

Risiken der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung

Karl J. Thomé-Kozmiensky und Michael Beckmann

1.	Mechanisch-biologische Verfahren der Abfallbehandlung ...	114
2.	Einordnung der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung in Konzepte der Abfallwirtschaft	116
3.	Problemfelder der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung.....	117
3.1.	Verwertung von Ersatzbrennstoff	122
3.2.	Ersatzbrennstoffmarkt	127
3.3.	Zwischenlagerung von Restabfall und Ersatzbrennstoffen	128
3.4.	Ablagerungskriterien	134
4.	Zusammenfassung	134
5.	Quellen	136

Probleme müssen vor dem Hintergrund zuvor verbindlich festgelegter Zielvorgaben identifiziert werden. In der Abfallwirtschaft lassen sich zunächst aus ökologischer Sicht zusammengefasst drei wesentliche Ziele formulieren:

- Umwandlung von gefährlichen Substanzen in solche, die unbedenklich und stabil an Luft, Wasser, Boden abgegeben werden können. Diese Medien müssen sich also für diese Stoffe als letzte Senke eignen.
- Abtrennung von verwertbaren Stoffen und Umwandlung der chemisch gebundenen in nutzbare Energie mit dem Ziel, diese in den Produktionskreislauf wieder einzubinden und zu nutzen. Dies bedeutet Ressourcenschonung.
- Gewinnung von Informationen für die Hersteller von Produkten. Dies bezieht sich auf Informationen sowohl für Produkte aus primären als auch sekundären Rohstoffen. Aus der Abfallwirtschaft müssen Informationen über die Eigenschaften und das Verhalten von Produkten beim Entsorgungsprozess kommen, damit die Hersteller dies ggf. bei der Werkstoffauswahl und der Produktgestaltung berücksichtigen können. Zudem wird die Produktinformation von den Verwertern der aus Abfall gewonnenen Produkte benötigt und bezieht sich auf Qualität, Quantität und Kontinuität der Lieferung.

Diese Ziele sind in den rechtlichen Grundlagen unter den Stichworten:

- Schutz von Mensch und Umwelt – Luft, Wasser, Boden, Flora, Fauna, Bauwerke, usw. –,
- Ressourcenerhaltung – Energie, Stoffe und Land –,
- nachsorgefreie Abfallwirtschaft

festgehalten.

Die Kosten für die Restabfallbehandlung sind entgegen landläufiger Vorstellung von untergeordneter Bedeutung für die Auswahl des Behandlungsverfahrens, zumal sie für die mechanisch-biologische als auch für die thermische Behandlung in neu errichteten Anlagen in etwa auf gleichem Niveau liegen.

Zudem werden die Kosten für die Abfallentsorgung meist verengt mit dem Fokus auf die Abfallgebühren diskutiert. Nicht beachtet werden die Beträge, die vom Konsumenten schon beim Kauf der Ware für die spätere Entsorgung entrichtet werden müssen, z.B. bei Verpackungen, Autos sowie Elektro- und Elektronikgeräten. Die zu entrichtenden Abfallgebühren setzen sich aus den Entsorgungskosten – Restabfallbehandlung und Logistik – den quersubventionierten Leistungen des Entsorgungsunternehmens – z.B. nicht kostendeckende Gebühren für die Biomüllentsorgung, Sperrmüllabfuhr, Schadstoffsammlung, Vorhalten von Recyclinghöfen, Bürgerinformationen – sowie den Gemeinkosten zusammen. Die Kosten für die Restabfallbehandlung – Abfallverbrennung und mechanisch-biologische Behandlung – betragen bei neu errichteten Anlagen zwischen 100 und 150 EUR pro Tonne Restabfall. Bei einem heute üblichen Restabfallaufkommen von zweihundert Kilogramm pro Person und Jahr sind dies zwanzig bis vierundzwanzig Euro pro Jahr und Person. Wird der hohe ab 2005 geltende Standard der Restabfallentsorgung berücksichtigt, ist dieser Anteil der Abfallentsorgungskosten und damit der -gebühren für den Einzelnen – auch in Anbetracht der Aufwendungen für den Konsum – außerordentlich niedrig.

In diesem Beitrag werden in erster Linie unter Bezug auf die eingangs genannten wesentlichen Ziele und auf den Stand der mechanisch-biologischen Verfahren, Probleme diskutiert. Auf das vorhandene Entwicklungspotential und auf den erforderlichen Untersuchungsbedarf wird hingewiesen.

Kap. 1.

Mechanisch-biologische Verfahren der Abfallbehandlung

Unter dem Oberbegriff mechanisch-biologische Abfallbehandlung werden unterschiedliche Verfahrensprinzipien zusammengefasst.

Mindestens drei Verfahrensprinzipien sind zu unterscheiden, die bislang in jedem Einzelfall auf so unterschiedliche Weise realisiert wurden, dass kaum eine Anlage mit einer anderen identisch ist:

- Endrotteverfahren
 - * Kaminzugverfahren,
 - * Dombelüftungsverfahren,
- Stoffstromtrennverfahren mit
 - * Rotte der Schwerfraktion,
 - * Vergärung der Schwerfraktion, wobei auch der Gärrest vor der Deponierung gerottet oder verbrannt wird,
- Stabilisierungsverfahren mit
 - * mechanisch-biologischer Stabilisierung,
 - * mechanisch-physikalischer Stabilisierung.

Mit den Endrotteverfahren wird unbehandelter oder zerkleinerter Müll, aus dem gelegentlich noch Schrott entnommen wird, ohne Immissionsschutzmaßnahmen auf der Deponie gerottet. Diese Verfahren waren die ursprüngliche Variante der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung, die auf berechtigten Widerstand stieß. Endrotteverfahren sind in Deutschland, Österreich und der Schweiz sowie in anderen Ländern mit hochentwickelter Abfallwirtschaft nicht mehr zulässig, weil mit ihnen weder der Immissionsschutz noch das Gebot der Abfallverwertung beachtet werden kann. Jedoch kann auch mit diesen Verfahren in Ländern, in denen die Abfallwirtschaft noch am Beginn ihrer Entwicklung steht, die Umweltsituation verbessert werden.

Mit den Stoffstromtrenn- und Stabilisierungsverfahren werden unterschiedliche Anteile und auch unterschiedliche Qualitäten des Abfalls als Ersatzbrennstoff dem Hausmüll entnommen:

- Mit Stoffstromtrennverfahren können mit recht einfacher Aufbereitungstechnik zunächst zwei hauptsächliche Fraktionen – eine verwertbare, heizwertangereicherte Leichtfraktion und eine nicht verwertbare, heizwertabereicherte Schwerfraktion – erzeugt werden. Die Leichtfraktion kann entweder als einfacher Ersatzbrennstoff ohne weitere Behandlung energetisch verwertet werden oder mit unterschiedlichen Verfahren nach den Anforderungen von Verwertungsbetrieben mehr oder weniger aufwendig konfektioniert werden. Die Schwerfraktion muss in Deutschland ab dem 1. Juni 2005 vor ihrer Ablagerung verbrannt oder biologisch so behandelt werden, dass die Grenzwerte der Abfallablagerungsverordnung erreicht werden.
- Mit den technisch aufwendigeren Stabilisierungsverfahren kann mit biologischer oder physikalischer Trocknung sowie mit weitergehendem Einsatz von Sortiertechnik nahezu der gesamte im Abfall enthaltene Kohlenstoff im Ersatzbrennstoff konzentriert werden. Der nicht verwertbare Rest kann ohne weitere Behandlung in Abhängigkeit von seinem Glührückstand auf Deponien der Klasse I oder II abgelagert werden.

