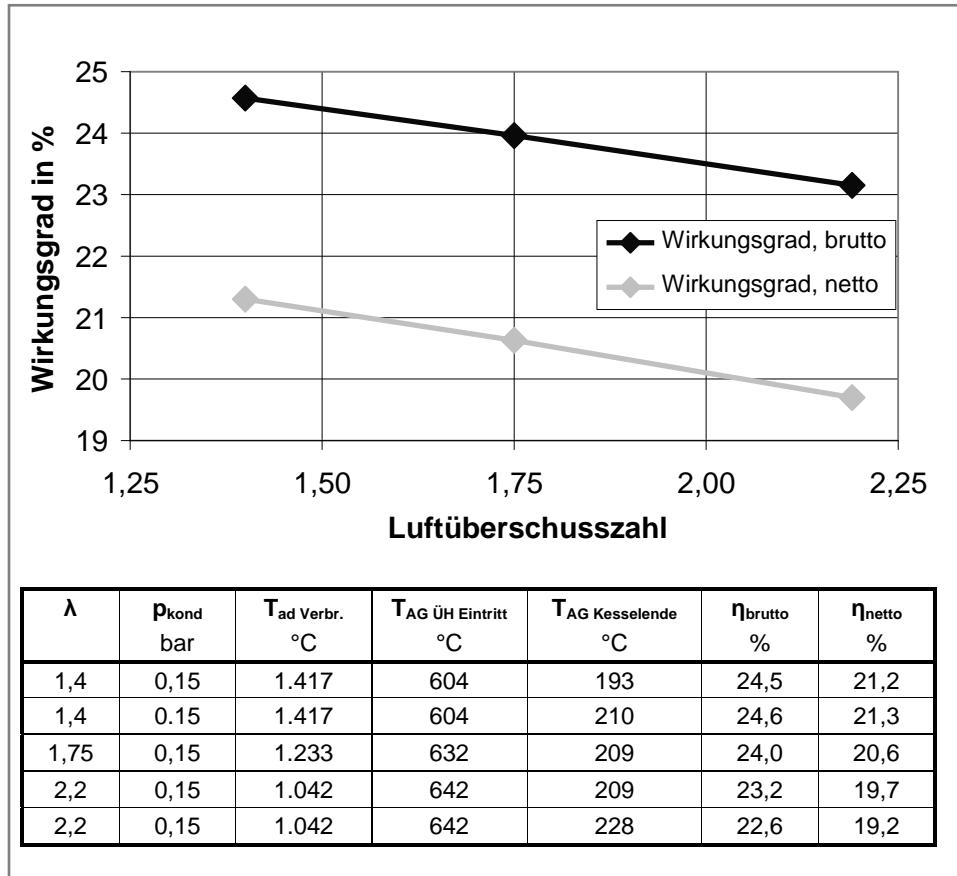


Abbildung 5: Einfluss der Luftüberschusszahl auf den Wirkungsgrad

## 5 Abgastemperatur am Kesselende

Typischerweise wird das Abgas im Economiser auf rund 200°C am Kesselende abgekühlt (209°C im Basisfall entsprechend Abbildung 5). Die Restenergie geht durch Enddüsen des Abgases mit Wasser auf typische Abgasreinigungstemperaturen von unter 150°C verloren. Alternativ kann die Kühlung durch zusätzliche Wärmetauscher erfolgen, die zum Beispiel die Kondensat-Vorwärmung unterstützen. Da Temperaturen unterhalb der Säuretaupunkte vorliegen, müssen jedoch entsprechend resistente Materialien eingesetzt werden. Die Reduzierung der Abgastemperatur auf 135,5°C führt zu einer Steigerung des Wirkungsgrades um 0,7% auf 21,3%.

Tabelle 1: Einfluss der Temperatur am Kesselende durch Kondensat-Vorheizung

$\lambda$	$T_{ad\ Verbr.}$ °C	$T_{AG\ ÜH\ Eintritt}$ °C	$T_{FAG\ Kesselende}$ °C	$\eta_{brutto}$ %	$\eta_{netto}$ %
1,75	1.223	632	209	24	20,6
1,75	1.223	632	135,5	24,7	21,3

## 6 Kondensationsdruck

Kondensationstemperatur und -druck sind zwei weitere wichtige Faktoren, die den Wirkungsgrad einer Anlage beeinflussen. In der beschriebenen typischen Anlage werden Luftkondensatoren für eine Abdampftemperatur von 54°C und einem Druck von 150 mbar eingesetzt. Der Wirkungsgrad kann um 2,8% auf 23,4% erhöht werden, wenn ein wassergekühlter Kondensator für eine Abdampftemperatur von 23°C und einen Druck von 30 mbar eingesetzt wird. Allerdings ist in der Praxis diese Option zur Effizienzsteigerung eher ungewöhnlich, da Kühlwasser (zum Beispiel aus Flüssen) selten an den vorhandenen Standorten zur Verfügung steht.

Tabelle 2: Einfluss von Kondensationsdruck

$p_{kond}$ bar	$p_{HD}$ bar	$T_{HD}$ °C	$X_{Dampf}$ %	$T_{AG\ Kesselende}$ °C	$\eta_{brutto}$ %	$\eta_{netto}$ %
0,15	40	380	89,0	209	24,0	20,6
0,05	40	380	87,0	209	25,9	22,6
0,03	40	380	85,9	209	26,9	23,4

## 7 Dampfdruck und Dampftemperatur

Eine Erhöhung des Dampfdrucks und der Dampftemperatur steigert den Wirkungsgrad des thermischen Kreislaufs. Diese Wirkungsgraderhöhung als Folge des Dampfdrucks, der Dampftemperatur und gegebenenfalls einer möglichen Zwischenüberhitzung lässt sich in einem Temperatur-/Entropie-Diagramm auswerten. Grundsätzlich ist der Wirkungsgrad des thermischen Kreislaufes  $\eta = 1 - (T_{Ab}/T_{Zu})$ , wobei  $T_{Zu}$  und  $T_{Ab}$  die durchschnittlichen Temperaturen bei der Wärmezufuhr beziehungsweise Wärmabgabe darstellen.

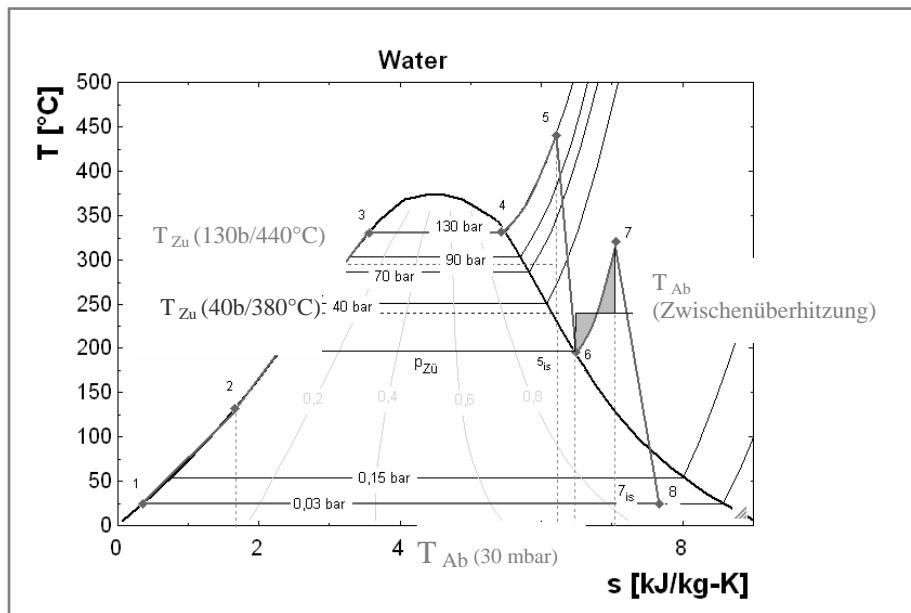


Abbildung 6: Temperatur-/Entropie-Diagramm (TS)

In einem klassischen Kesselkonzept können die Dampfparameter im Berührungsüberhitzer auf beispielsweise 73 bar/480°C erhöht werden. Dies steigert den Wirkungsgrad um 3,4% auf 24%. Verglichen mit typischen Dampfparametern von 40 bar/380°C ist diese Steigerung mit einem deutlich höheren Korrosionsrisiko verbunden.

Ein anderer innovativer Ansatz, um die Dampfparameter zu erhöhen, ist der Einsatz von Wandüberhitzern, wobei sich die kritischen Rohre für die Endüberhitzung hinter belüfteten Platten im Feuerraum befinden. Dies erlaubt eine Erhöhung der Dampftemperatur ohne zusätzliches Korrosionsrisiko. Die kritischen Rohre werden durch die Sperrluft der hinterlüfteten Platten geschützt. Der Wirkungsgrad wird bei Einsatz von Wandüberhitzern mit Dampfparameter von 60 bar/460°C um 2,6% auf 23,2% erhöht.

## 8 Zwischenüberhitzung

Um eine weitere Effizienzsteigerung zu erreichen, ist eine Zwischenüberhitzung des Dampfes erforderlich. Dieser Prozess wurde von AEB-Afvalenergiebedrijf Amsterdam entwickelt. Dort werden auch seit dem Frühling 2007 zwei neue entsprechend ausgerüstete Kessel betrieben [Van Berlo 2006]. Das System basiert auf einem 130 bar/440°C Kessel, wobei nach der ersten Turbinenstufe der Abdampf mit gesättigtem Trommeldampf nochmals auf 320°C zwischenüberhitzt wird. Verglichen mit dem Basisfall führt dieses System zu einer Erhöhung des Wirkungsgrades um 7,5% auf 28,1%. In Amsterdam wird ein noch höherer Wirkungsgrad erzielt, da zusätzliche Maßnahmen, wie zum Beispiel ein reduzierter Luftüberschuss und niedriger Kondensatdruck durch Wasserkühlung, realisiert sind.

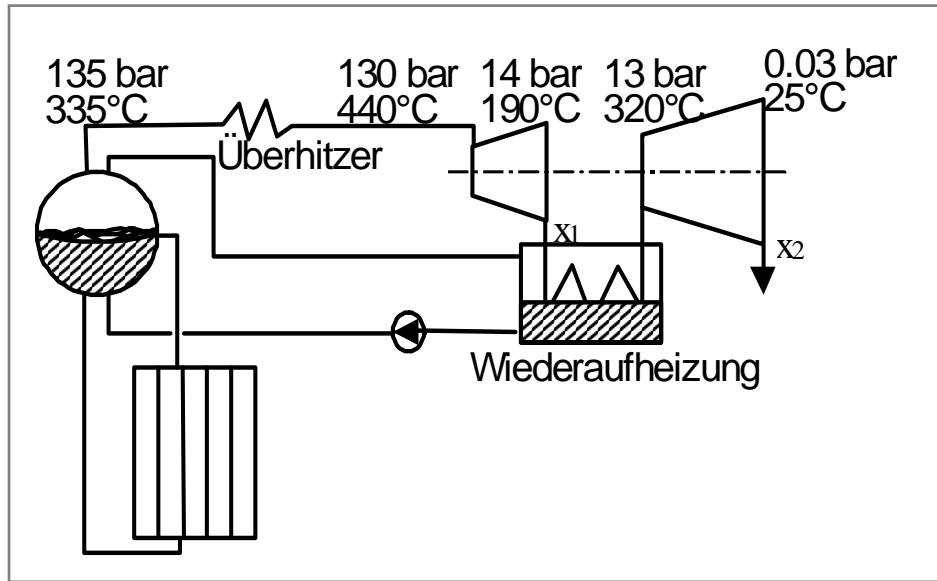


Abbildung 7: Wasser-Dampf-Prinzipdiagramm für ein 130 bar/440°C-System mit Zwischenüberhitzung

## 9 Externe Überhitzung

Noch höhere Wirkungsgrade können erzielt werden, wenn die Überhitzung in externen, fossil befeuerten Kesseln erfolgt. Dadurch unterliegt man bei den Dampfparametern nicht den Einschränkungen, die sich aufgrund der Korrosion bei Müllkesseln ergeben. Ein Beispiel hierfür ist die Anlage in Mainz, wo der 40 bar/400°C Dampf im Müllkessel erzeugt und dann in die Zwischenüberhitzer des benachbarten Gas- und Dampfkraftwerks (GuD) eingespeist wird. Ein weiteres Beispiel ist die Müllverbrennungsanlage in Bilbao. Der Müllkessel wird dort mit einem Druck von 100 bar betrieben. Eine Überhitzung auf 540°C findet im Kessel eines integrierten GuD-Kraftwerks statt. Auf diese Weise wird der Gesamtwirkungsgrad der Anlage auf 42% erhöht [Seguin 2005].

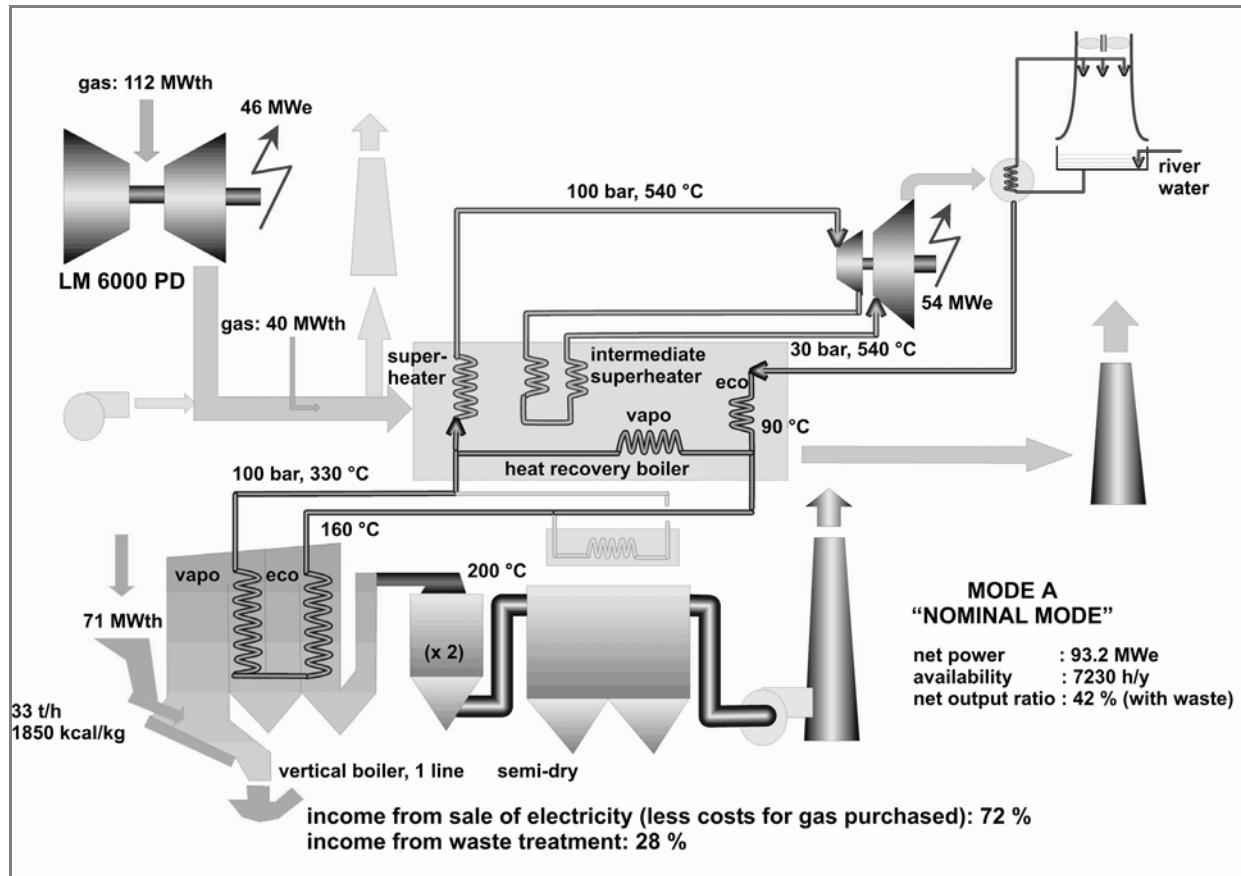


Abbildung 8: Bilbao-Anlage mit externer Überhitzung

## 10 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Das Hauptziel typischer Prozesse zur Nutzung von Energie aus Abfall ist die Umwandlung von Müll zu Asche (Verbrennung), die Zerstörung von Schadstoffen und die Erzeugung von Energie (Wärme und Strom). Bei typischen europäischen Anlagen mit Dampfparametern von 40 bar/380°C wurde ein Wirkungsgrad  $\eta_{el,netto}$  von 20,6% ermittelt. Dies entspricht ungefähr einem R1 von 0,63 und erfüllt damit die Kriterien des Entwurfs der EU-Abfallrahmenrichtlinie. Für Anlagen, die ab 2009 genehmigt werden, ist ein R1 von 0,65 notwendig.

Eine weitere Erhöhung der Energieeffizienz wird durch folgende Maßnahmen erzielt:

- Erhöhung der Dampfparameter (Druck und Temperatur des Überhitzerdampfes),
- Reduktion des Abgaswärmeverlustes (Temperatur am Kesselaustritt, Reduzierung des Luftüberschusses),
- Verbesserung der Bedingungen für die Dampfkondensation (Wasser- statt Luftkondensatoren),
- Optimierung der thermischen Zyklen (Zwischenüberhitzung, externer Überhitzer),
- Reduktion des innerbetrieblichen Verbrauchs (SNCR oder VLN anstelle von SCR).

Der durchschnittliche Wirkungsgrad  $\eta_{el,netto}$  von Rostfeuerungen für Abfälle beträgt in Europa noch 13% [IPPC 2005], aber es gibt schon für die meisten der oben genannten Komponenten Anwendungen in großtechnischen Anlagen. In Brescia wird ein Wirkungsgrad  $\eta_{el,netto}$  von 25% durch die Erhöhung der Dampfparameter, Verringerung der Abgasverluste und Minimierung des innerbetrieblichen Verbrauchs erreicht. Die neue Anlage in Amsterdam erreicht 30% mit Hilfe zusätzlicher Zwischenüberhitzer und Wasserkondensatoren. Eine weitere Erhöhung der Energieeffizienz ist dann nur durch externe Überhitzer mit Erdgas in GuD-Kraftwerken wie in Bilbao und Mainz möglich.

Die beschriebenen Verfahren sind eine wichtige regenerative Energiequelle, weil Hausmüll zu über 50% aus biogenen Bestandteilen besteht. Bei konsequenter Nutzung könnten mit dem Hausmüll in der EU über 50 TWh/Jahr erneuerbarer Strom erzeugt werden, was über 10% der heutigen regenerativen elektrischen Energie wäre [Gohlke 2007]. Hierfür ist es erforderlich, die Deponierung von Siedlungsabfällen zu verhindern und Anreize für eine bessere Effizienz der energetischen Nutzung zu schaffen. Als dazu geeignete Maßnahmen haben sich Deponieverbote, Deponiesteuern und Prämien für regenerative Stromerzeugung bewährt.

Tabelle 3: Übersicht der Maßnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz (R1-Kriterium des Europäischen Entwurfs zur Abfall-Rahmenrichtlinie ist 0,6; nach 2009 0,65)

Maßnahme zur Effizienzsteigerung	Netto-Effizienz [%]	R1 <sup>1)</sup>	Vorteile	Nachteile	Vorhandene Anlage
<b>Basisfall</b> Luftüberschuss 1,75 40 bar/380°C $p_{kond} = 150$ mbar $T_{Abgas} = 209^\circ\text{C}$	20,6	0,63	Hohe Verfügbarkeit Moderate Kosten	Begrenzter Wirkungsgrad der Stromerzeugung	Zella Mehlis (D)
<b>Luftüberschusszahl</b> reduziert auf 1,4	21,3	0,66	Geringere Abgasverluste Kleinere Aggregate	Erhöhte Korrosionsgefahr Verschleiß Feuerfestmaterial Risiko CO-Spitzen	Brescia (I)
<b>Wandüberhitzer</b> mit 60 bar/460°C	23,2	0,71	Überhitzer hinter belüfteten Platten durch Sperrluft geschützt	Entfernen der Platten zur Wartung	keine
<b>Kondensationsdruck</b> reduziert auf 30 mbar	23,4	0,72	Geringere Verluste des thermischen Kreislaufs Verringelter Eigenbedarf	Keine Wasser- kühlung auf meisten Anlagen Erhöhter Wasser- gehalt im Dampf nach Turbine	Amsterdam (NL)
<b>Dampfparameter</b> erhöht auf 74 bar/480°C	24,0	0,73	Geringere Verluste des thermischen Kreislaufs	Erhöhtes Risiko Überhitzerkorrosion Inconel-Schutz für Membranwände notwendig	Brescia (I)

<sup>1)</sup> Vereinfachte R1-Kriterien: nur Abfall als Brennstoff, nur Stromerzeugung

Tabelle 3 (Forts.): Übersicht der Maßnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz  
(R1-Kriterium des Europäischen Entwurfs zur Abfall-Rahmenrichtline ist 0,6; nach 2009: 0,65)

Maßnahme zur Effizienzsteigerung	Netto-Effizienz [%]	R1 <sup>1)</sup>	Vorteile	Nachteile	Vorhandene Anlage
<b>Zwischenüberhitzung</b> 130 bar/440°C	28,1	0,84	Effizienzgewinn ohne Erhöhung Überhitzer-temperatur	Zusätzlicher Wärmetauscher für Zwischenüberhitzung notwendig	Amsterdam (NL)
<b>Externe Überhitzung</b> 100 bar/540°C	42,0	--	Effizienzgewinn mit geringer Korrosions-gefahr	Hohe Investitions-kosten für GuD Verbrauch von Erdgas Inconel-Schutz für Membranwände	Bilbao (E)

<sup>1)</sup> Vereinfachte R1-Kriterien: nur Abfall als Brennstoff, nur Stromerzeugung

## 11 Literaturverzeichnis

- EU Commission (2000): Directive 2000/76/EC of the European Parliament and of the Council of 4 December 2000 on the incineration of waste.
- EU Commission (2005): Proposal for a directive of the European Parliament and of the council on waste, Annex II, p. 32.
- Gohlke, O.; Spliethoff, H. (2007): Innovative Approaches to Increase Efficiency in EfW Plants - Potential and Limitations. Proceedings of the ISWA conference Amsterdam. Internet: <http://www.nvrd.nl>.
- IPPC Bureau (2005): Integrated pollution prevention and control. Reference document on the best available techniques for waste incineration (BREF). <http://eippcb.jrc.es/pages/FEvents.htm>
- Pfeiffer, A.E. (2003): ISWA beacon conference. Governmental support to Waste-to-Energy.
- Seguin, P.; Haider, M. (2004): Zabalgarbi Bilbao plant: integration of a waste to energy unit into a combined cycle with a high energy efficiency. Chemie Ingenieur Technik Bd. 76, Nr. 9, 1323.
- Van Berlo, M.; Jonkhoff, E. (2006): Waste is innovation: Amsterdam's high efficiency waste fired power plant. ISWA World Congress 2006, Copenhagen. <http://www.iswa2006.dk>.



B. Bilitewski, A.I. Urban, M. Faulstich (Hrsg.)

**13. Fachtagung  
Thermische Abfallbehandlung**

**Erzeugung von Strom und Wärme aus Abfall  
Bedeutung und Potenzial**

Dipl.-Ing. Rolf Kaufmann, Dr.-Ing. Dirk Zachäus

BKB AG

Helmstedt

Schriftenreihe des  
Fachgebietes Abfalltechnik  
Universität Kassel

## 1 Einführung

Die Abfallwirtschaft in Deutschland hat sich im letzten Jahrzehnt, nach Einführung des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes erheblich gewandelt. Heute leistet die Abfallwirtschaft einen wesentlichen Beitrag zu Ressourcenschonung und Umweltschutz. Die thermische Abfallbehandlung ist, nach Inkrafttreten des Deponierungsverbotes für unbehandelte Siedlungsabfälle, von zentraler Bedeutung. Es werden derzeit etwa 18 Mio. Mg Abfall jährlich thermisch behandelt. Die primäre Aufgabe von Müllverbrennungsanlagen besteht in der sicheren und umweltgerechten Abfallbehandlung. Der Aspekt der Energieerzeugung aus Abfall gewinnt vor dem Hintergrund der Endlichkeit fossiler Energieträger und der CO<sub>2</sub>-Problematik zunehmend an Gewicht.

## 2 Derzeitige Bedeutung und Potenzial der Abfallverbrennung

Im Vergleich mit anderen Erzeugungsarten erscheint die Verstromung von Abfall zunächst fast unbedeutend. So beträgt der Anteil der Stromerzeugung aus Abfall heute jährlich etwa 6 TWh (Lineare Hochrechnung (auf 17 Mio. Mg/a) auf Basis der Angaben zur Stromerzeugung in EdDE (2005): Die dortige Bezugsbasis waren jedoch 13 Mio. Mg/a). Vergleicht man die Stromerzeugung aus Abfall jedoch im Feld der regenerativen Erzeugungsarten (Stromerzeugung aus Wasser (ohne Pumpspeicherwerke), Wind, Abfall, Biomasse und Solarenergie), welche heute schon etwa 13% zur Stromerzeugung beitragen, so wird deutlich, dass Abfall als Energieträger nicht vernachlässigt werden kann, da wiederum anteilig über 8% des Stroms regenerativer Erzeugungsarten aus der thermischen Behandlung und Verwertung von Abfall stammt. Bereits heute machen die Stromerzeugung aus Abfall und Biomasse ein Viertel der Stromerzeugung aus regenerativen Energien in Deutschland aus.

Um eine Vorstellung zu bekommen, welches Potenzial zur Energieerzeugung im Abfall steckt, haben wir uns die Frage nach der möglichen Stromerzeugung gestellt. Daneben wurde in die Überlegung auch die Wärmenutzung einbezogen.

Im ersten Schritt wurden die jährlich anfallenden Siedlungsabfallmengen bestimmt, die zur thermischen Behandlung gelangen. Für den Siedlungsabfall wurde Bauschutt, Erd- aushub oder ähnliches nicht berücksichtigt (Datenbasis: OECD, PROGNOS, BMU, CEWEP, BAFU in Österreich). Es wurde aus Gründen der Vergleichbarkeit der drei Bezugsgebiete angenommen, dass 50% der Siedlungsabfälle zur thermischen Behandlung beziehungsweise Verwertung gelangen. Der mittlere Heizwert wurde auf 9 MJ/kg festgelegt. Für die Stromerzeugung wurde ein elektrischer Wirkungsgrad von 22% (brutto) angenommen. Für das Potenzial der kombinierten Energienutzung in Form von Strom und Wärme wurde ein Gesamtenergienutzungsgrad von 50% angenommen. Dann wurde die enthaltene Brennstoffwärme abgeschätzt, um schließlich die

mögliche Energieerzeugung zu bestimmen. Dafür wurde separat von reiner Verstromung und von kombinierter Strom- und Wärmenutzung ausgegangen.

Für die reine Verstromung ist in Deutschland ein Potenzial von 9 TWh/a vorhanden. Dies entspricht der Stromproduktion eines Kernkraftwerkes der 1000 MW-Klasse. Diese Schätzung ist sehr konservativ, da aus Gründen der Vergleichbarkeit mit dem Europa- und OECD-Szenario davon ausgegangen wurde, dass 50% des Siedlungsabfalls für die thermische Behandlung zur Verfügung stehen. Für Deutschland wurde dementsprechend von 15 Mio. Mg/a ausgegangen, obwohl bereits in 2006 17 Mio. Mg Abfall thermisch behandelt wurden. Eine Steigerung der Stromproduktion gegenüber der Ist-Situation in 2005 ergibt sich dennoch, weil der durchschnittliche elektrische Wirkungsgrad heute in Betrieb befindlicher Altanlagen deutlich niedriger liegt als 22%. Würde man außerdem noch die rund 6 Mio. Mg/a heizwertreicher Abfälle, für die derzeit keine Behandlungskapazität zur Verfügung steht, hinzunehmen, ergibt sich ein weiteres Potenzial von fast 8 TWh/a bei der Stromerzeugung in Deutschland [Grundmann & May 2006]. Im Europa-Szenario besteht ein Potenzial von 47 TWh/a bei reiner Verstromung.

Betrachtet man alle OECD-Länder, so lassen sich unter den gemachten Annahmen 99 TWh/a Strom aus Abfall erzeugen. Diese Menge entspricht in etwa dem Strombedarf von Spanien.

Ebenso überzeugt das Potenzial von Abfall zur Energieerzeugung, wenn man die kombinierte Erzeugung von Strom und Wärme betrachtet: Aus den gewählten Annahmen ergibt die Abschätzung für Deutschland ein Potenzial von 19 TWh/a. Das entspricht in Summe etwa 2/3 der benötigten Energie für Strom- und Fernwärme in der Stadt Berlin. In Europa besteht bei kombinierter Strom- und Wärmenutzung ein Potenzial von 105 TWh/a und in den OECD-Ländern wären so 225 TWh/a aus Abfall nutzbar. Auch die Schätzung zum Potenzial der kombinierten Strom- und Wärmeerzeugung aus Abfall ist konservativ, da Energienutzungsgrade von 60% dabei durchaus erreichbar sind (angenommen nur 50%).

Die Abschätzungen zeigen deutlich, dass die Nutzung von Energie aus Abfall in Deutschland, Europa und der Welt erhebliche Potenziale hat.

### **3 Aspekte der Erzeugung von Strom und Wärme aus Abfall**

#### **3.1 Leistungsgang**

Für die Stromerzeugung aus Abfall spricht zunächst der *charakteristische Leistungsgang*. Abfall eignet sich besonders gut zur Stromerzeugung, da infolge des Entsorgungsauftrages, die Abfallbehandlungsanlagen kontinuierlich in Betrieb gehalten werden. Strom aus Abfall gehört also zur Grundlast und ist, aufgrund der quasi-konstanten Leistungsabgabe, gut disponierbar.

