

Österreichische Erfahrungen zum Einsatz verschiedener Abfälle als Ersatzbrennstoffe (EBS) und mögliche Anwendungsprobleme

K.E. Lorber, R. Sarc¹⁾ und R. Pomberger²⁾

1) Institut für Nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik (IAE), Montanuniversität Leoben, Österreich

2) Saubermacher Dienstleistungs AG, Graz, Österreich

ZUSAMMENFASSUNG

Es wird über die österreichischen Erfahrungen bei der Aufbereitung, Qualitätssicherung und dem Einsatz von Ersatzbrennstoffen (EBS) in Mitverbrennungsanlagen berichtet und es werden potentielle Probleme wie z.B. Anlagenkorrosion, Brandrisiko, Zwischenlagerbildung und Scheinverwertung angesprochen. Mit den gesetzlichen Regelungen beginnend, wird die Qualitätssicherung von EBS behandelt, Aufbereitungsmöglichkeiten für verschiedene EBS - Spezifikationen beschrieben und eine Klassifizierung von Ersatzbrennstoff - Qualitäten vorgenommen. Dabei wird u.a. auf den klassischen Zielkonflikt zwischen „Produktqualität und Masseausbringung“ sowie „Biogenen Anteil“ und „Heizwert“ hingewiesen. Anhand von zwei Fallbeispielen wird die Aufbereitung und Konfektionierung von niedrigkalorischen („Wirbelschicht EBS“), mittelkalorischen (HOTDISC - EBS) und hochkalorischen EBS (z.B. ASB) für die Zementindustrie dargestellt. Dabei wird gezeigt, wie durch die wissenschaftliche Methode der Stoffflussanalyse ganz gezielt Basisdaten zur Auslegung von EBS - Produktionsanlagen abgeleitet werden können, um damit aus gemischten Siedlungsabfällen und Gewerbemüll unterschiedliche EBS - Spezifikationen erzeugen zu können.

1. EINLEITUNG

Die Deponieverordnung 2004 (Dep VO 2004) stellt einen Wendepunkt in der österreichischen Abfallwirtschaft dar, da mit 1. 1. 2004 die Deponierung von Abfällen, deren TOC - Wert mehr als 5M% beträgt, nicht mehr zulässig ist. Damit ist es erforderlich geworden, den nach der getrennten Sammlung und Sortierung der Altstoffe übrig bleibenden „Restabfall“ vor seiner kontrollierten Ablagerung auf Deponien vorzubehandeln. Im Prinzip gibt es dazu zwei Verfahren: die thermische Behandlung in Müllverbrennungsanlagen (MVA) und die mechanisch-biologische Behandlung in MBA, siehe Abb. 1.

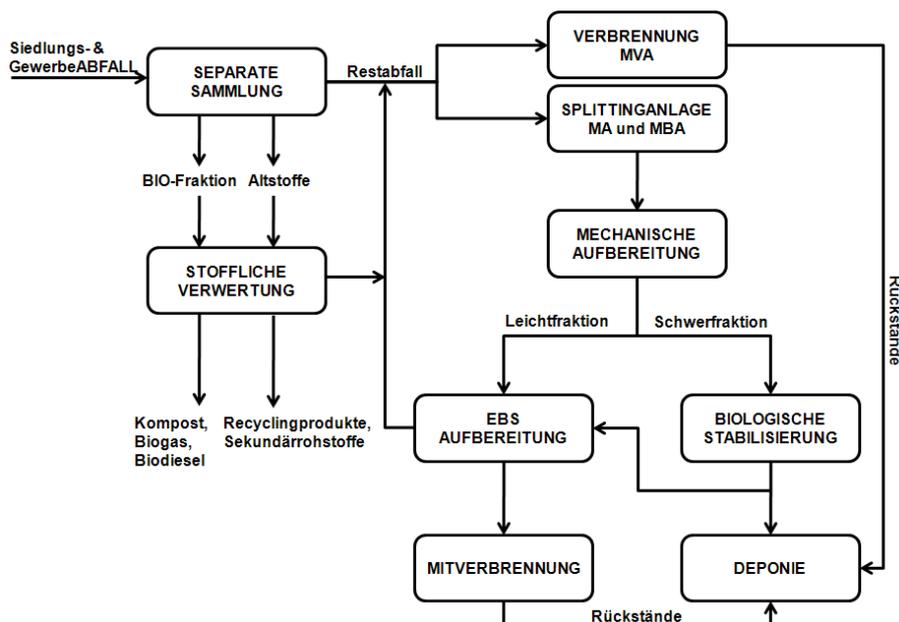


Abb. 1: Das österreichische „Restmüll-Splitting“ Konzept

Obwohl durch die mechanisch-biologische Restmüllvorbehandlung der nach der Deponieverordnung 2004 (bzw. der neuen Novelle Deponieverordnung 2008) geforderte

TOC < 5M% für das im Rottetunnel stabilisierte „MBA-Material“ nicht erreicht werden kann, ist durch eine Ausnahme-Klausel die Ablagerung auf (einem gesonderten Kompartiment) einer Massenabfalldeponie zulässig, sofern der Brennwert (Ho) 6.600 kJ/kg TM nicht überschreitet. Durch diese Regelung muss also der höhere kalorische Anteil bei der mechanischen Aufbereitung und der Siebung nach der Rotte abgetrennt und einer thermischen Behandlung/Verwertung zugeführt werden. Dazu kommt die Monoverbrennung in der MVA (z.B. Wirbelschichtverbrennungsanlagen) aber auch die Mitverbrennung als Ersatzbrennstoff (EBS) in Frage, wobei dieser durch Aufbereitung und Konfektionierung der Leichtfraktion hergestellt wird. In Österreich ist die verfügbare Kapazität von (Restmüll)Verbrennungsanlagen (MVA) zurzeit noch nicht ausreichend, um die jährlich anfallende Gesamtmenge von 1.665.000 t nicht verwertbarer Siedlungs- und Gewerbeabfälle (Stand 2009) vor der Deponierung thermisch behandeln zu können. Daher kommt der mechanisch-biologischen Restmüllvorbehandlung und damit einhergehend der Aufbereitung von EBS zur Mitverbrennung in industriellen Feuerungsanlagen nach wie vor Bedeutung zu, um die Deponieverordnung 2004 (bzw. 2008) überhaupt implementieren zu können.

1.1 Anfallende Abfallmengen und Anlagen

Laut Bundesabfallwirtschaftsplan (Statusbericht 2009) waren in Österreich im Jahr 2009 insgesamt 1.665.000 t/a Abfälle in thermischen Anlagen zu behandeln, und zwar:

- 1,270.000 t/a: Restmüll und Sperrmüll,
- 225.000 t/a: heizwertreiche Fraktion aus Sortierung bzw. Restmüll-Splitting,
- 170.000t/a: energetisch verwertbare Rückstände aus Sortierung getrennt erfasster Abfälle;

Dem stehen insgesamt 24 Aufbereitungsanlagen (MA) zur „vorwiegend mechanischen Behandlung“ von gemischten Siedlungs- und Gewerbeabfällen mit einer maximalen Verarbeitungskapazität von 1.224.000 t/a gegenüber. In 14 im Detail untersuchten Mechanischen Aufbereitungs-(MA)-Anlagen werden vor allem heizwertreiche Fraktionen oder Ersatzbrennstoffe (EBS) zur weiteren externen thermischen Behandlung oder externen stofflichen Verwertung mit einer Gesamtkapazität von max. 765.500 t/a aufbereitet (ANMERKUNG. Der Einsatz von EBS in Zementwerken gilt sowohl als thermische Behandlung als auch stoffliche Verwertung, da die bei der Verbrennung anfallende Asche in den Klinker eingebunden wird. Die hier berichteten Anlagenkapazitäten dürfen nicht mit den tatsächlich in den Anlagen behandelten Abfallmengen, die von der Marktsituation abhängen, verwechselt werden.). Dabei stellen die heizwertreichen Fraktionen zur weiteren thermischen Behandlung (v.a. in Wirbelschichtfeuerungen) den wesentlichen Anteil am Output dar, die Fraktionen, die zur qualitätsgesicherten EBS-Herstellung genützt werden können, gewinnen aber zunehmend an Bedeutung.

2. BEGRIFFSBESTIMMUNG UND GESETZLICHE GRUNDLAGE

In der Novelle zur Abfallverbrennungsverordnung (AVV-Novelle 2009) wird für Ersatzbrennstoffe (EBS) in § 3 Punkt 18 folgende Definition gegeben:

Ersatzbrennstoffe: Abfälle, die zur Gänze oder in einem relevanten Ausmaß zum Zweck der Energiegewinnung eingesetzt werden und die die Vorgaben gemäß Anlage 8 zu dieser Verordnung erfüllen. Ein relevantes Ausmaß zum Zweck der Energiegewinnung liegt vor, wenn eine selbstgängige Verbrennung ohne Zusatzfeuerung möglich ist. Klärschlämme und Papierfaserreststoffe, die verbrannt werden und die die Vorgaben gemäß Anlage 8 zu dieser Verordnung erfüllen, gelten im Sinne dieser Verordnung als feste Ersatzbrennstoffe.