Anzumerken ist, dass die mechanisch-physikalischen Verfahren im strengen Wortsinn nicht unter dem Begriff mechanisch-biologische Verfahren eingeordnet werden dürfen, weil sie keine biologische Stufe aufweisen. Dennoch hat sich dies im Sprachgebrauch eingebürgert. Besser wäre die Bezeichnung mechanische und biologische Verfahren; noch besser wäre es, von physikalischen und biologischen Verfahren zu sprechen; doch wird sich dieser umfassendere und auch konkretere Begriff aller Wahrscheinlichkeit nach nicht durchsetzen.

Mit der biologisch-mechanischen Vorbehandlung der Restabfälle konnten die in der TA Siedlungsabfall geforderten Eingangswerte für die Deponie nicht erreicht werden.

Weil aber mit mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen das Abfallvolumen und die Reaktionsfähigkeit der abzulagernden Sekundärabfälle reduziert werden kann, wurden die unter diesem Begriff zusammengefassten Verfahren mit der Artikelverordnung vom 1. März 2000 unter strengen Auflagen für die Restabfallbehandlung zugelassen. Mit nunmehr gesetzeskonformen mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen müssen Ersatzbrennstoffe hergestellt werden, die Abgase müssen die Grenzwerte der 30. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz, die Sekundärabfälle zur Beseitigung müssen die Grenzwerte der Abfallablagerungsverordnung einhalten.

Kap. 2.

Einordnung der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung in Konzepte der Abfallwirtschaft

Die mechanisch-biologische Abfallbehandlung ist nur ein Baustein in Abfallwirtschaftskonzepten einiger Gebietskörperschaften, jedoch keine endgültige Lösung des Restabfallproblems, worauf auch Hahn [20] hinweist. Zum System, das im Zusammenhang mit der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung betrachtet werden muss (Bild 1), gehören zumindest:

- Die Stoffstromtrennung in eine oder mehrere heizwertangereicherte Fraktionen, in eine heizwertabgereicherte Fraktion und in Schrottfractionen,
- die biologische Behandlung der heizwertabgereicherten Fraktion bei den Stoffstromtrennverfahren,
- die biologische oder thermische Trocknung bei den Stabilisierungsverfahren,
- die Abgasbehandlung,
- die Deponierung der Sekundärabfälle, also der nicht verwertbaren Rückstände, die den Vorschriften der Abfallablagerungsverordnung entsprechen,
- die Logistik für die verschiedenen Fraktionen (Transport, Lagerung usw.),
- die Verwertung der Ersatzbrennstoffe,
- die weitere Aufbereitung von aussortierten Wertstoffen (Fe-/NE-Metalle, Kunststoffe usw.), falls erforderlich.

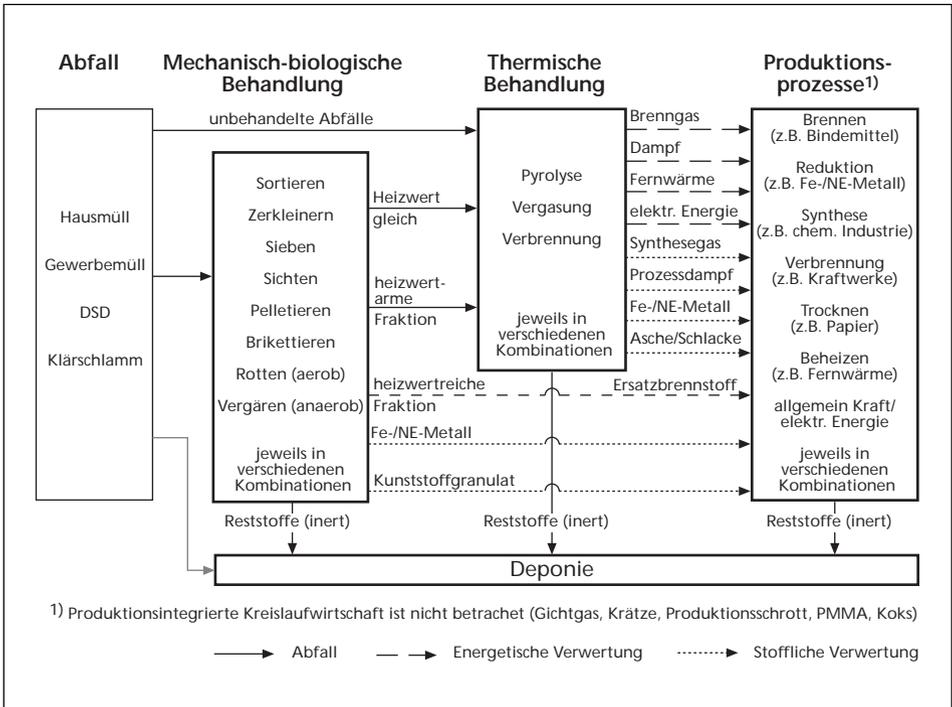


Bild 1: Grundoperationen der Abfallbehandlung – Verfahrensketten (Beispiele)

Quelle: Scholz, R.; Beckmann, M.: Substitution von Brennstoffen und Rohstoffen durch Abfälle in Hochtemperaturprozessen. DVV-Kolloquium Stoffliche und thermische Verwertung von Abfällen in industriellen Hochtemperaturprozessen, Braunschweig, 1998, S. 21-46

Kap. 3.

Problemfelder der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung

Zunächst sei auf einige derzeit aktuelle Problemfelder sowie zugehörige Arbeiten mit Lösungsansätzen hingewiesen. Anschließend sollen einige Problemkreise vertieft abgehandelt werden.

Zurzeit werden folgende Probleme identifiziert:

- Die **Kenntnis des Inputmaterials** ist für die mechanisch-biologische Abfallbehandlung weit bedeutender als für die Abfallverbrennung, weil bei letzterer langjährige Erfahrungen vorliegen und

* **Summenparameter** wie Heizwert, Asche- und Wassergehalt für die Auslegung der Verbrennungsanlagen ausreichen,

- * die Produkte Dampf und elektrischer Strom in gleichbleibender Qualität erzeugt werden,
- * der Sekundärabfall Asche/Schlacke nach der Verbrennung so aufbereitet werden kann, dass er verwertet oder abgelagert werden kann,
- * in den Sekundärabfällen Flugstaub und Rückstände aus der Abgasreinigung die nicht zerstörten anorganischen Schadstoffe konzentriert und in Untertagedeponien abgelagert werden.

Dagegen ist die genaue Kenntnis der Abfallzusammensetzung für die Auslegung mechanisch-biologischer Abfallbehandlungsanlagen und für die Abschätzung der Qualität der Produkte wesentlich bedeutungsvoller, weil

- * von der Qualität des Anlageninputs die Quantität und Qualität des Produktstroms nach jedem einzelnen Verfahrensschritt abhängig ist,
- * das Produkt Ersatzbrennstoff hinsichtlich seiner Qualität und Quantität die Forderungen des Verwertungsbetriebs erfüllen muss,
- * die biologische Abfallbehandlung in Abhängigkeit vom Inputmaterial so gestaltet werden muss, dass die Grenzwerte der Abfallablagerungsverordnung sicher eingehalten werden und weil – bei Vergärungsanlagen – das Blockheizkraftwerk auf die Qualität und Quantität des erzeugten Biogases ausgelegt werden muss.

Der Rohstoff Abfall für die mechanisch-biologische Abfallbehandlung sowie die Produkte aus diesen Anlagen werden u.a. von Beckmann, Horeni, Scholz und Rüppel [3], Flamme [14], Löschau [37], Marb [39], Reith [49] und Tillmann [64] charakterisiert.