Durch die konstante Verfügbarkeit der Leistung ist Strom aus Abfall im Vergleich zu Strom aus Wind oder Sonne von deutlich höherer Qualität. Für die Stromerzeugung aus Windkraft ist ganz im Gegenteil dazu überhaupt keine Disposition möglich. Wegen der wenig exakten Vorhersage des Windes kommt es häufig zu nicht planbaren Leistungsschwankungen von bis zu 100% und unvorhersehbarer Dauer. Bei der Stromerzeugung aus Sonnenenergie kommt es, abgesehen vom bekannten Nachteil der nächtlichen Nichtverfügbarkeit, zu einem Absinken der Globaleinstrahlung auf 20% in den Wintermonaten.

### 3.2 Kostenverteilung

Für die Errichtung einer großen modernen Abfallverbrennungsanlage mit dem System einer Rostfeuerung und bewährten Betriebsparametern für Druck und Temperatur kann man von spezifischen Investitionskosten von 3.100 €/kW<sub>el</sub> (Annahmen: Anlagengröße 630.000 Mg/a; 70 MW<sub>el</sub> bei 275 MW<sub>th</sub> Leistung [Kaufmann 2006]) ausgehen. Im Vergleich dazu liegen die spezifischen Investitionskosten für ein Kohlekraftwerk bei 1.200 €/kW<sub>el</sub> und für ein GUD-Gaskraftwerk bei 420 €/kW<sub>el</sub> [Kaufmann 2006]. Die hohen Investitionskosten sind hauptsächlich auf den großen Aufwand für die Rauchgasreinigungsanlagen zurückzuführen. Der Vergleich verdeutlicht, dass ein Abfallkraftwerk durch die vergleichsweise hohen Investitions- und Betriebskosten für die Stromerzeugung ohne weitere Einnahmequellen nicht wettbewerbsfähig wäre. Anders sieht die Gegenüberstellung aus, wenn die Brennstoffvergütung mitberücksichtigt wird. Nur die Kernkraft und das Laufwasser wiesen in unserem Kostenvergleich günstigere Stromerzeugungskosten auf.

### 3.3 Wirkungsgrad und Energiebilanz

Stromerzeugung aus Abfall ist verfahrensbedingt mit relativ geringen elektrischen Wirkungsgraden verbunden. Die verschiedenen Gründe für die typischen „Verluste“ (entspricht der für die Nutzung verfügbaren Brennstoffwärme, Energieverluste nicht vorhanden) bei der Energieerzeugung aus Abfall sollen hier kurz erläutert werden.

Die *Feuerungsverluste* machen etwa 2% der ursprünglichen Brennstoffwärme aus und entstehen infolge des unvollständigen Ausbrandes des inhomogenen Brennstoffes Abfall.

Die *Abgasverluste* sind bei der Abfallverbrennung höher als bei konventionellen Kraftwerken. Dies resultiert zum einen aus dem bei der Abfallverbrennung typischen Luftüberschuss (zur Sicherung eines optimierten Ausbrandes und zur Vermeidung von Emissionsspitzen), zum anderen ist die verfahrensabhängig festgelegte Abgastemperatur nach dem Kessel dafür verantwortlich. Es wird also im Dampferzeuger weniger Energie übertragen als möglich wäre. Die Höhe der Abgasverluste hängt maßgeblich vom Konzept der Rauchgasreinigungsanlage ab. Sie liegen in vielen Anlagen üblicherweise bei 14% und mehr.

*Strahlungsverluste* sind ein weiterer Verlustanteil. Damit ist die Wärmeabstrahlung am Kessel, diversen Rohrleitungen und auch aus der noch warmen Schlacke/Asche gemeint. Dies macht insgesamt ebenfalls um die 2% aus.

Ein besonders großer Teil der Brennstoffwärme ist in Form von *Abwärme* der direkten Nutzung zur Stromerzeugung nicht zugänglich. Dies liegt hauptsächlich in den, im Vergleich mit konventionellen Kraftwerken, relativ niedrigen Dampfparametern begründet. Aufgrund der aggressiven Rauchgase kommt es bei höheren Temperaturen zu starker Korrosion im Kessel, was sich negativ auf die Anlagenwirtschaftlichkeit auswirkt. Daher werden Abfallkessel nach wie vor meistens mit Dampfparametern von etwa 400°C und 40 bar ausgelegt.

Damit ist der Carnot-Wirkungsgrad des Wasser-Dampf-Kreislaufes von Abfallkraftwerken deutlich kleiner als bei konventionellen Kraftwerken mit höheren Dampfparametern. Der nicht nutzbare Energieanteil fällt als Abwärme an. Eine Einführung hierzu findet man beispielsweise bei Baehr (2002). In vielen Abfallkraftwerken wird heute das Potenzial der Abwärme noch nicht genutzt. Insgesamt bleiben dann von der im Brennstoff enthaltenen Energie über die Abwärme 60% ungenutzt.

Abfall ist also ein Brennstoff, der wegen des mit der Nutzung verbundenen niedrigen thermodynamischen Wirkungsgrades vorzugsweise zur kombinierten Wärmenutzung eingesetzt werden sollte. Dabei können *Gesamtenergiennutzungsgrade* von bis über 60% erreicht werden. Es kommen verschiedene Anwendungsgebiete in Frage, die jedoch im nächsten Abschnitt behandelt werden. Die Wärmenutzung gelingt nicht ohne Einbußen bei der Stromerzeugung, denn durch Dampfentnahme an der Turbine geht leider auch immer etwas Arbeitsfähigkeit für die Stromerzeugung verloren. Dieses wird jedoch durch die Steigerung des Gesamtenergiennutzungsgrades überkompensiert.

Schließlich benötigt auch der Prozess Abfallverbrennung Strom. Dieser elektrische Eigenbedarf ist von der nutzbaren Strommenge abzuziehen. Auch dieser Eigenbedarf ist höher als bei konventionellen Kraftwerken, da die aufwendige Rauchgasreinigung einen erhöhten Strombedarf verursacht. Zusätzlich führt der Luftüberschuss in der Feuerung zu einem höheren Rauchgasvolumen und damit zu höherem Energieaufwand beim Transport durch die Anlage bis hin zum Kamin.

Aus den angeführten typischen Verlustarten bei der Energieerzeugung aus Abfall ergeben sich Ansatzpunkte für eine Effizienzoptimierung.

### 3.4 Klimaschutz

Abfallverbrennung leistet gegenüber der Energieerzeugung aus fossilen Primärenergieträgern einen deutlichen Beitrag zum Klimaschutz. Dies liegt insbesondere daran, dass Abfall einen wesentlichen Anteil an regenerativem Kohlenstoff enthält. Dieser Anteil ist klimaneutral, da er pflanzlichen Ursprungs ist. Abfall hat einen mengenbezogenen biogenen Kohlenstoffgehalt von annähernd 15% je Mg Abfall [Dehoust

2005]. Bei der Strom- und Wärmeerzeugung aus Abfall ergeben sich relative CO<sub>2</sub>-Einsparungen von etwa 36% gegenüber der Erzeugung aus fossilen Energieträgern.

Das Einsparpotenzial an CO<sub>2</sub>-Emissionen für Deutschland wächst durch die Abfallverbrennung von rund 2,5 Mio. Mg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten im Jahr 2005 auf rund 7,8 Mio. Mg CO<sub>2</sub>-Äquivalente im Jahr 2020 [IFEU 2006].

### **3.5 Optimierung der Feuerung und des Kesselwirkungsgrades**

Der in der Feuerung erforderliche *Luftüberschuss* ist verantwortlich für erhöhte Abgasverluste und gesteigerten Energiebedarf für die Saugzüge und die Abgasreinigung. Dieser Luftüberschuss kann durch eine optimierte Primär- und Sekundärluftverteilung im Kessel beziehungsweise durch Rückführung eines Abgasteilstromes verringert werden. Eine Reduktion der Sauerstoffmenge im Abgas um 1% bewirkt eine Verbesserung des elektrischen Nettowirkungsgrades um 0,5 bis 1% [BREF/BAT 2005].

### **3.6 Senkung der Abgasverluste**

Ein weiterer Ansatzpunkt besteht bei der *Senkung der Abgastemperatur hinter dem Kessel*, wenn dadurch der Wärmestrom, der vom Abgas auf den Dampf übertragen wird, steigt. Allerdings werden dann Maßnahmen zur Vermeidung von Korrosion notwendig, da es bei Unterschreiten der minimalen Abgastemperatur von 200 bis 220°C zur Taupunktkorrosion kommt. Zusätzlich kann, je nach Entstickungsmethode, eine Wiederaufheizung der Abgase notwendig sein, um die Funktion der Rauchgasreinigungsanlage zu garantieren. Diese *Wiederaufheizung* ist optimiert, zum Beispiel als *regenerative Abgaswiederaufheizung* zu bemessen. Insgesamt lässt sich der Kesselwirkungsgrad bei Senkung der Abgastemperatur um 10 K um durchschnittlich 1% steigern [EdDE 2005].

### **3.7 Erhöhung der Stromerzeugung am „heißen Ende“**

Die erzeugte Strommenge steigt mit dem thermischen Wirkungsgrad des Wasser-Dampf-Kreislaufes. Dazu können die Dampfparameter gesteigert werden, was aber Maßnahmen zur Vermeidung erhöhter Korrosion nach sich zieht (Einsatz von Kohlenstoffstählen oder hochlegierten Rohrwerkstoffen, Auftragsschweißen (Cladding), thermisches Spritzen). Bei Neubauanlagen kann die Steigerung der Dampfparameter über die Gestaltung des Feuerraumes oder über eine Zwischenüberhitzung erreicht werden. Der erzielbare elektrische Wirkungsgrad liegt bei bis zu 30% (brutto). Einen weiteren Weg stellt in diesem Zusammenhang die externe Überhitzung mit zusätzlichen konventionellen Energieträgern dar.

Weiterhin kann der thermische Wirkungsgrad und damit auch der Wirkungsgrad der Stromerzeugung erhöht werden, indem Rostabwärme aus der Feuerung zur Speisewasservorwärmung genutzt und somit der andernfalls benötigte Niederdruckdampf

ersetzt werden kann [Stehen 2001]. Zusätzlich kann der elektrische Wirkungsgrad durch eine zweistufige Luftvorwärmung gesteigert werden. Dabei wird in der zweiten Stufe (Hochdruckstufe) Anzapfdampf aus dem Hochdruckteil der Turbine zur Luftvorwärmung genutzt. Die Temperaturdifferenz Frischdampf-Anzapfdampf kann zur Energieerzeugung an der Turbine genutzt werden. Bei zweistufiger Luftvorwärmung kann die abgegebene Strommenge um bis zu 1,5% gesteigert werden [EdDE 2005].

### **3.8 Erhöhung der Stromerzeugung am „kalten Ende“**

Die Stromerzeugung kann auch durch die Verringerung des Kondensationsdrucks nach der Turbine gesteigert werden. Dies hängt maßgeblich vom Feuchtegehalt im Abdampf ab (Wassertropfen-Erosion der Turbinenschaufeln). Optimalerweise wird ein wassergekühlter Kondensator eingesetzt (standortabhängig). So lassen sich niedrigere Kondensationsdrücke bis zu 0,03 bar erreichen. Demgegenüber liegen die durchschnittlichen Abdampfdrücke bei Verwendung eines Luftkondensators bei 0,1 bis 0,2 bar. Bei Reduktion des Abdampfdruckes um 0,08 bar steigt die Turbinenleistung um etwa 8% (bei Dampfparameter 400°C und 40 bar) [EdDE 2005].

### **3.9 Optimierung des Gesamtenergienutzungsgrades durch Wärmenutzung**

Dieses Handlungsfeld zur Erhöhung der Energieeffizienz ist stark standort- und verfahrensabhängig und kann daher nicht für jede Anlage umgesetzt werden.

Voraussetzung zur Nutzung der Abwärme ist ein wirtschaftlich erschließbarer Wärmebedarf zum Beispiel für Fernwärme. Die Wirtschaftlichkeit hängt von der Anschlussdichte im Netz und der Länge der notwendigen Fernwärmestraße ab. Beachtet werden muss der jahreszeitlich stark unterschiedliche Wärmebedarf. Abwärme kann auch zur Kälteerzeugung genutzt werden. Unter Nutzung von Abwärme kann dabei Kaltwasser oder Trockeneis (Flüssig-CO<sub>2</sub>) erzeugt werden. Ein Beispiel ist die Versorgung eines Krankenhauses mit Kälte durch BKB Göppingen.

Ein weiterer wichtiger Ansatzpunkt zur Effizienzsteigerung ist die *Prozessdampflieferung* an Industriebetriebe. Vorteil: gegenüber Fernwärme liegt ein ganzjährig gleichbleibender Wärmebedarf vor.

Schließlich gehört zu den Effizienzsteigerungsmaßnahmen auch die *regenerative Abgaswiederaufheizung*. Mit Hochdruckdampf wird über einen Wärmetauscher das Rohgas vor dem Katalysator wiederaufgeheizt. Gelingt es die Katalysatortemperatur auf 200 bis 300°C abzusenken, ist es auch möglich, die Wiederaufheizung mit Frischdampf vorzunehmen und damit Erdgas zu ersetzen.

## 4 Zusammenfassung

Abfallverbrennung ist eine inzwischen bewährte Technologie zur „Energieerzeugung“. Sie ist wettbewerbsfähig und erzeugt Strom hoher Qualität. Für die Wärmenutzung ist sie besonders geeignet, da fossile Premiumenergieträger substituiert werden können. Effizienzsteigerungen bei bestehenden und neuen Abfallverbrennungsanlagen bieten weiteres Potenzial für nachhaltige, umweltschonende Energiewirtschaft. Im Feld der regenerativen Energieträger liefert die Abfallverbrennung schon heute einen nennenswerten Beitrag zur Erzeugung von Strom und Wärme. Die Erschließung Europas mit modernen Abfallverbrennungsanlagen bietet darüber hinaus die Chance eines wesentlichen Beitrags zur ressourcenschonenden Energieversorgung.

## 5 Literatur

Ökologische Effekte der Müllverbrennung durch Energienutzung, Dokumentation und Forschungsbericht, Technische Universität Dresden, EdDE e.V., Köln, 2005.

Grundmann, J.; May, F.: Kann Abfall als Brennstoff einen wesentlichen Beitrag zur Energieerzeugung leisten?, Aufsatz in VGB Power Tech 7/2006.

Kaufmann, R. 2006: Kostenführerschaft und Systemkonkurrenz vor dem Hintergrund der Entwicklung der Energiepreise, Aufsatz, Berliner Abfallwirtschaftskonferenz 2006, TK Verlag, Nietwerder-Neuruppin, 2006.

Baehr, H. D.: Thermodynamik - Grundlagen und technische Anwendungen, 11. Auflage, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2002.

Dehoust , G.: Statusbericht zum Beitrag der Abfallwirtschaft zum Klimaschutz und mögliche Potenziale, Öko-Institut e.V., Darmstadt, 2005.

Draft Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration, BREF/BAT Waste Incineration for Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), European Comission, Final Draft , EIPPC Bureau , Sevilla, 2005.

Steen, T.: Systeme zur Wärmenutzung in Abfallverbrennungsverfahren, Tagungsbeitrag Thermische Abfallbehandlung, Berichte aus Wassergüte- und Abfallwirtschaft, Technische Universität München, 2001.

B. Bilitewski, A.I. Urban, M. Faulstich (Hrsg.)

**13. Fachtagung  
Thermische Abfallbehandlung**

**Hybrid-Regelung zur Optimierung des Betriebs  
von Müllverbrennungsanlagen**

Dipl.-Ing. Dietrich-Georg Ellersiek

Siemens AG

Offenbach am Main

Schriftenreihe des  
Fachgebietes Abfalltechnik  
Universität Kassel

## 1 Einführung

Die Wirtschaftlichkeit von Müllverbrennungsanlagen steigt mit der Menge Müll, die innerhalb eines bestimmten Betriebszeitraumes durchgesetzt werden kann. Dabei ist noch zu beachten, dass

- vorgegebene Emissionsgrenzwerte nicht überschritten werden dürfen,
- der Müll gut ausgebrannt sein muss und
- der Einsatz von mit teurem Öl betriebenen Stützbrennern möglichst vermieden werden muss.

Der Mülldurchsatz ist direkt proportional zum Kesselleistungssollwert, der vom Anlagenfahrer vorgegeben wird. Dieser Sollwert kann umso größer eingestellt werden, je stabiler die Leistung des Müllkessels auf dem gewünschten Niveau gehalten werden kann. Die Regelung der Leistung eines Dampferzeugers ist jedoch umso schwieriger je inhomogener der eingesetzte Brennstoff ist. Ein sich ändernder Brennstoff-Heizwert stellt beispielsweise eine unmittelbare Variation der Dampferzeugerleistung dar und führt daher zu einer Störung der Kesselleistungsregelung. Diese Störung ist umso größer, je größer die Heizwertschwankungen sind und je schneller sich der Heizwert ändert. Entsprechend schwieriger wird es, die Dampferzeugerleistung stabil auf einem konstanten Niveau zu halten.

Aus diesem Grunde ist die Realisierung einer stabilen Feuerleistungsregelung für einen mit Müll befeuerten Dampferzeuger mit einer besonderen Herausforderung verbunden. Bei Verwendung von Müll als Brennstoff treten nicht nur große, schnelle Heizwertschwankungen auf. Aufgrund unterschiedlicher Zusammensetzungen und Feuchten des Mülls kann es auch bei konstantem Heizwert zu einer starken Variation des Verbrennungsverhaltens beispielsweise bezüglich der Dauer bis zum Zünden, des O<sub>2</sub>-Bedarfs oder ähnliches kommen.

Klassische Regelkonzepte geraten in Müllverbrennungsanlagen an ihre Grenzen. In den meisten Fällen wird keine zufriedenstellende Regelgüte erreicht. Oft tritt sogar ein geradezu fehlerhaftes Regelverhalten auf. Die Ursache hierfür liegt darin, dass die Ermittlung korrekter Stelleingriffe bei Müllverbrennungsanlagen nur erfolgen kann, wenn der momentane Zustand, in dem sich der Kessel befindet, durch Verwendung aller vorhandenen Messdaten ganzheitlich beurteilt wird. Aus den Betriebsdaten muss auf die momentan verfeuerte Müllqualität (Heizwert, Feuchte, Zündverhalten, Luftbedarf etc.) zurückgeschlossen werden. Nur so kann bestimmt werden, mit welchen korrigierenden Stellaktivitäten ein Festhalten der Kesselleistung auf dem gewünschten Niveau unter Berücksichtigung der zusätzlichen Randbedingungen (Emissionen, Ausbrand etc.) überhaupt möglich ist. In konventioneller Logik ist eine Umsetzung derart komplexer Zusammenhänge nur begrenzt oder überhaupt nicht möglich.

Eine Alternative zur klassischen Regelungstechnik stellt die Fuzzy-Technologie dar. Durch die Abbildung der erforderlichen Regelfunktionalität in Form linguistischer Regeln erhält man die Möglichkeit, alle möglichen Betriebszustände der Anlage zu definieren und je nach Betriebssituation oder ermittelter Müllqualität jeweils geeignete Regeleingriffe festzulegen. Der Fuzzy-Regler stellt damit einen nichtlinearen Algorithmus dar, der die erforderlichen Stellaktivitäten aus dem aktuellen Betriebszustand der Anlage, der durch die Messgrößen wie zum Beispiel den Frischdampfmassenstrom, O<sub>2</sub>- und CO-Gehalt im Rauchgas usw. bestimmt wird, ableitet. Damit können auch für außergewöhnliche Betriebssituationen, die durch außergewöhnliche Müllqualitäten zustande kommen, die bestmöglichen Stelleingriffe ermittelt werden. Ein fehlerhaftes Regelverhalten wird dadurch vermieden und die Regelgüte insgesamt erhöht.

In einem reinen Fuzzy-Regler sind alle Regelfunktionalitäten in Form der linguistischen Regeln abzulegen. Dies gilt auch für die ebenfalls vorhandenen, einfachen Zusammenhänge, die deterministisch und reproduzierbar sind. Zur Feuerleistungsregelung eines Müllkessels werden daher im Fuzzy-Regler normalerweise mehrere hundert Regeln benötigt. Der Nachteil des Fuzzy-Reglers besteht deshalb darin, dass er eine sehr große Zahl von Parametern hat, die in ihrer Gesamtheit nur bedingt für eine ganz bestimmte Anlage optimiert werden können. Grundsätzlich gilt bei der Dampferzeugerregelung jedoch der Grundsatz, dass die erreichbare Regelgüte nicht nur vom eingesetzten Konzept sondern ganz entscheidend auch von der Optimalität der verwendeten Parameter abhängt. Daher wird oftmals auch mit einem Fuzzy-Regler ein nicht optimales Regelverhalten bei der Feuerleistungsregelung von Müllverbrennungsanlagen erreicht. Außerdem kann ein derartig aufwändiger Regler nur äußerst schwierig vom Betriebspersonal an geänderte Randbedingungen angepasst werden.

Aus diesem Grunde wurde bei Siemens Power Generation ein hybrides Regelkonzept entwickelt, das die Vorteile der klassischen Regelungstechnik, das heißt vor allem die einfachere Optimierbarkeit, aber auch die bessere Projektier- und Wartbarkeit sowie die Robustheit mit denjenigen der Fuzzy-Regelungstechnik, das heißt der Anpassungsfähigkeit an nichtlineare, komplexe Prozesse, verbindet.

Auf diese Art und Weise kann eine sehr große Stabilität im Betriebsverhalten von Müllverbrennungsanlagen unter Einhaltung der Randbedingungen für Emissionswerte und Ausbrand erreicht werden. Die erhöhte Stabilität kann letztlich dazu genutzt werden, den Kesselleistungssollwert weiter zu erhöhen, das heißt näher an die Auslegungsgrenze des Kessels heran zu gehen. Dies ist mit einer entsprechenden Erhöhung der Wirtschaftlichkeit der Anlage verbunden.

Das SPPA-P3000 Hybrid-Regelkonzept wird im Müllheizkraftwerk der AVEA in Leverkusen zur Feuerleistungsregelung von drei Müllkesseln eingesetzt. Im Folgenden wird dargestellt, wie das Regelkonzept für diese Anlage aufgebaut wurde und mit welcher Regelqualität die Kessel nun betrieben werden können.

## 2 MHKW Leverkusen

Das Müllheizkraftwerk der AVEA in Leverkusen hat drei Verbrennungslinien – zwei baugleiche aus dem Jahr 1970 mit einer maximalen Dampfleistung von jeweils 28 Mg/h und eine, die im Jahr 1986 errichtet wurde, mit einer maximalen Dampfleistung von 36,3 Mg/h. In allen drei Kesseln wird der Müll auf jeweils einem Vorschubrost verbrannt. In den Bildern 1 und 2 sind die beiden Anlagenkonfigurationen schematisch dargestellt.

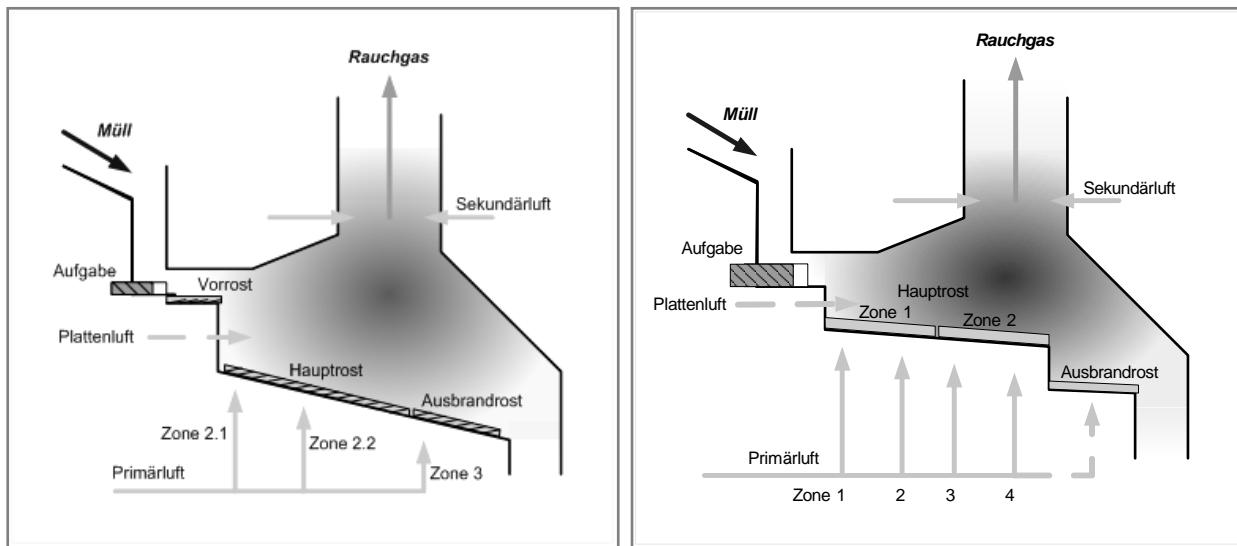


Abbildung 1: Aufbau der Kessel 1 und 2 (links) und des Kessel 3 (rechts) des MHKW Leverkusen der AVEA

Die Stellgrößen der Feuerleistungsregelung sind jeweils die Geschwindigkeiten des Aufgabeschiebers und der einzelnen Rostzonen sowie die einzelnen Luftmassenstrom-Sollwerte. Als Haupt-Regelgröße wird der jeweilige Frischdampfmassenstrom verwendet. Gleichzeitig gehen die gemessenen Werte für den O<sub>2</sub>- und den CO-Gehalt im Rauchgas, die Druckdifferenzen über den Rostzonen (Differenz zwischen Primärluftdruck und Feuerraumdruck) sowie die Temperaturen über den ersten Rostzonen in die Feuerleistungsregelung mit ein. Bei den Verbrennungslinien 1 und 2 steht zusätzlich eine Messinformation von Flammenschlagsensoren und Temperaturmessungen über dem Ausbrandrost zur Verfügung, mit deren Hilfe das Vorhandensein von Feuer auf dem Ausbrandrost detektiert werden kann. Beim Kessel 3 wird als äquivalente Information die Temperatur über dem Ausbrandrost verwendet.

Darüber hinaus steht beim Müllheizkraftwerk Leverkusen keine weitere Messinformation zur Verfügung, die über die Lage des Feuers auf dem Rost Aufschluss geben würde. Wie im Folgenden gezeigt wird, gelingt es mit dem SPPA-P3000 Hybrid-Regler der Siemens Power Generation auch in einem derartigen Falle ein äußerst stabiles und zuverlässiges Regelverhalten zu erreichen.

### 3 Konzept zur hybriden Feuerleistungsregelung

Für die Feuerleistungsregelung von Dampferzeugern, die mit Kohle, Öl oder Gas befeuert werden, gibt es eine Vielzahl ausgereifter und bewährter Verfahren. Besonders vorteilhaft sind dabei modellgestützte Regelungsstrukturen, in denen das statische und dynamische Verhalten der zu regelnden Anlage mathematisch hinterlegt ist. Mit Hilfe des mathematischen Modells kann der Regler dann jederzeit eine optimale Stellgröße ermitteln. Dadurch wird ein sehr ruhiges und reproduzierbares Regelverhalten erzielt. Störungen können schnell und exakt ausgeregelt werden.

Die Besonderheit von Müllverbrennungsanlagen liegt darin, dass der Brennstoff sehr inhomogen ist. Der Heizwert des Brennstoffes ist starken Schwankungen unterworfen, die Wärmeentbindung ist sehr ungleichmäßig usw. Da die Schwankungen der Eigenschaften des Brennstoffes nicht vorhersehbar sind und daher nicht in einem mathematischen Modell hinterlegt werden können, werden mit modellgestützten Regelstrukturen bei Müllverbrennungsanlagen weniger große Erfolge erzielt.

Dennoch gibt es auch bei Müllverbrennungsanlagen deterministische Zusammenhänge zwischen den Ein- und Ausgangsgrößen. Eine Erhöhung des Brennstoffmassenstromes (Müllaufgabe) wird innerhalb eines bestimmten Zeitfensters eine Erhöhung der Feuerungsleistung und innerhalb eines anderen Zeitraumes eine Absenkung des O<sub>2</sub>-Gehaltes im Rauchgas zur Folge haben, eine Erhöhung des Sekundärluftstromes wird zu einem Anstieg des O<sub>2</sub>-Gehaltes führen usw.

Ein Verfahren zur Feuerleistungsregelung wird dann besonders gute Eigenschaften haben, wenn bei der Ermittlung der Stellgrößen diese Zusammenhänge bereits unmittelbar berücksichtigt werden. Auf Basis der hinterlegten Prozesskenntnis werden dann zu jedem Zeitpunkt die Stellaktivitäten berechnet, die aufgrund der Brennstoff-Unsicherheit zwar nicht zu 100% aber zu etwa 80% bis 90% als optimal zu betrachten sind. Damit ist bereits sichergestellt, dass alle Stellgrößen zumindest von ihrer Größenordnung her, sowohl im statischen als auch im dynamischen Bereich die notwendigen Werte erhalten. An dieser Stelle kommen die Vorteile der klassischen Regelungstechnik voll zur Geltung.

Um der Brennstoff-Inhomogenität gerecht zu werden, muss zusätzlich zu den mathematisch ermittelten Stellgrößenwerten noch eine Feinjustierung erfolgen. Diese Zusatzstruktur hat die Aufgabe, bei Abweichungen der Brennstoff-Eigenschaften von ihren Auslegungswerten derart einzutreten, dass auch in diesen Fällen ein befriedigendes Regelverhalten erzielt wird. Zur Durchführung der Feinjustierung muss der momentane Anlagenzustand, abgeleitet aus der aktuell vorliegenden Messinformation, beschrieben und daraus entsprechende korrigierende Maßnahmen ermittelt werden. Aufgrund der hohen Komplexität einer Müllverbrennungsanlage mit ihren zahlreichen zu berücksichtigenden Messgrößen sowie den nichtlinearen Zusammenhängen zwischen Mess- und Stellgrößen hat an dieser Stelle die Methode der Fuzzy-Regelung ihre besonderen

Vorteile. Mit der Fuzzy-Methode ist es auf einfache Art und Weise möglich, den Gesamtzustand einer Anlage zu betrachten und aus dem Gesamtbild entsprechende Korrektur eingriffe abzuleiten. Dabei können – falls erforderlich – gleichzeitig alle Messwerte auf alle Stellgrößen wirken. Das Wissen eines erfahrenen Anlagenfahrers kann in diesem Zusammenhang auf einfache Art und Weise im Regelkonzept mit umgesetzt werden.