Anlage 8 enthält u.a. Vorgaben für Abfälle, die für Verbrennung in Mitverbrennungsanlagen vorgesehen sind, wobei hier in drei Anlagentypen unterschieden wird, und zwar:

- Anlagen zur Zementerzeugung,
- Kraftwerksanlagen,

- Sonstige Mitverbrennungsanlagen;

Bemerkenswert ist, dass der Anteil der Brennstoffwärmeleistung aus der Verbrennung von Abfällen (bzw. EBS) in Steinkohle- oder Braunkohlekesseln mit max. 15M% begrenzt ist und zudem die Grenzwerte vom mitverbrannten Anteil des Ersatzbrennstoffes (d.h. $\leq 10\%$ bzw. $\leq 15\%$) abhängen, siehe Tab. 1.

Tab. 1: Grenzwerte [mg/MJ] für Abfälle bei der Verbrennung in Mitverbrennungsanlagen

Parameter	ZEMENTWERK [mg/MJ]		KRAFTWERK $\leq 15\%$ [mg/MJ]				SONSTIGE MIT- VERBRENNUNGS- ANLAGE [mg/MJ]	
	Median	80er Perzentil	Median		80er Perzentil		Median	80er Perzentil
			$\leq 10\%$	$\leq 15\%$	$\leq 10\%$	$\leq 15\%$		
As	2	3	2	3	2	3	1	1,5
Pb	20	36	23	41	15	27	15	27
Cd	0,23	0,46	0,27	0,54	0,17	0,34	0,17	0,34
Cr	25	37	31	46	19	28	19	28
Co	1,5	2,7	1,4	2,5	0,9	1,6	0,9	1,6
Ni	10	18	11	19	7	12	7	12
Hg	0,175	0,15	0,075	0,15	0,075	0,15	0,075	0,15
Sb	7	10	7	10	7	10	7	10

$$\text{Umrechnungsformel: } [mg / MJ] = \frac{\text{Schadstoffgehalt}[mg / kg TM]}{\text{Heizwert}[MJ / kg TM]}$$

Festzuhalten ist auch, dass Ersatzbrennstoffe (EBS) im Sinne der Abfallverbrennungsverordnung (AVV-Novelle 2009) nach wie vor Abfälle und keine Produkte sind, und dass die Grenzwerte - wie in Tabelle 1 dargestellt - auf den Heizwert (Dimension: [mg/MJ]) bezogen sind. Desweiteren enthält Anlage 8 noch detaillierte Angaben zur Qualitätssicherung von EBS mit statistisch unterlegter Probenahmeplanung und Probenahmeverfahren. Ergänzt wird die AVV-Novelle 2009 noch durch die Richtlinie für Ersatzbrennstoffe (BMLFUW 2008), die - abgesehen vom Parameter Sb - dieselben Grenzwerte zur Regelung der Qualitäten von Ersatzbrennstoffen enthält und neben den „Begriffsbestimmungen“ sehr ins Detail gehende statistische Vorgaben zu Qualitätssicherung von EBS enthält. Dabei wird z.B. bei der Probenahme die Anzahl der Teilmenge von der Größe der zu untersuchenden Abfallströme [in t/a] abhängig gemacht. Auch hier werden durch die angeführten anlagenspezifischen Grenzwerte die Emissionen in die Luft begrenzt, es findet jedoch beim Einsatz von EBS in Mitverbrennungsanlagen keine Limitierung der Schadstofffrachten in Reststoffen oder Produkten statt. Die EBS-Richtlinie 2008 nimmt für sich in Anspruch, den Stand der Technik für den Einsatz von Ersatzbrennstoffen festzulegen und ein einheitliches Qualitätssicherungssystem vorzugeben.

Von Interesse sind auch folgende in der EBS-Richtlinie enthaltenen Begriffsbestimmungen:

- **Aufbereitung** von Ersatzbrennstoffen (und Ersatzrohstoffen): ist die Behandlung von Abfällen vor dem Einsatz in Mitverbrennungsanlagen, wie beispielsweise die Klassierung, die Sortierung, die Fe- und NE-Metallabscheidung. Die Aufbereitung kann auch aus einer alleinigen Konfektionierung bestehen, sofern die Grenzwerte eingehalten werden.
- **Konfektionierung** ist die Behandlung von Abfällen zur Verbesserung der physikalischen Eigenschaften (z.B. Zerkleinerung, Trocknung, Pelletierung), die für die Aufgabe in die Mitverbrennungsanlage oder die Verbesserung des Verbrennungsverhaltens des Ersatzbrennstoffes erforderlich ist.
- **Sekundärbrennstoffe** sind aus Primärbrennstoffen (wie beispielsweise Rohöl, Steinkohle, Braunkohle, Holz, Energiepflanzen) durch eine oder mehrere Umwandlungen hergestellte Brennstoffe (wie beispielsweise Heizöl, Koks, Steinkohlebriketts, Holzpellets) und gelten daher als konventionelle Brennstoffe (ANMERKUNG: Diese österreichische

Definition unterscheidet sich strikt vom Begriff: „Sekundärbrennstoff“ in Deutschland, wo dieser häufig als Synonym für Ersatzbrennstoff verwendet wird).

Trotz oder möglicherweise gerade wegen der Definition „Ersatzbrennstoff“ in der Abfallverbrennungsverordnung und der EBS-Richtlinie gibt es für Ersatzbrennstoff vielfältige Bezeichnungen, die manchmal zu Verwirrung führen können, z.B.:

- **BraM:** Brennstoff aus Müll, in den 80iger Jahren eingeführt, hat sich nicht durchgesetzt,
- **ABS:** Alternativbrennstoff,
- **SBS:** Substitutbrennstoff aus Siedlungsabfällen,
- **BGB:** Brennstoff aus produktionsspezifischen Gewerbeabfällen,
- **ASB:** Aufbereiteter Substitut Brennstoff,
- **RDF:** Refuse Derived Fuels,
- **SRF:** Solid Recovered Fuels,
- **EBS:** Ersatzbrennstoff
(Allgemeine Definition: EBS ist ein Brennstoff, der in der Regel aus heizwertreichen Abfällen gewonnen wird. Die ursprünglichen Abfälle können dabei aus Haushalt, Industrie und Gewerbe stammen);

Im deutschen Kreislaufwirtschaft- und Abfallgesetz (KrW/AbfG 2007) wird dazu im §4 Absatz 4 festgestellt: „Die energetische Verwertung beinhaltet den Einsatz von Abfällen als Ersatzbrennstoff, vom Vorrang der energetischen Verwertung unberührt bleibt die thermische Behandlung von Abfällen zur Beseitigung, insbesondere von Hausmüll. In Deutschland wird zudem durch die Bundesgütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe (BGS), die Qualität von EBS gesichert (z.B. durch die Güte- und Prüfbestimmung der RAL-GZ 724). Zusammenfassend festgestellt, können (im weitesten Sinne) folgende Abfälle aus Haushalt, Industrie und Gewerbe ohne oder nach einem Aufbereitungsverfahren als Ersatzbrennstoff in Verbrennungs- und Mitverbrennungsanlagen eingesetzt werden: Klärschlamm, Altholz, heizwertreiche Fraktionen aus MA- und MBA-Anlagen, Kunststoffabfälle aus Haushalte & Gewerbe, Schredderleifractionen (z.B. aus Altfahrzeugen, Elektro- und Elektronikaltgeräten), tierische Nebenprodukte (z.B. Tierfett, Tiermehl), Altreifen, Altöl, etc.

Neben den gesetzlichen Vorgaben, die die Behörde den Anlagenbetreibern vorschreibt, geben auch Mitverbrenner von Abfällen den Produzenten von Ersatzbrennstoffen bestimmte Qualitätskriterien (d.h. Spezifikationen) vor. Dabei kommt der Konfektionierung große Bedeutung zu. Es wird eine heizwertreiche Brennstofffraktion nach Entfrachtung der Störstoffe durch z.B. Trocknung und Pelletierung weiter „veredelt“. Mithilfe der Trocknung (z.B. 10% H₂O - Gehalt für harte Pellets) werden weitere biologische Zersetzungsprozesse unterbunden und der EBS lagerfähig gemacht. Durch die damit verbundene Verminderung des Wassergehaltes erhöht sich der Heizwert des EBS. Generell gilt, dass erst bei einer Überschreitung von **11 MJ/kg TM** der Abfall zum Ersatzbrennstoff geworden ist (ANMERKUNG: Der Heizwertbereich für mitteleuropäischen Restabfall liegt zwischen 9 - 13 MJ/kg TM).