- Die **technische Ausgestaltung** der unter dem Begriff mechanisch-biologische Abfallbehandlung konzipierten Verfahren ist bei den meisten bislang errichteten und betriebenen Anlagen unterschiedlich. Erste Erfahrungen liegen vor, doch müssen die Erfahrungen der nächsten Jahre abgewartet werden, um Aussagen über günstige Anlagenkonfigurationen zu treffen und um das Optimierungspotential abzuschätzen.

Anlagenkonzepte werden u.a. von Brücklmeier [6, 7], Christiani und Heyde [9], Doedens [11], Düsterloh [12], Grünekee [18], Ketelsen, Kanning und Kleemann [25], Ketelsen [26], Koch [27], Langen [34], Nieweler [42], Rotter [50 und 51], Stegmann [54], Thiel [58], Thomé-Kozmiensky [60, 61] und Wallmann et al. [66] dargestellt.

- **Abgase** fallen bei der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung an unterschiedlichen Stellen an und sind von der Anlagenkonfiguration hinsichtlich ihrer Qualität und Quantität abhängig.

Die Reinigung der Abgase aus den mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsverfahren wird u.a. von Angerer und Lorber [2], Cuhls [10], Kahn [23] und Thalhammer [57] erörtert.

- Die **Klimarelevanz** von Abfallbehandlungsanlagen hängt in erster Linie von den emittierten Abgasen ab. Aus jeder Abfallbehandlungsanlage werden Abgase emittiert, die vor Eintritt in die Atmosphäre nach den Vorschriften des Bundes-Immissionsschutzgesetzes und der einschlägigen Verordnungen gereinigt werden. Dennoch kann in Anbetracht des hohen Anteils an biogenen Abfallbestandteilen und der vermiedenen Methanemissionen aus Depo-nien (Bild 2) mit der Restabfallbehandlung ein Beitrag zum Klimaschutz geleistet werden.

Die Klimarelevanz der verschiedenen Abfallbehandlungsverfahren wurde u.a. vom Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung [15], Hackl [19] und Johnke [22] untersucht.

- **Qualität und Quantität der Ersatzbrennstoffe** aus mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen werden über den langfristigen Erfolg des Verfahrens entscheiden. Erfahrungen mit unterschiedlichen Ersatzbrennstoffen liegen sowohl bei Kraftwerken als auch bei Zementwerken vor. Neu ist allerdings die Herausforderung der Verwertung von aus Hausmüll erzeugten Ersatzbrennstoffen, die zudem im Wettbewerb mit homogenen Ersatzbrennstoffen wie Altreifen, Tiermehl, Klärschlamm und Gewerbeabfällen stehen werden. Aus den bislang vorliegenden Erfahrungen kann geschlossen werden, dass auch der Ersatzbrennstoff aus Hausmüll – zumindest mittelfristig – nutzbringend verwertet werden kann.

Bei mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen müssen nicht nur die Anlagen selbst, sondern auch die Verwertung der Ersatzbrennstoffe, sofern diese nicht im eigenen Unternehmen verwertet werden, berücksichtigt werden.

Unterschiedliche Möglichkeiten der Verwertung dieses Ersatzbrennstoffs werden u.a. von Anderl und Kaufmann [1], Both [4 und 5], Holarek und Lischke [21], Kaulbarsch [24], Langen [34], Löffler [35], Maierhofer [38], Martin und Fleck [40], Piechura [45], Pruckner [46], Reil, Angerer und Lorber [47], Reil, Angerer und Prochaska [48], Reith [49], Schulz [53], Terhorst und Glorius [56], Tietze [63] und Zeschmar-Lahl [67], N.N. [68, 69, 70] sowie Scholz, Beckmann und Jäger beschrieben.

- **Bilanzen** sind wesentliche Kriterien für die Beurteilung von Verfahren. Bilanzierungen – Stoff-, Massen- und Energiebilanzen – und Bewertungen von mechanisch-biologischen Verfahren und Kombinationen aus mechanisch-biologischen Verfahren und thermischen Verfahren sowie deren Vergleich mit thermischen Verfahren bei Betrachtung umfassender Systemgrenzen – Verfahrenskette – sind u.a. von Scholz, Beckmann, Schulenburg, Ketelsen, Lahl, Kicherer und Brunner durchgeführt worden.
- Die **Logistik** – Transport und ggf. Zwischenlagerung – ist bei mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen aufwendiger als bei Verbrennungsanlagen. Während die Restabfälle meist in Sammelfahrzeugen zu den Müllverbrennungsanlagen gebracht und nur geringe Mengen Sekundärabfälle

zur Entsorgung transportiert werden müssen, wird mit der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung eine vergleichsweise große Ersatzbrennstoffmenge erzeugt, die zum Verwertungsbetrieb transportiert werden muss, sofern dieser nicht unmittelbar hinter der Aufbereitungsanlage angeordnet ist.

Ein besonderes Problem stellen die voraussichtlich notwendigen Zwischenlager dar. Zu unterscheiden sind Notfall- und Havariezwischenlager für nicht sofort behandelbaren Restabfall und Ersatzbrennstoffzwischenlager. Die erstgenannten Lager müssen ggf. sowohl für Abfallverbrennungs- als auch für mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlagen errichtet werden. Zwischenlager für Ersatzbrennstoffe werden notwendig, wenn ausreichende Kapazität für die Verwertung noch nicht vorhanden ist.

Die Probleme der Logistik für die Produkte aus den mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen wurden u.a. von Thomé und Thomé-Kozmiensky [59] abgehandelt.

- Auch mit der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung wird ein Beitrag zur Reduzierung der Methanemission aus **Deponien** geleistet (Bild 2).

Das **Deponieverhalten** der Abfälle aus der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung unterscheidet sich sowohl von dem unbehandelten Restabfälle als auch von Asche/Schlacke aus der Abfallverbrennung.

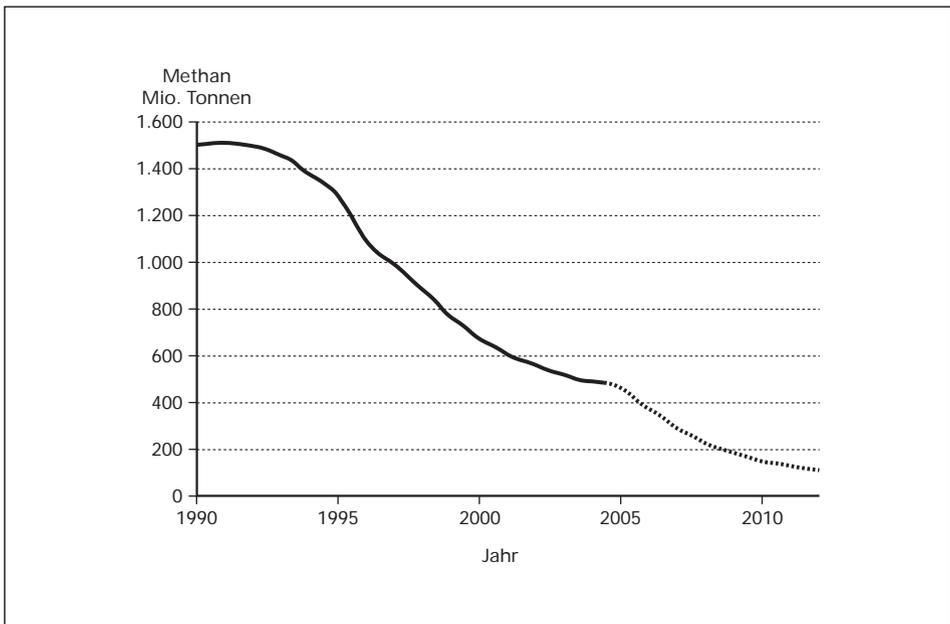


Bild 2: Methanemissionen aus Deponien (FOD-Methode) (Daten: bis 2002 NIR 2004, ab 2002 Prognose UBS)

Aus den Stoffstromtrennverfahren fallen biologisch behandelte Sekundärabfälle an, die deponiert werden müssen. Das Ablagerungsverhalten dieser Abfälle unterscheidet sich in erheblichem Maße von dem des unbehandelten Hausmülls. Während Hausmüll wegen des in ihm enthaltenen Strukturmaterials mit vergleichsweise steilem Böschungswinkel deponiert werden kann, verhält sich der Sekundärabfall – zudem in Abhängigkeit von der Art der biologischen Behandlung – insbesondere hinsichtlich seines Fließverhaltens grundsätzlich anders. Die bislang praktizierte Methode der gemeinsamen Ablagerung mit unbehandeltem Hausmüll ist ab 2005 nicht mehr zulässig. Derzeit werden Untersuchungen mit dem Ziel der Verbesserung der Ablagerungsfähigkeit – z.B. durch Mischen mit Asche/Schlacke aus der Abfallverbrennung – durchgeführt.