### 3.1 Modellgestützter Basisregler

Der modellgestützte Basisregler innerhalb der hybriden Feuerleistungsregelung hat die Aufgabe, auf Basis der deterministischen Zusammenhänge, die dem Müllkessel zugrunde liegen, aus den anstehenden Soll- und Istwerten der Regelgrößen – zum Beispiel Frischdampfmassenstrom und O<sub>2</sub>-Gehalt – die entsprechenden Stellwerte zu berechnen. Sein grundsätzlicher Aufbau ist in Abbildung 2 dargestellt.

Die Stellgröße "Brennstoff" beinhaltet dabei sowohl die Geschwindigkeits-Sollwerte für die Müllaufgabe, als auch diejenigen für die einzelnen Rostzonen. In der Stellgröße "Luft" sind alle Sollwerte für die Verbrennungs- und Sekundärluftmassenströme enthalten.

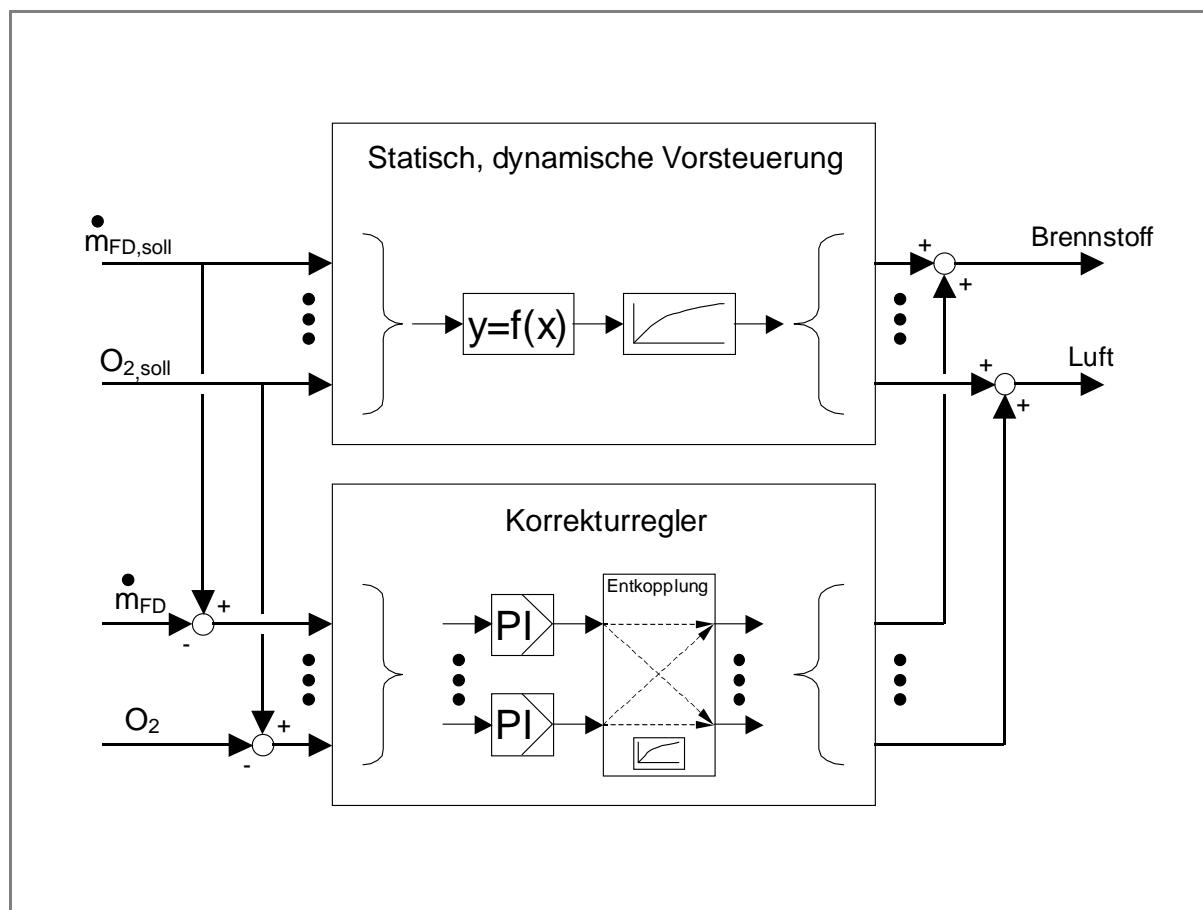


Abbildung 2: Modellgestützter Basisregler der SPPA-P3000 hybriden Feuerleistungsregelung

Wie in Abbildung 2 dargestellt ist, setzt sich der Basisregler im Wesentlichen aus zwei Teilmustern zusammen. Im Modul zur statisch dynamischen Vorsteuerung werden aus den vorgegebenen Sollwertgrößen durch Verwendung entsprechender Anlagenkennlinien unmittelbar die einzustellenden Stellgrößen ermittelt. Zusätzlich werden Zeitglieder, die das dynamische Zeitverhalten der einzelnen Wirkungspfade in der Anlage repräsentieren, verwendet. Auf diese Art und Weise wird sichergestellt, dass die einzelnen Stellgrößen bei Sollwertänderungen auch im Übergangsbereich zu jedem Zeitpunkt zueinander passen. Dadurch werden zwischenzeitlich auftretende, größere Regelabweichungen vermieden.

Parallel zur Vorsteuerstruktur sind die Korrekturregler angeordnet. Hierbei ist zu beachten, dass jede Stellgröße auf jede Prozessgröße wirkt. Beispielsweise wird eine Veränderung des Brennstoffmassenstromes (Müllaufgabe und Müllvorschub) sowohl zu einer Variation des Dampfmassenstromes, als auch des O<sub>2</sub>-Gehaltes im Rauchgas führen. Dieser prozesstechnischen Verkopplung wird in einem Entkopplungsnetzwerk Rechnung getragen. Auf diese Art und Weise wird gewährleistet, dass beispielsweise der Regler für den Frischdampfmassenstrom derart auf mehrere Stellgrößen wirkt, dass er nur den zu regelnden Frischdampfmassenstrom nicht jedoch die übrigen Prozessgrößen beeinflussen kann.

Allein mit dem Basisregler der hybriden Feuerleistungsregelung kann die Müllverbrennungsanlage bereits betrieben werden. In vielen Anlagen, die mit einem klassischen Feuerleistungsregler ausgerüstet sind, ist allein ein diesem Basisregler entsprechender Algorithmus realisiert. Solange sich die Schwankungen der Brennstoffqualität in einem gewissen Rahmen bewegen, kann damit schon ein zufriedenstellendes Regelverhalten im vollautomatischen Betrieb erzielt werden.

Aufgrund der Tatsache, dass sich bei größeren Änderungen der Brennstoffqualität sowohl das statische als auch das dynamische Anlagenverhalten ändert, wird in einem derartigen Falle der Basisregler nicht mehr optimal sein. Dementsprechend ist noch weiteres Optimierungspotenzial vorhanden.

### 3.2 Fuzzy-Optimierungsregler

Um die Unsicherheiten, die im Basisregler zwangsläufig durch die schwankenden Eigenschaften des Brennstoffes vorhanden sind, auszugleichen, wird im SPPA-P3000 hybriden Feuerleistungsregler der Siemens Power Generation ein Fuzzy-Optimierungsregler eingesetzt. Dieser hat die Aufgabe, in den Fällen, in denen der modellbasierte Basisregler den nichtlinearen und unvorhersehbaren Eigenschaften der Müllverbrennung nicht mehr Rechnung tragen kann und daher nur ein unzulängliches Regelverhalten aufweisen würde, korrigierend einzutreten.

In Abbildung 3 ist die Struktur des SPPA-P3000 hybriden Feuerleistungsreglers inklusive des Fuzzy-Optimierungsreglers veranschaulicht.

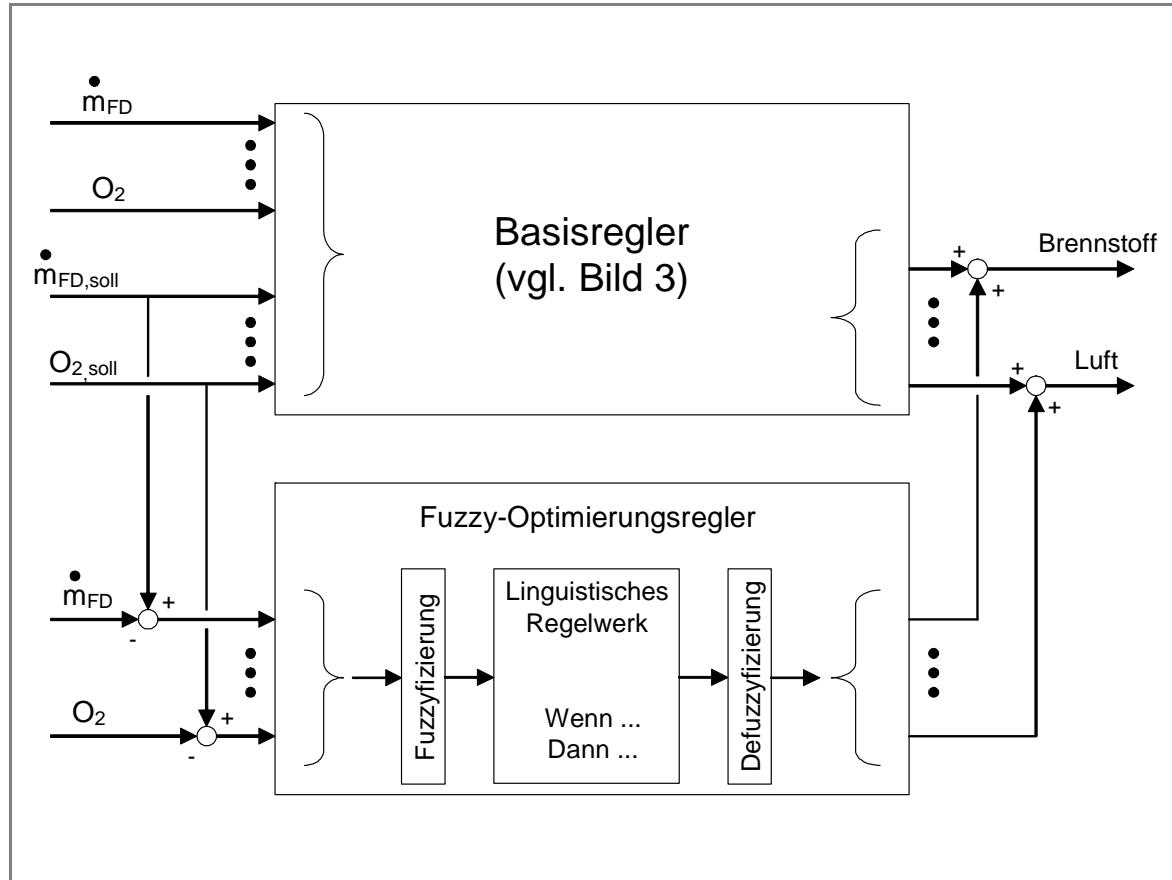


Abbildung 3: Aufbau des SPPA-P3000 hybriden Feuerleistungsreglers

Die im Fuzzy-Optimierungsregler enthaltenen linguistischen Regeln können zum Beispiel sein:

- Wenn *Dampfmassenstrom in Ordnung* und *O<sub>2</sub>-Gehalt zu niedrig* und *CO-Gehalt zu hoch*, dann *Luftmenge in Verbrennungszone erhöhen* und *Brennstoffstrom verringern* oder
- Wenn *Dampfmassenstrom in Ordnung* und *O<sub>2</sub>-Gehalt zu hoch* und *CO-Gehalt zu hoch*, dann *Luftmenge in Ausbrandzone stark verringern* und *Sekundärluft erhöhen* oder
- Wenn *Differenzdruck über Rost sehr hoch*, dann *Luft in Trocknungszone erhöhen* und *Brennstoffmassenstrom verringern* usw.

Im Modul Fuzzyfizierung werden die analogen Messwerte der einzelnen Prozessgrößen und die entsprechenden Regelabweichungen in die linguistischen Werte *zu klein*, *zu niedrig*, *in Ordnung* usw. umgesetzt. Der Fuzzy-Algorithmus verknüpft diese Eingangsgrößen über das hinterlegte linguistische Regelwerk und ermittelt die linguistischen Ausgangswerte für die einzelnen Stellgrößen. Das Modul Defuzzyfizierung dient dazu, die ermittelten Werte für die Stellgrößen wie *leicht vergrößern*, *stark vergrößern* oder ähnliches in analoge Stellsignale umzuwandeln.

Der Fuzzy-Optimierungsregler achtet auf Anlagenzustände, die in irgendeiner Form nicht dem gewünschten Verhalten entsprechen. Bei Abweichungen greift der Fuzzy-Optimierungsregler ein und variiert die vom Basisregler ausgegebenen Stellsignale. Durch Hinzuschaltung des Fuzzy-Optimierungsreglers ist daher gewährleistet, dass unabhängig von der momentanen Brennstoffqualität Sollwerte sicher angefahren und Störungen sicher ausgeregelt werden. Aufgrund der Tatsache, dass der Basisregler etwa 80% bis 90% der erforderlichen Regelfunktionalität abdeckt und der Fuzzy-Optimierungsregler nur noch für ein optimales Betriebsverhalten in "besonderen Fällen" zu sorgen hat, reichen etwa 30 bis 40 Regeln im linguistischen Regelwerk vollkommen aus. Der Fuzzy-Optimierungsregler und damit der hybride Feuerleistungsregler insgesamt sind damit immer noch überschau- und optimierbar.

## 4 Einsatz des SPPA-P3000 hybriden Feuerleistungsreglers im MHWK Leverkusen

Bei der Inbetriebnahme der hybriden Feuerleistungsregelung für die drei Verbrennungslinien des MHWK Leverkusen stellte es sich heraus, dass der Kessel 3 aufgrund seines deutlich größeren Volumens sehr viel leichter stabil zu regeln ist als die baugleichen Kessel 1 und 2. Im Folgenden wird daher hauptsächlich einer der kritischeren Fälle, nämlich die Regelung des Kessels 1 näher betrachtet.

In Abbildung 4 ist die Regelstruktur in der Form, wie sie für den Kessel 1 aufgebaut wurde, veranschaulicht.

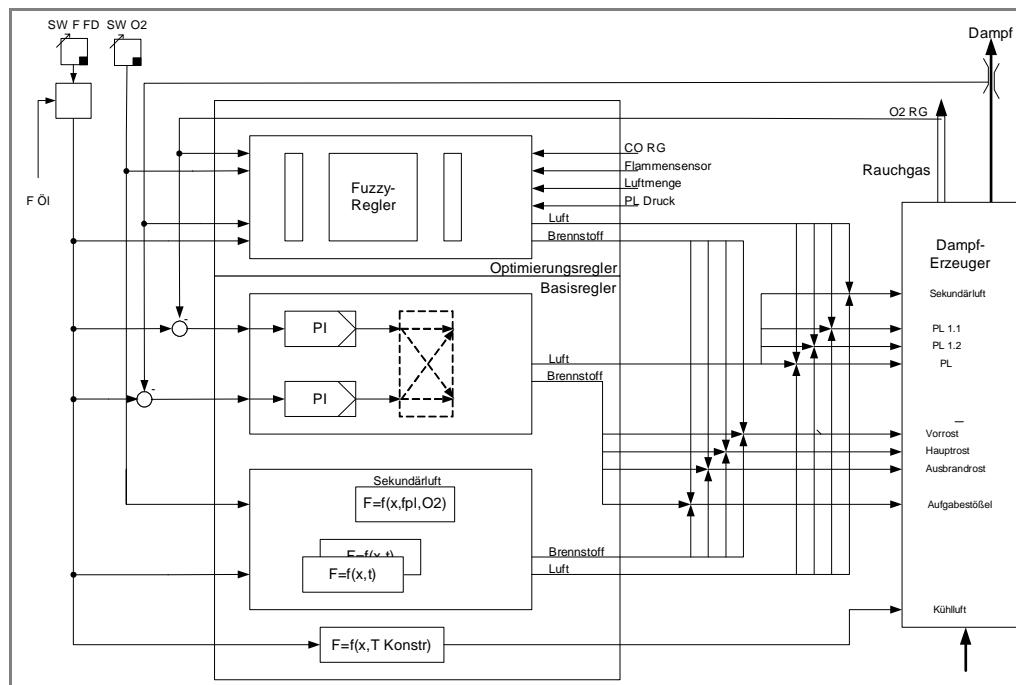


Abbildung 4: Aufbau des SPPA-P3000 hybriden Feuerleistungsreglers im MHWK Leverkusen

In den Abbildungen 5 und 6 ist das Betriebsverhalten des Kessels 1 mit der hybriden Feuerleistungsregelung dargestellt. Der in diesem Falle eingestellte Lastsollwert von 80% (bei Normierung auf einen Wert von 35 Mg/h) entspricht einer Dampfleistung von 28 Mg/h.

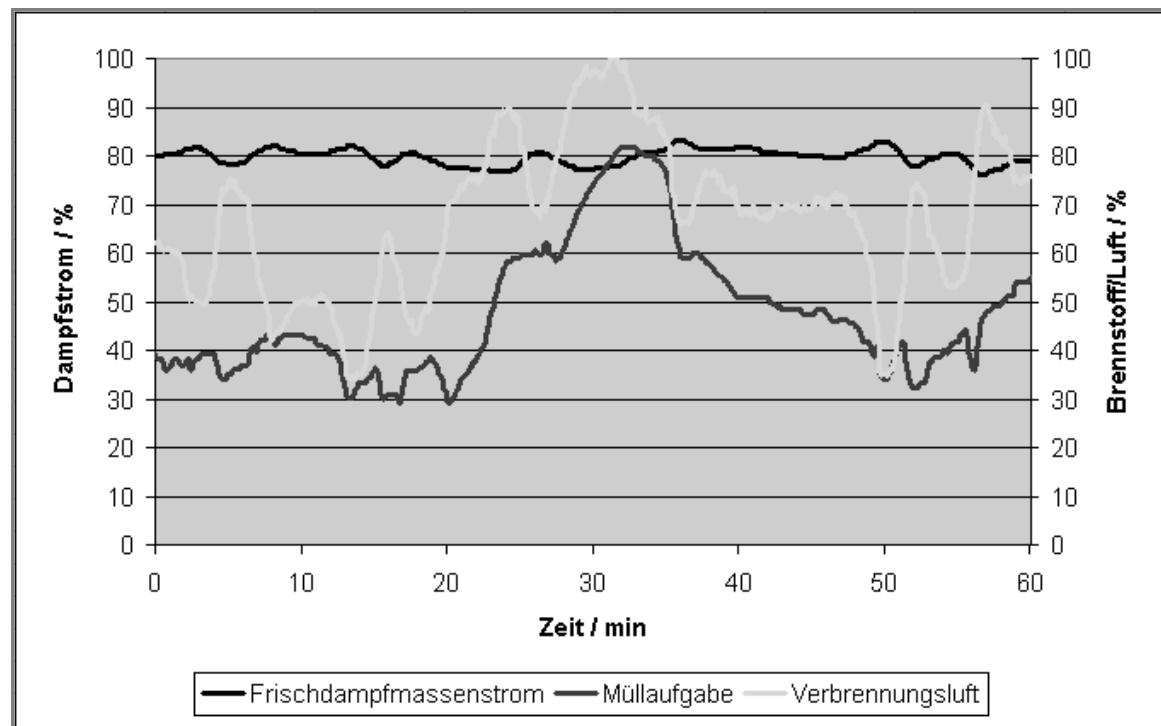


Abbildung 5: Frischdampfmassenstrom und Stellgrößen im stationären Betrieb von Kessel 1

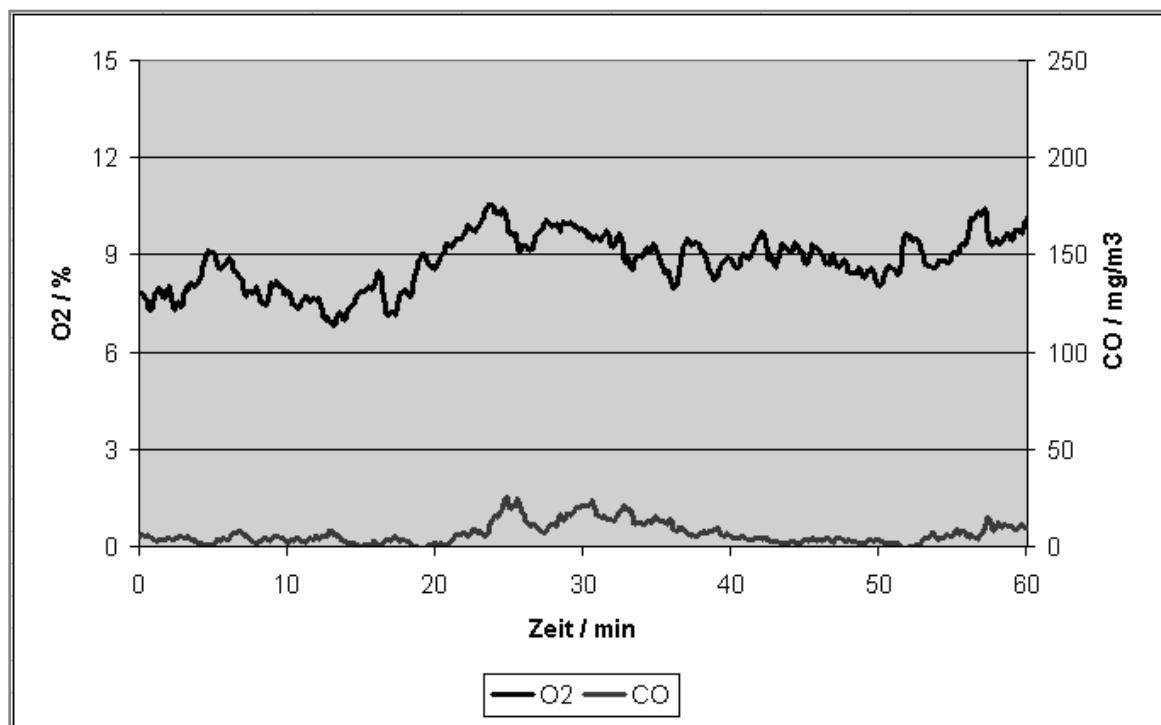


Abbildung 6: Emissionswerte im stationären Betrieb des Kessels 1

Man erkennt, dass der Frischdampfmassenstrom im Bereich +/- 3,5% gehalten wird, obwohl eine starke Heizwertschwankung des Brennstoffes auftrat, die durch eine entsprechende Betätigung der Stellglieder ausgeglichen werden musste. Gleichzeitig werden der O<sub>2</sub>- und der CO-Gehalt im Rauchgas sehr gut im günstigen Bereich gehalten. Als Vergleich hierzu ist in den Bildern 7 und 8 das Betriebsverhalten des reinen Basisreglers, das heißt ohne Fuzzy-Optimierungsregler dargestellt.

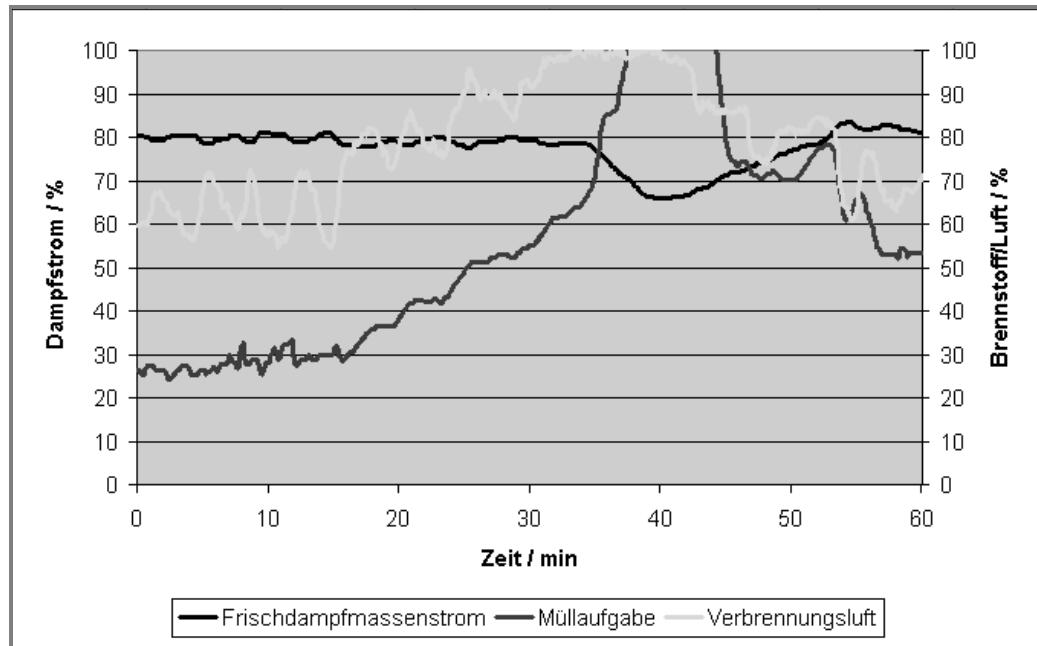


Abbildung 7: Frischdampfmassenstrom und Stellgrößen ohne Fuzzy-Optimierungsregler im stationären Betrieb des Kessels 1

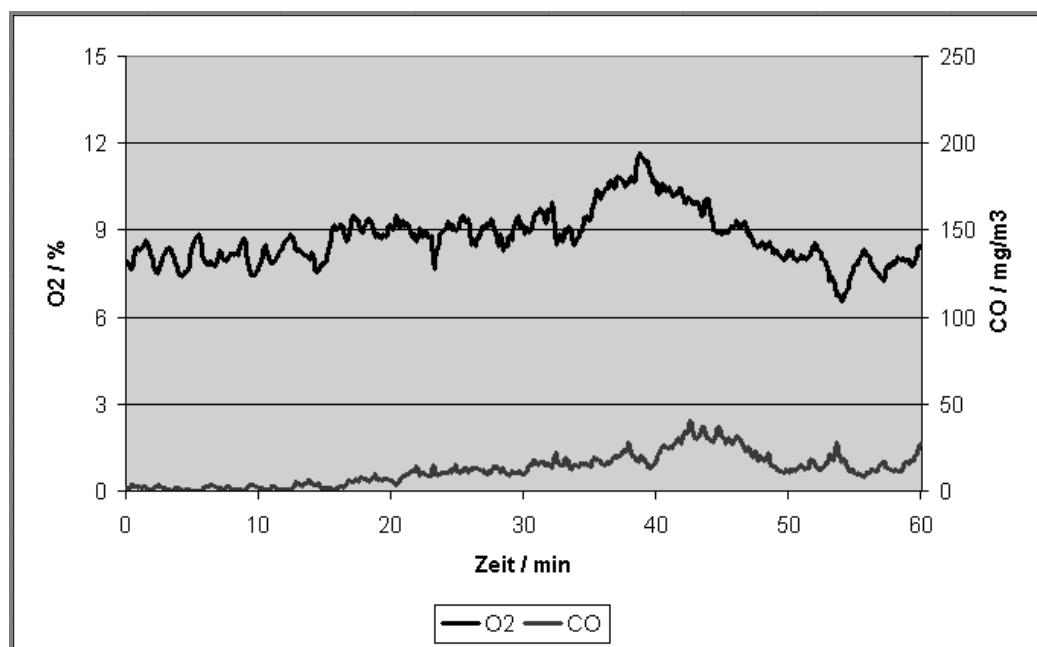


Abbildung 8: Emissionswerte ohne Fuzzy-Optimierungsregler im stationären Betrieb des Kessels 1

Über einen langen Zeitraum wird auch vom Basisregler der Frischdampfmassenstrom gut bei seinem Sollwert gehalten. Für die vorliegende Müllsorte wird dem Kessel im Verhältnis zum Luftmassenstrom jedoch zu wenig Müll zugeführt. Das Müllbett wird daher stetig kleiner und der Regler muss die Stellgrößen Luftmassenstrom und Müllaufgabe kontinuierlich immer weiter erhöhen, um den Frischdampfmassenstrom weiter halten zu können. Etwa zum Zeitpunkt 35 min ist der Rost dann soweit leer gebrannt, dass auch trotz Öffnen der Stellglieder auf 100% kein Halten des Frischdampfmassenstromes mehr möglich ist. Dadurch bricht die Kesselleistung vorübergehend ein, bis durch einen zeitweiligen Betrieb mit einer Müllaufgabe von 100% wieder ein Bett vorhanden ist. Danach steigt der Dampfmassenstrom wieder an und die Stellglieder können wieder zurückgenommen werden.

Es ist zu bemerken, dass dieses Verhalten nicht dadurch vermieden werden kann, dass im Verhältnis zur Luft grundsätzlich mehr Brennstoff auf den Rost gegeben wird. Denn für eine andere Müllqualität würde dies zu einem Müllüberschuss führen, was letztlich darin enden würde, dass man Feuer auf dem Ausbrandrost und damit einen schlechten Ausbrand hätte. Aus diesem Grunde wird der Fuzzy-Optimierungsregler benötigt, mit dessen Hilfe die momentane Betriebssituation analysiert, auf die vorhandene Müllqualität zurückgeschlossen und daraus das korrekte Brennstoff-Luftverhältnis abgeleitet werden kann.

Die Bilder 9 und 10 zeigen die Umschaltung von einem teilmanuellen Betrieb (Vorgabe der Müllaufgabegeschwindigkeit von Hand, Luft in Automatik) in den vollautomatischen Betrieb.