3. AUFBEREITUNG, KONFEKTIONIERUNG UND KLASSIFIZIERUNG VON EBS

Als EBS im engeren Sinn werden nur Brennstoffe bezeichnet, die aus sortenreinen oder gemischten Abfällen (Siedlungsabfälle, Gewerbeabfälle, Produktionsabfälle mit Schlüsselnummer 91101 (Hausmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle) nach ÖNORM S2100 bzw. EAK 200301 (gemischte Siedlungsabfälle) hergestellt werden und direkt ohne nennenswerte weitere Aufbereitung in industriellen Mitverbrennungsanlagen eingesetzt werden können. Siebüberläufe aus der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung (MBA), die lediglich durch Vorzerkleinerungen und Absiebung eine in Korngröße und Störstoffgehalt nicht näher definierte Fraktion (ca. 35 - 45M% des Inputs) darstellen, stellen nur ein

Zwischenprodukt bzw. einen Sekundärrohstoff für die nachfolgende EBS-Produktion dar. Durch zusätzliche Verfahrensschritte (Zerkleinerung, Windsichtung, Fe- und NE-Metallabscheidung) entsteht in der Regel ein mittelkalorischer EBS für Wirbelschichtanlagen wobei der EBS - Anteil zwischen 30 - 40% des Inputs betragen kann.

Um Ersatzbrennstoffe mit definierten Qualitäten und garantierten Spezifikationen zu erzeugen, ist eine mehrstufige Aufbereitung nötig, die im wesentlichen folgende Aufbereitungsschritte enthält, siehe Abb.2

- a) Vorzerkleinerung,
- b) Störstoffabscheidung (z.B. durch Windsichter, ballistischen Separator),
- c) Nachzerkleinerung,
- d) Konfektionierung (z.B. durch Sternsieb);

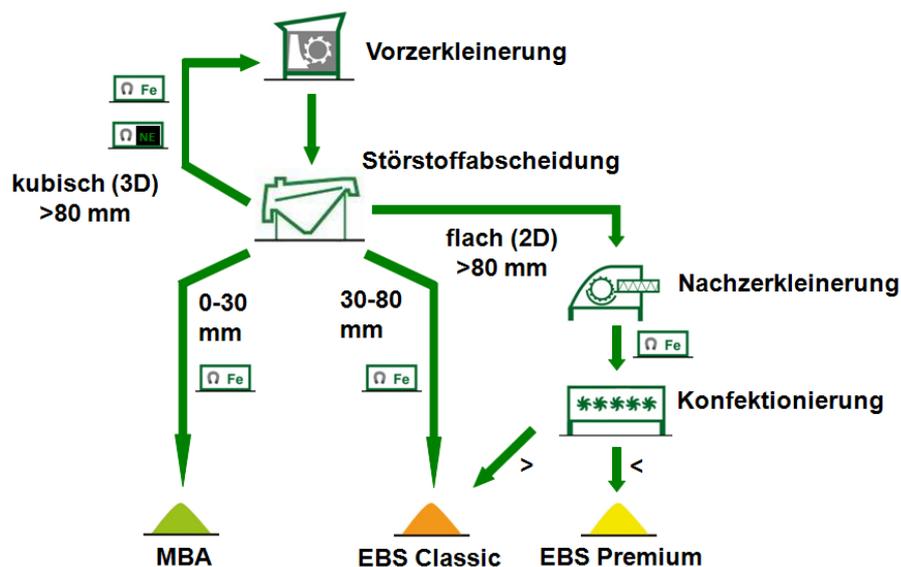


Abb. 2: Schema einer Ersatzbrennstoff-Aufbereitungsanlage aus kunststoffhaltigen Abfällen (Restmüll und Gewerbemüll) nach Kunter & Wellacher (2010)

Nach Pomberger (2007) können die EBS-Produktionsanlagen grundsätzlich in 3 Typen unterteilt werden, und zwar:

- a) EBS-Produktionsanlagen für sortenreine Produktionsabfälle mit: Vorzerkleinerung, Nachzerkleinerung und Fe- und NE-Abtrennung,
- b) EBS-Produktionsanlagen für Siedlungs- & Gewerbeabfall (bzw. MBA mit Nachaufbereitung des Siebüberlaufs) mit: Vorzerkleinerung, Siebung, Fe- und NE-Abtrennung, Windsichtung, Störstoffentfaltung und Nachzerkleinerung,
- c) EBS-Produktionsanlagen für Leichtfraktionen aus Vorbehandlungsanlagen (z.B. MA- und MBA-Anlagen), Produktions- & Verpackungsabfälle mit: Vorzerkleinerung, Windsichtung, FE & NE-Abscheidung, sowie Nachzerkleinerung (Inertstoffabscheidung).

Für Anlagentyp a) und c), deren Hauptzweck die Störstoffentfaltung und Konfektionierung ist, kann die EBS - Ausbringung zwischen 60 und 90M% liegen. Für Anlagentyp b) (d.h. MBA mit Nachaufbereitung des Siebüberlaufs) liegt der Hauptzweck auf der Abfallvorbehandlung vor der Deponierung. Die EBS - Ausbringung erreicht dabei 30 bis max. 45M%.

3.1 Zusammenhang zwischen Masseausbringung und Produktqualität von EBS

Wie aus Abb.3 hervorgeht, besteht bei der Herstellung von EBS ein grundsätzlicher Ziel - Konflikt zwischen „Masseausbringung“ und „Produktqualität“.

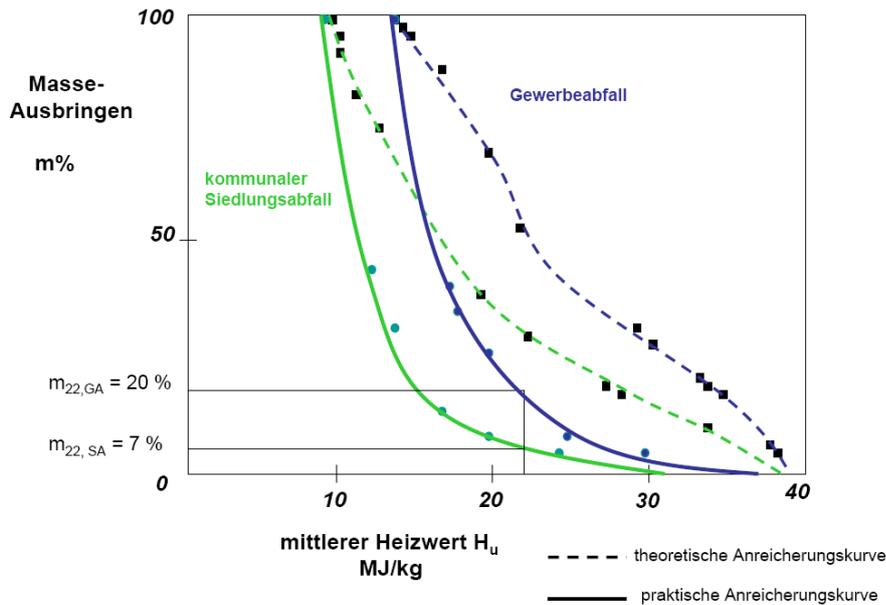


Abb. 3: Anlagenspezifische Anreicherungskurven (——— praktisch) in Vergleich zu den abfallspezifischen Anreicherungskurven (- - - - - theoretisch, auf Basis von Sortieranalysen), Pomberger (2007)

Abfallspezifische Anreicherungskurven lassen sich aus Sortieranalysen von gemischten Abfällen (wie Gewerbeabfälle, kommunale Siedlungsabfälle) erstellen. Daraus lassen sich die maximal mögliche Ausbeuten an EBS bestimmen, unabhängig von der Aufbereitungsanlage. Aus den anlagenspezifischen Anreicherungskurven hingegen lässt sich abschätzen, wie viel EBS einer bestimmten Qualität (z.B. Heizwert) aus einem Abfallgemisch mit einer bestimmten Anlagenkonfiguration gewonnen werden kann. Wie die Ergebnisse zeigen, beträgt der Anteil an gewinnbaren hochkalorischen EBS aus Gewerbeabfällen (trocken, energiereich, geringer biogener Anteil) ein Mehrfaches im Vergleich zur Herstellung aus kommunalen Siedlungsabfall (Restmüll). Aus kommunalen Siedlungsabfällen ist nur eine geringe Menge an hochkalorischen EBS zu gewinnen, wodurch die Vermischung bzw. gemeinsame Verarbeitung von Gewerbeabfällen und Hausmüll (d.h. Restmüll) die ausbringbare Menge an EBS reduziert. Daher scheint die Trennung von heizwertreichen Gewerbeabfällen und heizwertniedrigen kommunalen Siedlungsabfällen bei der Aufbereitung von EBS sinnvoll.

3.2 Zusammenhang zwischen „Biogenen Anteil“ im EBS und „Heizwert“

Wie bereits für „Masseausbringung“ und „Produktqualität“ dargestellt, besteht auch zwischen „Biogenen Anteil“ und „Heizwert“ im EBS ein Zielkonflikt, siehe Abb.4.