Die mit der Technik der Deponierung der Schwerfraktion zusammenhängenden Probleme und Lösungsansätze werden u.a. von Fricke et al. [16], Koch und Kanitz [28], Kühle-Weidemeier [31], Lorber, Novak und Müller [36] und Thomé-Kozmiensky [60] referiert.

- **Abwasser** kann in mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen an verschiedenen Stellen anfallen, z.B. im Bunker, bei der Vergärung und Rotte, aus der Abgasreinigung und bei der Reinigung der Anlage. Die gelegentlich praktizierte Rückführung des Abwassers in die Rotte hat allerdings den Nachteil, dass Schadstoffe nicht ausgeschleust werden, sofern es nicht vorher behandelt wird. Inwieweit dadurch die Ablagerungsfähigkeit des gerotteten Materials beeinträchtigt wird, müssen die Erfahrungen zeigen.

Die Reinigung des Abwassers aus mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen beschreibt u.a. Schalk [52]. Die Reinigung des Sickerwassers aus Deponien, in denen die Schwerfraktion aus Stoffstromtrennverfahren abgelagert wird, stellen u.a. Krümpelbeck und Ehrig [30] dar.

- Der **Integration in Abfallwirtschaftskonzepte** kommt besondere Bedeutung zu, weil die mechanisch-biologische Abfallbehandlung nur einen Schritt der Restabfallentsorgung darstellt.

Mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlagen stehen in den meisten Fällen örtlich alleine als Restabfallbehandlungsanlagen, gelegentlich auch im Zusammenhang mit Abfallverbrennungsanlagen. Ihre Besonderheit ist die Produktion von Ersatzbrennstoff, der entweder in unmittelbarer Nähe verwertet oder zu entfernteren Konfektionierungs- oder Verwertungsanlagen transportiert wird. Dies wird bei der Integration in die Abfallwirtschaftskonzepte berücksichtigt.

Konzeptentwürfe und Konzepte für die Integration der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung in Abfallwirtschaftskonzepte werden u.a. von den BSR [8], Fendel [13], Hahn [20], Kossina [29], Pergande [43] und Petersen [44] präsentiert.

- Die Problematik der **Ausschreibung** von mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen zeigen u.a. Gäde-Butzlaff und Bortnowsky [17], Matthes [41], Tabasaran und Huber [55], Turk et al. [65] und von Ersatzbrennstoff in diesem Buch Gaßner auf.

Kap. 3.1.

Verwertung von Ersatzbrennstoff

Die größte Herausforderung für Betreiber von mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen wird die Verwertung des Ersatzbrennstoffs darstellen.

Für dessen Verwertung gelten zunächst allgemeine Grundsätze, die lediglich Leitlinien vorgeben, die im einzelnen Fall mit großer Sorgfalt und insbesondere mit genauer Kenntnis des konkreten Verwertungsverfahrens beachtet werden müssen. Erst Detailkenntnisse über den Verwertungsprozess schaffen Verständnis des Ersatzbrennstoffproduzenten für die Forderungen des Verwerter und können beide zu Partnern machen.

Der Ersatzbrennstoffproduzent muss zunächst einmal realisieren, dass er aus Hausmüll keinen genormten Brennstoff herstellt, wie dies bei den primären – Erdgas, Erdöl und Kohle – sowie sekundären – Heizöl, Koks und Briketts – Brennstoffen der Fall ist. Hier wählt der Kunde aus Listen die für sein Verfahren passenden Brennstoffe und bezahlt dafür. Der Bezieher von Ersatzbrennstoff hat entweder eine eigens darauf abgestimmte Anlage gebaut oder eine vorhandene Anlage auf die Erfordernisse von Ersatzbrennstoff abgestimmt. In beiden Fällen ist der Abnehmer des Ersatzbrennstoffs hinsichtlich der Qualität nur in den Grenzen frei, die von der Ausführung seiner Anlage und von den mit ihr erzeugten Produkten vorgegeben wird. Diese Randbedingungen hinsichtlich der Anlage werden im Vertrag zwischen dem Anlagenbauer und dem Anlagenbetreiber der Verwertungsanlage festgelegt. Verwendet der Anlagenbetreiber andere Brennstoffe, kann er die Garantie verlieren. Die Grenzen werden von den Möglichkeiten der Verfahrenstechnik und des Maschinenbaus festgelegt.

Im Idealfall arbeiten Ersatzbrennstoffhersteller und -verwerter schon in der Planungsphase beider Anlagen zusammen, damit jeder Seite die Möglichkeiten und Grenzen des Partners bekannt sind und in die Planungen der Anlagen eingehen können.

Ersatzbrennstoff kann am Ort der Ersatzbrennstoffherzeugung oder an anderen Orten verwertet werden. Bei der Verwertung des gesamten erzeugten Ersatzbrennstoffs am Ort der Ersatzbrennstoffherstellung – z.B. in eigens dafür errichteten Industriefeuerungen – wird kein Marketingkonzept für den Ersatzbrennstoff benötigt. Der Betreiber der Aufbereitungsanlage stellt den Ersatzbrennstoff so her, wie er für die Verwertungsanlage benötigt wird. Dieses Konzept scheint sich bei einigen Industrieunternehmen trotz mancher Rückschläge durchzusetzen. Wird aber die Produktion eines Werkes, für dessen Energieversorgung das Ersatzbrennstoff-Industriekraftwerk errichtet wurde, eingestellt, kann die Entsorgungssicherheit gefährdet werden. Das ggf. mögliche Ausweichen auf die Einspeisung von elektrischem Strom in das Netz eines Energieversorgers wird in der Regel die Energiebilanz und die Wirtschaftlichkeit beeinträchtigen.

Anders sieht die Situation für die Erzeuger aus, die ihren Ersatzbrennstoff vermarkten müssen. Als potentielle Hauptabnehmer werden zurzeit Betreiber von Groß- und Industriekraftwerken, Vergasungsanlagen und Zementwerke genannt, in denen der Ersatzbrennstoff extern verwertet wird. Diese Verwerter haben jeweils auf ihre Prozesse abgestimmte Anforderungen hinsichtlich Qualität – Schadstoffgehalt und Darbietungsform –, Quantität und Kontinuität der Lieferung. Für die Ersatzbrennstoffabnahme werden sie sich ungern festlegen lassen. Hersteller von Ersatzbrennstoffen für die Vermarktung müssen diese Forderungen kennen und bei der Gestaltung ihrer Produktionsprozesse berücksichtigen. Ggf. müssen sie ihre Anlagen so flexibel gestalten, dass sie saisonal oder bei Veränderung der Marktlage unterschiedliche Verwerter beliefern können. Hier kann die Errichtung von zentralen Konfektionierungsanlagen für mehrere Ersatzbrennstoffproduzenten hilfreich sein.