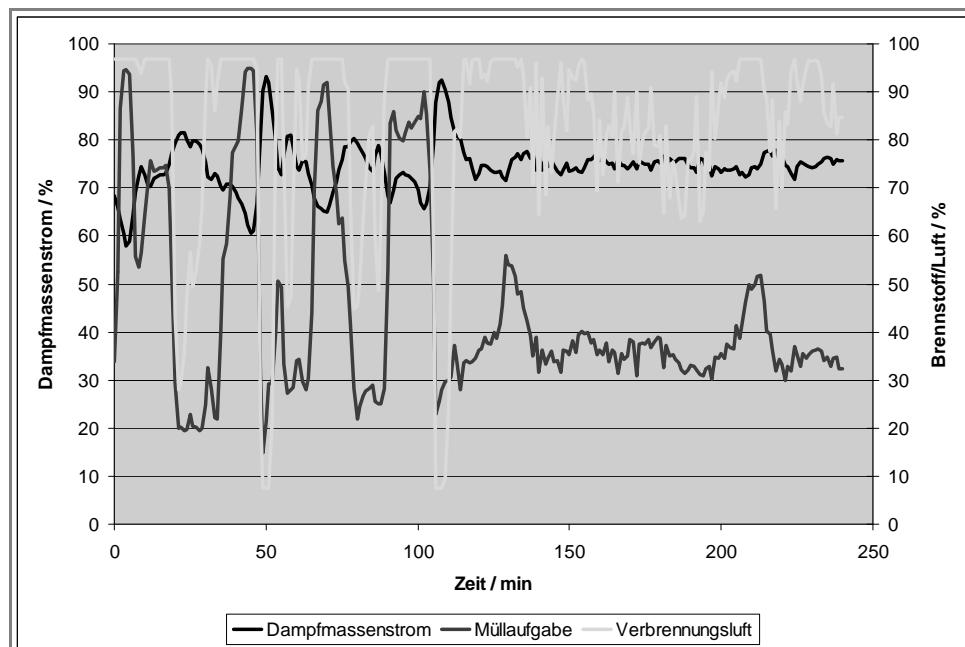


Abbildung 9: Frischdampfmassenstrom und Stellgrößen vor und nach der Aktivierung der SPPA-P3000 Feuerleistungsregelung

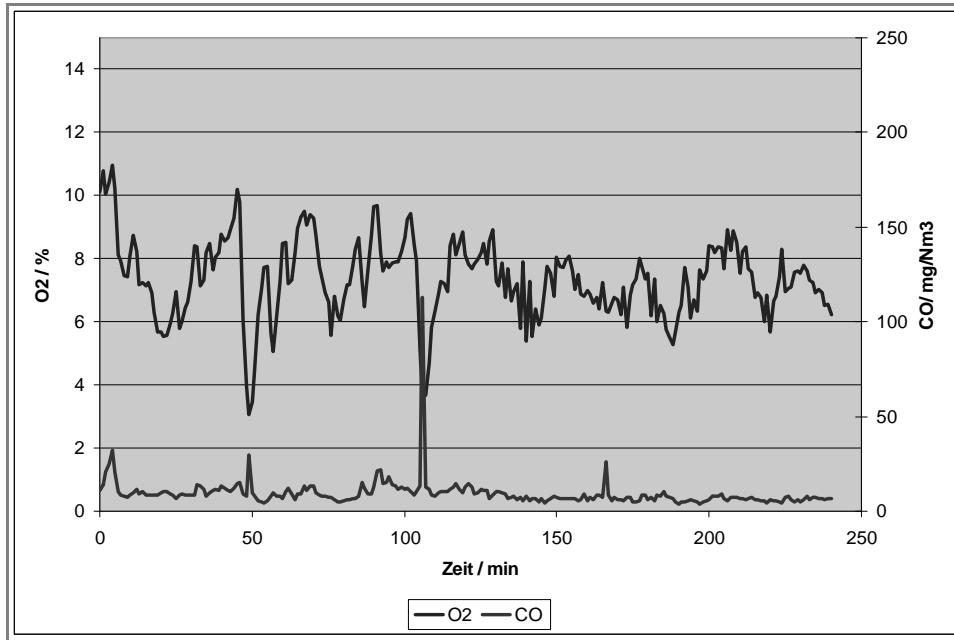


Abbildung 10: Emissionswerte vor und nach der Aktivierung der SPPA-P3000

Man erkennt deutlich das stabilere Betriebsverhalten, das mit der automatischen Regelung ab dem Zeitpunkt von etwa 120 min erreicht wird. Der Unterschied wäre noch extremer, wenn während des manuellen Betriebes auch noch die Verbrennungsluft von Hand gefahren worden wäre.

Der Vollständigkeit halber ist in den Bildern 11 und 12 noch das Betriebsverhalten des Kessels 3 mit aktiver SPPA-P3000 Feuerleistungsregelung dargestellt. Die Kesselleistung kann mit hoher Genauigkeit stabil bei ihrem Sollwert gehalten werden.



Abbildung 11: Frischdampfmassenstrom und Stellgrößen im stationären Betrieb von Kessel 3

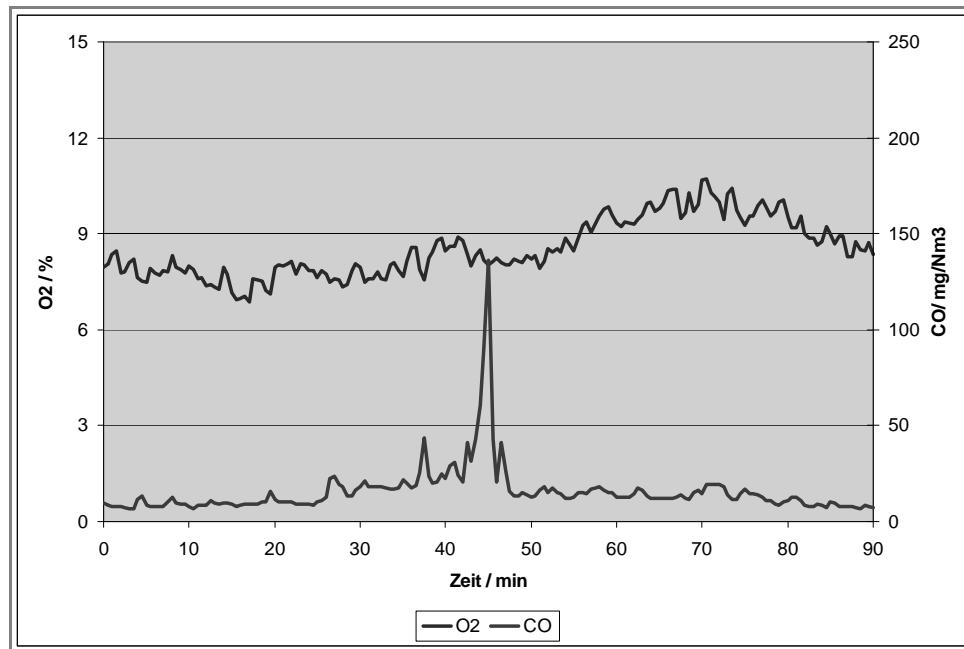


Abbildung 12: Emissionswerte im stationären Betrieb des Kessels 3

## 5 Zusammenfassung

Je stabiler die Leistung eines mit Müll befeuerten Dampferzeugers auf dem gewünschten Niveau gehalten werden kann, desto näher kann der eingestellte Leistungssollwert an der Auslegungsgrenze des Müllkessels liegen. Ein erhöhter Leistungssollwert hat aber auch unmittelbar eine Erhöhung des Mülldurchsatzes zur Folge. Mit einer stabileren Feuerleistungsregelung wird daher direkt auch eine Erhöhung der Wirtschaftlichkeit der Müllverbrennungsanlage möglich.

Aufgrund der Inhomogenität des Brennstoffes können klassische Regelkonzepte der Brennstoff-Unsicherheit nicht in ausreichendem Maße Rechnung tragen. Fuzzy-Regelungen sind schwierig für eine bestimmte Anlage optimierbar und wenig robust.

Bei Siemens Power Generation wurde deshalb ein hybrider Feuerleistungsregler entwickelt, der die besonderen Vorteile der modellgestützten Regelungstechnik, nämlich die bessere Optimier-, Robust- und Wartbarkeit, mit denjenigen der Fuzzy-Technologie, das heißt der Anpassungsfähigkeit an komplexe, nichtlineare Prozesse, verbindet. Auf diese Art und Weise wird eine bestmögliche Qualität für die Feuerleistungsregelung von Müllkesseln erzielt. Zusätzliche Randbedingungen zum Beispiel bezüglich der Emissionen und des Ausbrandes werden dabei ebenfalls sicher eingehalten.

Anhand von Messergebnissen des MHKW Leverkusen wurde die Regelgüte des eingesetzten hybriden Regelkonzepts veranschaulicht. Mit Hilfe dieses Konzepts konnte für alle möglichen Betriebsfälle und Müllqualitäten ein sehr stabiles Betriebsverhalten erzielt werden, auch im Fall schneller Heizwertänderungen.

B. Bilitewski, A.I. Urban, M. Faulstich (Hrsg.)

**13. Fachtagung  
Thermische Abfallbehandlung**

**Perspektiven und Hinderungsgründe  
für die energetische Abfallverwertung in Griechenland**

Ass. Prof. Dr.-Ing. Avraam Karagiannidis

Aristoteles Universität

Thessaloniki

Schriftenreihe des  
Fachgebietes Abfalltechnik  
Universität Kassel

## 1 Einführung

Diskutiert werden zunächst ein historischer Überblick über die thermische Abfallbehandlung in Griechenland, als auch eine Zusammenfassung über die heutigen Anlagen zur thermischen Abfallbeseitigung mit oder ohne Energienutzung, die durch einen Mangel an städtischen Müllverbrennungsanlagen charakterisiert wird. Untersucht werden auch gewisse Qualitätskriterien, die sowohl die EBS-Herstellung in Griechenland, als auch die Zweckmäßigkeit von entweder Export innerhalb der EU oder Eigenverbrauch innerhalb Griechenlands bestimmen und beeinflussen werden. Die notwendigen EBS-Brennstoffstandards für den Ersatz fossiler Brennstoffe und die technischen Einschränkungen bei der Herstellung und Nutzung werden ebenso diskutiert. Es werden mögliche EBS-Hersteller und Empfänger angesprochen und die potenziell auf dem Binnenmarkt Griechenlands verbrauchbaren EBS-Mengen diskutiert. Zum Schluss wird ein Überblick und Vergleich der EBS-Qualitätskriterien nach Anforderungen unterschiedlicher Industrieanlagen Europas gegeben.

## 2 Geschichte und Gegenstand der Müllverbrennung

Historisch betrachtet hat die bisher einzige Müllverbrennungsanlage Griechenlands versagt. Sie wurde Mitte der 1980er auf der Insel Zakynthos ohne besondere Planung errichtet und war für knapp 2 Jahre in Betrieb, bis sie wegen technischer Probleme endgültig geschlossen wurde. Heute verfügt das Land über keine einzige Müllverbrennungsanlage (als einziges Land in der EU 27), besitzt jedoch eine Reihe von anderen Industrieanlagen zur thermischen Aufbereitung und energetischen Nutzung von unterschiedlichen besonderen Abfallströmen, die ein künftiges Potenzial für die Müllverbrennung darstellen. In der Literatur wird eine Reihe von „Drivers and Barriers“ für die thermische Abfallbehandlung (Waste-To-Energy; WTE) genannt (siehe Tabelle 1) und zwar sowohl auf regionaler, als auch auf nationaler Ebene. Die in der Vergangenheit negative politische Position wurde zwar in eine eher positive Richtung gelenkt, aber es bleiben noch viele Dinge zu erledigen, ehe die Umsetzung von WTE-Projekten auch in den Großräumen Athen oder Thessaloniki einfacher wird. Solange die Differenz zwischen heutigen Endlagerungskosten und künftigen Verwertungskosten noch groß bleibt stellen die Kosten die Hauptbarriere dar, was eindeutig in Richtung Deponiesteuer weist. Viele Vorteile für WTE stammen auch aus den EU Richtlinien zu Abfallwirtschaft, erneuerbare Energien und Klimaschutz.

Tabelle 1: Drivers und Barriers für Waste-to-energy in Griechenland  
[Skoulaxianou et al. 2006]

Drivers and barriers for WTE in Western Macedonia Region				
		Short Term (1-3 years)	Medium Term (3-5 years)	Long Term (5-8 years)
Drivers	Strong	Uncertainty for the success of source separation	WMA is a driver: it promotes sustainable waste management	Energy production means safe income Easy connection with the power distribution network Location of the plant creates no NIMBY
	Weak	Failure of MBT efforts Public familiar with energy production activities	Reduction of available landfill volume (although there is a lot of space available)	
Barriers	Weak	Failure of MBT efforts	Reluctance of potential users to co-incinerate produced RDF	
	Strong		Lack of funds – grants Cost barrier (in terms of gate fee)	Small capacity – Lack of sufficient waste quantities
Drivers and barriers for WTE in Achaia – Western Greece Region				
		Short Term (1-3 years)	Medium Term (3-5 years)	Long Term (5-8 years)
Drivers	Strong	Uncertainty for the success of source separation	No way out for landfill space Strong scientific – technical group pressing for sustainable solutions	Reduction of environmental impacts of landfills Minimization of residual waste Energy production means safe income
	Weak	Failure of MBT efforts WMA familiar with waste treatment and source separation	WMA is a driver but not so well organized Reduction of available landfill volume	
Barriers	Weak	Failure of MBT efforts	NGOs against thermal solutions Recycling of plastic and paper in competition with thermal utilization Lack of will for co-incineration from potential users Lack of funds - grants	
	Strong	No easy connection with the power distribution network	Morphology increases transfer costs	Low landfill Cost

Tabelle 1: Drivers und Barriers für Waste-to-energy in Griechenland - Fortführung  
[Skoulaxianou et al. 2006]

National Drivers and barriers for WTE in Greece				
		Short Term (1-3 years)	Medium Term (3-5 years)	Long Term (5-8 years)
Drivers	Strong		EU Legislation Driver Landfill Space	Energy Driver
	Weak	PPP driver		
Barriers	Weak	Greek Legislation	History barrier Poitical attitude Lack of compliance control mechanisms	
	Strong	WMA barrier	RDF regulation RDF Market Small capacities	Landfill dependence and cost barrier

### 3 Ersatzbrennstoffe

In Griechenland ist der minimale Gehalt an Papier und Kunststoffen für EBS noch auf 95% festgelegt [Regierungsblatt 1997], was zu praktischen juristischen Problemen bei der SRF-Herstellung führt. Die EBS-Herstellung und Vermarktung ist noch nicht weit verbreitet, da sie bis vor kurzem ohne Zuschüsse als nicht zweckmäßig erachtet wurde [Caputo & Pelagagge 2006]. Seit 2007 wird der MBT-Anlage von Athen ein Zuschuss von 100 €/Mg hergestellten EBS aus dem kollektiven System zur alternativen Verpackungsbehandlung bezahlt, was die EBS-Herstellung in Griechenland anzutreiben scheint [HTK 2006].

Bis 2007 sind drei MBA-Anlagen gebaut worden in Attika, Chania und Kalamata. Die beiden erstgenannten Anlagen sind schon in Betrieb, wobei die älteste Anlage in Kalamata wegen technischer Probleme erst ab 2010 wieder zu betreiben ist. Die größte Anlage ist die in Attika, in der täglich 350 Mg EBS hergestellt werden. Weitere fünf MBA-Anlagen (Thessaloniki, Kozani, Patras, Iraklio und Imathia) befinden sich in unterschiedlichen Phasen des Genehmigungsverfahrens, wobei die richtig und rechtzeitig geplante Vermarktung und Entsorgung aller Outputströme als besonders wichtig erachtet wird. Potenzielle Hersteller von PDF sind die schon vorhandenen 15 wie auch neue geplante MRFs Griechenlands, die hauptsächlich Verpackungsabfälle (gegebenenfalls auch andere, wie zum Beispiel kleine E-Schrottanteile) sortieren. Alle oben genannten Anlagenstandorte sind in Abbildung 1 dargestellt.

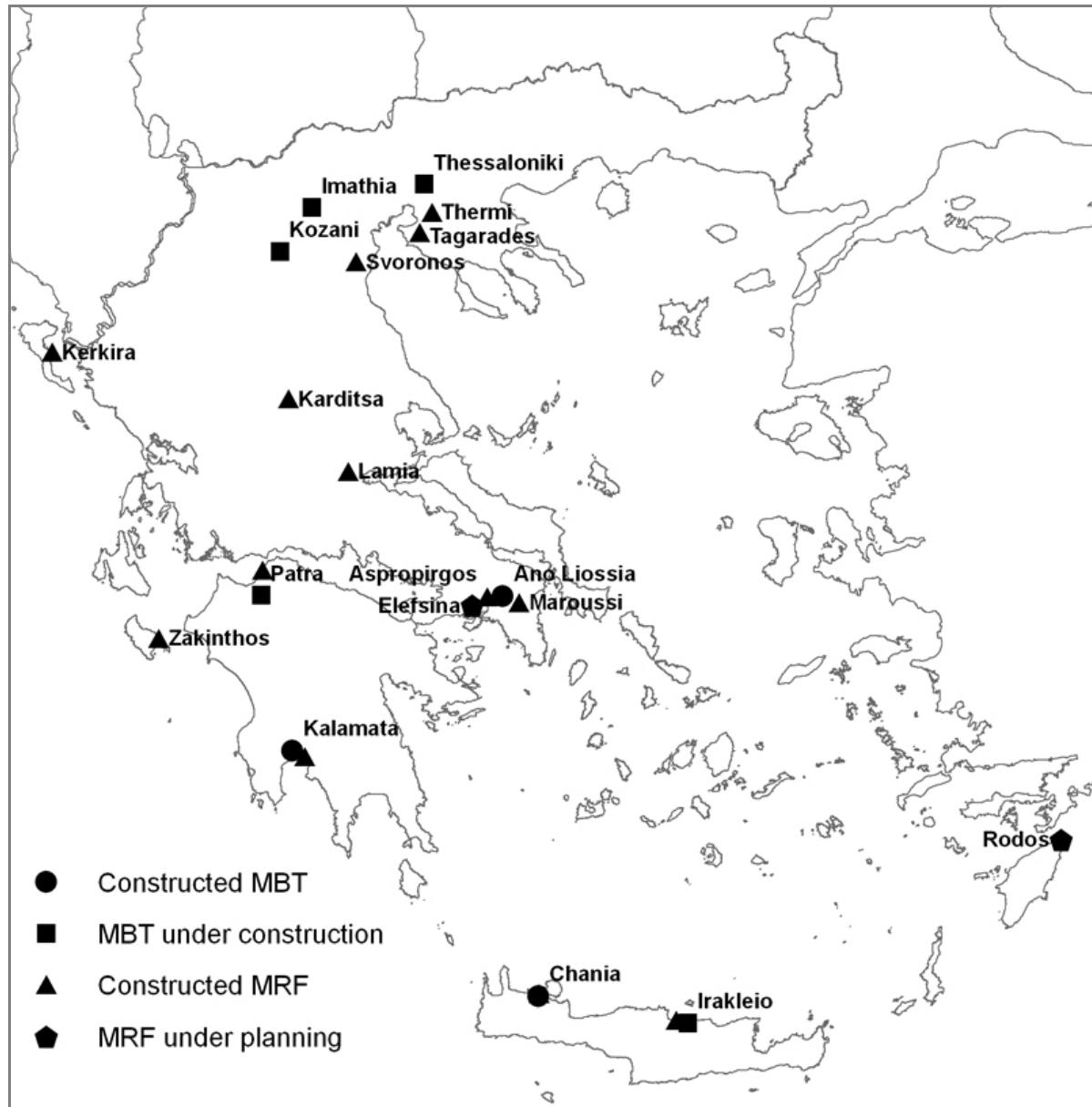


Abbildung 1: Standorte Mechanisch-Biologischer Anlagen (MBT) und von Sortieranlagen (MRF) in Griechenland

## 4 Potenzielle Abnehmer in der Industrie

### 4.1 Zementwerke

Die Nutzung von Sekundärarbrennstoffen in der Zementindustrie ist weltweit verbreitet, wobei der entsprechende Anteil in der EU heute 10% beträgt und sich auf 150 der insgesamt 450 Rotationskamine bezieht. In Griechenland ist mit einer jährlichen Zementproduktion von 13 Mio. Mg und einem entsprechenden Verbrauch von 1,5 Mio. Mg Kohle zu rechnen. Manche Anlagen nutzen schon EBS, andere planen einen Einsatz von EBS (Abb. 2, Tab. 2), trotz möglicher sozialer Unruhen und kontroverser politischer Zustände.

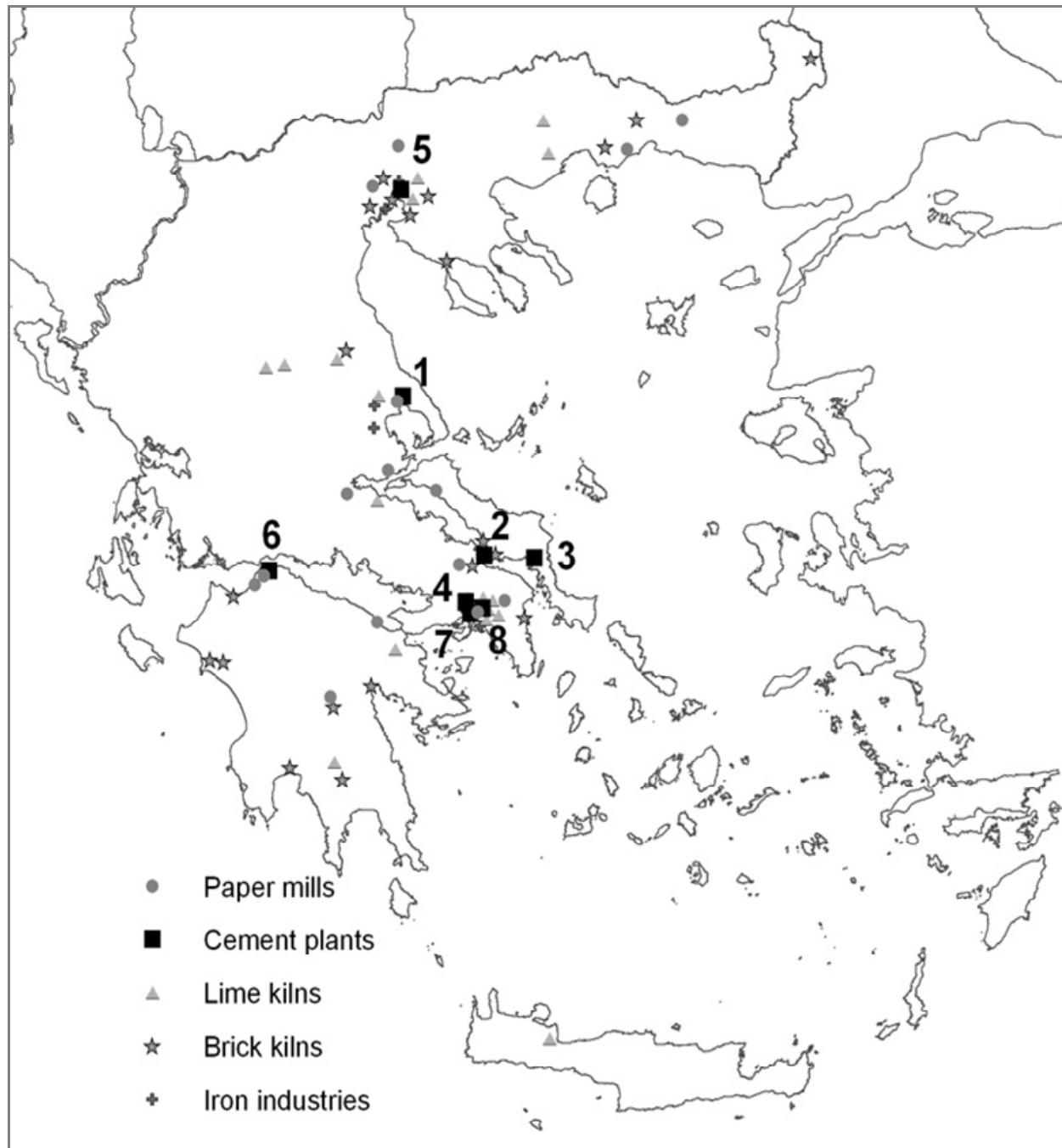


Abbildung 2: Standorte von Industrieanlagen mit EBS-Einsatz in Griechenland  
(Zementwerke nummeriert, siehe Tabelle 2)

Tabelle 2: Zementwerke in Griechenland und ihre Hauptmerkmale (siehe Abb. 2)

Nr.	Firma	Standort	Kamin-zahl	Kapazität	Brennstoff-verbrauch (Mg/Jahr)	Brennstoff
1	AGET	Portaria	4	$3,3 \cdot 10^6$ Mg Klinker $4,3 \cdot 10^6$ Mg Zement		
2	AGET	Avlida	2	$2,5 \cdot 10^6$ Mg Zement	750.000	Pet coke, Steinkohle
3	AGET	Milaki	1	$1,6 \cdot 10^6$ Mg Klinker $1,7 \cdot 10^6$ Mg Zement		
4	TITAN	Kamari	2		Pet coke und Steinkohle: 550.000	Pet coke, Steinkohle, TDF, Tanken- rückstände
5	TITAN	Efkarpia	2	$7,5 \cdot 10^6$ Mg Zement	TDF: 8.000  Tanken- rückstände mit Sawdast: 10.000	Pet coke, Steinkohle
4	TITAN	Drepano	2			Pet coke, Steinkohle
4	TITAN	Elefsis	2			Pet coke, Steinkohle
8	CHALIPS	Aspropirgos	1	$10^6$ Mg Zement	80.000	Pet coke, Steinkohle

## 4.2 Kraftwerke

Alle vorhandenen Kohle- und Ölkraftwerke, die theoretisch und prinzipiell ein Potenzial für Ersatzbrennstoffe zur Verfügung stellen, sind in Abbildung 3 dargestellt und in Tabelle 3 inklusive ihrer elektrischen Kapazität aufgelistet.

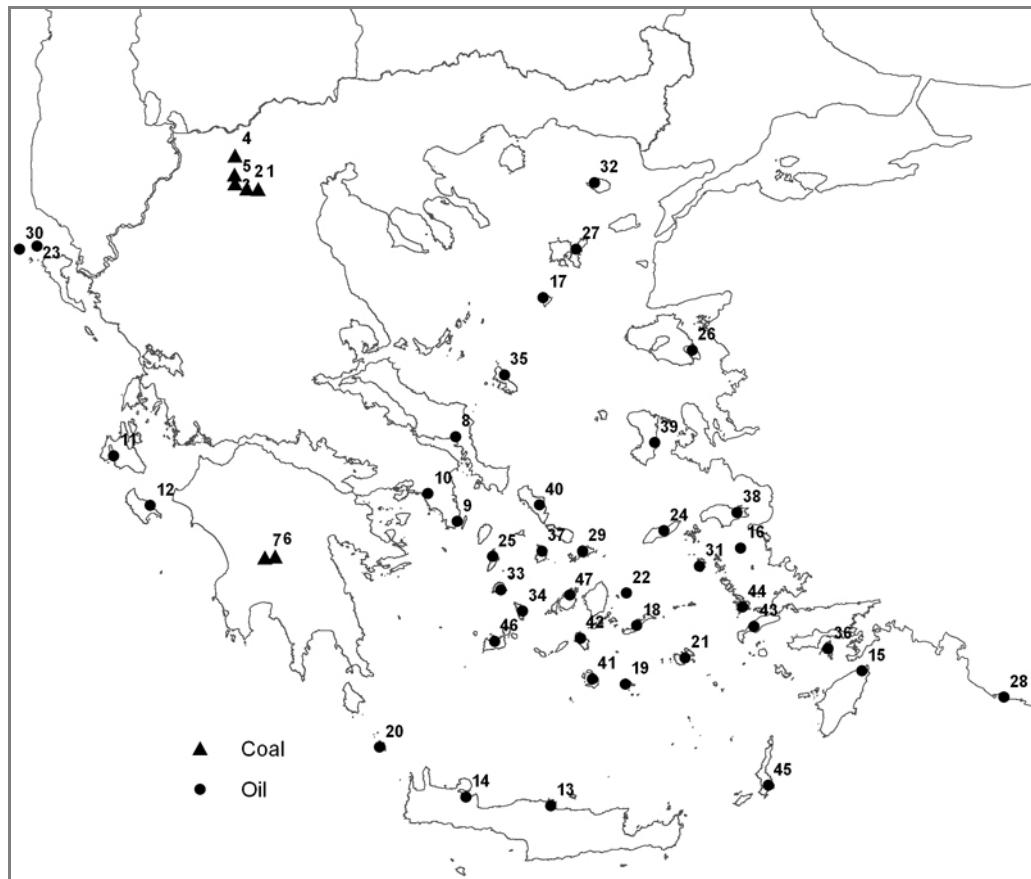


Abbildung 3: Kohle- und Ölkraftwerke in Griechenland  
(Kraftwerke nummeriert, siehe Tabelle 3)

Tabelle 3: Kohle- und Ölkraftwerke in Griechenland inklusive elektrischer Kapazität [MW]  
(Kraftwerke nummeriert, siehe Abb. 3)

Nr. Standort	Kapazität	Nr. Standort	Kapazität	Nr. Standort	Kapazität
1 A.Dimitrios	1587	17 A.Efstratios	0,36	33 Serifos	2
2 Kardia	1200	18 Amorgos	2,65	34 Sifnos	4,3
3 Liptol	43	19 Anafi	0,355	35 Skiros	4,5
4 Aminteo	600	20 Antikithira	0,14	36 Simi	4,35
5 Ptolemaida	620	21 Astipalea	1,6	37 Siros	20
6 Megalopoli	850	22 Donousa	0,21	38 Samos	46
7 Megalopoli		23 Epikousa	0,27	39 Chios	38
8 Aliveri	380	24 Ikaria	6,9	40 Andros	9,4
9 Lavrio	1197	25 Kithnos	2,3	41 Thira	22,2
10 A.Georgios	360	26 Lesvos	49,5	42 Ios	3,74
11 Argostoli	11,6	27 Lemnos	8,9	43 Kos	60,5
12 Zakynthos	27	28 Megisti	0,39	44 Kalimnos	69,6
13 Linoperamata	193	29 Mikonos	21,2	45 Karpathos	9
14 Chania	328,4	30 Othones	0,27	46 Milos	7,6
15 Rodos	206	31 Patmos	4,38	47 Paros	43,25
16 Agathonisi	0,24	32 Samothraki	2,2		

Aus der umfassenden Stoff- und Energiebilanz der Kraftwerke ergibt sich, dass eine Tonne EBS etwa 2,6 Tonnen Braunkohle ersetzen kann und demzufolge alle in Griechenland produzierbaren EBS einfach in vorhandenen hellenischen Kohlekraftwerken eingesetzt werden könnten. Es besteht Bedarf hinsichtlich politischer Entscheidungen und der Logistikaufbereitung, falls diese technische Lösung bevorzugt werden würde.