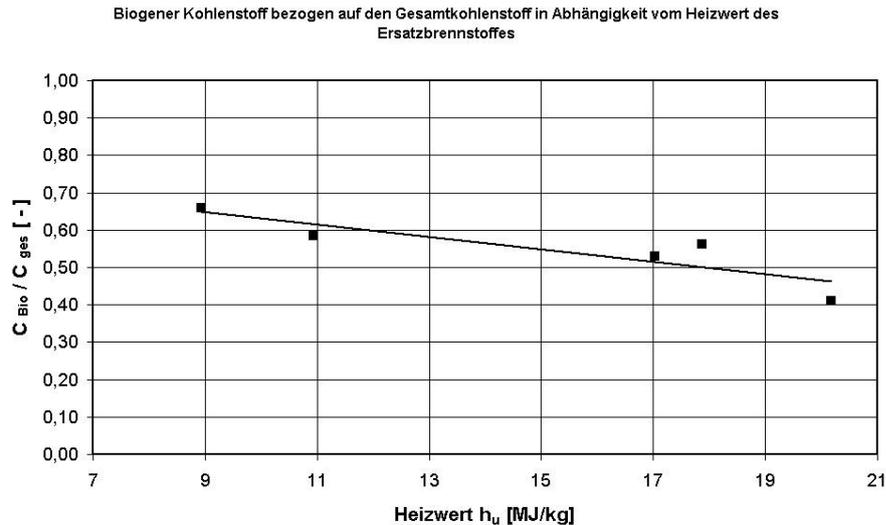


Abb. 4: Zusammenhang zwischen „Biogenen Anteil“ von EBS und seinem „Heizwert“ nach Beckmann (2008)

Wie ersichtlich, haben EBS mit hohen Kunststoffanteilen hohe Heizwerte aber geringe Biomasseanteile und umgekehrt. Die Optimierung von EBS in Bezug auf hohe Heizwerte führt daher zu geringeren biogenen Kohlenstoffanteilen, wodurch für einen Anlagenbetreiber u.U. finanzielle Nachteile durch den CO₂ - Zertifikationshandel entstehen können. Der mit der ¹⁴C-Methode (Lorber et al., 2008) bestimmte „Biogene Anteil“ im Restmüll, so wie er in den MVA verbrannt wird, beträgt ca. 50 - 55M%. Ersatzbrennstoffe haben je nach Heizwert einen „Biogenen Anteil“ zwischen 26,7M% - 50,6M%, nach Pomberger (2008).

Betroffen von diesem Konflikt ist vor allem die Zementindustrie, die einerseits bereits einen beträchtlichen Anteil ihres thermischen Energiebedarfs durch Ersatzbrennstoffe abdeckt (2009: Österreich 57,02%, Deutschland 58,3%) und andererseits sehr CO₂ - emissionsintensiv ist (spezifische CO₂-Emissionen: ca. 0,81 kg CO₂/kg Klinker bzw. 0,63 - 1,0 kg CO₂/kg Zement).

Das aus dem „Biogenen Anteil“ eines Brennstoffes stammende CO₂ gilt als „emissionsneutral“ und unterliegt nicht dem CO₂ - Emissionshandel, wobei der Marktpreis für CO₂ - Emissionszertifikate zurzeit zwischen € 20,- bis € 30,- je Tonne CO₂ liegt. Zwei Drittel der CO₂ - Emissionen bei der Zement- und Kalkproduktion sind rohstoffbedingt. Um Einsparungen zu erzielen, ist daher ein hoher kostenneutraler biogener Kohlenstoff - Anteil im EBS erwünscht, der jedoch mit dem Bedarf für höhere Heizwerte in Konflikt steht.

3.3 Klassifizierung EBS

Verschiedene industrielle Mitverbrennungsverfahren und Anlagen haben unterschiedliche Anforderungen an die EBS Qualität. Wesentliche Parameter sind u.a. der Heizwert (H_u [MJ/kg]) und die Korngröße (d_{90} [mm]). In Abb.5 ist der Zusammenhang zwischen Heizwert und Korngröße verschiedener Ersatzbrennstoffe zusammen mit dem Einsatzort dargestellt.

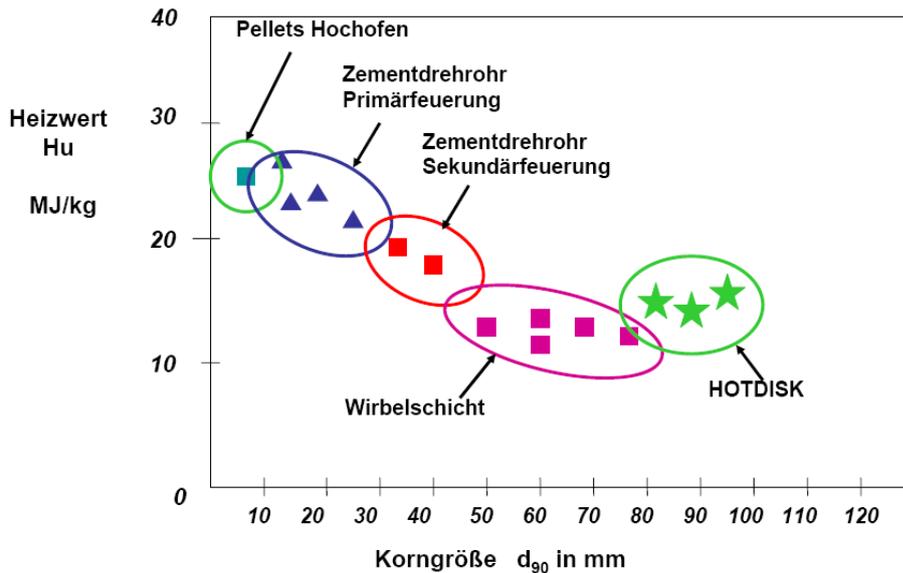


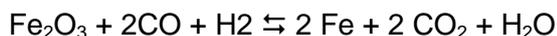
Abb. 5: Einsatzgebiete unterschiedlicher EBS Sorten in Abhängigkeit von Heizwert und Korngröße, Pomberger (2007)

Eine weitergehende Klassifizierung von Ersatzbrennstoffen in Abhängigkeit von relevanten, brennstoffspezifischen Kriterien wird von Kunter & Wellacher (2010) vorgeschlagen, siehe Tab. 2.

Tab. 2: Klassifizierung von Ersatzbrennstoffen, Kunter & Wellacher (2010)

Kriterium	Ersatzbrennstoffqualitäten					
	Kohlekraftwerk EBS	„EBS-Low“ (Rostfeuerung)	„EBS-Classic“ (Wirbelschicht)	Kalzinatorfeuerung EBS	„EBS-Premium“ (Primärfeuerung)	Hochofen EBS
Heizwert	11-15 MJ/kg	12-16 MJ/kg	12-16 MJ/kg	11-18 MJ/kg	22-25 MJ/kg	> 25 MJ/kg
Korngröße	< 50 mm pelletiert	< 300 mm	< 20-100 mm	< 50-80 mm	< 10-30 mm	< 10 mm pelletiert
Übergröße	0%	< 3%	< 2%	< 1%	< 1%	0%
Störstoffgehalt	< 1%	< 3%	< 1%	0	< 1%	0%
Chlorgehalt	< 1,5%	< 1%	< 0,8%	< 0,8%	< 0,8%	< 2%
Aschegehalt	< 35%	-	< 20%	-	< 10%	< 10%

Ein interessantes Einsatzgebiet von EBS ist die Stahlindustrie. Dabei werden EBS Kunststoffpellets (Dimension: $L < 9 \text{ mm}$, $\varnothing < 6 \text{ mm}$), die zu 50% aus gesichteten Gewerbemüll, zu 30% aus aufbereiteten MBA-Material und zu 20% aus gemischten Kunststoffverpackungen (aus dem „gelben Sack“ bzw. der „gelben Tonne“ stammen) in den Hochofen eingeblasen, wobei hier EBS anstelle von Koks oder Heizöl - schwer als Reduktionsmittel dient:



Ein Versuchsbetrieb mit 30.000 t EBS - Pellets wurde 2005 bei der Fa. Voestalpine Linz erfolgreich durchgeführt, Projektziel ist der Einsatz von bis zu 220.000 t/a EBS - Pellets (nach Fleischhacker (2009)).

4. QUALITÄTSSICHERUNG UND ERGEBNISSE

Es müssen 3 grundsätzliche Voraussetzungen vorhanden sein, damit sich ein Anlagenbetreiber für die Mitverbrennung von EBS (die ja mit nicht unerheblichen Investitionen, wie z.B. Lagerung, Anlagenmodifizierung etc. belastet ist) entscheidet, und zwar:

- Rechtssicherheit,

- Versorgungssicherheit und
- Qualitätssicherheit.

Nach den Vorgaben der Richtlinie für Ersatzbrennstoffen 2008 ist für jeden EBS getrennt nach Herkunft und Abfallart gemäß **ÖNORM CEN/TS 15442** von 2007 ein Probenahmeplan zu erarbeiten. Auch Anzahl und Masse der Stichproben bzw. die Mindestprobenmenge für die qualifizierte Stichprobe ist entsprechend ÖNORM CEN/TS 15442 zu berechnen. Für die erforderliche repräsentative Probenmenge wird parallel dazu auch **CEN/TS 3443N88** „solid recovered fuels - sampling methods“ eingesetzt.

Kurz zusammengefasst, müssen zur Qualitätssicherung von Analyseergebnissen folgende Punkte beachtet werden:

- Um den zufälligen Fehler zu minimieren, sind ausreichend große Probenmengen, Zwischenzerkleinerung und Probenteilung erforderlich.
- Entmischungen und falsche Probenvorbereitung können zu hohen systematischen Fehlern führen.
- Einzelmessungen der Qualitätssicherung sind nicht aussagekräftig und ein ungeeignetes Mittel zur Qualitätsbeurteilung von Einzelchargen.
- Aussagekräftig sind lediglich Durchschnittswerte über lange Zeiträume. Diese Werte unterliegen nicht der Normverteilung, weshalb der Median bzw. der 80er Perzentilwert und nicht der Mittelwert und die Standardabweichung bessere Aussagekraft hat.