Ersatzbrennstoffe aus Hausmüll müssen im Wesentlichen folgende Voraussetzungen erfüllen, wenn sie in nicht eigens für ihre Verwertung gebauten Industrieanlagen verwertet werden sollen:

- Mit dem Einsatz von Ersatzbrennstoff dürfen die Emissionen aus dem Verwertungsprozess nicht signifikant erhöht werden; insbesondere dürfen keine Schadstoffe emittiert werden, für die die Abgasreinigung des Prozesses nicht ausgelegt ist, weil sonst die Abgasreinigungsanlagen nachgerüstet werden müssen. Die Vorschriften hierzu sind in der Novelle der 17. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes festgelegt, siehe dazu auch Lahl und Ludwig [32].
- Die Produktqualität darf nicht beeinträchtigt werden; dies betrifft bei Zementwerken die Zementqualität und bei Kraftwerken die Qualität der Stäube aus der Abgasentstaubung und des Gipses aus der Abgasentschwefelung, wenn diese industriell verwertet werden sollen.
- Der Verwertungsprozess darf nicht negativ beeinflusst werden. Dies bezieht sich auf die Lagerung, die Aufgabe in den Reaktor, die Reaktionen im Reaktor, den Austrag der Asche/Schlacke und des Flugstaubs sowie auf die peripheren Anlagen des Hauptprozesses.

Darüber hinaus ist im Zusammenhang mit den eingangs genannten übergeordneten Ziele die wichtige Forderung verbunden, dass sich für die gesamte Verfahrenskette, bestehend aus der Ersatzbrennstoffherstellung und -verwertung sowie aus den Behandlungsschritten für Restfraktionen usw. eine positive Energiebilanz ergibt, d.h., dass der aus dem Abfall hergestellte Brennstoff tatsächlich fossile Brennstoffe ersetzt (Ersatzbrennstoff).

Aus den genannten Zielen können Forderungen an den Ersatzbrennstoff abgeleitet werden:

- Brennstoffparameter und Aschezusammensetzung müssen den spezifischen Anforderungen des Prozesses entsprechen.
- Schwermetallgehalte – Nebenbestandteile wie Chlor, Schwefel, Alkalien, Magnesiumoxid – müssen begrenzt werden.

- Der Ersatzbrennstoff muss dosierbar, z.B. rieselfähig sein.
- Der Ersatzbrennstoff darf nur Stückgrößen aufweisen, die mit dem Verwertungsprozess bewältigt werden können.
- Der Ersatzbrennstoff muss weitgehend frei von Störstoffen sein; dies kann sich sowohl auf Schadstoffe als auch auf Materialien – z.B. große, sperrige Abfallbestandteile wie Drähte oder Bettfedern – beziehen.

Das Aufbereitungsverfahren muss also auf den Verwertungsprozess oder bei mehreren Produktabnehmern auf die jeweiligen Verwertungsprozesse abgestimmt werden. Die Verwerter werden ihre Qualitätsanforderungen formulieren und ihre Einhaltung überwachen.

Die Anforderungen an den Ersatzbrennstoff richten sich auch nach sonstigen Einsatzstoffen, auf die der Prozess abgestimmt ist, nach den Mengenverhältnissen der Einsatzstoffe sowie nach den verfahrenstechnischen und genehmigungsrechtlichen Gegebenheiten.

Bisher werden zunächst Ersatzbrennstoffe in mechanisch-biologischen Verfahren erzeugt und danach wird nach der Möglichkeit einer Verwertung gesucht. Im Hinblick auf eine gezielte, auf den Anwendungsfall orientierte Herstellung von Ersatzbrennstoffen besteht noch erheblicher Entwicklungsbedarf. Parallel dazu besteht bezüglich Untersuchungen zur brennstofftechnischen Charakterisierung von Ersatzbrennstoffen (chemische, kalorische, mechanische und reaktionstechnische Eigenschaften) sehr großer Nachholbedarf; die Angabe des Heizwerts und die Spurenanalyse reichen für die Beurteilung des Brennverhaltens in einer Feuerung nicht aus.

Beispiel Kraftwerke

Ersatzbrennstoffe werden in Steinkohle- und Braunkohlekraftwerken als Ersatz für einen Teil der Regelbrennstoffe und zukünftig wahrscheinlich vermehrt in eigens für diesen Zweck gebauten Industriekraftwerken eingesetzt werden. Am sensibelsten gegen Qualitätsschwankungen sind Steinkohlekraftwerke mit hohen Wirkungsgraden; lediglich die Betreiber von älteren Steinkohlekraftwerken, die in absehbarer Zeit außer Betrieb genommen werden, interessieren sich für die Annahme von Ersatzbrennstoffen. Mit Braunkohlekraftwerken kann flexibler als mit Steinkohlekraftwerken auf Unterschiede der Brennstoffqualität reagiert werden, insbesondere wenn in ihnen minderwertige Kohlen, d.h. ballastreiche und salzhaltige Braunkohlesorten, verfeuert werden. Zunehmend werden Industriekraftwerke, die eigens für die Verwertung von Ersatzbrennstoffen ausgelegt werden, geplant. Bei diesen Anlagen werden – ähnlich wie bei Abfallverbrennungsanlagen – die Ersatzbrennstoffeigenschaften hinsichtlich Darbietungsform und Schadstoffgehalt berücksichtigt. Problematisch hinsichtlich der Entsorgungssicherheit ist allerdings die Abhängigkeit von der Produktion und der Unternehmenspolitik des Industrieunternehmens. Neu ist die Möglichkeit der Anpassung von Biomassekraftwerken an Ersatzbrennstoffe, weil solche Kraftwerke hinsichtlich ihrer Kapazität im Vergleich zum Holzaufkommen insgesamt

in zu großer Zahl geplant und gebaut wurden. Dies erscheint hinsichtlich der Einhaltung der Emissionsgrenzwerte kein Problem zu sein, sofern diese Kraftwerke über eine Zulassung nach der 17. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz verfügen. Ob die Feuerung und die Dampferzeuger für Ersatzbrennstoffe geeignet sind, hängt von der geplanten Biomassequalität und der Darbietungsform der Ersatzbrennstoffe ab.

Bevorzugt werden Ersatzbrennstoffe, deren Ursprung, Transport und Aufbereitung kontrollierbar sind.

Die physikalische Beschaffenheit der Ersatzbrennstoffe ist wesentlich für

- die Transportfähigkeit,
- das Einbringen in die Feuerung,
- die Brennfähigkeit.

Ersatzbrennstoff wirkt sich auf den Feuerungs- und Kesselbetrieb aus, er weicht vom Auslegungsbrennstoff in folgenden Parametern ab:

- Zündverhalten,
- Ausbrandgeschwindigkeit,
- Aschegehalt,
- Wassergehalt,
- Gehalt an flüchtigen brennbaren Verbindungen,
- Gehalt an flüchtigen nicht brennbaren Verbindungen, insbesondere an flüchtigen anorganischen Verbindungen, z.B. Salzen,
- Gehalt an Spurenelementen.

Der Wassergehalt beeinflusst die Verbrennung und das chemische Verhalten der Begleitstoffe. So kann die Verwendung von Ersatzbrennstoff zur mehr oder weniger ausgeprägten Bildung von Chlorwasserstoff und Chloriden sowie von Schwefelverbindungen im Abgas führen.

Auf die Abgasreinigung, mit Ausnahme von leichtflüchtigen anorganischen Verbindungen, z.B. von Quecksilber und Cadmium, hat die Verwertung von Ersatzbrennstoffen geringe Auswirkungen. Ein zu hoher Quecksilbergehalt ist ein Ausschlusskriterium, da der nachträgliche Bau von Abgasreinigungsanlagen zur Abscheidung insbesondere dieses Schwermetalls kaum wirtschaftlich vertretbar ist.