#### **4.3 Sonstige Industriewerke**

In Abbildung 2 werden auch die operierenden hellenischen Stahl-, Papier-, Keramik- und Kalksteinwerke dargestellt. Solche Anlagen können prinzipiell auch EBS nutzen und damit fossile Brennstoffe teilweise ersetzen.

### **5 Existierende Industrieanlagen zur thermischen Abfallbeseitigung**

Dazu gehören die folgenden in Griechenland schon vorhandenen Anlagenarten:

- Biomasseverbrennungsanlagen (unterschiedliche Standorte, alle in privater Hand, Abb. 4 bis 6),
- Klinikmüllverbrennungsanlagen (Standorte: Ano Liossia, Attika, in privater Hand unter Überwachung vom lokalen Zweckverband, Abb. 7),
- Wirbelschichtfeuerungsanlagen (Standorte: Velestino, Volos, betrieben von der hellenischen Armee),
- Biogasanlagen von Deponien (2 Standorte: Ano Liossia, Tagarades, zur Energie- rückgewinnung und eine Reihe von Fackeln in mehreren kleineren Anlagen) und Klärwerken (7 Standorte).

### **6 Export zur thermischen Aufbereitung**

Der Import und Export von Abfällen und abfallbezogenen Stoffen innerhalb der EU wird über die Abfalltransportverordnung (EEC 259/93) reguliert. Abfälle, die zur Rückgewinnung oderendlagerung transportiert werden, werden je nach ihren Merkmalen in drei Kategorien (Grün, Gelb oder Rot) klassifiziert. EBS gehört der gelben Kategorie an. Dem Empfängerland muss entsprechend eine Genehmigung erteilt werden. Diese Genehmigung wird durch folgende fünf Hauptparameter bestimmt:

- Existierende Infrastruktur zur Energierückgewinnung,
- Steuersystem zur Energieherstellung und Zuschüsse für alternative Energien,
- Landesspezifische Abfallwirtschaftskosten,
- EBS-Qualität und
- Endlagerungsabsagen von unbehandelten Abfällen.

Es sind viele Beispiele für den Import und Export von EBS bekannt und seit mehreren Jahren im Gange: zum Beispiel wird belgischer EBS an französische und deutsche Zementwerke ausgeliefert, Schweden importiert EBS aus Deutschland, Holland und den anderen skandinavischen Ländern usw. Einige Fälle wurden aufgrund der Rückgewinnungs- undendlagerungsnatur des Verfahrens auch vor Gericht gebracht, wie beispielsweise der Fall des belgischen Zementwerks, das EBS aus Deutschland importiert hat.

## 7 Schlussfolgerungen

In Griechenland gibt es zwar schon ausreichend potenzielle EBS-Empfänger und Verbraucher, die Nutzung von EBS befindet sich aber aufgrund der Vielzahl der Daten, die berücksichtigt werden müssen, noch in den Anfängen. Dabei spielen zwar neben technischen und ökonomischen auch soziale und politische Aspekte eine wichtige Rolle, aber der allgemeine Trend ist dahingehend, dass wegen der steigenden Ölpreise und aus Umweltgründen (unter anderem treibhausgasbezogene Gründe), die inländische EBS-Nutzung zunehmen wird, wobei auch Importe zur Deckung der lokalen Nachfrage nicht auszuschließen sind. Als die größte MBA-Anlage Griechenlands 2007 die ersten erheblichen EBS-Mengen produziert und sich noch in einer Phase befunden hat, diese für Zementwerke zu vermarkten, wurde erwartet, dass der Export von hellenischem EBS in andere Länder gegenwärtig durch erhebliche Transportkosten behindert wird. Trotzdem haben Politik und sozialer Druck im Bereich Abfallwirtschaft manchmal zu außergewöhnlichen Lösungen geführt und deswegen darf man einen künftigen EBS-Export aus Griechenland mangels lokaler Nachfrage und unter gewissen Qualitäts- und Vermarktungsvoraussetzungen auch nicht ausschließen.

## 8 Literaturverzeichnis

Skoulaxianou S., Karakazi A., Mentzis A. und Mavropoulos A. (2006), Drivers and barriers for the application of waste-to-energy technologies in Greece, Proceedings Venice 2006, Biomass and WTE Symposium, Venice, Italy, 29 November – 1 December.

Gemeinsame Ministerentscheidung 114218 (1997), Auslegung der Vorschriftenrahmenbedingungen für Abfallwirtschaft, Regierungsblatt 1016/B/17-11-97 (auf Hellenisch).

Caputo A.C. and Pelagagge P.M. (2006), Cost and profitability of RDF production and utilization plants, Proceedings Venice 2006, Biomass and WTE Symposium Venice, Italy, 29 November – 1 December.

HKT - Arbeitsgruppe der Hellenischen Technischen Kammer (2006), Abfallwirtschaft in Griechenland: Der Fall von Attika, Schlussbericht, Athen.



Abbildung 4: Reisschalenverbrennungsanlage (Standort: Industriegebiet Thessaloniki)



Abbildung 5: Altholzverbrennungsanlage der Firma Akritas (Standort: Evros)



Abbildung 6: Altholzverbrennungsanlage der Firma Shelman (Standort: Thessaloniki)

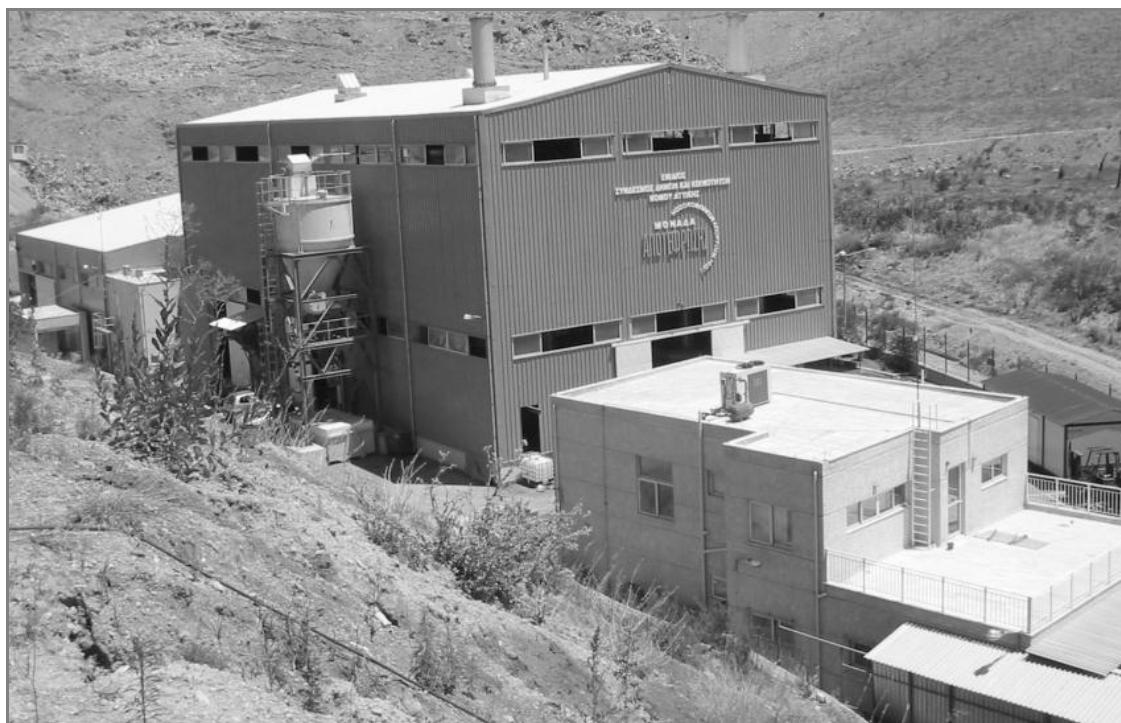


Abbildung 7: Klinikmüllverbrennungsanlage des Zweckverbandes Abfallwirtschaft (Standort: Ano Liossia, Attika)

B. Bilitewski, A.I. Urban, M. Faulstich (Hrsg.)

**13. Fachtagung  
Thermische Abfallbehandlung**

**Schmelzverfahren – Erfahrungen in Japan**

Prof. Dr.-Ing. Alfons Buekens  
Vlezenbeek

Schriftenreihe des  
Fachgebietes Abfalltechnik  
Universität Kassel

## 1 Einführung

In Japan werden jährlich 50 Mio. Tonnen städtischer Müll erzeugt. Da wenig Flächen zur Errichtung von Deponien zur Verfügung stehen, wurde dieser Müll in den neunziger Jahren weitgehend in den über 2.000 Müllverbrennungsanlagen (MVA) verbrannt. Um die Dioxinemissionen zu senken, hat sich die japanische Regierung dafür entschieden, die Entwicklung neuer Technologien für das 21. Jahrhundert zu begünstigen. Viele Firmen haben neue Vergasungs- und Pyrolysesysteme entwickelt, in denen die Asche geschmolzen und anschließend in Wasser granuliert wird. Diese Maßnahmenprogramme schufen neue Emissionsbegrenzungen, Anreize für den Bau von Neuanlagen mit besseren Emissionskontrolltechnologien und Alternativen zur Verbrennung in MVA wie beispielsweise die Pyrolyse und Vergasung. Im Vordergrund stand der Anspruch, dass diese neuen Verfahren kaum noch Dioxine bilden und die Deponierung von Rückständen weitgehend vermieden werden kann. Auch Energieerzeugung aus Müll, ein Gesichtspunkt, der in der Vergangenheit vernachlässigt wurde, rückt seit einigen Jahren immer mehr in den Vordergrund.

## 2 Übersicht der Technologien

### 2.1 Historische Entwicklung

#### 2.1.1 Vorteile der Pyrolyse- und Vergasungsverfahren

Zur Zeit der ersten Ölkrise verfügten weder Japan noch die Vereinigten Staaten über genügend moderne Müllverbrennungsanlagen. Dies weckte ein großes Interesse an der Entwicklung neuer Verfahren auf Basis einer mechanischen oder thermischen Erzeugung von Brennstoffen aus Müll. Schon in den Siebzigern förderte das MITI (Ministry of International Trade and Industry) einige wichtige Initiativen zur Pyrolyse und Vergasung in Japan [Buekens 1978a, 1986]. Die möglichen Vorteile dieser neuen Systeme waren vor allem [Buekens 1978b, 1980]:

- die Erzeugung von lagerfähigen Brennstoffen (Kohle, Öl) oder wertvolleren Produkten (Wasserstoff, Synthesegas), statt direkter Hitze oder Dampf,
- eine drastische Verringerung der zu säubernden Gasmengen,
- die mögliche Verwertung heizwertreicher Abfälle wie Plastik, Gummi oder Altöl,
- die Rückgewinnung des nicht oxidierten Metalls und des ungeschmolzenen Glases aus den Rückständen,
- die niedrigeren Verfahrenskosten und
- die Anwendbarkeit für kleinere Gemeinschaften.

Während die amerikanischen Verfahrensentwicklungen nicht die gewünschten Resultate erbrachten, basierten die japanischen Entwicklungen auf umfassenderen und systematischeren Forschungs- und Entwicklungsarbeiten und funktionierten zuverlässig. Sie waren aber wirtschaftlich nicht konkurrenzfähig und zu aufwändig.

Seit einigen Jahren basieren jedoch fast alle Neuanlagen in Japan entweder auf der Vergasung oder der Pyrolyse. Diese Entwicklung ist insoweit überraschend, da thermische Verfahren dieser Art in Europa (Siemens, Thermoselect) und in den USA (Andco-Torrax, Monsanto, Occidental Petroleum, Union Carbide) durchweg gescheitert sind. In der Zwischenzeit funktionieren einige gegenwärtige japanische Verfahren zuverlässig. In der Regel bestehen die Anlagen aus drei Linien. Zwei Linien sind ständig in Betrieb und eine Linie dient als Reserve bei Wartungsarbeiten oder Störfällen.

Die Pyrolyse- und Vergasungsverfahren haben sich im Wesentlichen aus zwei Gründen in Japan durchgesetzt:

- Die neuen Verfahren arbeiten fast dioxinfrei in allen Outputströmen (das heißt einschließlich Dioxine in der Flugasche, der Schlacke und den Gasreinigungssalzen).
- Sie wandeln die meisten Rückstände in verglaste Granulate um, aus denen Sekundärrohstoffe gewonnen werden können. Eine Deponierung wird somit weitgehend vermeiden. Im Gegensatz zur europäischen Praxis wird die Rostasche in Japan nicht als wiederverwertbar erachtet.

### 2.1.2 Pyrolyseverfahren

Pyrolyseverfahren basieren auf einer thermischen Aufspaltung der organischen Moleküle. Die Hauptprodukte sind brennbare Pyrolysedämpfe, Teer, sowie feste Rückstände. Diese beinhalten verkohlte organische Stoffe, Metalle und anorganische Asche. Die Qualität und die relativen Anteile dieser drei Fraktionen hängen von der Art der Ausgangsmaterialien, sowie von den Pyrolysebedingungen ab (Temperatur, Verweilzeit der festen und der gasförmigen Phasen, Zusammensetzung der selbst erzeugten, sauerstofffreien, dennoch intern noch reagierenden Atmosphäre, katalytische Aktivität der anwesenden Metalle, der Kohle und der Asche). Höhere Temperatur und längere Verweilzeit verschieben das Produktspektrum von festen Produkten auf gasförmige Produkte. Die vorrangige Herstellung flüssiger Produkte erfordert mittlere Temperaturen.

Die im Müll enthaltenen oder bei der Pyrolyse entstehenden Schwermetalle und Schadstoffe verteilen sich auf diese drei Outputströme. Die gewählten Verfahrensparameter (Temperatur, Zeit) sind möglicherweise für eine komplette Zerstörung der organischen Schmutzstoffe unzureichend. Stattdessen entstehen im Verfahren Schadstoffe (Zyanide, Phenol, PAK etc.) und Geruchsbelästigungen. Ein großer Teil der Produkte ist also gefährlich, das heißt brennbar, giftig oder krebserregend.

Die Erzeugung fester Brennstoffe war ein Hauptgrund für die Entwicklung kleinräumiger dezentralisierter Pyrolyseeinheiten [ADSE 2007]. Kohle, die aus Müll hergestellt

wurde, wurde jedoch niemals mit Erfolg vermarktet, so dass alle Pyrolyseprodukte an Ort und Stelle verbraucht werden müssen. Das macht den Betrieb ziemlich kompliziert, weil neben der Pyrolyseeinheit auch eine Verbrennungseinheit mit mehreren Verfahrensschritten vorhanden sein muss. Gerüche, giftige Verbindungen, die damit verbundenen Unfallrisiken und das Risiko von Bodenverunreinigungen sind nachteilige Faktoren des Verfahrens.

Über industrielle Spaltverfahren entstehen Bausteine der Petrochemie, das heißt Ethylen, Propylen, Butadien, Aromaten etc. Traditionelle Pyrolyse- und Schwelverfahren liefern unter anderem Koks und Holzkohle. Daneben werden auch viele organische Chemikalien als Nebenprodukte erzeugt. Diese konventionellen Pyrolyseeinheiten führten zu einer großen Verschmutzung der Betriebsgelände.

### **2.1.3 Vergasungsverfahren**

Die Vergasung basiert auf Reaktionen kohlenstoffhaltiger Rückstände mit Sauerstoff, Luft, Dampf, Kohlendioxid oder Gemischen davon bei Temperaturen zwischen 500°C (Wirbelschichtverfahren) und etwa 1.500°C (Schlackebildende Verfahren). Die einzusetzende Sauerstoffmenge liegt mit  $\lambda = 0,2$  bis 0,4 unter der für eine vollständige Verbrennung stöchiometrisch erforderlichen Menge von  $\lambda = 1$ . Die Rauchgasmengen sind entsprechend niedriger. Der Vergasungsvorgang ist thermisch selbsttragend, die notwendige Wärme wird durch Teilverbrennung gesichert.

Hauptprodukt der Vergasung ist ein schwaches Brenngas. Meist bilden sich beim Abkühlen noch schwer abtrennbare Teeraerosole. Diese können kondensieren und Korrosion und Verstopfungen verursachen. Darüber hinaus entstehen feste Rückstände, welche die noch nicht reagierte Kohle und die anorganischen Bestandteile des Mülls enthalten.

Die meisten industriell bedeutsamen Vergasungsverfahren (Winkler, Koppers-Totzek, Texaco etc.) wurden für die Verarbeitung von Kohle oder schweren Heizöls entwickelt. Unter hohem Druck werden in Großanlagen große Mengen Synthesegas für die Herstellung von Ammoniak, Methanol, Wasserstoff und OXO-Alkoholen erzeugt.

### **2.1.4 Entwicklung der Verbrennungsverfahren**

Traditionsgemäß übernahmen die großen japanischen Anlagenbauer immer erprobte europäische und amerikanische Technologie. Martin, Deutsche Babcock, Von Roll oder Volund Roste wurden beispielsweise von Mitsubishi Heavy Industries, Kawasaki Heavy Industries, Hitachi Zosen und JFE Technik vermarktet. Nur Takuma kann als eine eigene japanische Entwicklung betrachtet werden.

Ähnliches galt für die Wirbelbettsysteme, bis Ishikawajima Heavy Industries (IHI) seine eigene Wirbelbettverbrennungstechnologie entwickelte, auf die andere Korporationen

folgten. Diese Systeme sind vor allem für Kleinanlagen im 8-Stunden- oder 16-Stundenbetrieb geeignet und deswegen in Japan sehr verbreitet.

## 2.2 Pyrolyse und Vergasung in Japan

In den Siebzigern rollte eine erste Welle von Verfahrensentwicklungen zu Pyrolyse- und Vergasungsverfahren über Japan hinweg. Ein Wettbewerb für das Yokohama Stardust Demonstration Projekt wurde von Ebara mit einem Doppelwirbelbettpyrolysesystem gewonnen. Es wurde eine Müllfraktion verwendet, die mit dem Ebara halbnassen Schredder System aufbereitet wurde. Das Verfahren arbeitete gut, wurde dennoch abgebaut. Das Interesse an der Pyrolyse und an der Vergasungstechnologie bestand in Japan weiter, zum Beispiel bei der Kunststoffumwandlung [ISFR Tagungen in Sendai 1999; Ostend 2002; Karlsruhe 2005; Jeju Insel 2007].

Heute werden hauptsächlich drei Arten von Pyrolyse- und Vergasungstechnologien (Schachtofen, Drehtrommelfen- und Wirbelbett) angeboten. Sie wurden vorrangig in den Neunziger Jahren entwickelt. Vorbilder waren unterschiedliche europäische Technologien: Das Siemens Verfahren wurde durch Mitsui Zosen und Takuma eingeführt. Thermoselect wird durch JFE Technik, Kyokutou Kaihatsu und Mitsubishi Material, PKA durch Toshiba und Thide durch Hitachi vermarktet. Alle europäischen Verfahren sind in Japan mit mehr oder weniger großem Erfolg angewandt worden.

Solche Verfahren können prinzipiell auf Basis ihres technischen Konzeptes und ihrer ökonomischen und ökologischen Daten bewertet werden. Die Betriebserfahrung, die Investitionen und Betriebskosten und die Verbrauchsdaten (Strom, zusätzlicher Kraftstoff, mit Sauerstoff angereicherte Luft und im Hochofenverfahren auch Koks und Kalk) spielen eine Rolle beim Verfahrensvergleich. Dieser bezieht sich auch auf die Qualität, die Marktannahme, den Wert der Ausgangströme (Strom, verglaste Schlacke, Metalle), auf die Emissionswerte und die Menge der noch immer zu deponierenden Rückstände. Leider sind vergleichbare Betriebsdaten in der Regel nicht verfügbar.

## 2.3 Schachtofenverfahren

Schachtofen mit Schlackenfluss sind bereits in den Siebziger Jahren aus der üblichen Hochofentechnik für Müll weiterentwickelt worden. In den Verfahren wird entweder eine auf ungefähr 1000°C vorgewärmte Luft (Andco Torrax), direkter Sauerstoff (Union Carbide) oder mit Sauerstoff angereicherte Luft (Nippon Steel) verwendet. Koks und Kalkstein (je ~50kg/Mg Müll) werden zusammen mit dem Müll in den Schacht eingebracht. Diese Ladung wird stufenweise von den im Gegenstrom aufsteigenden Abgasen getrocknet, beheizt und thermisch zerlegt. Koks, sowie die gebildeten verkohlten Materialien, reagieren mit der mit Sauerstoff angereicherten Luft, die in der Schmelzzone eingeblasen wird. Erzeugt werden (Daten für Japanischen Müll!): granulierte Schlacke (90 kg/Mg Müll), Eisen (10 kg/Mg Müll), Flugasche (30kg/Mg Müll) und Gas, das in einem herkömmlichen Dampfkessel verbrannt wird. Die flüssige Schlacke wird zu einer

Masse abgekühlt und verklopft. Häufig wird die Schlacke auch mit Wasser gelöscht, um einen glasigen, schwarzen Sand zu erzeugen. Flüssiges Mischmetall dient nach Erstarren als Ballast für Schiffe.

Nippon Steel ist Marktführer im Bereich dieser Verfahren. Derzeit gibt es bereits 21 in Betrieb und drei weitere im Bau befindliche Anlagen mit Kapazitäten von 100 bis 450 Mg pro Tag. Dem Beispiel von Nippon Steel folgten andere metallurgische Unternehmen. Analoge Verfahren werden auch von JFE Technik, Kawasaki Giken und durch einige weitere Hersteller angeboten, die allerdings bisher nur eine Anlage verwirklichten. Die erste Nippon Steel-Anlage ging schon 1980 in Betrieb. Seit 1973 galten Plastik und Metall in Tokyo als ungeeignet für die Behandlung in Müllverbrennungsanlagen, so dass sie separat gesammelt und im Schachtofenverfahren von Nippon Steel verwertet wurden.

## 2.4 Drehtrommelverfahren

Eine weitere Technologie zur Abfallbehandlung ist die Drehtrommelpyrolyse, auf die eine beliebige Form der Schlackenschmelze folgt. Der Pionier der Drehtrommel-Pyrolysetechnologie war der deutsche Ingenieur Kiener. Er beheizte eine Drehtrommel indirekt mit Abgasen eines Gasmotors durch interne Wärmeaustauschröhren. Die Pyrolysetemperatur von 450-500°C ist niedrig. Das Pyrolysegas ist mit Teer beladen, der aber auf einem glühenden Koksbett gespalten wird. Danach wird das Gas abgekühlt, in einer Reihe von Wäschern gereinigt und schließlich in einem Gasmotor verbrannt, der mit einem Generator verbunden ist. Das heiße Abgas dient als Wärmequelle für den Reaktor. Weitere Wärme kann zu externen Raumheizungszwecken auskoppelt werden.

Besondere Aufmerksamkeit verdient Hitachi, die die französische Thide-Technologie in Japan eingeführt und weiter entwickelt haben. Hitachi errichtete die ersten Anlagen bei Nakaminato (1998), Itoigawa (2002, 25.000 Mg/Jahr) und Izumo (2003, 70.000 Mg/Jahr). Ein Betriebsbesuch bei Izumo hat gezeigt, dass der Betrieb funktioniert. Aufgrund ungelöster Probleme hat sich Hitachi dazu entschieden, die Technologie vorübergehend nicht mehr anzubieten.

## 2.5 Wirbelschichtanlagen

Die dritte Technologie basiert auf einer Wirbelschichtvergasung bei niedriger Temperatur (meistens 550-600°C) kombiniert mit einer direkt nachfolgenden Verbrennung des erzeugten Gases. Dabei wird die Flugasche auch verglast (Abb. 1). Die Wirbelschichtvergasung wird von Ebara, Kobe Stahl, Hitachi Zosen und fünf anderen kleineren Herstellern erfolgreich umgesetzt. In diesem Segment ist Ebara Marktführer mit sechs Betrieben auf Müllbasis und drei weiteren auf der Basis verschiedener Abfallströme.

Die Wirbelschichtvergasung hat einige spezifische Vorteile, wie

- die Annahme eines ungewöhnlich breiten Spektrums von Abfallströmen und
- die Rückgewinnung des sauberen magnetischen Metalls und Nichteisenmetalls, das weder oxidiert noch geschmolzen oder mit Schlacken und Glas zusammengebaut und durch die abschleifende Wirkung des Betts auch ganz gesäubert wird.

Die Entsorgung in der Wirbelschicht verlangt eine ausreichende Aufbereitung des Mülls. Nach Angaben von Ebara genügt in Japan eine Kantenlänge von 30 cm. Mögliche Probleme in Bezug auf Zuverlässigkeit, CO-Bildung und Schlackenfluss werden gut beherrscht. Wie unsere Beobachtung an vier Anlagen über mehrere Monate ergab, sind Klärschlamm und Schreddermüll ohne Weiteres einsetzbar.

Tabelle 1: Marktanteil der unterschiedlichen Pyrolyse- und Vergasungsanlagen  
(Stand: März 2005)

Verfahrenstyp	Anteil der Anlagen [%]		Anteil der Anlagenlinien [%]		Kapazität [%]	
	In Betrieb	Im Bau	In Betrieb	Im Bau	In Betrieb	Im Bau
Schachtofen	47.4	26.3	46.1	26.2	44.57	35.76
Dreh trommel + Verglasung	16.7	10.5	16.9	9.5	19.15	5.52
Wirbelschicht + Verglasung	29.5	57.9	30.5	57.1	27.05	51.33
Thermoselect	5.13	5.26	5.84	7.14	8.77	7.39
PKA	1.28	0.00	0.65	0.00	0.47	0.00
<b>Insgesamt</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>

### 3 Bewertung

#### 3.1 Verfahrenstechnische Aspekte

##### 3.1.1 Aufbereitung des Mülls

Fast alle vorhandenen neuen Technologien basieren auf Pyrolyse oder Vergasung von Müll beziehungsweise von vorab zerkleinertem und/oder getrocknetem Müll. Prinzipiell verlangen Schachtofen eine einheitliche Beschickung. Dreh trommelöfen sind dagegen robuster. Bei der Wirbelschichtverbrennung ist es wichtig, dass schrittweise in geringen Mengen beschickt wird, weil es sonst zur CO/TOC-Bildung kommt. Bei der Vergasung sind solche Probleme selten, weil die Folgen der nicht vermeidbaren Schwankungen von Menge und Qualität des Schwachgases durch die Regelung beherrscht werden.

### **3.1.2 Schlackefluss**

Die Viskosität des Schlackeflusses wird ständig beobachtet. Falls die Viskosität zunimmt, werden Stützbrenner zugeschaltet oder Sauerstoff zugegeben. Auch Schlackenablagerungen sind möglich.

### **3.1.3 Energierückgewinnung**

In der Regel ist die thermische Umwandlung direkt mit einer Verbrennungskammer und mit der Energierückgewinnung in einem Dampfkessel kombiniert. Nur das Thermo-select-Verfahren liefert ein gereinigtes Synthesegas, das für Anwendungen als Brennstoff für eine Gasturbine oder einen Gasmotor in Frage kommt [Yamada, 2004].

## **3.2 Produkte**

### **3.2.1 Wärme - Kraft**

Das Prinzip der Abwärmenutzung gleicht dem der üblichen Müllverbrennungsanlagen. Dennoch gibt es einige verfahrensbedingte Unterschiede, die sich sowohl positiv, als auch negativ auswirken können:

- Eine geringe, zu reinigende Rauchgasmenge,
- Eine höhere Eintrittstemperatur im Kessel,
- Das Vorkommen an verflüchtigten Salzen, die höhere Temperaturen bei der Verbrennung zufolge haben und
- Die vorhandenen Teere (Pyrolyse).

Der Strom-Eigenbedarf ist bei Wirbelschichtanlagen höher. Die geringere, zu reinigende Rauchgasmenge und die höhere Eintrittstemperatur in den Kessel wirken sich allerdings positiv auf die Kesselleistung aus. Über Verschmutzung und Korrosionserscheinungen sind keine entscheidenden Auswirkungen bekannt.

### **3.2.2 Verglasungserzeugnisse - Auslaugversuche**

Die Verfahren wandeln zumindest einen Teil der Asche in verglastes Granulat um.

Im Schachtofen wird die Schlacke flüssig abgezogen und verglast. Flugasche bildet sich. Die Beschaffenheit des Mülls und die lineare Gasgeschwindigkeit bestimmen, wie viel Asche mitgeschleppt wird. Theoretisch wäre es möglich, einen Teil der Asche nach einer Pelletierung wieder aufzugeben.

Drehtrommel-Pyrolyseanlagen liefern ein Gemisch, das zur Abscheidung der Metalle, der Asche und des Pyrolysekoks noch eine weitere Aufbereitung verlangt. Die Verwertung des Kokses kann nach Wahl in verschiedenen Verbrennungsofentypen stattfinden. Das Einschmelzen der Asche ist damit verbunden.

Bei den Wirbelschichtanlagen in Japan wird ein großer Teil der Asche mit den Rauchgasen ausgetragen. Diese Asche wird geschmolzen und granuliert.

Die Ergebnisse von Auslaugversuchen entsprachen den japanischen Anforderungen. Ebara hat seine Rückstände auch entsprechend der französischen, deutschen und der sehr strengen holländischen Standards überprüfen lassen.