Eine umfassende Darstellung der Qualitätssicherung bei der thermischen Verwertung von Ersatzbrennstoffen findet sich bei Schelch (2007).

Auszugsweise ist dazu für die Bestimmung von Chlor in einer Mischkunststofffraktion der Zusammenhang zwischen Probenanzahl und Vertrauensbereich in Abb. 6 dargestellt.

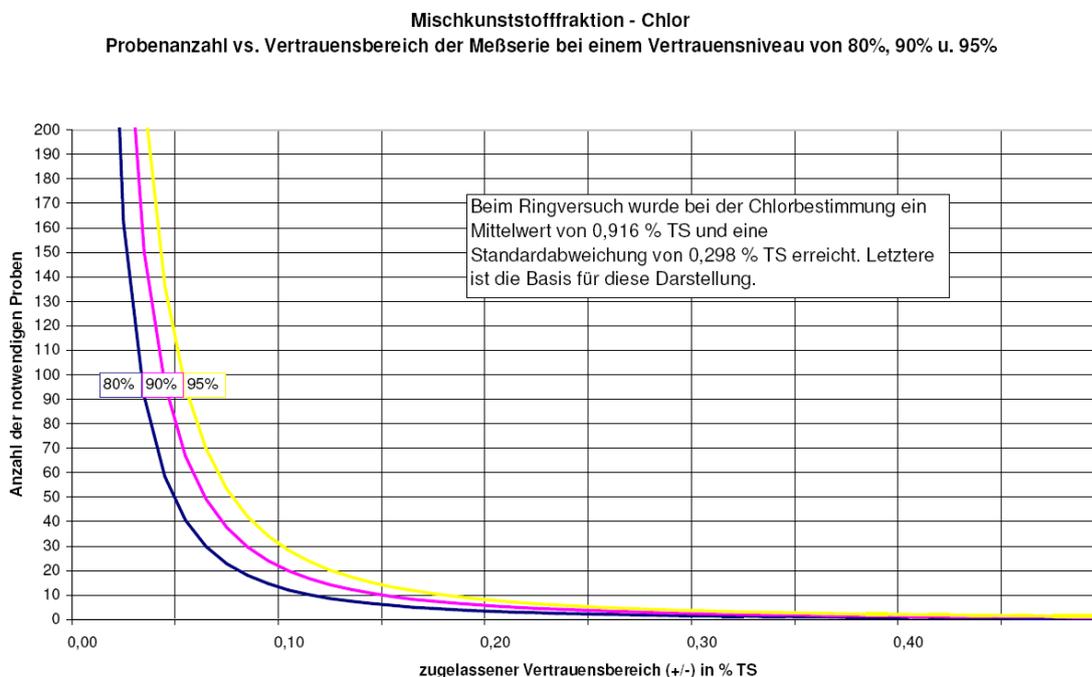


Abb. 6: Gegenüberstellung der Probenanzahl und des gewünschten Vertrauensbereiches bei einem Vertrauensniveau von jeweils 80%, 90% und 95% für das Element Chlor in einer untersuchten Mischkunststofffraktion nach Schelch (2007)

Der Zusammenhang zwischen Probenmenge [kg], Probenanzahl [n], Korngröße [d₉₀] und Kornform (2 - dimensional (2D) und 3 - dimensional (3D)) wird in der Berechnungsmethode der CEN TC 343 berücksichtigt. Wie in Tabelle 3 dargestellt, ergeben sich für die

Anwendungen dieser Methode auf die angeführten EBS - Spezifikationen folgende repräsentative Probenahmeparameter, Pomberger (2005).

Tab. 3: Repräsentative Probenahmeparameter für EBS - Produkte gem. CEN TC 343 und CEN 292

EBS	Korngröße d ₉₀	Inkremete		Masse Probe
	[mm]	[n]	[kg]	[kg]
ASB Thermoteam	30	100	0,7	70
Wirbelschicht	60	166	1,5	250
Wirbelschicht	80	150	4,0	600

4.1 EBS - Produktspezifikationen

Neben den gesetzlichen Erfordernissen an die Qualität von EBS (siehe Kapitel 2) werden von den Mitverbrennern bzw. EBS - Abnehmern in den Lieferverträgen mit den EBS - Produzenten häufig bestimmte Spezifikationen festgelegt. Als Beispiel dazu hier die Produktspezifikationen für den **Aufbereiteten Substitut Brennstoff (ASB)** der Fa. ThermoTeam angeführt (nach Pomberger (2005)), siehe Tab. 4, Tab. 5 und Abb. 7.

Tab. 4: Produktspezifikation des Ersatzbrennstoffes ASB von ThermoTeam nach Pomberger (2005)

Parameter		
Korngröße	< 30 mm (Folien), < 10 mm (sonstige)	
Hu	> 20 MJ/kg	
Feuchte	< 25 %	
S	< 0,5 %	
Cl	< 1 %	
	80-Perzentil Grenzwert [mg/kg TS]	Deckelung Grenzwert [mg/kg TS]
As	10	15
Sb	20	30
Pb	150	500
Cd	15	25
Cr	150	300
Co	15	20
Cu	300	500
Ni	100	200
Hg	0,6	1
Tl	1,5	3
V	30	70
Sn	30	70
Mn	200	---

Tab. 5: Sortieranalyse des Ersatzbrennstoffes ASB von ThermoTeam nach Pomberger (2005)

Fraktion	Anteil trocken in M%
Textil	4,92 %
Kunststoff	52,63 %
Papier	7,11 %
Kautschuk/Gummi	0,37 %
Metall	2,29 %
Glas	0,72 %
Stein	1,94 %
Holz	1,70 %
< 2mm	22,53 %
Sortierrest	5,80 %

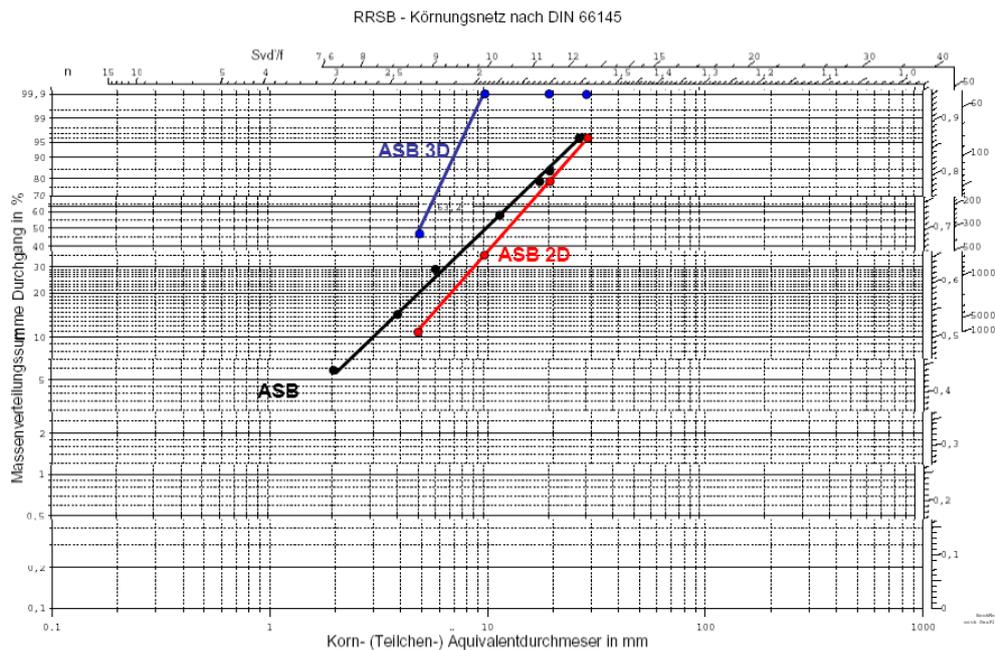


Abb. 7: Siebanalyse für den Ersatzbrennstoff ASB von ThermoTeam, getrennt nach 2 - dimensionale (ASB 2D) und 3 - dimensionale (ASB 3D) Körner, nach Pomberger (2005)

5. POTENTIELLE PROBLEME MIT EBS

EBS ist kein Regelbrennstoff sondern Abfall bzw. aus Abfall hergestellt. Es wäre daher wohl zu viel erwartet, wenn sein Einsatz gänzlich problemlos wäre.

5.1 Brandrisiko bei Lagerung

Um eine Mengendifferenz zwischen Anlieferung (INPUT) und Abnahme (OUTPUT) auszugleichen, ist eine Zwischenlagerung bzw. Lagerung von EBS oder seinen Zwischenprodukten erforderlich. Dazu werden meist folgende Lager betrieben:

- Ballenlager für heizwertreiche Leichtfraktion,
- Folierte Rundballen - Lager für EBS (Wirbelschicht),
- Schüttgutlager für EBS (Wirbelschicht),
- Produktlager (bzw. Silo) für EBS (Zementindustrie).