Die Verwendung von Ersatzbrennstoffen hat auch Auswirkungen auf die Abgasreinigungsrückstände:

- Aschegehalte, die deutlich höher als die der Regelbrennstoffe sind, können die Funktion der Entschungsanlage beeinträchtigen,
- die Verwertbarkeit der Asche/Schlacke und des REA-Gipses kann durch die Ersatzbrennstoffverwertung beeinträchtigt werden.

Der wirtschaftliche Vorteil des Ersatzbrennstoffeinsatzes wird von den Kraftwerksbetreibern gegen den zusätzlichen Aufwand und das zusätzliche Risiko abzuwägen sein.

Die Kosten für den zusätzlichen Aufwand sind nur kalkulierbar, wenn der vorgesehene Ersatzbrennstoff auch im geplanten Umfang sicher zur Verfügung steht. Dazu gehört auch der Zeithorizont. Für den Kraftwerksbetreiber muss die langfristige Belieferung mit Ersatzbrennstoff zu vorhersehbaren Zuzahlungen sichergestellt sein. Andererseits wird er keine langfristige Zusage über die Abnahme des Ersatzbrennstoffs geben können, weil er hinsichtlich der Folgen des Ersatzbrennstoffeinsatzes über Erfahrungen nicht verfügt und die Restlaufzeit des Kraftwerks von der Unternehmenspolitik des Energieversorgungsunternehmens bestimmt wird.

Mit einem RAL-Gütesiegel versehenen Ersatzbrennstoffen wird die Genehmigung erleichtert. Diese Anforderungen beschränken sich jedoch auf die Zusammensetzung unter Berücksichtigung der Emissionsbegrenzungen nach der 17. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz. Weitere garantierte Qualitätskriterien, wie sie zurzeit diskutiert werden, werden die Entscheidung des Kraftwerksbetreibers für die Verwertung von Ersatzbrennstoff erleichtern.

Aus Äußerungen der Kraftwerkswirtschaft ist zudem zu vernehmen, dass ihre Entscheidung auch von der öffentlichen Akzeptanz – der Umweltverbände und der Anwohner – abhängt.

Der Standpunkt der Großkraftwerksbetreiber zu den Qualitätskriterien kann zusammengefasst werden:

- Qualitätskriterien alleine nach der Emissionsrelevanz reichen nicht aus, auch verfahrenstechnische Aspekte müssen berücksichtigt werden.
- Inhaltsstoffe, die den Anlagenbetrieb stören können, müssen individuell beurteilt werden.
- Emissionsrelevante Inhaltsstoffe bis auf Quecksilber sind für Anlagen mit Abgasentschwefelungsanlagen größtenteils irrelevant.
- Für den Einsatz in Anlagen ohne Abgasentschwefelungsanlage müssen Ersatzbrennstoffe auch bezüglich der emissionsrelevanten Inhaltsstoffe kohleäquivalent sein. Entscheidungskriterium ist das genehmigte Brennstoffband.
- Die Verwertbarkeit der Nebenprodukte muss auch bei Einsatz von Ersatzbrennstoff gesichert sein.
- Die Verwertung von Ersatzbrennstoff muss in der Öffentlichkeit akzeptiert sein.

Kap. 3.2.

Ersatzbrennstoffmarkt

Die Qualität des Ersatzbrennstoffs aus Hausmüll und der Wettbewerb auf dem Brennstoffmarkt bestimmen den Absatz und die Absatzbedingungen. Ersatzbrennstoff aus Hausmüll steht im Wettbewerb sowohl mit primären Energieträgern wie Erdgas, Erdöl und Kohle sowie den daraus gewonnenen Sekundärbrennstoffen wie Stadtgas, Koks und Briketts als auch mit den übrigen Ersatzbrennstoffen wie Altöl, gebrauchten Lösungsmitteln, Altreifen, Tiermehl und zukünftig mit der Shredderleichtfraktion aus der Altautoverwertung.

Da Ersatzbrennstoffe aus Hausmüll mindere Qualität als die meisten genannten Ersatzbrennstoffe aufweisen, werden auch für ihre Abnahme keine – ggf. noch keine – Erlöse erzielt. Vielmehr müssen die Erzeuger von Ersatzbrennstoffen zum Teil erhebliche Zahlungen an die Verwerter leisten, die zurzeit in Abhängigkeit von der Ersatzbrennstoffqualität und vom Verwertungsverfahren zwischen zwanzig und hundert Euro pro Tonne Ersatzbrennstoff liegen. Für die Herstellung von Ersatzbrennstoff muss häufig erheblicher technischer und auch finanzieller Aufwand geleistet werden. Daher kann die Herstellung von qualitativ hochwertigem Ersatzbrennstoff – z.B. in Form von störstofffreien harten Pellets – unwirtschaftlicher als die Herstellung von Ersatzbrennstoff geringerer Qualität sein, auch wenn hierfür höhere Zuzahlungen gefordert werden.

Einen besonderen Fall stellt die Verwertung von Ersatzbrennstoff dar, der in der ersten Aufbereitungsstufe nur mit einem grobmaschigen Sieb gewonnen wird, sofern diese Fraktion nicht weiter aufbereitet wird. Diese *Grobfraktion* kann wegen ihres hohen Störstoffanteils in Verwertungsanlagen kaum untergebracht werden, sondern muss in Abfallverbrennungsanlagen *verwertet* werden.

Einen weiteren Problemkreis stellt die Kontinuität der Abnahme des Ersatzbrennstoffs dar. Die Kunden werden Ersatzbrennstoffe nur in Zeiten annehmen, in denen sie ihre Anlagen betreiben. In fast allen Werken, in denen Ersatzbrennstoff verwertet werden kann, gibt es mehr oder weniger regelmäßig wiederkehrende geplante und ungeplante Stillstandszeiten; z.B. finden in der Zementindustrie häufig im Winter Revisionen statt, für die der Betrieb während bis zu zwei Monaten unterbrochen wird. In Kraftwerken werden die jährlichen Revisionen meist in den Sommermonaten durchgeführt.

Zur Sicherstellung der Verwertung von Ersatzbrennstoff aus Hausmüll ist daher ein flexibles Management notwendig, mit dem auf die Erfordernisse hinsichtlich Qualität, Quantität und Kontinuität reagiert werden kann.

Kap. 3.3.

Zwischenlagerung von Restabfall und Ersatzbrennstoffen

Über die Notwendigkeit von Zwischenlagern für Ersatzbrennstoffe und die damit zusammenhängenden Transportprobleme wurde ausführlich berichtet in [59]. Die Zwischenlagerung von Ersatzbrennstoff stellt hohe Anforderungen an die Logistik und verteuert den Ersatzbrennstoff um zwanzig bis dreißig Euro pro Tonne und erhöht damit – insbesondere unter Berücksichtigung des negativen Marktwerts des Ersatzbrennstoffs – die Entsorgungskosten. In den Bildern 3 und 4 (auf den Seiten 130 und 131) sind die Aufwendungen für die Logistik für die Alternativen der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung mit und ohne Zwischenlager dargestellt.

Zwischenlager für unbehandelten Restabfall werden erst ab 1. Juni 2005 Bedeutung gewinnen. Bislang kannten Betreiber von Entsorgungsanlagen dieses Problem nicht, da sie in der komfortablen Lage waren, bei geplanten und ungeplanten Stillständen ihrer Abfallbehandlungsanlagen die unbehandelten Abfälle zu deponieren.

Ab Juni 2005 sind Abfälle so zu behandeln, dass die Zuordnungskriterien der jeweiligen Deponieklasse vollständig eingehalten werden.