Aufgrund von seinen auslaugenden Eigenschaften kann die verglaste Schlacke als Ersatz für Sand, zum Beispiel bei der Herstellung von Beton oder anderen Baustoffen (zum Beispiel Straßensteine) verwendet werden. Die Märkte befinden sich hierfür noch in der Entwicklung: Einige Baustoff-Hersteller unterstützen die Öffentlichkeitsarbeit und das Marketing dieser Sekundärrohstoffe. Absatzprobleme gibt es nicht, obwohl die Anwendung und der Wert des Granulats niedrig und von örtlichen Bedingungen abhängig sind. Verglastes Granulat ist wesentlich umweltfreundlicher als herkömmliche Flugasche oder gewöhnliche Müllschlacke.

### 3.2.3 Metalle

Die meisten betrachteten Verfahren erfordern irgendeine Form der Vorbehandlung, im Allgemeinen ein grobes und vielleicht auch feines Zerreißen. Metalle können vorab oder nachträglich vom Rückstand getrennt werden.

Die beste Qualität wird durch Wirbelschichtbehandlung bei niedriger Temperatur erreicht: Stahl und Aluminium werden von Sand umspült sowie auch thermisch gesäubert, dennoch weder mit der Müllschlacke zusammengeballt noch oxidiert.

Pyrolyseverfahren sind nur zweite Wahl, da Metalle noch von der Kohle getrennt und vielleicht noch von gefährlichen Pyrolyseprodukten, wie polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), gereinigt werden müssen.

Die schlechteste Anlage ist offensichtlich der Schachtofen, da alle Metalle zusammen geschmolzen werden und die resultierenden Legierungen nur als Ballast benutzt werden können.

## 3.3 Gesundheitliche Aspekte

Gesundheitliche Aspekte sind hauptsächlich in Bezug auf Ablagerungen und die Aufbereitung der Abfälle, sowie in Bezug auf die Behandlung der Pyrolyserückstände und das dichte Einschließen der Vergasung- und Pyrolyseprodukte von Bedeutung. Ein grundsätzliches Problem ist der Betrieb bei Überdruck, bei einer temporären Überlastung oder bei Störfällen. In einem solchen Fall kann sich eine gefährliche Wolke bilden. Wirbelschichtsysteme sind in der Tat sicherer, da die interne Menge an Abfall bei einem Unfall viel kleiner und somit schnell, innerhalb weniger Minuten verbraucht ist. Ein Auftreten von Überdruck wurde beim Kontrollieren der Betriebsaufzeichnungen bisher bei keiner Ebara-Anlage festgestellt. Das Verfahren ist auch im Hinblick auf einen Stromausfall unempfindlich. Der Andco-Torrax-Schachtofenbetrieb in Leude-

lange dagegen, musste während unseres Besuch für viele Tage gestoppt werden, da sich die Schlacke nach einem Stromausfall verfestigte.

### **3.4 Umweltaspekte – Gesamtaustrag der Dioxine**

Umweltaspekte sind im Rahmen eines Verfahrensvergleichs nicht immer entscheidend, wenn man davon ausgeht, dass mittels Sekundärmaßnahmen alle Anlagen in etwa gleiche Emissionswerte erreichen können. Bei der Wahl des thermischen Beseitigungsverfahrens ist in Japan aber die Nachhaltigkeit entscheidend gewesen. Besondere Beachtung fanden Kriterien wie die Vermeidung von Deponierung, die Dioxin-Verringerung und eine maximale Metallrückgewinnung.

Große Aufmerksamkeit zogen in den Neunziger Jahren in Japan Dioxinemissionen aus Verbrennungsöfen auf sich. Tatsächlich war die Lage recht dramatisch, da die große Mehrheit der mehr als 2.000 betriebenen Müllverbrennungsanlagen Kleinanlagen ohne Rauchgasreinigung waren. Seitdem haben sich die Dioxinemissionen aufgrund politischer und technologischer Entwicklungen entscheidend verringert. Die Gesetze der Abfallbeseitigung und der öffentlichen Reinigung und das Luftverunreinigungs-Gesetz wurden angepasst und Grenzwerte für Dioxinemissionen der MVA erlassen. Unterschiedliche Grenzwerte wurden für neue Verbrennungsanlagen und Altanlagen angewendet. Zahlreiche Kleinanlagen wurden geschlossen [Tanaka 2005].

Verbrennungsanlagen zerstören fast alle Dioxine, die mit dem Müll eingetragen werden. Folglich ist das heiße Rauchgas, welches die Verbrennungszone verlässt, arm an Dioxinen. Diese werden aber während des Abkühlens der Rauchgase, das heißt im Dampfkessel und im Staubfilter, wieder gebildet. Dioxine bilden sich hauptsächlich bei Temperaturen zwischen 450 und 200°C und erreichen ihre höchste Bildungsrate bei 350°C. Niedrige Temperaturen können allerdings mittels längerer Aufenthaltszeiten ausgeglichen werden. Dieses erklärt den Gedächtniseffekt, der in vielen Betrieben festgestellt wird. Nach der Rauchgasreinigung müssen die Dioxinemissionen unter dem von den Europäischen Richtlinien geforderten Grenzwert von 0.1 ng TE/m<sub>n</sub><sup>3</sup> beziehungsweise 0.05 ng TE/m<sub>n</sub><sup>3</sup> liegen. Seitdem dieser Grenzwert Anwendung findet, verlieren Verbrennungsanlagen immer mehr ihre Position als Hauptemissionsquelle im Vergleich zur metallurgischen Industrie und zu anderen verbreiteten, mit der Verbrennung in Verbindung stehenden Quellen [EC Europa.EU 2005].

Für das Absenken der Dioxinkonzentrationen unterhalb der Grenzwerte werden zwei Techniken verwendet. Bei der ersten werden Gasphase-Dioxine an Aktivkohle (AK) oder Braunkohlekoks (Herdofenkoks HOK) adsorbiert und die beladenen Partikel mittels Schlauchfilter zusammen mit den Dioxinen entfernt. Gewöhnlich werden 50 bis 200 mg AK pro m<sub>n</sub><sup>3</sup> oder 250 bis 1.600 g AK/Mg Müll in das Rauchgas eingebracht.

Bei einer zweiten und neueren Technik werden Gasphase-Dioxine durch Oxidation auf einem DeNOx-Katalysator zerstört. Eine Dioxinbilanz kann für eine typische halbnasse

Gasreinigung aufgestellt werden, in welcher eine Kalksuspension und aktivierte Kohle eingedüst und der Staub gefiltert wird. Der entstehende, getrocknete Kalkschlamm mit dem Reststaub und der AK wird von Schlauchfiltern, welche die beste vorhandene Technologie darstellen, abgetrennt.

Grundlage der Bilanzierung bildet die Verbrennung von 1 Mg Müll bei einer Rauchgasmenge von 6.000 (5.000 - 8.000)  $m_n^3$ .

#### Eingang = Kesselaustritt

Das Rohgas enthält eine Dioxinlast von 3 - 30 ng TE/ $m_n^3$ . Im Rohgas befinden sich also:  $3 - 30 \text{ ng TE/ } m_n^3 \times 5.000 - 8.000 \text{ m}_n^3 / \text{Mg Müll} = 15 - 240 \mu\text{g TE/ Mg Müll}$ .

#### Austritt 1 = Reingas

Das Reingas sollte weniger als 0.05 ng TE/ $m_n^3$  (Japan) haben. Im Reingas verbleibt noch:  $0.005 - 0.05 \text{ ng TE/ } m_n^3 \times 5.000 - 8.000 \text{ m}_n^3 / \text{Mg Müll} = 0.025 - 0.4 \mu\text{g TE/ Mg Müll}$ .

#### Austritt 2 = abgetrennter Staub

Im Staub des Rohgases:  $0.3 - 30 \text{ ng TE/g} \times 2 - 5 \text{ g/m}_n^3 \times 5.000 - 8.000 \text{ m}_n^3 / \text{Mg Müll} = 3 - 540 \mu\text{g TE/ Mg Müll}$ .

#### Austritt 3 = abgetrennte AK

Dioxine, die an AK oder HOK adsorbiert werden drücken den Unterschied zwischen rohem Gasinhalt (Eingang) und Reingas (Austritt 1) und Staub (Austritt 2) aus und sammeln also 12 bis 260  $\mu\text{g TE/ Mg Müll}$ .

Müllschlacken. In Europa enthält der Rostabwurf gewöhnlich (Grosso 2000):  $0.3 - 60 \text{ ng TE/kg} \times 200 - 300 \text{ Kilogramm Mg Müll} = 0.06 - 180 \mu\text{g TE/ Mg Müll}$ .

In diesem numerischen Beispiel erreicht der Output der herkömmlichen Müllverbrennungsanlage:

- Minimal  $0.025 + 3 + 12 + 0.06$  oder  $\sim 15 \mu\text{g TE/ Mg Müll}$ .
- Maximal  $0.4 + 540 + 260 + 180$  oder  $\sim 980 \mu\text{g TE/ Mg Müll}$ .

Bei Installation eines katalytischen DeNOx-Reaktors wird der Austritt 3 weitgehend katalytisch zerstört. Die Zahlwerte sind dann: minimal  $\sim 3 \mu\text{g TE/ Mg Müll}$  und maximal  $\sim 720 \mu\text{g TE/ Mg Müll}$ .

In Japan gilt jedoch bei Neuanlagen als Grenzwert des Gesamtdioxins 5  $\mu\text{g TE/ Mg Müll}$ . Dieser Wert wird von herkömmlichen Verbrennungsöfen im Dauerbetrieb fast nie erreicht, selbst wenn die Belastung des Rostabwurfs unwesentlich ist und eine DeNOx-Anlage die Gasphase-Dioxine zerstört, da im Allgemeinen alleine die in der Flugasche befindlichen Dioxine den japanischen Grenzwert schon übersteigen!

Die entsprechenden Werte sind für die neuen Verfahren viel niedriger.

Eine Ebara-Wirbelschichtanlage mit Nachverbrennung und integrierter Flugaschenschmelze und Verglasung der primären Flugasche ist in der Lage, auch die eigenen (sowie auch fremde) Müllschlacken, sowie einen Teil der abgetrennten sekundären Flugasche aufzunehmen und zu verglasen (Anlage Kawaguchi).

Die restliche Flugasche enthält noch 20 - 100 pg TE/g, die resultierenden glasigen Granulate fast nichts mehr. Das Reingas, die verglaste Schlacke und die nicht rezirkulierte Sekundärstaubfraktion enthalten respektiv:

- $\text{ng TE/ m}_n^3 \times 4.000 \text{ m}_n^3 / \text{Mg Müll} = 0.04 \mu\text{g TE/ Mg Müll}$
- $\text{ng TE/kg} \times 80 \text{ Kilogramm/Mg Müll} = 0.08 \mu\text{g TE/ Mg Müll}$
- $0.02 - 0.1 \text{ ng TE/g} \times 2 \text{ g/m}_n^3 \times 4.000 \text{ m}_n^3 / \text{Mg Müll} = 0.08 - 0.4 \mu\text{g TE/ Mg Müll}$

Der Gesamtbeitrag in diesem (positiven) Fall kann folglich auf 0.2 - 0.5  $\mu\text{g TE/ Mg Müll}$  geschätzt werden. Einige der hier genannten Werte sind so niedrig, dass ihre Bedeutung sogar fraglich wird.

### 3.5 Rückstände

Deponieraum in Japan ist teuer (250 €/Mg), knapp und manchmal kaum verfügbar. Die Minderung der Abfallmengen oder deren Rückstände hat hohe Priorität. Müllverbrennungsanlagen sind durchaus zu einer großen Volumenverringerung (90 bis 95%) fähig, aber weniger vorteilhaft in Bezug auf die reduzierung des Gewichts. Andererseits ist der Aschegehalt des japanischen Mülls viel geringer (typisch ~ 7 bis 10%) als der in Europa (meistens ~ 20 bis 30%).

Maßnahmen zur Steigerung der Verbrennungstemperatur erhöhen die Dichte der Müllschlacken. Mitsubishi Heavy Industries erzielt diese Dichteerhöhung durch Zugabe von mit Sauerstoff angereicherter Luft in einem Martin-Rostofen. In Europa wird die Müllschlacke, vielleicht nach wenigen Monaten der Ablagerung und einiger Aufbereitung, normalerweise zu einem nominellen Kurs an Firmen der Bauindustrie verkauft. Flugasche wird durch geeignete Behandlungen zum Schutz gegen das Auslaugen der Schwermetalle sowie der organischen Restverbindungen verfestigt oder in Salz- oder Kohlebergwerken zur Verfestigung eingebracht. Saure Gasneutralisationsrückstände werden in Salzbergwerken oder in Deponien entsorgt.

In Japan ist die Müllschlackewiederverwertung weniger entwickelt. Flugasche wird durch etwa 6 bis 7% Zementzufügung verfestigt. Derzeit steigt jedoch der Druck für eine ausreichende Entgiftung durch thermische Zerstörung der Dioxine, Auslaugen oder Chelate-Immobilisierung der Schwermetalle oder durch eine radikale Aschenschmelze. Zu diesem Zweck wurde eine Vielzahl von Verfahren entwickelt. Die geschmolzene Asche wird in eine schwarze glasige Schlacke umgewandelt und im Volumen um den Faktor 2 bis 3 verringert. Die hohen Kosten, die wegen der benötigten Energie und der nachgeschalteten zusätzlichen Anlagen entstehen, behinderten damals die Verbreitung dieser Technologie. Um lokale Regierungen und Inhaber anzu-

regen, diese Aschenschmelze anzuwenden, änderte die japanische Regierung 1993 den Beihilfeentwurf für MVA und gab Richtlinien heraus, um den Schlackengranulatverbrauch anzuregen.

Eine breite Implementierung der Aschenschmelze-Technologien war zu erwarten. Es gab 2002 67 dieser Anlagen [Tanaka 2005]. Die erforderliche Wärme wird elektrisch aus Plasma, Gleichstrom- oder Wechselstrom-Widerstandsheizung oder durch ein Bett aus glühendem Koks, Ölfernern oder sogar die gezielte Verbrennung von aufbereiteten Abfällen gewonnen. Ebara errichtete fünf Plasmafackelbetriebe in der Zeit zwischen 1994 und 2003 mit einer Kapazität von 23 bis 130 Mg/Tag. Mitsubishi Heavy Industries verkaufte sieben Graphitelektroden-Plasma-Anlagen mit Kapazitäten von 28 bis 80 Mg/Tag. Eine Leistungsaufnahme von 700 bis 1000 kWh/Mg Asche wird dabei angegeben. Integrierte ascheschmelzende Methoden liefern die erforderliche Energie intern.

Auf eine andere Weise werden Rückstände zur Reduzierung des Dioxingehalts der Flugasche thermisch behandelt, zum Beispiel mittels einer Trommel, die von Prof. Hagenmaier (Universität Tübingen) erfunden und von Deutsche Babcock entwickelt wurde. Es gibt mehrere aktive Lieferanten, einschließlich Kawasaki H.I. mit elf Anlagen und insgesamt 14 Linien (Baujahre 1999-2002; die Behandlungskapazität 160 bis 1.300 kg Flugasche/h). Unbehandelte Asche hat eine Ausgangsbelastung von 1,6 bis 11 ng TE/g. Durch die Behandlung verringert sich diese auf 27 bis 99 pg TE/g. Das entspricht einer Abbau-Leistung (*Destruction & Removal Efficiency DRE*) von 96,1 bis 99,8%, wobei die höheren DRE-Werte den höheren Ausgangslasten entsprechen. Ein etwa ähnliches System (*Dio-breaker*) ist von Mitsui Engineering und Schiffsbautechnik vorgeschlagen worden. Chiyoda hat eine "Katalytische Dioxinzerlegungs-Technologie" (*Dio-Stopper*) entwickelt, um Dioxine bei Umgebungstemperatur und Umgebungsdruck mit einer Leistung von über 90% in der Suspension mit einem eigenen Katalysator zu zerlegen. Es ist ein nasses Verfahren, das Schwermetalle und Salze von der Flugasche gleichzeitig entfernen kann. Die behandelte Flugasche kann in die Deponie gefahren oder als Rohstoff für die Zementherstellung verwendet werden. Schwermetalle können als Niederschlag zurück gewonnen werden. *Dio-Stopper* kann auch als integriertes Rauchgas-Behandlungssystem angewendet werden, um Rauchgas und Flugasche gleichzeitig zu behandeln. Es entfernt dann HCl und SO<sub>x</sub> aus dem Rauchgas und auch Dioxine, Schwermetalle und Salze aus der Flugasche.

## 4 EBARA's TWINREC Wirbelschicht/Verglasungstechnologie

### 4.1 Marktsituation

Unter den in Bau befindlichen Anlagen ist in Japan derzeit die Wirbelschichttechnologie mit integrierter Ascheverglasung führend. Ebara ist Marktführer für diese Technik und zur Zeit ist sein TwinRec Verfahren das einzige Beispiel für eine in Japan entwickelte

Technologie, die auch in Europa schon angeboten wird. Das TwinRec Verfahren beruht auf einer Kombination zweier alter und gut funktionierender Technologien:

- der Wirbelschichttechnologie mit interner Zirkulation (TIF, vermarktet in Europa als Rowitec) und
- dem Meltox Abwasserschlamm-Schmelzverfahren.

Die Vergasung grob zerkleinerten Mülls erfolgt in einem wirbelnden Sandbett bei 500 bis 600°C eingebracht. Die dichten, nicht brennbaren Rückstände gelangen in der Wirbelschicht nach unten und werden zusammen mit anderem Bettmaterial abgezogen. Nach Abtrennung der Steine und der Metalle wird der zurückgewonnene Sand in das Bett zurückgeführt [Selinger 2000]. Die niedrige Betriebstemperatur gestattet es, die Metalle schonend und mit hoher Ausbeute zurück zu gewinnen, ohne dass das Aluminium schmilzt.

Das erzeugte Schwachgas strömt zusammen mit den mitgeschleppten Asche- und Kohlepartikeln durch die *freeboard*-Zone des Vergasers und wird dann unter Hochtemperatur (1.400°C) in einer zyklonalen Brennkammer verbrannt. Durch die Zentrifugalkräfte wird die geschmolzene Asche abgetrennt, haftet an den refraktären Ofenwänden und fließt danach als flüssige Schlacke durch das Schlackenloch nach unten zur Ofensohle, um anschließend in einem Wasserfluss granuliert zu werden. Die heißen Rauchgase aus der Verbrennungskammer treten in einen Dampfkessel mit anschließendem Turbo-Generator zur Energieerzeugung ein. Die abgekühlten Gase werden anschließend in einer herkömmlichen Rauchgasreinigung gereinigt.

Derzeit gibt es sechs Anlagen mit 16 Linien, die mit herkömmlichen Müll beschickt werden, und drei weitere Anlagen (4 Linien), die mit verschiedenen Abfällen beschickt werden, einschließlich einer maßgeschneiderten Einheit in einer Kupferschmelze. Die erste Anlage (2000) befindet sich im kommerziellen Betrieb und nimmt fast jegliche Art von Abfallströmen, die auf dem Markt vorhanden sind, an, um die Basislast, die aus Schredder Rückständen besteht, zu ergänzen. In der ersten Anlage bei Aomori gab es anfangs ernst zu nehmende Probleme durch Verschmutzung des Dampfkessels, die eine schrittweise Anpassung sämtlicher Anlagenteile erforderlich machten. Während einer Testkampagne wurden genaue Masse-, Energie- und Schadstoff-Bilanzen erstellt.

Alle vier besuchten Betriebe zeigten, dass die wesentlichen Anlagenteile richtig funktionieren. Der Betrieb ist problemlos und frei von Geruch und Staub. Das Verfahren kann als technisch erprobt angesehen werden und erfüllt alle Emissionsgrenzwerte. Die glasigen Granulate erfüllen sowohl die japanischen Anforderungen bezüglich der Auslaugung, als auch die für Deutschland und Frankreich. Im Betrieb Kawaguchi erreichen die Rückstände zur Deponierung nur 3 Gew.-% des Inputs, weil die Müllschlacke, die vom Bett extrahiert wurde, nachzermahlen und ein Teil der sekundären Flugasche

problemlos zusammen mit externer Müllschlacke aus einer anderen MVA eingeschmolzen werden kann.

Traditionsgemäß hat Ebara in der EU seine Entwicklungen durch Lizenznehmer, früher ABT und Alstom, derzeit Lurgi, vermarktet. Das Verfahren bietet maximale Vermeidung der Deponierung, eine ausgezeichnete Rückgewinnung von Metallen und Energie, minimalen Austritt von Dioxinen (Rückstände einbezogen), sowie einen sicheren und einwandfreien Betrieb. Andererseits werden Investitionen und Betriebskosten erwartet, die über denen von Rostöfen liegen (um 100 bis 150 €/Mg, in Abhängigkeit von der Betriebsgröße). Die integrierte Aschenschmelze und hohe Umweltqualität gleichen dies jedoch aus.

Das in Europa begrenzte Interesse an der Verringerung der Deponierung scheint die Hauptbarriere zu sein. Jedoch bestätigt Art. 9 der EU Richtlinie 2000/76/EC: "Rückstände, resultierend aus dem Betrieb der Verbrennungsanlagen - oder Co-Verbrennungsanlagen, werden in ihrer Menge und Schädlichkeit herabgesetzt. Rückstände werden aufbereitet, wo passend, direkt im Betrieb oder in der Außenseite in Übereinstimmung mit relevanter Gesetzgebung in der Gemeinschaft". Die EC Deponie-Richtlinie [1999/31/EC] setzt progressive Ziele für das Verringern der Menge an biodegradierbaren städtischen Abfällen, die in die direkte Deponierung gelangen. Folglich nimmt die Bedeutung der thermischen Behandlung von Müll mit anschließender Energierückgewinnung zu.

## 5 Literaturverzeichnis

- Buekens , A.; (1978): Resource Recovery and Waste Treatment in Japan. Resource Recovery and Conservation, 3, 1987, 275-306.
- Buekens, A.; (1978): Grundlagen der Abfallpyrolyse and Übersicht über in Europa angeboten Verfahren. Müll und Abfall, 10. Jahrgang, Heft 12, 1978, 353-62.
- Buekens, A.; (1980): Schlussfolgerungen hinsichtlich der praktischen Anwendung der Haus-müllpyrolyse aufgrund weltweiter Erfahrungen. Müll und Abfall, 12. Jahrgang, Heft 6, 1980, 184-91.
- Buekens, A.; Schoeters, J. (1986): European experience in the pyrolysis and gasification of solid wastes. Conservation & Recycling, 9, n° 3, 1986, 253-269
- Grosso, M.; (2000): Post-combustion PCDD/F formation and destruction mechanisms: experiences in a full scale waste incineration plant. Ph.D. Thesis, Politecnico di Milano, 2000.
- Selinger, A.; Steiner, Ch.; Shin, K.; (2003): Twinrec Gasification and Ash Melting Technology Now also established for Municipal Waste. 4th Int. Symposium on Waste Treatment Technologies, Sheffield, 2003.

Tanaka, R.; Johnson, P.; (2005): Alternatives to Landfill: An Overview of Japan's Incineration Policies and Technologies for Handling Municipal Solid Waste. Science and Innovation Section British Embassy Tokyo, 2005.

URS Corporation (2005): Summary Report: Evaluation of Alternative Solid Waste Processing Technologies Prepared for: City of Los Angeles Department of Public Works Bureau of Sanitation, 2005.

Williams, R., Jenkins B.; Nguyen, D; (2003): Solid Waste Conversion: A review and database of current and emerging technologies. Final Report University of California Davis Department of Biological and Agricultural Engineering, 2003.

Yamada, S.; Shimizu M.; Miyoshi F.; (2004): Thermoselect Waste Gasification and Reforming Process. JFE GIHO 3,2004, 20-24.

[http://ec.europa.eu/environment/ippc/pdf/dioxins\\_final\\_rep.pdf](http://ec.europa.eu/environment/ippc/pdf/dioxins_final_rep.pdf).

[http://nett21.gec.jp/JSIM\\_DATA/index.html](http://nett21.gec.jp/JSIM_DATA/index.html).

[http://www.adsesaintescobille.com/x\\_AnnexeTechniqueThermolyse.htm](http://www.adsesaintescobille.com/x_AnnexeTechniqueThermolyse.htm).

B. Bilitewski, A.I. Urban, M. Faulstich (Hrsg.)

**13. Fachtagung  
Thermische Abfallbehandlung**

**Thermische Klärschlammbehandlung – ein sinnvoller  
Entsorgungsweg für das Schwellenland China?!**

Prof. Dr. Michael Nelles, Dr. Gert Morscheck

Universität Rostock

Rostock

Tao Liu, M.Sc. Ke Wu

Hefei University

Hefei

Schriftenreihe des  
Fachgebietes Abfalltechnik  
Universität Kassel

## 1 Einführung

Im Schwellenland VR China leben rund 1,3 Mrd. Menschen, was in etwa 20 Prozent der Weltbevölkerung entspricht. Flächenmäßig ist China das viertgrößte Land auf der Erde. Das Bevölkerungswachstum wird zwar durch die „Ein-Kind-Politik“ gebremst, aber die Anzahl der Einwohner wird voraussichtlich erst ab 2040 sinken. Bis dahin ist mit einem Niveau von 1,5 bis 1,8 Mrd. Einwohner zu rechnen. China ist ein Land mit einem kontinuierlichen jährlichen Wirtschaftswachstum von etwa 10 Prozent, steigendem Urbanisierungsgrad und einer Fülle an ökonomischen, sozialen und ökologischen Problemen. Die ökologischen Belastungen sind insbesondere Verunreinigungen des Grund-, Oberflächen- und Trinkwassers, die Schadstoffbelastung der Luft und die mangelhaften Strukturen für die Sammlung und Entsorgung von Abfällen.

Inzwischen hat die chinesische Regierung das Ausmaß der Umweltprobleme der Volksrepublik erkannt und versucht gegenzusteuern. Ankündigungen der State Environment Protection Administration (SEPA), von 2006 bis 2010 eine Summe von 160 Mrd. US\$ in den Umweltschutz zu investieren, stimmen auch mit dem aktuellen 11. Fünf-Jahres-Plan überein, welcher einen eigenen Schwerpunkt Umweltschutz setzt.

Auf dem KP-Kongress im Oktober 2007 versprach der chinesische Staats- und Parteichef Hu Jintao ein größeres Engagement im Umweltschutz. Im Rahmen der China-Reise von Bundesumweltminister Gabriel mit einer hochrangigen Wirtschaftsdelegation im Februar 2008 wurde vereinbart, die Kooperation auf dem Gebiet Klimaschutz und Umwelttechnik zu verstärken.

Der Lehrstuhl für Abfall- und Stoffstromwirtschaft der Universität Rostock engagiert sich seit rund fünf Jahren in der VR China und betreibt seit 2005 an und mit der Partneruniversität in Hefei das Chinesisch-Deutsche Umwelttechnologietransferzentrum (CETK). Dort werden derzeit verschiedene Umweltprojekte mit den fachlichen Schwerpunkten Abfall- und Abwasserwirtschaft sowie Bioenergie bearbeitet.

Der vorliegende Beitrag geht zunächst auf die aktuelle allgemeine Umweltsituation in der VR China ein. Anschließend werden auszugsweise die bisherigen Aktivitäten des CETK vorgestellt. Es folgen Ausführungen zur abwasserwirtschaftlichen Entwicklung in der VR China und es wird beispielhaft eine moderne Kläranlage (Betreiber: Berlinwasser International AG) in der Hauptstadt Hefei der Provinz Anhui vorgestellt, wobei insbesondere auf die Klärschlammensorgung eingegangen wird. Der Beitrag schließt mit einem kurzen Fazit und Ausblick.

## 2 Umweltschutz in der VR China

In den vergangenen 20 Jahren hat sich die Wirtschaft der VR China sehr dynamisch entwickelt. Als China 2001 der World Trade Organisation beigetreten ist, wurde diese Entwicklung noch dynamischer. Auch in den nächsten Jahren wird mit einem jährlichen Wirtschaftswachstum von bis zu 10 Prozent gerechnet.

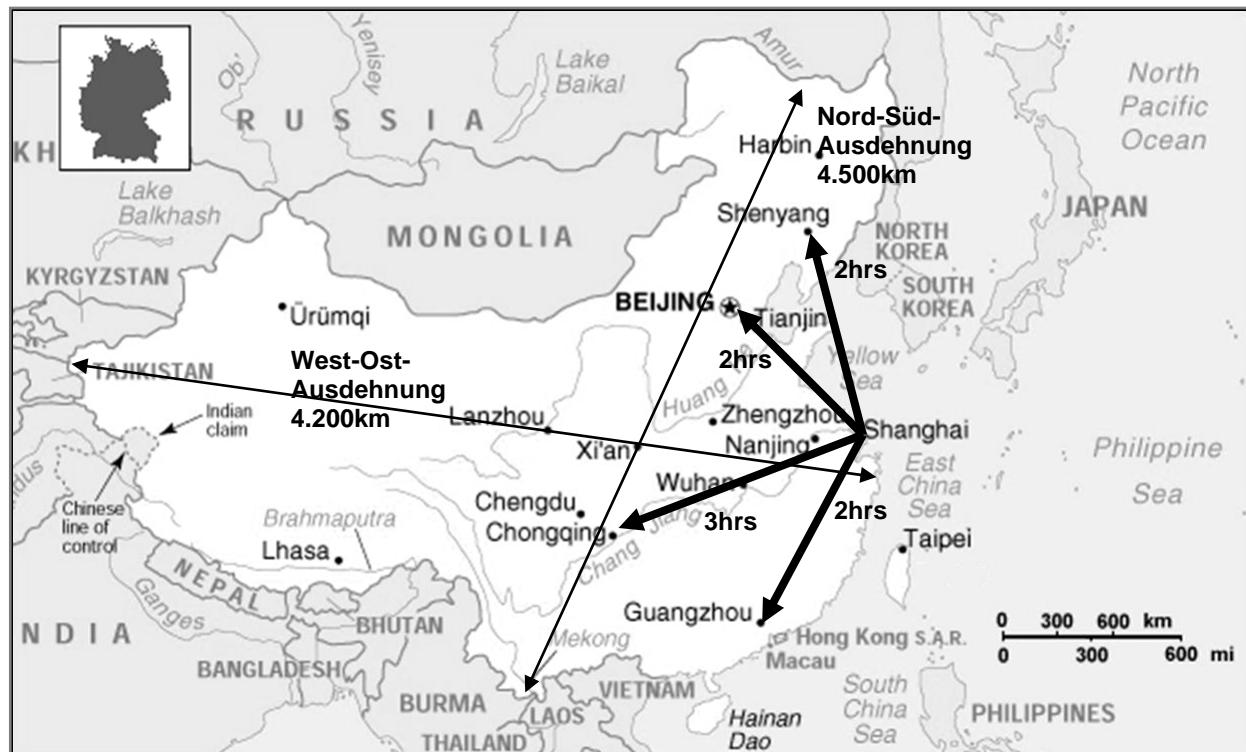


Abbildung 1: Größenvergleich VR China und Deutschland [Sommer 2007]

Das Wirtschaftswachstum hat aber seine Kehrseite in der Form gewaltiger Umweltprobleme gezeigt. Inzwischen ist die Umweltsituation, insbesondere in den über 800 Städten (davon haben über 180 mehr als 1 Mio. Einwohner), durch hohe Schadstoffbelastungen der Luft, unzureichende Versorgung mit sauberem Trinkwasser und eine mangelhafte Abwasser- und Abfallentsorgung gekennzeichnet.