Als sinnvolle Lagerkapazität für ein Entsorgungsunternehmen ist aufgrund von Erfahrungswerten ein Jahreszwölftel des Inputs anzusetzen. Probleme bereiten dabei Geruchsemissionen und das Selbstentzündungsrisiko (die Zündtemperatur des ASB - Ersatzbrennstoffes z.B. liegt zwischen 319°C und 460°C, Pomberger (2005)). Gelagertes EBS - Material hat ein erhöhtes Selbstentzündungspotential. Während der Lagerung kommt es zu einer deutlichen Erwärmung des Materials, hervorgerufen durch mikrobiologischen Abbauvorgänge von organischen Anhaftungen und chemische Oxidationsreaktionen des Kunststoffes. Dieses Selbstentzündungspotential hängt sowohl von den Materialeigenschaften (z.B. Reaktivität, Oberflächenbeschaffenheit, Feuchtegehalt und Wärmekapazität) aber auch von der Art und der Geometrie des Lagers ab, welche Wärmeabfuhr und Sauerstofftransport beeinflussen. Durchgeführte Modellierungen, die durch Vor - Ort - Messungen verifiziert wurden (Raupenstrauch & Walkner, (2004)) zeigten, dass die höchsten Temperaturen ($T > 80^{\circ}\text{C}$) im Bereich von Böschungen auftreten, siehe Abb. 8.

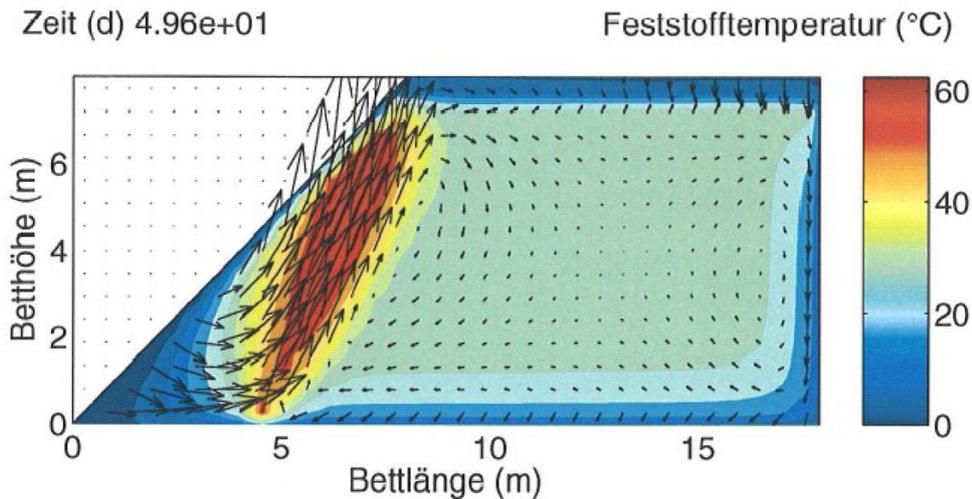


Abb. 8: Temperaturverteilung im Querschnitt des ASB Produktlagers (Simulation) nach Raupenstrauch & Walkner (2004)

Hohe Verdichtung und breite Korngrößenverteilung des Lagergutes bewirken eine schlechte Permeabilität und wirken damit der Selbsterwärmung durch mikrobiologischen Abbau und chemischer Oxidation entgegen. Durch brandschutztechnische, bauliche Maßnahmen sowie Brandmeldeanlagen lässt sich das Risiko von Bränden bei Herstellung und Lagerung von EBS in den Griff bekommen (Pomberger (2005)). In letzter Zeit wird auch der sog. Real Dynamic Respiration Index (RDRI) zur Bestimmung des Selbsterhitzungsverhaltens von Ersatzbrennstoffen herangezogen (CEN/TC 343 / WG3 N320 (2010)).

5.2 Anlagenkorrosion bei EBS - Einsatz

Abfall ist durch relativ hohe Chlor - (Cl) und relativ niedrige Schwefel - (S) Gehalte gekennzeichnet, wodurch die Verbrennung von Abfall (und aus Abfall hergestellten Produkten) generell mit einem höheren Korrosionsrisiko für die Verbrennungsanlagen verbunden ist. Um eine möglichst gute Energieeffizienz zu erreichen, ist es zudem das Bestreben des Anlagenbetreibers, die Anlage mit möglichst hohen Dampfparametern (z.B. bei MVA sind 400°C und 40 bar üblich) zu betreiben, wodurch das Korrosionsrisiko weiter steigt. Der Chlor - Gehalt im Brennstoff spielt dabei nicht nur bei der Korrosion in Kesselanlagen eine notorisch üble Rolle, sondern trägt auch durch Bildung von flüchtigen Metallchloriden zur Schwermetallanreicherung im Abgas von Verbrennungsanlagen bei. Ein guter Teil des im Brennstoff unerwünschten Chlor wird durch PVC (Polyvinylchlorid) in der Plastikfraktion, die höhere Heizwerte hat, eingetragen. Auch im Zementprozess sind höhere Chlorgehalte (> 1,0M%) ein verfahrenstechnisches Problem, da es durch Verflüchtigung von Chloriden in den heißen Zonen und Kondensation in den kälteren Zonen zu unerwünschten Chlor - Kreisläufen kommt, die zu Verklebungen und Anbackungen führen können. Diesem Problem ist durch die strikte Begrenzung des Chlorgehaltes im Ersatzbrennstoff (d.h. ein Durchschnittswert von 0,8M% Cl ist einhaltbar) und durch Chlorbypassanlagen in Zementwerken beizukommen. In letzter Zeit werden Versuche durchgeführt, PVC mittels Nahinfrarotsensoren (NIR - Technologie) im EBS - Produktionsstrom bei der Sortierung zu erkennen und aus dem Produktionsprozess durch die am Band installierten Druckluftdüsen auszuschleusen, um damit eine weitere Cl - Entfrachtung von EBS zu erreichen (Kreindl (2010)). Abschließende Ergebnisse sind noch nicht bekannt.

5.3 Zwischenlagerbildung und Scheinverwertung von EBS

Abfallentsorger, die aus heizwertreichen Abfällen und Abfallfraktionen Ersatzbrennstoffe (EBS) herstellen, sind **atypische Produktionsunternehmen**, auf die einige klassische Regeln der Betriebswirtschaft nicht angewendet werden können. In der Abfallentsorgungsbranche findet der Geldfluss dadurch statt, indem der Entsorger vom Abfall

- Lieferanten Geld bekommt und den EBS - Abnehmer bezahlen muss. Das durch die Aufbereitung von Abfall hergestellte „Produkt“ Ersatzbrennstoff (EBS) hat damit einen negativen Marktwert. Ein EBS - Erzeuger bekommt also Geld von seinem Abfalllieferanten. Abfall ist gleich Rohstoff. Es existieren somit keine Lagerkapitalkosten sondern Lagerkapitalerträge. Die Geldbeschaffung eines EBS - Erzeugers (=Entsorgungsunternehmen) erfolgt somit nicht durch eine etwaige Erhöhung der Absatzmenge von EBS sondern durch eine Erhöhung der Abfall - Anliefermengen. Wenn damit „Lagerkapitalerträge“ „>“ sonstige „Lagerkosten“ sind, ist es betriebswirtschaftlich gesehen falsch, „just - in - time“ zu produzieren, weil durch das Lagern und nicht durch das Liefern von EBS Gewinne erzielt werden. Im Unterschied zu herkömmlichen Produktionsunternehmen hat in der Abfallwirtschaft der Lieferant das Interesse, möglichst wenig Abfall zu liefern, möchte jedoch für seine Mengen eine Abnahmegarantie erhalten. Auf der EBS - Abnehmerseite wiederum bewirken Anlagenbetriebsstillstände und Revisionen saisonal schwankende Abnahmemengen, was insgesamt zu stark schwankenden INPUT - OUTPUT - Bilanzen eines EBS - Erzeugers führt, der damit gefordert ist, seine Produktionsanlage möglichst flexibel zu betreiben (d.h. je nach Bedarf Erzeugung von Wirbelschicht - Material oder Zementwerk EBS). Die Marktsituation, die u.a. durch Absatzschwierigkeiten von EBS gekennzeichnet ist, hat u.a. dazu geführt, dass in einigen Ländern inzwischen als „Zwischenlager“ bezeichnete Müllberge (insbesondere „Folierte Rundballen Lager“) entstanden sind, in einigen Fällen wurden (bzw. werden) heizwertreiche Siebüberläufe aus MA - und MBA - Anlagen sowie fertiger EBS illegal auf Deponie abgelagert (Romano (2010)) oder in kommunalen Müllverbrennungsanlagen verbrannt. Diese extremen Auswüchse der Abfallwirtschaft müssen durch die Behörden z.B. durch die strikte Begrenzung der maximalen Lagerdauer von Zwischenlagern und durch wirksame Sanktionen bei illegalen Ablagerungen unterbunden werden. Es macht auch weder wirtschaftlich noch anlagentechnisch Sinn, durch die Aufbereitung von Restmüll und Gewerbeabfällen (erst teuer) EBS zu erzeugen und diesen dann in die dafür nicht ausgelegten MVA mit Rostfeuerung zu verbrennen, siehe Abb. 9.