Stehen für die Fälle geplanter und ungeplanter Anlagenstillstände keine anderweitigen Behandlungskapazitäten zur Verfügung, müssen Havariezwischenlager eingerichtet werden. Auch diese Lager stellen Abfallbehandlungsanlagen im rechtlichen Sinn dar und müssen genehmigt werden.

Verzögert sich die Inbetriebnahme einzelner Behandlungsanlagen – dies ist bei etlichen Anlagen schon heute vorhersehbar – und können die Restabfälle nicht in Anlagen anderer öffentlich-rechtlicher Entsorgungsträger oder privater Dritter untergebracht werden, können voraussichtlich zur Überbrückung des dadurch verursachten Entsorgungseinganges die noch nicht behandelbaren Restabfälle nach den Vorstellungen des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit in *Notfallzwischenlagern* vorübergehend untergebracht werden.

Rechtliche Rahmenbedingungen für Notfallzwischenlager

Die Zwischenlagerung unvorbehandelter Siedlungsabfälle aus Haushalt und Gewerbe ist nach § 4 Absatz 5 und § 10 Absatz 2 KrW-/AbfG Teil der Kreislaufwirtschaft oder der Abfallbeseitigung. In Abhängigkeit vom Entsorgungsweg – Verwertung oder Beseitigung – bedürfen Zwischenlager gemäß § 31 Absatz 1 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes sowie § 4 Absatz 1 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes in Verbindung mit Nr. 8.12 Spalte 2 Buchstabe b) und Nr. 8.14 Spalten 1 und 2 des Anhangs der vierten Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz ab den festgelegten Kapazitätsgrenzen zumindest einer immissionschutzrechtlichen Genehmigung. Abweichend von der generellen Regelung bei genehmigungsbedürftigen Anlagen des Immissionsschutzrechts bedürfen

Anlagen der Nr. 8 des Anhangs der vierten Verordnung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes gemäß § 1 Absatz 1 Satz 2 der vierten Verordnung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes auch einer Genehmigung, wenn sie nicht länger als zwölf Monate an einem Standort betrieben werden sollen. Sollen Abfälle zur Beseitigung über einen Zeitraum von mehr als einem Jahr und bei Abfällen zur Verwertung während mehr als drei Jahren zwischengelagert werden – dann handelt es sich um Langzeitlager nach Nr. 8.14 des Anhangs der vierten Verordnung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes –, richten sich die Anforderungen zur Errichtung und zum Betrieb dieser Lager auch nach § 16 der Deponieverordnung. Dann müssen auch die Zuordnungswerte der Abfallablagereungs- und Deponieverordnung eingehalten werden. Wird ein Notfallzwischenlager im planfestgestellten Bereich einer Deponie errichtet, muss auch der Planfeststellungsbeschluss für die Deponie angepasst werden, weil es sich um eine wesentliche Änderung handelt.

Mit Notfallzwischenlagern sollen Entsorgungsengpässe zwischen dem 1. Juni 2005 und der Fertigstellung noch nicht betriebsbereiter Restabfallbehandlungsanlagen überbrückt werden. Diese Zwischenlager sind keine Dauereinrichtung, sie sollen nur einmalig genutzt werden.

Aus dem Genehmigungsantrag für das Notfallzwischenlager muss hervorgehen, dass nach Inbetriebnahme der Abfallbehandlungsanlage deren Kapazität außer für die Behandlung des laufenden Restabfallaufkommens auch für die Abfallmengen aus dem Rückbau des Notfallzwischenlagers ausreichen wird.

Werden Notfallzwischenlager von privatrechtlichen Gesellschaften betrieben, sollen finanzielle Sicherheiten geleistet werden, um ihren Rückbau sicherzustellen.

Forderungen an die zwischenzulagernden Abfälle

In Notfallzwischenlagern dürfen nur Abfälle untergebracht werden, die – mit Ausnahme des organischen Anteils – die Zuordnungswerte der Deponie einhalten. Die zwischenzulagernde Abfallmenge sollte zur Minimierung des Aufwands für die Lagerung und zur Entlastung der späteren Abfallbehandlung gering gehalten werden. Günstig dafür ist die vorrangige Fertigstellung des mechanischen Teils von mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen. Die Zwischenlagerung von Restabfällen, die noch die heizwertreiche Fraktion enthalten, sollte möglichst vermieden werden, weil der hohe Wassergehalt der Schwerfraktion den Ersatzbrennstoffanteil während der Zwischenlagerung durchfeuchtet und der Ersatzbrennstoff zusätzlich durch Inhaltsstoffe der Schwerfraktion kontaminiert wird. Außerdem würde der Ersatzbrennstoff an den in Deponien üblichen, und auch in Zwischenlagern ablaufenden aeroben und anaeroben Prozessen teilnehmen. Dadurch würden sowohl die Sortierfähigkeit als auch die Qualität des Ersatzbrennstoffs beeinträchtigt.

Forderungen an die technische Ausstattung von Notfallzwischenlagern

Notfallzwischenlager auf Deponien werden voraussichtlich im Ablagerungsbereich auf zuletzt betriebenen Deponieabschnitten von Siedlungsabfalldeponien errichtet werden. Dafür muss der Deponieabschnitt, auf dem das Zwischenlager errichtet werden soll, an der Basis mit einer Kombinationsabdichtung nach den