China ist hinter den USA bereits der zweitgrößte CO<sub>2</sub>-Emittent der Welt und bis 2025 wird der Anteil voraussichtlich auf bis zu 20% ansteigen. Anzumerken ist hier, dass dies dann etwa dem Anteil Chinas an der weltweiten Bevölkerung entspricht. Um die Bewohner des Landes mit Energie zu versorgen werden jährlich mehr als 1 Milliarde Mg hochgradig schwefelhaltige Kohle verbrannt. Dadurch liegt die SO<sub>2</sub>-Belastung in bestimmten Gebieten über dem 10- bis 17-fachen der von der WHO angegebenen zulässigen Werte. Nach Angaben der Weltbank liegen 16 der 20 am stärksten belasteten Städte der Welt in China.

Das größte Problem ist allerdings die Verschmutzung der Wasservorkommen. Die Frischwasservorratsquote pro Einwohner liegt etwa 26% unter dem weltweiten Durchschnitt. Das Wasser wird nicht nur durch die Industrialisierung verschmutzt, sondern auch durch die Landwirtschaft.

1972 hat China zum ersten Mal an der Umweltkonferenz in Stockholm teilgenommen. Dabei waren aber die Beiträge weniger fachlich als von maoistischen Theorien geprägt. Umweltschutz wurde als Instrument des Imperialismus gesehen. Nach der Umweltkonferenz in Rio de Janeiro 1992 hat auch China den Grundsatz der Nachhaltigkeit übernommen und in zwei Jahren die Agenda 21 ausgearbeitet. Seit dem hat sich aber nicht viel verändert. Es liegt vor allem daran, dass das Volk den Umweltschutz als Aufgabe der Regierung sieht, und als solche sind Einmischungen von außerhalb des Regimes unerwünscht. Umweltschutz wird vor allem als technologische Aufgabe verstanden. Deswegen werden modernere Techniken verwendet, ohne das Verhalten zu ändern. Außerdem wird von chinesischen Managern behauptet, dass Umweltschutz und ökonomischer Gewinn nicht miteinander vereinbar sind. Nach Angaben der Weltbank werden jährlich 3 bis 8 % des BIP für Folgekosten der Umweltverschmutzung, dreiviertel davon für die Behandlung gesundheitlicher Schäden, ausgegeben. Nach internen, unveröffentlichten Prognosen der SEPA, der obersten Umweltbehörde der VR China, sind es bis zu 10 % des BIP.

### **3 Chinesisch-Deutsches Umwelttechnologietransferbüro an der Universität Hefei**

In der Provinz Anhui leben derzeit etwa 65 Mio. Einwohner auf einer Fläche von 140.000 km<sup>2</sup> und mit 425 Personen je km<sup>2</sup> gehört Anhui zu den dicht besiedelten Regionen. In den zentralen Bezirken der Provinzhauptstadt Hefei leben rund 1,5 Mio. Einwohner, zusammen mit den die Stadt umgebenden drei Landkreisen sind es 4,6 Mio. Menschen. Hefei verfügt über 14 Hochschulen und mehr als 200 wissenschaftliche Forschungsinstitute.

Anhui gehört zu den ärmeren Provinzen Chinas, insbesondere im Vergleich zu den boomenden Provinzen an der Ostküste. Charakteristisch ist ein hoher Anteil der ländlichen Bevölkerung, die Landwirtschaft ist eine wesentliche Säule für den Wirtschaftsraum Anhui. Industrielle Schwerpunkte liegen insbesondere in den Bereichen der wenig gewinnbringenden Energie- und Rohstoffwirtschaft (Kohlebergbau, Kohlekraftwerke, Düngemittelfabriken, Stahl- und Zementwerke etc.). Infolge des sehr geringen industriellen Umweltschutzstandards führen gerade diese Industriezweige zu erheblichen Umweltschäden und einer nachhaltigen Gefährdung der Lebensgrundlagen.

Vor diesem Hintergrund engagiert sich das CETK. Die Schwerpunkte der Arbeit sind die Unterstützung des Aufbaus eines Umweltingenieurstudiengangs, Studenten und Wissenschaftleraustausch, angewandte F&E- sowie Wissens- und Technologietrans-

ferprojekte im Bereich Abfallwirtschaft. Im Sommer 2007 ist das CETK von der Regierung als Anhui-Kompetenzzentrum für den Bereich der Abfallwirtschaft/Abfalltechnik ausgewählt worden und soll künftig die abfallwirtschaftliche Entwicklung für die rund 65 Mio. Einwohner der Provinz Anhui maßgeblich mitgestalten.

Das CETK verfolgt auf Basis des chinesischen Ansatzes der Kreislaufwirtschaft [Bilitewski 2006] mehrere Projekte in Anhui [Wu et al. 2005, Nelles et al. 2006, Nelles et al. 2007, Linlin et al. 2007, Nelles et al. 2004]:

- Studenten- und Wissenschaftleraustausch im Bereich Umwelttechnik,
- Aufbau eines EU-geförderten Studiengangs Umwelttechnik an der Universität Hefei,
- Organisation und Durchführung Internationaler Umwelttagungen mit Schwerpunkten Abfall- und Abwasserbehandlung in Hefei (Mai 2006 und Juni 2008),
- Modellversuch zur getrennten Sammlung und Verwertung von Bioabfällen in Hefei,
- Abfallwirtschaftliche Beratung (Abfallsammlung, Bioabfallverwertung, thermische und biologische Behandlung, Deponierung und Altlastensanierung) von Regierungsstellen und Stadtverwaltungen, schwerpunktmäßig in der Provinz Anhui,
- Wissenschaftliche Begleitung der MBA-Projekte der Firma EuRec®-Technology GmbH in der VR China,
- Optimierung der Klärschlammensorgung der Provinzhauptstadt Hefei.

Ein wesentliches Ziel des CETK an der Universität Hefei ist es, europäischen Anbietern von hoch entwickelten Umwelttechnologien den Markteintritt in China zu erleichtern.

#### **4 Rechtliche Rahmenbedingungen zur Abwasserbehandlung und Klärschlammensorgung in der VR China**

Die zentrale rechtliche Grundlage für die Abwasserbehandlung in der VR China ist das „Gesetz zum Schutz des ober- und unterirdischen Wasserkörpers und zur Behandlung der Wasserverschmutzung“, das im Mai 1984 in Kraft getreten und im Mai 1996 novelliert wurde. Zur Konkretisierung wurde auf dieser Basis im Januar 1998 die Allgemeine Abwasserverordnung (GB 8978-1996) erlassen, in der die Einleitgrenzwerte für 69 Abwasserarten und die Abgabemenge für einige Branchen geregelt ist. Darüber hinaus existieren inzwischen zahlreiche branchenspezifische Abwasserverordnungen (z.B. für die Papierindustrie (GB 3544-92)).

Die Einleitgrenzwerte für städtische Abwasserreinigungsanlagen sind ebenfalls in einer eigenen Abwasserverordnung geregelt (GB 18918-2002), die zum 1. Juli 2003 in Kraft getreten ist [SEPA 2002]. In dieser Verordnung werden sowohl Grenzwerte festgeschrieben, die für alle Kläranlagen in der VR China gelten als auch zusätzliche Parameter und Anforderungen, die von den örtlichen Behörden festgelegt werden kön-

nen. Bei den obligatorischen Parametern wird die Grenzwerthöhe in Abhängigkeit von der Funktion des Vorfluters und den angewandten Reinigungsverfahren der kommunalen Kläranlagen festgelegt.

In der Abwasserverordnung sind auch allgemeine Anforderungen zur Klärschlammbehandlung festgeschrieben. So wird zum Beispiel eine Entwässerung auf einen TS-Gehalt von mindestens 20% gefordert.

Konkrete Anforderungen für die weitergehende Behandlung bzw. Verwertung und Entsorgung der entwässerten kommunalen Klärschlämme gibt es bisher lediglich für die landwirtschaftliche Verwertung (GB18918-2002). In Tabelle 1 sind die chinesischen Grenzwerte den Anforderungen in Deutschland gegenübergestellt. In Deutschland wird seit langem eine neue Klärschlammverordnung (AbfKlärV) diskutiert. Die vorgeschlagenen Werte dieser Novellierung [BMU 2007], die eine Verschärfung der Grenzwerte vorsieht, sind in Tabelle 1 eingefügt.

Auf den ersten Blick sieht es so aus als wenn in China ähnlich strenge Anforderungen wie in Deutschland gelten. Hier ist allerdings anzumerken, dass in China wesentlich höhere jährliche Klärschlammgaben pro Hektar und Jahr erlaubt sind. So dürfen in China jährlich bis zu 30 Mg TS/ha aufgebracht werden, während es in Deutschland maximal 5 Mg TS/ha innerhalb von 3 Jahren sind, also jährlich lediglich 1,67 Mg TS/ha. Entsprechend geringer sind die Schadstofffrachten.

Für die Deponierung von entwässerten kommunalen Klärschlämmen gibt es bisher noch keine weitergehenden Anforderungen, diese sind aber in Vorbereitung. So soll künftig ein TS-Gehalt von mindestens 40% eingehalten werden. Die chinesischen Kläranlagen sind, falls überhaupt eine maschinelle Klärschlammwäscherung installiert ist, in den meisten Fällen mit Siebbandpressen ausgerüstet, die eine Entwässerung auf circa 20% TS zulassen. Deshalb bleibt abzuwarten, ob diese Regelung in Kraft treten wird bzw. der anschließende Vollzug der Regelung funktionieren wird.

An dieser Stelle ist grundsätzlich anzumerken, dass es in China in einigen Teilbereichen des Umweltschutzes klare rechtliche Anforderungen gibt, diese aber häufig in der Praxis nicht umgesetzt werden, so dass es ein großes Vollzugsdefizit gibt. Ebenso ist festzustellen, dass die in China verfügbaren Zahlen und Informationen nach deutschen Maßstäben in vielen Fällen als nicht belastbar einzustufen sind und deshalb immer mit Vorsicht interpretiert werden müssen.

**Tabelle 1:** Klärschlammgrenzwerte für landwirtschaftliche Verwertung in Deutschland und China (Angaben in mg/kg TS außer PCDD/PCDF in ngTE/mg TS; E.Coli in KBE)

Parameter	Deutschland AbfKlärV			China GB18918-2002	
	Böden mit pH 5 - 6	Böden mit pH > 6	Novellierung AbfKlärV	Böden mit pH < 6,5	Böden mit pH > 6,5
Blei	900	900	120	300	1000
Cadmium	5	10	2,5	5	20
Chrom	900	900	100	600	1000
Kupfer	800	800	700	800 (250) <sup>1)</sup>	1500 (500) <sup>1)</sup>
Nickel	200	200	60	100	200
Quecksilber	8	8	1,6	5	15
Zink	2000	2500	1500	2000 (500) <sup>1)</sup>	3000 (1000) <sup>1)</sup>
Arsen				75	75
Bor				150	150
MKW				3000	3000
PCDD/PCDF	100	100	30	100	100
PCB	0,2	0,2	0,1	3	3
AOX	500	500	400	500	500
Benzo(a)pyren			1		
Coli-Bakterien				0,2	0,2

<sup>1)</sup> Für Kupfer und Zink gibt die alte Richtlinie GB 4284-84 [MURCEP 1984] für die landwirtschaftliche Nutzung strengere Grenzwerte als die Richtlinie GB 18918-2002 vor

## 5 Stand der Abwasserbehandlung und Klärschlammensorgung

Die im ländlichen Raum fehlende und in den Städten, trotz intensiver Anstrengungen, noch unzureichende Sammlung und Behandlung der Abwässer gehört zu den wesentlichen Umweltproblemen in der VR China.

Erste Ansätze im Bereich der Abwasserbehandlung gab es bereits in den 70er Jahren des vergangenen Jahrhunderts; die erste größere Kläranlage „Jizhuangzi“ wurde 1982 in Tianjing mit Kapazität von 260.000 m<sup>3</sup>/d errichtet. Danach wurden vielen neuen Kläranlagen in Beijing, Shanghai, Jiangsu und anderen Provinzen gebaut. Von 1996 bis 1999 wurden insgesamt 22 neue Kläranlagen gebaut, 596 Millionen Euro wurden investiert. Die Behandlungsmöglichkeiten erhöhten sich auf 3.717.000 m<sup>3</sup>/d. Laut einer staatlichen Analyse gab es im Jahr 2000 in China insgesamt 427 Kläranlagen, wovon 282 als zweistufige Anlagen, bestehend aus mechanischer und biologischer Reinigungsstufe ausgelegt waren. Nach Informationen des Bauministeriums wurden bis 2006 mehr als 1.000 Kläranlagen neu gebaut, davon 661 kommunale Kläranlagen. Täglich können damit 80.000.000 m<sup>3</sup> Abwasser biologisch behandelt werden [Case Studies 2007].

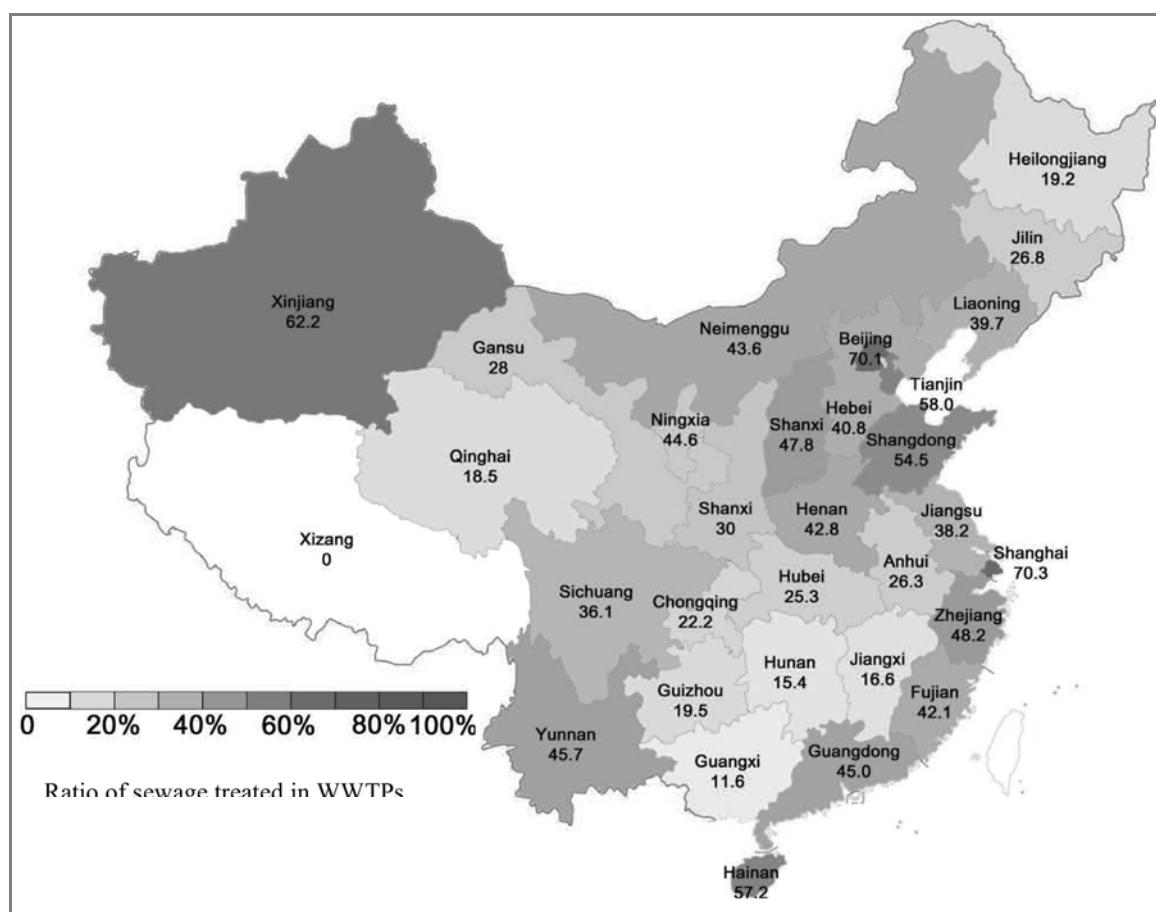


Abbildung 2: Quote der Abwasserbehandlung in der VR China [He et al. 2007]

Die Quote des Abwassers, das einer Behandlung zugeführt wird, ist in der VR China sehr unterschiedlich und ein Spiegel der wirtschaftlichen Entwicklung (Abbildung 2). Zurzeit werden verschiedene Abwasserreinigungsverfahren in China verwendet, wobei in den meisten Fällen Belebtschlammverfahren als biologische Stufe eingesetzt werden.

Neben Rechengut und Sandfanggut entsteht bei der Abwasserbehandlung Klärschlamm. Die derzeit jährlich entstehende Klärschlammmenge wird auf ca. 10 Mio. Mg geschätzt [Case Studies 2007], wobei ein durchschnittlicher Wassergehalt von 80% angenommen wird. Der Klärschlammfall wird durch den Neubau weiterer Anlagen stetig ansteigen. Damit fällt in der VR China jetzt etwa so viel Klärschlamm wie in Deutschland an (Basis TS).

Die Berlinwasser International AG [Berlinwasser 2007] schätzt den derzeitigen Klärschlammfall auf jährlich ca. 3 Mio. Mg TS (Bezugsjahr 2006). Bis zum Jahr 2010 kann der Klärschlammfall auf 6,6 Mio. Mg TS ansteigen und wenn die gesamte derzeitige kommunale Abwassermenge behandelt würde, wäre mit 8,4 Mio. Mg TS Klärschlamm zu rechnen.

Geht man davon aus, dass von den im Jahr 2050 in China voraussichtlich lebenden 1,5 Mrd. Menschen etwa 80% an eine kommunale Kläranlage angeschlossen werden und rechnet die Tabelle 2 angegebenen Werte hoch, so sind langfristig in China über 70 Mio. Mg TS Klärschlamm zu erwarten.

Tabelle 2: Kalkulationsgrundlagen Klärschlammfall in der VR China  
[Case Studies 2007]

Tägliche Trockensubstanz je Einwohner	[g TS/EW]	60
Tägliche Schlammproduktion je Einwohner (bei 20% TS)	[kg/EW • d]	0,30
Kläranlagenkapazität je eine Million Einwohner	[m <sup>3</sup> /d]	250.000
Tägliche Klärschlammrohmasse je eine Million Einwohner	[Mg TS/d]	60
Tägliche Klärschlammmasse je Mio. Einwohner (bei 20% TS)	[Mg/d]	300

Der Klärschlamm wird bei den größeren kommunalen Abwasserreinigungsanlagen in der Regel mittels Siebbandpressen auf einen TS-Gehalt von etwa 20% entwässert und wird dann in dieser Form verwertet bzw. entsorgt. Eine Verwertung erfolgt in der Landwirtschaft oder im Gartenbau. Entsorgt werden Klärschlämme auf Deponien oder Müllkippen oder in Verbrennungsanlagen (Abb. 3).

Für die Klärschlammverwendung sind Regelungen in Vorbereitung [Berlinwasser 2007, RISN 2008]. Danach soll der Wassergehalt beim Einsatz in der Landwirtschaft unter 45% und beim Einbau gemeinsam mit Hausmüll unter 60% betragen. Beim Einsatz von Klärschlamm bei der Zwischenabdeckung bzw. Rekultivieren von Deponien soll der Wassergehalt maximal 45% betragen.

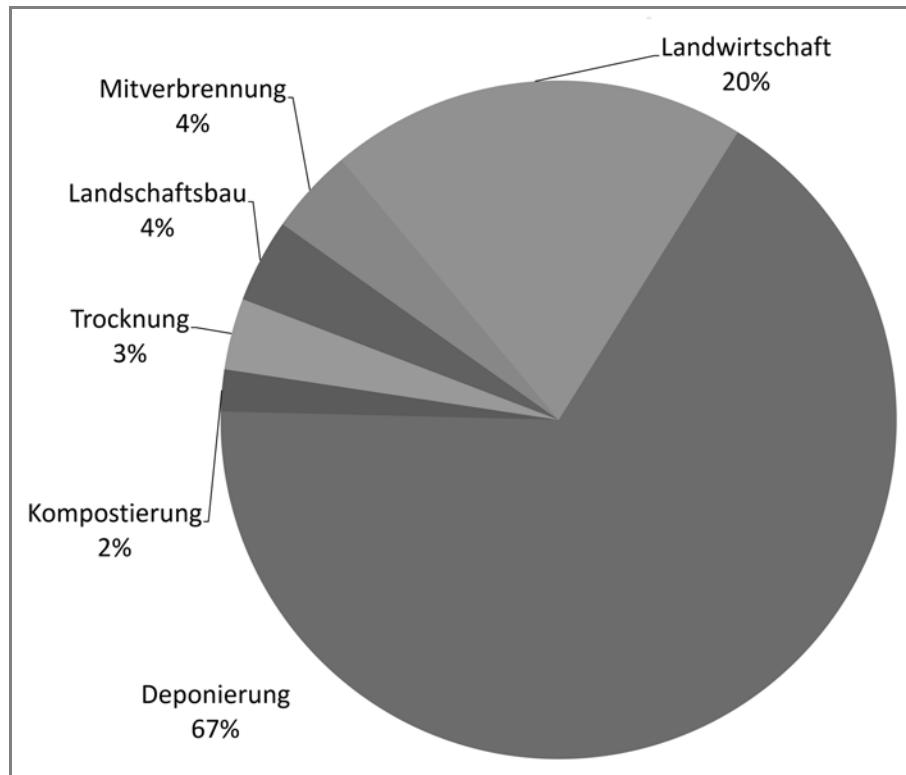


Abbildung 3: Verbleib der Chinesischen Klärschlämme nach Schätzungen der Berlinwasser International AG [Berlinwasser 2007]

Für die Deponierung gemeinsam mit anderen Abfällen werden derzeit die Rahmenbedingungen für den Schadstoffgehalt des Klärschlamm erarbeitet (Tabelle 3).

Tabelle 3: Maximale Schadstoffgehalte bei der Deponierung von Klärschlamm [mg/kg TS] [RISN 2008]

Cd	Hg	Pb	Cr	As	Ni	Zn	Cu	MKW	Phenole	Cyanide
20	25	1.000	1.000	75	200	4.000	1.500	3.000	40	10

Trotz der Vielzahl der neuen Kläranlagen und der immensen Baugeschwindigkeit sind noch bei weitem nicht alle Abwasserprobleme gelöst. Insbesondere folgende Probleme und Herausforderungen lassen sich bezüglich der Kläranlagen in der VR China zusammenfassen:

### **Schwierigkeiten bei der Finanzierung neuer Kläranlagen**

In China wurden sehr viele Kläranlagen gebaut, trotzdem ist der Bedarf der Abwasserbehandlung noch nicht gedeckt. Weniger als 70% der gesamten städtischen Abwässer werden behandelt.

Neue Kläranlagen werden hauptsächlich für große Städte gebaut. In kleinen Städten (Anmerkung: < 500.000 Einwohner) und im Norden und Westen Chinas, den wirtschaftlich noch nicht so entwickelten Gebieten, gibt es kaum Kläranlagen (Abbildung 2). In ländlichen Bereichen bleibt das kommunale Abwasser häufig unbehandelt.

### **Probleme bei der Finanzierung des Anlagenbetriebs**

Das Wasserrecht der VR China verpflichtet zur Erfassung des Trinkwasserverbrauchs, der die Grundlage für die Festlegung der Gebühren bildet. Ein Teil des Geldes wird dann für den Betrieb der Abwasserreinigungsanlagen eingesetzt. Mangelhafte Organisation verhindert den sachgerechten Einsatz und die Verteilung des Geldes. Das kann bis zu Kläranlagenabschaltungen führen.

### **Unzureichender technischer Ausstattungsstandard der Kläranlagen**

In Kläranlagen werden technische Ausrüstungen verschiedener Hersteller eingesetzt. Ausländische Geräte sind normalerweise von hoher Qualität aber für chinesische Verhältnisse teuer. In China gibt es inzwischen einige Produzenten, die Geräte und Anlagen für Kläranlagen anfertigen. Die Qualität der einheimischen Geräte ist nicht immer ausreichend, so dass Anlagenstillstände die Folge sein können.

### **Planungsfehler und unzureichende Beachtung lokaler Rahmenbedingungen**

Mangelnde Erfahrungen bei Bau und Betrieb von Kläranlagen und unzureichend ausgebildetes Personal erschweren die Umsetzung der Ziele der Abwasserreinigung. Erst seit kurzem ist die Abwasserbehandlung ein wichtiges Thema in China. An vielen Universitäten werden neue Forschungs- und Lehrkapazitäten aufgebaut. Bisher gibt es in China nur wenige erfahrene Spezialisten.

### **Fehlende Schlammbehandlung**

Viele Kläranlagen sind nur bis zum Prozess Schlammwäscherung geplant und gebaut. Selten ist eine Schlammfaulung vorhanden. Das Volumen des zu entsorgenden Nassschlamms ist entsprechend groß. Auch wird das Energiepotential des Schlamms unzureichend genutzt.

### **Probleme bei der Klärschlammverwertung**

Das Problem der unzureichenden Klärschlammverwertung bzw. -entsorgung trifft vor allem die wirtschaftlich fortschrittlichen Städte und Küstenregionen, wo auch die meisten Kläranlagen schon gebaut bzw. noch zu bauen sind.

Die Akzeptanz bei den Bauern, den entwässerten Klärschlamm in der Landwirtschaft einzusetzen, ist stark gesunken, so dass dieser Verwertungsweg in vielen Gegenden der VR China derzeit ausfällt.

Zuflüsse industrieller Abwässer erhöhen die Schadstoffbelastung im Schlamm. Pb, Cr, Ni, Cu und Zn überschreiten die Grenzwerte (GB18918-2002) besonders deutlich und häufig. Untersuchungen von Schlämmen aus der Provinz Jiangshu und Shanghai City [He et al. 2007] zeigen deutliche Unterschiede in der Schlammqualität (Tabelle 4). Durchschnittliche Klärschlämme erfüllen aber durchaus die Anforderungen der GB18918-2002 [SEPA 2002]. Die Qualität der chinesischen Klärschlämme scheint eine landwirtschaftliche Verwertung nicht prinzipiell auszuschließen. Allerdings ist auch hier die Qualität der Analysendaten zu hinterfragen.

Tabelle 4: Schwermetalle in Klärschlämmen [mg/kg TS] der Provinz Jiangshu und Shanghai City [He et al. 2007]

Schwermetalle		As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Minimum		0	0	1,13	101	0	19,7	0,95	147
Maximum		71,0	248	4.130	13.700	9,25	3.420	740	8.120
Grenzwert	Boden pH < 6,5	75	5	600	800	5	100	300	2.000
	Boden pH ≥ 6,5	75	20	1.000	1.500	15	200	1.000	3.000

Da die Klärschlammensorgung bei dem Ausbau der kommunalen Kläranlagenkapazitäten keine bzw. eine völlig untergeordnete Rolle spielt, sind hier insbesondere folgende Maßnahmen erforderlich:

- Schaffung und Vollzug klarer rechtlicher Rahmenbedingungen für die wesentlichen Klärschlammverwertungs- und -entsorgungspfade,
- Nachrüstung bestehender Kläranlagen mit maschinellen Entwässerungsstufen und Berücksichtigung der Klärschlammbehandlung bei Neubauten,
- Landwirtschaftliche oder landschaftsbauliche Verwertung nur von gering belasteten Klärschlämmen,
- Schaffung von Deponieraum und thermischen Behandlungskapazitäten für die zu erwartenden steigenden Klärschlammengen.

## 6 Beispiel der Abwasserreinigung und Klärschlammverwendung in Anhui – Stadt Hefei

In unmittelbarer Nähe der Provinzhauptstadt Hefei liegt der „Chao See“. Der See ist der fünftgrößte Binnensee Chinas und etwa um ein Drittel größer als der Bodensee. Der Chao See ist eutrophiert und um das Problem zu lösen hat die Stadt drei Kläranlagen gebaut. Sie haben eine Behandlungskapazität von 435.000 m<sup>3</sup> pro Tag. Ziel ist es, langfristig die Qualität des Seewassers so weit zu verbessern, dass die Trinkwassergewinnung ohne großen technischen Aufbereitungsaufwand wieder möglich wird. Beispielhaft wird im Folgenden die Kläranlage „Wangxiaoying“ beschrieben, die im Rahmen eines Joint-Ventures von der Berlinwasser International AG betrieben wird.