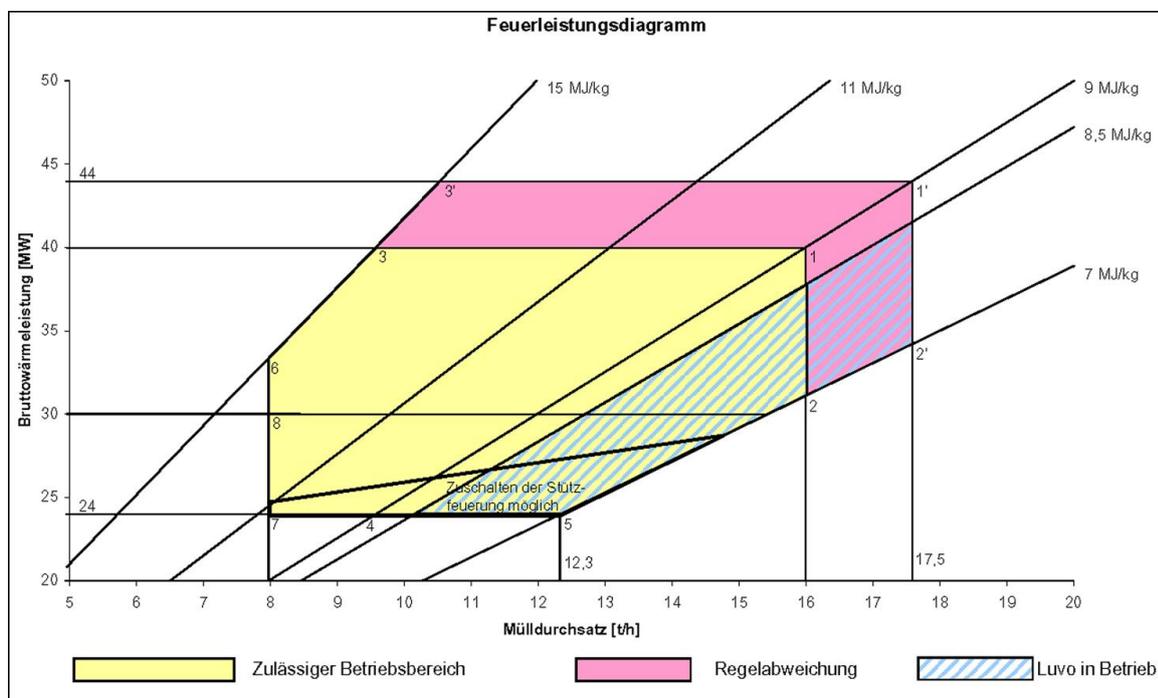


Abb. 9: Feuerleistungsdiagramm der MVA Pfaffenau Wien nach Lorber et al. (2008)

Wie aus dem Feuerleistungsdiagramm von Abb. 9 hervorgeht, sind moderne Müllverbrennungsanlagen meist für einen Heizwert von 9 MJ/kg (Bereich 7 - 15 MJ/kg) ausgelegt. Bei der Verbrennung von heizwertreicheren Fraktionen wie z.B. EBS muss dabei

der Mülldurchsatz stark zurück gefahren werden, um im zulässigen Betriebsbereich der Anlage zu bleiben, was entweder zu Einnahmeverlusten des Betreibers der MVA und/oder aber zur Erhöhung der Verbrennungspreise führt.

6. FALLBEISPIELE UND ERGEBNISSE

6.1 Hochkalorischer Ersatzbrennstoff ASB

Als ein Beispiel für die Herstellung von Ersatzbrennstoffen wird hier kurz über die Produktion von ASB, einem qualitätsgesicherten, blasfähigen, hochkalorischen, ofenfertigen EBS zum Einsatz in der Primärfeuerung von Zementwerken berichtet (Pomberger (2005, 2008)). Die Spezifikationen für diesen **Aufbereiteten Substitut Brennstoff (ASB)** sind aus Kapitel 4.1, Tab. 4 und 5 sowie Abb. 7 ersichtlich. Die folgende Abb. 10 zeigt das Verfahrensschema dieser Anlage.

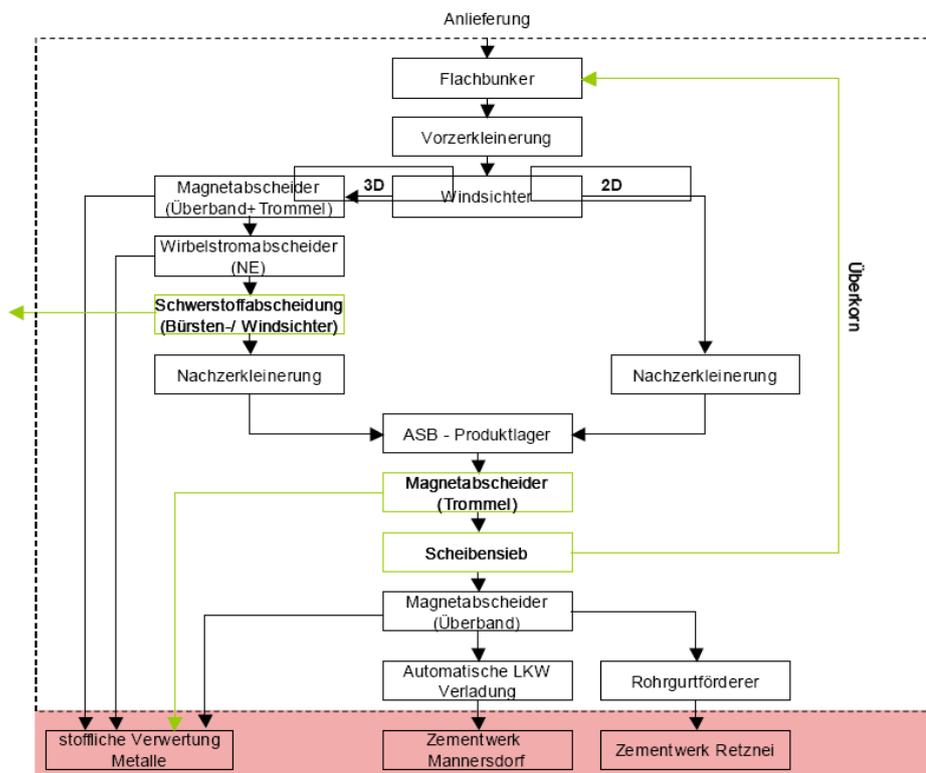


Abb. 10: Verfahrensschema der ThermoTeam - Anlage zur Erzeugung von hochkalorischen ASB nach Pomberger (2005). Kapazität: 50.000 t/a

Einsatzmaterial für die ASB - Anlage ist die Leichtfraktion, die durch mechanische Vorbehandlung aus gemischten Gewerbemüll und Siedlungsabfall durch Windsichtung gewonnen wird. Dabei fällt bei dieser Vorbehandlung (MA - Splittinganlage) auch niedrig bis mittelkalorischer EBS für die Wirbelschicht - Verbrennung an. Daneben können auch sortenreine Produktionsabfälle direkt eingesetzt werden. Nach der Vorzerkleinerung wurde der Massenstrom in einem Windsichter in eine Leichtfraktion mit hohem Anteil an 2 - dimensionalen Körnern („2D Fraktion“) und in eine Schwerfraktion mit hohem Anteil an dickwandigen Materialien und Störstoffen („3D Fraktion“) getrennt. Die Leichtfraktion umfasst ca. 90% des Volumsstroms und kann direkt der Nachzerkleinerung auf kleiner 30 mm zugeführt werden. Die 3D Fraktion (ca. 25M% aber nur ca. 10Vol%) lässt sich auf Grund des geringen Volumsstroms gut von den Störstoffen (Eisen, Nichteisen, Inertstoffe) trennen. Die Abtrennung der Störstoffe erfolgt durch 2 Magnetabscheider (Überband, Trommel) sowie einen Wirbelstromscheider. Die Nachzerkleinerung in der 3D Linie erfolgt auf kleiner 10 mm. Die getrennte Behandlung der 2D und 3D Fraktion ist deswegen erforderlich, da diese

Optimierung der Anlage in Bezug auf Störstoff- und Schadstoff- (insbesondere Chlor und Schwermetalle) -entfrachtung für vorgegebene Heizwerte (Hu) und Ausbringungsmengen zu erreichen, siehe Tab. 6.

Tab. 6: Berechnete Transferkoeffizienten [in M%] für die Stoffflüsse der modifizierten Wiener Splittinganlage zur Herstellung von HOTDISC - EBS (Pomberger (2008))

Parameter	HOTDISC EBS	Hochkal. Leichtfraktion	Feinfraktion 0-20 mm	Fe	NE	Störstoffe
Al	42,94	8,92	11,27	0,06	34,41	2,39
Fe	8,62	2,55	6,18	75,91	4,74	1,71
Pb	42,60	19,83	37,26	0,30	0,00	0,00
Cu	66,45	6,75	1,57	6,06	2,08	17,09
Cd	4,36	1,19	1,11	79,41	13,94	0,00
Hg	37,21	9,30	53,49	0,00	0,00	0,00
Cl	71,28	12,65	16,07	0,00	0,00	0,00
F	76,56	11,29	12,15	0,00	0,00	0,00
Zn	57,83	5,44	36,73	0,00	0,00	0,00
Sn	32,35	10,60	57,06	0,00	0,00	0,00
Ni	40,84	10,86	48,29	0,00	0,10	0,00
Cr	37,67	9,09	53,24	0,00	0,00	0,00
Hu	69,18	16,75	12,67	0,00	0,00	1,40
Störstoffe	27,50	0,00	30,58	0,00	0,00	41,93
Menge	60,01	13,61	19,05	2,29	0,66	4,38

Wesentliche Anlagenänderungen wurden durchgeführt, indem der Stoffstrom über einen weiteren Magnetabscheider, einen Wirbelstromabscheider für NE - Metalle und über einen speziellen Windsichter zur Störstoffabscheidung geführt wird. Durch besondere Luftführung und Bürsten können dabei gezielt schwere 3D - Körner abgetrennt werden. Der dadurch gewonnene HOTDISC - EBS hat u. a. folgende Qualität:

Korngröße [d_{90}]:	≤ 120 mm
Heizwert (Hu):	14 - 16 MJ/kg
Chlorgehalt:	0,6 - 0,8M%
Biogener Kohlenstoff (C_{biogen})	50,6 - 51,9M%
Aschegehalt:	19,9 - 30M%
Wassergehalt:	15%

7. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Wie vorausgehend dargestellt worden ist, gehen Erzeugung und Einsatz von Ersatzbrennstoffen (EBS) in Österreich auf das in der Deponieverordnung 2004 verankerte Verbot der Ablagerung von Restmüll ohne Vorbehandlung zurück. Da die Kapazität an (Rest) - Abfallverbrennungsanlagen auch z.Z. noch nicht ausreichend ist, muss ein Teil des stofflich nicht verwertbaren Abfalls in MBA mechanisch - biologisch für die nachfolgende Deponierung vorbehandelt werden, wobei zwangsweise eine höher - kalorische Leichtfraktion als „Siebüberlauf“ anfällt, die als Sekundärabfall zur EBS - Produktion eingesetzt wird. Die EBS - Produktion umfasst allgemein die Schritte: Vorzerkleinerung, Störstoffabscheidung, Nachzerkleinerung und Konfektionierung, wobei je nach Bedarf des Abnehmers bzw. je nach Mitverbrennungsanlagen – abgesehen von den gesetzlichen Regelungen zur Schadstoffbegrenzung – bestimmte Spezifikationen eingehalten werden müssen. So umfasst z.B. der Heizwert unterschiedlicher EBS - Sorten eine Bandbreite von 11 MJ/kg bis 25 MJ/kg. Eine wesentliche Grundvoraussetzung für den Einsatz von EBS in Mitverbrennungsanlagen ist eine sehr rigorose Qualitätssicherung, die nur durch ein relativ aufwendiges Probenahme- und Analyseprogramm zu erzielen ist. In Österreich werden hauptsächlich Ersatzbrennstoffe für Wirbelschichtanlagen und für Zementwerke (Primär- &

Sekundärfeuerung) erzeugt. Der Einsatz von EBS in Kraftwerken ist dazu in Vergleich zu Deutschland sehr gering, da beim Einsatz von EBS gesetzliche Probleme bei der Verwertung/Entsorgung von anfallenden Kraftwerksschlacken & -Aschen bestehen (Baumgartner (2004)). Wie die dargestellten Beispiele, d. h. Aufbereitung von gemischten Siedlungsabfällen und Gewerbemüll zu Wirbelschicht EBS, hochkalorischen ASB und mittelkalorischen HOTDISC - EBS zeigen, können durch Anlagenmodifikationen ganz gezielt bestimmte Qualitäten von Ersatzbrennstoffen hergestellt werden. Dabei ist die Stoffflussanalyse eine unschätzbare Hilfe, da sich mit ihr aus den abfall- und anlagenspezifischen Transferfaktoren (die aus der Sortieranalyse bestimmt werden) die Qualitäten der Stoffströme in der Anlage simulieren und prognostizieren lassen. Damit hat man dann die Basisdaten in der Hand, um eine bestehende Anlage in Hinblick auf die Produktpalette der gewünschten EBS - Ausbringung auslegen, modifizieren und umbauen zu können.

LITERATUR

Baumgartner, A. (2004): Stoffliche Verwertung von Reststoffen aus der Mitverbrennung von Alternativbrennstoffen in Kraftwerken. Dissertationsarbeit (PhD-Thesis) am IAE-Institut der Montanuniversität Leoben.

Beckmann, M. (2008): Zusammenhang zwischen Biogenem Anteil von EBS und seinem Heizwert. Persönliche Mitteilung, TU Dresden.

BMFLUW (2004): BGBl. Nr. 164/1996 in der Fassung BGBl. II Nr. 49/2004: Verordnung über die Ablagerung von Abfällen (Deponieverordnung 2004).

BMFLUW (2004): BGBl. II Nr. 389/2002 zuletzt geändert durch BGBl. II Nr. 296/2007: Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und des Bundesministers für Wirtschaft und Arbeit über die Verbrennung von Abfällen (Abfallverbrennungsverordnung - AVV).

BMFLUW (2004): BGBl. II Nr. 39/2008: Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Deponien (Deponieverordnung 2008).

Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und Bundesminister für Wirtschaft, Familie und Jugend (2009): Verordnung mit der die Abfallverbrennungsverordnung geändert wird (AVV-Novelle 2009).

Bundesministerium der Justiz (2007): KrW-/AbfG - Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz.

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2006): Bundesabfallwirtschaftsplan 2006; Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich (Statusbericht 2009). Stand: September 2010.

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2008): Richtlinie für Ersatzbrennstoffe. März 2008.

European Committee for Standardization (CEN/TC 343 / WG3 (2010)): pr EN 15590 "Solid recovered fuels - Determination of potential rate of microbial self heating using the real dynamic respiration index, 2010.

Fleischhacker, S. (2009): Ersatzbrennstoffe – Brennstoffe aus Abfällen. Bakkalaureatsarbeit am IAE - Institut der Montanuniversität Leoben.

Kreindl, G. (2010): Herausforderungen der NIR - Sortierung von gemischten Abfällen aus Industrie und Gewerbe. In: K. E. Lorber et al. (Hrsg.): DepoTech 2010 Tagungsband, S. 249-256., ISBN: 978-3-200-02018-4.

Kunter, A & Wellacher, M. (2010): Neue Entwicklungen bei der Ersatzbrennstoffaufbereitung. In: K. E. Lorber et al. (Hrsg.): DepoTech 2010 Tagungsband, S. 653-656., ISBN: 978-3-200-02018-4.

Lorber, K.E., Kneissl, P.J. & Staber, W. (2008): Bestimmung des biogenen/fossilen Brennstoffanteils durch ^{14}C im Rauchgas. In: K. E. Lorber et al. (Hrsg.): DepoTech 2008 Tagungsband, S. 251-256., ISBN: 978-3-86797-028-0.

Lorber, K. E., Staber, W. & Kneissl, P. (2008): Neue Abfallverbrennungsanlagen in Österreich. In: K. J. Thomé – Kozmiensky & Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall Tagungsband 4, 2008, S. 553-570., ISBN: 978-3-935317-32-0.

ÖNORM CEN/TS 15442 (2007): Feste Sekundärbrennstoffe - Verfahren zur Probenahme, 2007/01/01.

ÖWAV (2003): Regelblatt 514 - Die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft Wien. Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband.

Pomberger, R. (2007): Ersatzbrennstoffe aus Siedlungsabfällen - Anforderungen, Möglichkeiten, Betriebserfahrungen. Vortragsmanuskript zur ÖWAV / UBA - Tagung in Wien, 2007.

Pomberger, R. (2008): Entwicklung von Ersatzbrennstoff für das HOTDISC - Verfahren und Analyse der abfallwirtschaftlichen Relevanz. Dissertationsarbeit (PhD-Thesis) am IAE-Institut der Montanuniversität Leoben.

Pomberger, R. & Abl, C. (2008): Mittelkalorischer Ersatzbrennstoff für das HOTDISC - Verfahren. In K. E. Lorber et al. (Hrsg.): DepoTech 2008 Tagungsband, S. 275-280., ISBN: 978-3-86797-028-0.

Raupenstrauch, H. & Walkner, R. (2004): Untersuchung des Selbsterwärmungsverhaltens eines Lagers für aufbereiteten Substitut Brennstoff (ASB). Untersuchungsbericht des Instituts für Apparatebau, Mechanische Verfahrenstechnik und Feuerungstechnik, TU Graz.

Romano, S. (2010): Municipal Solid Waste Management Policies and Problems in Naples. In: K. E. Lorber et al. (Hrsg.): DepoTech 2010 Tagungsband, S. 135-140., ISBN: 978-3-200-02018-4.

Schelch, M. (2007): Qualitätssicherung bei der thermischen Verwertung von Ersatzbrennstoffen. Dissertationsarbeit (PhD-Thesis) am IAE-Institut der Montanuniversität Leoben.