## 6.1 Kläranlage „Wangxiaoying“

Die Kläranlage „Wangxiaoying“ ist die größte Kläranlage in der Stadt Hefei und beschäftigt derzeit 77 Mitarbeiter. Sie liegt im Südosten der Stadt. Der Bau der Kläranlage erfolgte in zwei Bauabschnitten ab 1993 und es wurden insgesamt 35 Mio. Euro investiert. Die erste Anlage, erbaut von 1993 bis 1998, hat eine Reinigungskapazität von 150.000 m<sup>3</sup> pro Tag. Die Erweiterung, hinzugefügt zwischen 1998 und 2001, hat ebenfalls eine Kapazität von 150.000 m<sup>3</sup> pro Tag. Die gesamte Anlage kann im Notfall täglich bis zu 339.000 m<sup>3</sup> Abwasser behandeln. Das Abwasser, das in „Wangxiaoying“ behandelt wird, stammt zu 60% aus kommunalen Quellen und zu 40% aus der Industrie.

In „Wangxiaoying“ wird das Abwasser aus dem „alten Stadtviertel“, aus der südwestlichen Vorstadt und aus dem Gebiet „Shijia He“ behandelt. Die gesamte Anlage besteht aus Rechen, Sandfang, Vorklärbecken, Belebungsbecken, Nachklärbecken und einer mechanischen Entwässerungsanlage zur Klärschlammwässe rung (Siebbandpressen).



Abbildung 4: Kläranlage „Wangxiaoying“ in Hefei, Provinz Anhui

Das verschmutzte Wasser fließt zuerst durch einen groben Rechen (Stababstand 15 mm) und einen Feinrechen (Stababstand 10 mm). Nach dem Sandfang bleibt das Wasser etwa 2,5 Stunden im Vorklärbecken. Hier wird ein Teil des Phosphors abgeschieden. Biologisch behandelt wird das Abwasser mit dem SBR-Verfahren (Sequencing Batch Reactor). Abschließend folgt die Nachklärung.

Alle Wasserparameter sind beim fehlerfreien Betrieb unter den Grenzwerten. Das gereinigte Wasser wird in den „Süd-Fei Fluss“ eingeleitet und fließt in den Chao See. Ein Teil des gereinigten Wassers wird als Bewässerungswasser im Gartenbau genutzt.

Der entstehende Klärschlamm hat nach der mechanischen Entwässerung (Abbildung 5) etwa einen Wassergehalt von 80%. Die entwässerten etwa 40 Mg TS Klärschlamm pro Tag werden anschließend vom Betreiber der Kläranlage im Auftrag der Stadt Hefei zum Ort der Verwertung bzw. Entsorgung, teilweise bis zu 80 km weit, transportiert. Nach Aussage des Leiters der Kläranlage wurde der Klärschlamm früher deponiert und derzeit als Sekundärdünger in Gärten oder Parks verwendet. Die Klärschlammqualität der Anlage „Wangxiaoying“ wird vom Betreiber als gut bezeichnet. Die chinesischen Grenzwerte werden eingehalten; viermal jährlich erfolgt eine Qualitätskontrolle (Tab. 5). Trotzdem laufen in der Stadt Hefei derzeit die Planungen für die Errichtung einer Co-Verbrennungsanlage für Klärschlamm. Eigene Untersuchungen der Klärschlämme liegen bisher nicht vor.



Abbildung 5: Siebbandpressen der Kläranlage „Wangxiaoying“

Tabelle 6: Qualität der Klärschlämme der Anlage „Wangxaoing“ im Vergleich zu den chinesischen Grenzwerten [SEPA 2002]

Parameter	Werte der Untersuchung [mg/kg TS]		Grenzwert [mg/kg TS]	
	1. Probe	2. Probe	Boden (pH < 6,5)	Boden (pH ≥ 6,5)
Cd	2,2	2,2	5	20
Hg	8,2	6,88	5	15
Pb	83,4	83	300	1.000
As	15,2	15	75	75
Ni	51,1	42,5	100	200
Zn	278	344	2.000	3.000
Cu	248	181	800	1500
Mn	458	304	-	-
Organik	46	44	-	-
TN	36.500	35.000	-	-
TP	8.800	8.200	-	-

## 7 Zusammenfassung und Ausblick

Die Ausführungen zeigen, dass die Abwasserbehandlung und die Klärschlammversorgung in der VR China noch am Anfang stehen und noch zahlreiche Probleme zu lösen sind. Hier sind beispielsweise die fehlenden oder unkonkreten umweltrechtlichen Rahmenbedingungen, fehlende Konzepte und Anlagen zur Klärschlammbehandlung und -entsorgung, unübersichtliche Zuständigkeiten von Behörden, ein nicht funktioniegender Vollzug, fehlendes Fachwissen bei den Entscheidungsträgern und Anlagenbetreibern, mangelhafte Umsetzung technischer Lösungen usw. zu nennen. Diese Kombination führt derzeit zu erheblichen Umweltbelastungen.

Auf der anderen Seite gilt es zu bedenken, dass wir in Deutschland einige Jahrzehnte benötigt haben, um den heutigen hohen Standard bei der Verwertung und Entsorgung von Klärschlamm zu erreichen. Vor diesem Hintergrund sind die Entwicklungen in der VR China positiv zu bewerten.

Es gibt aber noch viele Probleme zu lösen. Bei den kommunalen städtischen Kläranlagen, an die derzeit fast immer industrielle Einleiter in erheblichem Umfang angeschlossen sind, ist derzeit aus Vorsorgegründen auf die landwirtschaftliche und landschaftsbauliche Verwertung der Klärschlämme zu verzichten. Diese Option kommt nur mittel- und langfristig bei entsprechender Steigerung der Klärschlammqualität

(Abkopplung industrieller Einleiter von kommunalen Kläranlagen usw.) in Frage. Kurzfristig müssen die Deponiekapazitäten für Klärschlämme ausgebaut werden und mittelfristig wird die thermische Klärschlammbehandlung einen größeren Stellenwert einnehmen.

Für die universitätsnahen Einrichtungen wie dem Chinesisch-Deutschen Umwelttechnologietransferzentrum (CETK) an der Universität Hefei ist die zu leistende Überzeugungsarbeit ein wichtiges Arbeitsfeld, insbesondere um den europäischen Anbietern den Markteintritt zu erleichtern. Die Kooperation mit Einrichtungen an der Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Wirtschaft, die es immer häufiger in China gibt, kann eine gute Option für Technologieanbieter aus Europa sein, den chinesischen Umweltmarkt zu sondieren und erste Pilot-Projekte mit kalkulierbarem Aufwand durchzuführen. In diesen strategischen Partnerschaften steckt viel Potenzial, das aus Sicht der Autoren in Zukunft noch mehr genutzt werden sollte.

## 8 Literaturverzeichnis

Wu, K.; Nelles, M.; Cai, J.; Yu, Z.; Jin, J.; Liu, B.: „Practice of Source Separation of Municipal Solid Waste in Hefei“, Beitrag im Tagungsband 2, Seite 62-69 der 1. Internationalen Konferenz „Pollution Control and Resource Reuse for a better Tomorrow and sustainable Economy“ an der Tongji Universität Shanghai vom 18. bis 22. Oktober 2005, Shanghai, VR China (10/2005).

Nelles, M.; Fritz, T.; Stöver, P.; Wu, Ke.: „Biologische Abfallbehandlung im Schwellenland VR China am Beispiel Hefei“; Vortrag und Beitrag im Tagungsband zur 10. Internationalen Abfallwirtschaftstagung DepoTech 2006, Seite 73 bis 80 vom 22. bis 24. November 2006 an der Montanuniversität Leoben, Österreich (11/2006).

Nelles, M; Morscheck, G.; Nassour, A.; Toth, Z. (2007): Abfall- und Stoffstromwirtschaft – ein Beitrag zur Nachhaltigkeit?! In: 10. Dialog Abfallwirtschaft, Tagungsband, Universität Rostock.

Bilitewski, B. (2006). „Circular Economy – Der chinesische Ansatz zur Kreislaufwirtschaft“ in: Lorber, K. E.; Staber, W.; Menapace, H.; Kienzl, N.; Vogrin, A.: DepoTech 2006, Abfall- und Deponietechnik – Abfallwirtschaft – Altlasten. Tagungsband zur 8. DepoTech Konferenz.

Sommer, C.: „Wieviel China braucht der Mittelstand“, Vortrag im Rahmen des China Gesprächskreises der IHK Hannover am 10. Mai 2007.

Linlin Du, Markus Klemmer, Bin Lu, Michael Rode (2007): Optimierung der Abfallbewirtschaftung der Haushaltsabfälle in China - am Beispiel der Stadt Hefei; 3. Vertiefungsprojekt am Institut für Umweltplanung, Leibniz Universität Hannover.

Nelles, M.; Raninger B.; Stöver, P.; Wu, Ke; Cai, J.; Li, A.: "Integrated Biological Systems for Sustainable Waste Management", Vortrag und Beitrag im Tagungsband zur 1. IFAT Shanghai vom 29. Juni bis 2. Juli 2004 in Shanghai, VR China (7/2004).

BMU - Referat WA II 4: Novellierung der Klärschlammverordnung (AbfKlärV); Synoptische Darstellung der Änderungsvorschläge; Arbeitsentwurf - Stand: 19.11.2007.

Case Studies for Options of Sustainable Sewage Sludge Disposal at Wastewater Treatment Plants in China - A Conclusive Report; Financial Cooperation between the People's Republic of China and Germany; March 2007.

Berlinwasser International Aktiengesellschaft; schriftliche Mitteilungen.

He, P. J; Lu, F; Zhang, H; Shao, L. M; Lee, D. J.: Sewage sludge in China: challenges to-ward a sustainable future; In: LeBlanc, Ronald J; Laughton, Peter J; Tyagi, Rajesh: Moving forward wastewater biosolids sustainability: technical, managerial, and public synergy; New Brunswick, GMSC, 2007. Seite 39-45; Conference, Proceedings on Moving Forward Wastewa-ter Biosolids Sustainability: Technical, Managerial, and Public Synergy, New Brunswick, 24-27 Jun. 2007.

SEPA - State Environmental Protection Administration of China, Beijing, China (2002): Criteria for controlling the discharge of pollutants from municipal wastewater treatment plant, GB18918–2002.

MURCEP - Ministry of Urban and Rural Construction and Environmental Protection (1984): Control standards for pollutants in sludges for agricultural use, GB4284-84.

RISN - Research Institute of Standards & Norms, Beijing, China (2008): Internet: <http://www.risn.org.cn/xdzl/a61/0.asp>; 12.01.2008.

## Autorenverzeichnis

Dipl.-Ing. Holger Alwast Prognos AG Goethestraße 85 D - 10623 Berlin	Prof. Dr. jur. Walter Frenz Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen Wöhlerstraße 2 D - 52062 Aachen
Dr. Bärbel Birnstengel Prognos AG Goethestraße 85 D - 10623 Berlin	Dr. Oliver Gohlke MARTIN GmbH für Umwelt- und Energietechnik Leopoldstraße 248 D - 80807 München
Dr. Ralf Borghardt BKB Premnitz GmbH Dr. Herbert-Rein-Strasse 1 D - 14727 Premnitz	MR Dr. Andreas Jaron Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Robert-Schumann-Platz 3 D - 53175 Bonn
Prof. Emeritus Dr.-Ing. A. Buekens Domstraße 7 B - 1602 Vlezenbeek	Dipl.-Ing. Sven Kappa Vattenfall Europe Generation AG & Co. KG Vom-Stein-Straße 39 D - 03050 Cottbus
Dipl.-Ing. Thomas Bürgler voestalpine Stahl GmbH voestalpine-Strasse 3 A - 4020 Linz	Ass. Prof. Dr.-Ing. Avraam Karagiannidis Aristoteles Universität zu Thessaloniki GR - 54124 Thessaloniki
Dipl.-Ing. Rainer Busch RWE Power AG Huyssenallee 2 D - 45128 Essen	Dipl.-Ing. Rolf Kaufmann BKB AG Schöninger Straße 2-3 38350 Helmstedt
Dipl.-Ing. Dietrich-Georg Ellersiek Siemens AG Kaiserleistr. 10 D - 63067 Offenbach am Main	Tao Liu Hefei University 373 Huang Shan Lu CHN - Anhui 230022
Dipl.-Biol. Horst Fehrenbach IFEU – Institut für Energie- und Umweltforschung GmbH Wilckensstraße 3 D - 69120 Heidelberg	Dipl.-Ing. Frank Mielke Vattenfall Europe Waste Management GmbH Überseering 12 22297 Hamburg

## Autorenverzeichnis

Dr. Gert Morscheck  
Universität Rostock  
Justus-von-Liebig-Weg. 6  
D-18059 Rostock

Dipl.-Ing. Andreas Sparmann  
Vattenfall Europe Generation AG & Co. KG  
Kraftwerk Jänschwalde  
Postfach 20 01 40  
D - 03182 Peitz

Prof. Dr. Michael Nelles  
Universität Rostock  
Justus-von-Liebig-Weg. 6  
D-18059 Rostock

Dipl.-Ing. Jörn Wandschneider  
Wandschneider + Gutjahr Ingenieurgesellschaft  
mbH  
Burchardstraße 17  
20095 Hamburg

Prof. Dr.-Ing. Bernd Neukirchen  
Ferdinand-Weerth-Strasse 40  
D - 45219 Essen - Kettwig

M.Sc. Ke Wu  
Hefei University  
373 Huang Shan Lu  
CHN - Anhui 230022

Dr.-Ing. Martin Oerter  
Forschungsinstitut der  
Zementindustrie GmbH  
Tannenstraße 2  
D - 40476 Düsseldorf

Dr.-Ing. Dirk Zachäus  
BKB AG  
Schöninger Straße 2-3  
38350 Helmstedt

Dr. Michael Pförtner  
EnBW Energie  
Baden-Württemberg AG  
Durlacher Allee 93  
D - 76131 Karlsruhe

**In der Schriftenreihe der Fachtagung sind bisher folgende Bände erschienen:**

**Herausgeber**

**Bernd Bilitewski, Martin Faulstich, Arnd I. Urban**

Band 1	Thermische Restabfallbehandlung ISBN 3-503-03915-5, 1. Fachtagung, Dresden, 1996	vergriffen
Band 2	Thermische Abfallbehandlung Entwicklung von Technik und Kosten einer Kreislaufwirtschaft ISBN 3-88122-892-6, 2. Fachtagung, Kassel, 1997	19,00 €
Band 3	Thermische Abfallbehandlung ISSN 0942-914X, 3. Fachtagung, Garching bei München, 1998	vergriffen
Band 4	Thermische Abfallbehandlung Co-Verbrennung ISBN 3-9805174-7-0, 4. Fachtagung, Dresden, 1999	vergriffen
Band 5	Thermische Abfallbehandlung Zukunft in Deutschland und Europa ISBN 3-89792-003-6, 5. Fachtagung, Kassel, 2000	19,00 €
Band 6	Thermische Abfallbehandlung ISSN 0942-914X, 6. Fachtagung, Garching bei München, 2001	Reste
Band 7	Thermische Abfallbehandlung ISBN 3-934253-09-1, 7. Fachtagung, Berlin, 2002	19,00 €
Band 8	Thermische Abfallbehandlung ISBN 3-937022-01-5, 8. Fachtagung, Berlin, 2003	19,00 €
Band 9	Thermische Abfallbehandlung ISBN 3-937022-3, 9. Fachtagung, Berlin, 2004	29,00 €
Band 10	Thermische Abfallbehandlung ISBN 3-934253-33-4, 10. Fachtagung, Berlin, 2005	29,00 €
Band 11	Thermische Abfallbehandlung ISBN 3-89958-198-9, 11. Fachtagung, München, 2006	39,00 €
Band 12	Thermische Abfallbehandlung ISBN 978-389958-274-1, 12. Fachtagung, München, 2007	39,00 €

Zuzüglich Porto & Verpackung und inklusive MwSt.

Band 2 bis Band 10:	Ab Band 11:
Vertrieb über:	Vertrieb über:
Universität Kassel	Kassel university press GmbH
Fachgebiet Abfalltechnik	Diagonale 10
34109 Kassel	34127 Kassel

## **Inhalt Band 8 (2003)**

- Radde, C.: Aktuelle Abfallpolitik des Bundes
- Johnke, B.: Neue europäische Entwicklungen -BAT und Energieeffizienz bei der thermischen Abfallbehandlung
- Faulstich, M.; Denk, H.: Bedeutung von Klimaschutz und Emissionshandel bei der thermischen Abfallbehandlung
- Keldenich, K.: Modulare dezentrale Kleinverbrennungsanlagen
- Quicker, P.; Faulstich, M.: Innovatives Verfahren zur dezentralen Klärschlammverbrennung
- Vehlow, J.; Hunsinger, H.; Seifert, H.: UPSWING - eine Kombination von Abfallverbrennung und Kraftwerk
- Metschke, J.: Kesseloptimierung an der MVA Schwandorf
- Schirmer, M.; Rotter, S.; Bilitewski, B.: Vorkommen und Einfluss von Chlor in der Abfallverbrennung
- Born, M.: Thermodynamik der Chlorkorrosion bei der Mitverbrennung von Abfällen in der Kohlefeuerung
- Neukirchen, B.: Sekundarbrennstoffen in Kohlekraftwerken?
- Wuttke, J.: Grenzüberschreitende Stoffströme - Notifizierung und Bedeutung für die thermische Abfallbehandlung
- Pütz, A.: Abfallverbringung in die Länder Osteuropas und die sich daraus ergebende Problematik für Deutschland
- Marutzky, R.: Holzmengenbilanz - Anfall und Verbleib
- Friedrich, H.: Vergleich von Müllverbrennung und Mitverbrennung - umweltpolitische Auswirkungen auf Stoffströme für Deutschland und Europa
- Baum, H. G.; Pehnelt, G.: Benchmarking von Thermischen Behandlungsanlagen in Deutschland - Ein bundesweiter Vergleich
- Giglberger, J.: Erfahrungen mit dem Einsatz von Gewerbemüll in bayerischen Müllverbrennungsanlagen
- Seeger, H.; Kock, O.; Urban, A. L.: Experimentelle Bestimmung des Verbrennungsverhaltens von Abfällen
- Bilitewski, B.; Härdtle, G.: Veredlung von Sekundärbrennstoffen durch Aufbereitung und Pelletierung

## **Inhalt Band 9 (2004)**

- Schnurer, Helmut: Aktuelles Abfallrecht
- Anderl, Helmut: Thermische Verwertung von Ersatzbrennstoffen in der Wirbelschicht 110 MW  
Reststoffverwertungsanlage RV-Lenzing (Österreich)
- Forkert, Jan; Kappa, Sven; Mielke Frank: Betriebserfahrungen bei der thermischen Verwertung  
von Sekundärbrennstoffen im Braunkohlekraftwerk
- Six, Jörg; Schmitt, Ferdinand: Wirbelschichtfeuerungsanlage Werdohl-Elverlingsen
- Urban, Arnd L; Bilitewski, Bernd; Faulstich, Martin: Prognosen zu Abfallmengen und  
Behandlungskapazitäten für die thermische Behandlung von Abfällen
- Kuchta, Kerstin: Stoffliche und energetische Verwertung von Shredderrückständen
- Mocker, Mario; Quicker, Peter; Faulstich, Martin: Möglichkeiten und Grenzen der gemeinsamen  
dezentralen Verwertung biogener Roh- und Reststoffe
- Metschke, Jörg: Korrosion und Korrosionsschutz
- Crimmann, Peter; Dimaczek, Gerold; Faulstich, Martin: Korrosionsschutz durch Thermisches  
Spritzen
- Zwahr, Heiner: Korrosionsschutz durch galvanisch aufgetragene Nickelschichten
- Blank, Peter: Betriebserfahrungen mit der Thermoselect-Anlage in Karlsruhe
- Spindeldreher, Olaf; Usdrowski, Norbert; Hauk, Rolf: Contherm - Thermische Abfallverwertung  
im Kraftwerk
- Johnke, Bernt: BREF/BAT-Entwurf Abfallverbrennung - Stand der Anlagentechnik in Europa
- Seeger, Hendrik; Urban, Arnd I.: Fortschritte bei der Analyse von Sekundärbrennstoffen in  
einer Verbrennungsanlage im Technikumsmaßstab
- Bleckwehl, Stefan; Walter, Roland; Kolb, Thomas; Seifert, Helmut: Charakterisierung des  
Abbrandverhaltens fester Brennstoffe
- Igelbücher, Andreas; Aykut, Halas: Weitere Entwicklung der Wirbelschichttechnik am Beispiel  
des offenen Düsenbodens
- Eckardt, Silke; Albers, Henning; Schirmer, Matthias; Bilitewski, Bernd: Einsatz von  
Ersatzbrennstoffen in Industrieanlagen Potenziale und wirtschaftliche Aspekte
- Winkler, Jörg: Vergleich der Abfallbehandlungsalternativen mit vorhandenen  
Ökobilanzmodellen

## **Inhalt Band 10 (2005)**

- Trittin, Jürgen: Grußwort
- Gaßner, Hartmut: Aktuelles Abfallrecht
- Jung, Gottfried: Der Bericht der LAGA zum Stand der Umsetzung der Ablagerungsverordnung
- Radde, Claus-Andre: Deponiefreie Siedlungsabfallwirtschaft-Zielstellung 2020 - Utopie oder realistische Aufgabe?
- Stengler, Ella: Stand und Perspektiven der thermischen Abfallbehandlung in Europa
- Haferkamp, Rolf: EBS - Vollständiger Kreislauf durch Einsatz Thermischer Verfahren
- Mantau, Udo; Wagner, Jörg: Stoffstromanalyse Holz in Deutschland - Dauerhafte Nutzung oder Abfall?
- Flamme, Sabine: Bestimmung des biogenen Anteils in Sekundärbrennstoffen
- Prochaska, Michael; Pomberger, Roland; Lorber, Erich-Karl: Aufbereitungsanlage für Ersatzbrennstoffe (ThermoTeam-Anlage) - Qualitätsrelevante Anlagenmodifikationen und Weiterentwicklung der Qualitätssicherung
- Glorius, Thomas; Hüskens, Jürgen: Verminderung des Chlorgehaltes im Brennstoff durch neue Sortiertechniken
- Löschau, Margit; Rotter, Susanne: Einfluss komplexer Entsorgungssysteme auf die Thermische Abfallbehandlung
- Treder, Martin; Salamon, Andreas: Energetische Verwertung von niederkalorischen Restabfallfraktionen in einer MVA
- Hoepfner, Jürgen: Potenzial der Rostfeuerung zur thermischen Abfallbehandlung
- Igelbüscher, Andreas: Einsatz der Wirbelschichttechnik in der Abfallwirtschaft - Praktische Grundlagen, Anwendungsbeispiele
- Krämer, Jochen: Planung einer energetisch optimierten thermischen Abfallbehandlungsanlage am Beispiel der HR-AVI-Amsterdam
- Reimann, Dieter O.: Ermittlung und Bedeutung von Wirkungsgraden und Kennzahlen zur energetischen Nutzung von Abfallverbrennungsanlagen
- Kaufhold, Edgar; Kaufmann, Rolf; Goedecke, Helge: Kostenstrukturen bei der thermischen Abfallbehandlung
- Zwahr, Heiner: MV - Schlacke - mehr als nur ein ungeliebter Baustoff?
- Lang, Daniel J.; Seil, Joachim; Scholz, Roland W.; Stäubli, Beat: Die Rolle der thermischen Abfallbehandlung im Ressourcenmanagement
- Seeger, Hendrik; Urban, Arnd L: Online-Heizwertbestimmung in einer Müllverbrennungsanlage
- Schirmer, Matthias: Freisetzungsvorverhalten von Chlor unter Berücksichtigung von Schwefel und Alkalimetallen
- Bendix, Dietmar; Quicker, Peter; Faulstich, Martin: Perspektiven der Vergasungstechnik
- Faulstich, Martin; Reichenberger, Hans-Peter; Mocker, Mario; Quicker, Peter: Aschen aus Biomassefeuerungen
- Bilitewski, Bernd; Faulstich, Martin; Urban, Arnd L: Neue Verfahren - warum sind sie gescheitert, welche Zukunft haben sie?

## **Inhalt Band 11 (2006)**

- Bernhard, Otmar: Grußwort
- Vehlow, Jürgen: Internationale Entwicklungen der thermischen Abfallbehandlung
- Kleppmann, Ferdinand: Entwicklung der thermischen Abfallbehandlung  
in der Europäischen Union
- Radde, Claus-Andre: Entwicklung der Abfallwirtschaft in Deutschland
- Hoffmann, Peter-Olaf: Auswirkungen der TASi auf die Auslastung von  
Müllverbrennungsanlagen in Nordrhein-Westfalen
- Bendix, Dietmar; Metschke, Jörg: Neue Korrosionsschutzkonzepte für  
Abfallverbrennungsanlagen
- Schettler, D.; Schroer, Kay; Görner, Klaus: Einsatz einer Online-Korrosionsmesssonde  
bei der thermischen Abfallbehandlung
- Grotfeld, Volker; Poos, Bernhard: Betriebssicherheit durch Dokumentation in  
Müllheizkraftwerken mit Hilfe von Standardsoftware
- Beyer, Michael; Hellwig, Udo: Leistungssteigerung durch Wasserumlaufmessung  
in Kesselanlagen
- Schopf, Norbert; Lindner, Walter: Emissions- und kostenoptimierte Brennersysteme
- Klasen, Thomas; Görner, Klaus; Auel, Werner; Sudau, Bernd: Optimierung des MHW Bremen -  
Simulation und Betriebserfahrung
- Bilitewski, Bernd: Berechnung von CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten für die Optimierung von  
Müllverbrennungsanlagen
- Kienzl, Norbert; Staber, Wolfgang; Prochaska, Michael; Raber, Georg; Schirmer, Matthias:  
Bestimmung des biogenen Anteils in Ersatzbrennstoffen
- Span, Roland: Stand der CO<sub>2</sub>-Abscheidung bei Kraftwerken
- Schröer, Ramona; Urban, Arnd L; Schirmer, Matthias: Verbesserte Chloruntersuchung von  
Brennstoffen im Technikumsmaßstab
- Mocker, Mario; Quicker, Peter; Faulstich, Martin: Dezentrale thermische Abfallbehandlung -  
Praxiserfahrungen im Pilotmaßstab
- Löschau, Margit; Rotter, Susanne: Input-Output-Analyse als Planungs- und  
Bewertungsinstrument
- Johnke, Bernt; Krause, Susann; Hermann, Tim: Erfolge und Pannen bei der Entwicklung der  
thermischen Abfallbehandlung. Ein lehrreicher Rückblick.
- Glorius, Thomas: Erfahrungen mit Produktion und Einsatz gütegesicherter  
Sekundärbrennstoffe - RECOFUEL
- Büchner, Harm-Peter: Was machen neue Anlagen anders?
- Günther, Johannes: Erste Betriebserfahrungen der TREA Leuna mit integriertem Ballen-  
Zwischenlager
- Gohlke, Oliver: Erfahrungen und Entwicklungen des Anlagenbaus für eine deponiefreie  
Abfallwirtschaft 2020

## **Inhalt Band 12 (2007)**

- Jaron, Andreas: Aktuelle Entwicklung der europäischen Abfallwirtschaft
- Kohler, Ludwig: Bayerische Abfallsituation
- Bauer, Werner P.: Werden aus Zwischenlager Endlager?
- Fleck, Edmund: Stand und Entwicklung der thermischen Abfallbehandlung
- Gass, Horst: Messstrategie und Emissionsüberwachung an stationären Quellen unter Berücksichtigung der DIN EN 15259 E
- Metschke, Jörg: Erfahrungen mit wassergekühlten Rosten
- Nethe, Lutz-Peter: Neue Additive in der Rauchgasreinigung thermischer Prozesse
- Wandschneider, Jörn: Optimierungsmaßnahmen zur Steigerung des Wirkungsgrades (Beispiel AVI-Amsterdam und HR-AVI)
- Mocker, Mario; Quicker, Peter; Faulstich, Martin; Berger, Ralph; Beer, Stefan: Kleinverbrennungsanlage für Getreide und Stroh – eine Gemeinschaftsentwicklung in der Region Amberg-Sulzbach
- Gleis, Markus: Zwischenlagerung von brennbaren Abfällen und verfügbare Behandlungskapazitäten in Deutschland
- Flamme, Sabine: Stand der Europäischen Normung für Ersatzbrennstoffe
- Mantau, Udo: Holzaufkommen und –verwendung zwischen stofflicher und energetischer Verwendung
- Schröer, Ramona; Urban, Arnd I.: Kapazitätsvergrößerung durch Schnellverbrennung?
- Pacher, Christian; Faulstich, Martin; Eggenstein, Uwe; Quicker, Peter: Treibhausgasemissionen und Minderungspotenziale in Müllverbrennungsanlagen
- Schirmer, Matthias: Ersatzbrennstoffe und Chlor – ein noch immer ungelöstes Problem
- Mineur, Martin: Müllverbrennung im Spannungsfeld von Energienutzung und Ökonomie
- Beckmann, Michael: Wege zur Effizienzsteigerung bei der Abfallbehandlung
- Bilitewski, Bernd: Ist die MBA gescheitert?
- Reichenberger, Hans-Peter; Mocker, Mario; Quicker, Peter; Faulstich, Martin: Rückstände aus verschiedenen Verbrennungsanlagen



seit 1925

**MARTIN GmbH**  
für Umwelt- und Energietechnik

## Ihr Partner für die thermische Abfallbehandlung



(Foto: Thermische Abfallbehandlungsanlage Wien-Spittelau)



Modernste Technologie und ein traditionsreiches Familienunternehmen - das ist die MARTIN GmbH für Umwelt- und Energietechnik. Wir sind Ihr Partner für Engineeringleistungen, Lieferant von Komponenten oder Generalunternehmer für die Gesamtanlage. Ebenso stellen wir die Ersatzteilversorgung sowie die Betreuung und Beratung der in Betrieb befindlichen Anlagen sicher. Gemeinsam mit kompetenten Partnerfirmen haben wir weltweit mehr als 675 Verbrennungslinien in über 350 Anlagen nach dem MARTIN-System erstellt. Dies entspricht einer täglichen Verbrennungsleistung von 197.000 t Abfall. Diese Menge ist gleichzusetzen mit dem Müllaufkommen von etwa 130 Millionen Menschen. Als ein im Weltmarkt führendes Unternehmen im Bereich der Abfallverbrennung bieten wir Ihnen Kompetenz und Erfahrung sowie Anlagen, auf die Sie sich langfristig verlassen können.