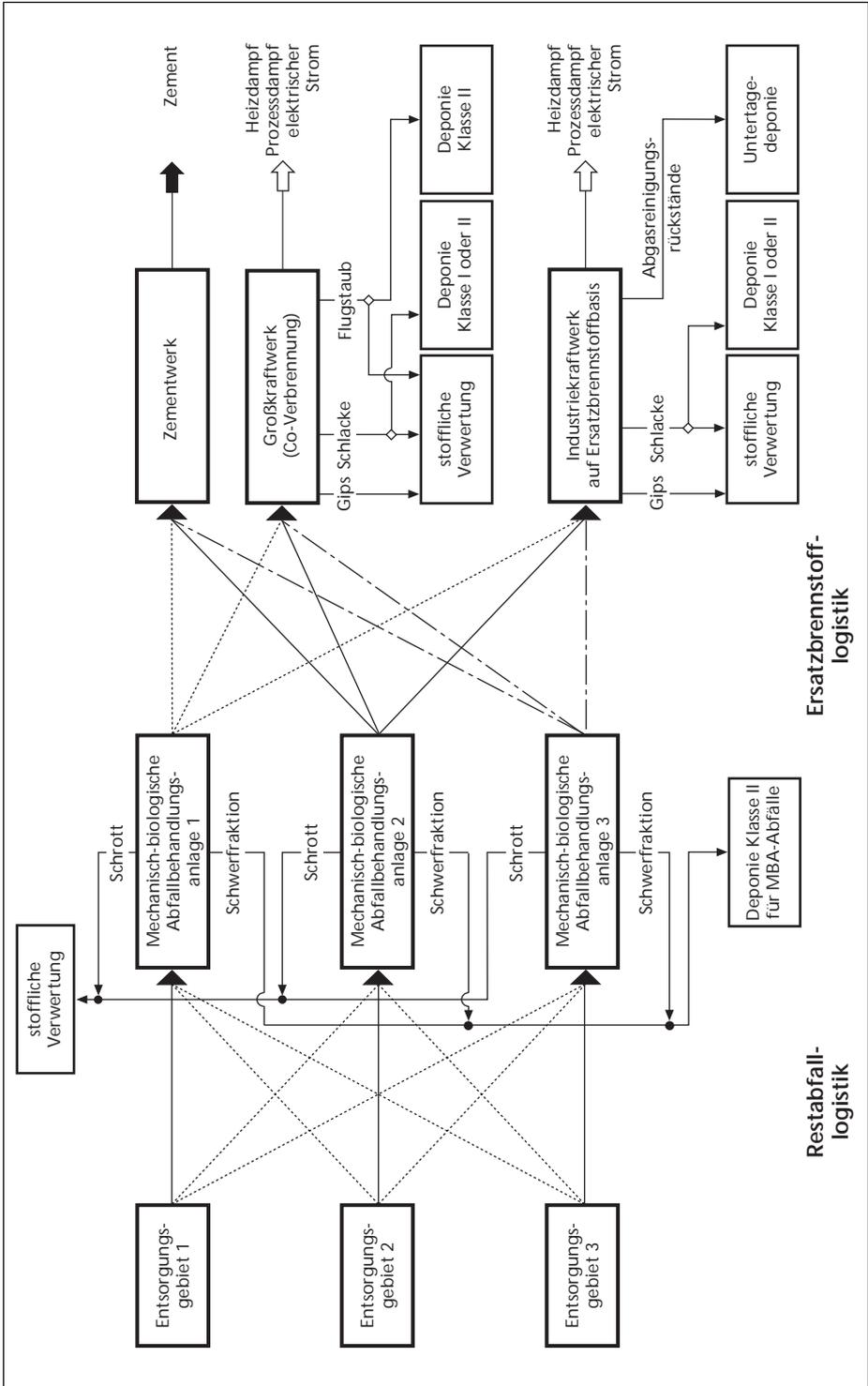


Bild 3: Logistikkonzept im Zusammenhang mit der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung: Restabfalltransporte zu mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen mit Verbundlösungen im Fall von geplanten und ungeplanten Stillständen und Ersatzbrennstofftransporte zu unterschiedlichen Verwertungsanlagen ohne Zwischenlager

Anforderungen der TA Siedlungsabfall abgedichtet sein. Zudem soll die Deponie auch den übrigen Anforderungen der Nr. 11 und den übergreifenden Anforderungen der Nr. 7 der Technischen Anleitung Siedlungsabfall entsprechen.

Die Fläche für das Zwischenlager soll den Betrieb der Deponie und ihrer Anlagen zur Entgasung und Sickerwassererfassung nicht behindern.

Aufgabe des *Zwischenlagers* ist die vollständige Wiederaufnahme und Behandlung der zwischengelagerten Abfälle, die dafür eindeutig von den auf der Deponie abgelagerten Abfällen getrennt werden müssen. Vorgeschlagen wird, dass zwischen Deponiekörper und Notfallzwischenlager eine Auflage aus einer fünfzig Zentimeter dicken, befahrbaren und durchlässigen mineralischen Schicht aufgebracht wird. Dafür können mineralische Abfälle eingesetzt werden, mit denen die Zuordnungswerte der Deponie eingehalten werden. Zur überprüfbareren Sicherung des Rückbaus der eingelagerten Abfällen soll das Zwischenlager nach Lage und Höhe vermessen werden.

Das Auflager des Notfallzwischenlagers soll auf der Deponie belassen werden können, wenn dies mit der dann aufzubringenden Oberflächenabdichtung der Deponie vereinbar ist. Das Material des Auflagers kann auch als Ausgleichsschicht in die Oberflächenabdichtung integriert werden.

Soll nach dem Rückbau des Notfallzwischenlagers der Deponiebetrieb nicht wieder aufgenommen werden, muss die Deponieoberfläche vorübergehend abgedeckt werden. Anschließend muss die endgültige Oberflächenabdichtung nach den Vorschriften der Deponieverordnung aufgebracht werden.

Forderungen an den Betrieb von Abfallzwischenlagern

Die Anforderungen der Planfeststellung für die Deponie für die Abfallannahme und Kontrolle gelten selbstverständlich auch für die Zwischenlager.

Der Abfall muss so zwischengelagert werden, dass er vollständig rückgeholt werden kann. Für den Rückbau von Notfallzwischenlagern ist vorgesehen, dass der zuerst zwischengelagerte Abfall auch zuerst wieder ausgebaut wird.

Zur Vermeidung von Verwehungen, von Bränden und von Ungeziefer soll der Abfall lagenweise mit Kompaktoren verdichtet werden. Dies wird aber zusätzliche Probleme bei der Behandlung der ausgebauten Restabfälle verursachen, insbesondere, wenn diese noch mechanisch aufbereitet werden sollen. Alternativ kann ein Notfallzwischenlager auch mit geeignetem Material – Geotextil, Vlies oder Folie – abgedeckt werden.

Wegen der erwarteten erheblichen Geruchsimmissionen während der Zwischenlagerung und insbesondere beim Rückbau des Zwischenlagers müssen diese mit technischen Maßnahmen vermindert werden. Daher muss die Atmosphäre im zurückzuziehenden Abfall vom anaeroben in den aeroben Zustand gebracht werden. Das bedeutet, dass ein Aufwand betrieben werden muss, der mit dem für die Altlastensanierung vergleichbar ist.

Der zwischengelagerte Abfall muss spätestens nach einem Jahr wieder aus dem Zwischenlager rückgebaut sein. Anderenfalls wird aus dem Zwischenlager ein Langzeitlager, für das die Bestimmungen der Deponieverordnung zutreffen.

Zeitbedarf für die Errichtung

Notfallzwischenlager müssen so rechtzeitig geplant, genehmigt und errichtet werden, dass sie ab 01.06.2005 in Betrieb genommen werden können. Dafür wird der Zeitbedarf mit etwa einem Jahr angenommen (Bild 5).

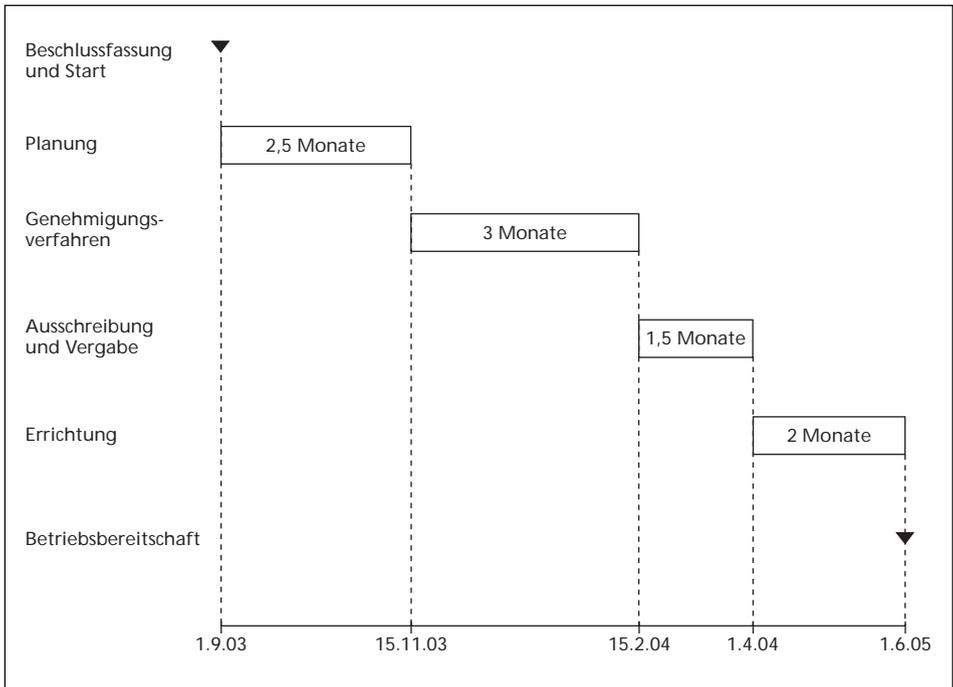


Bild 5: Zeitbedarf für die Realisierung eines Notfallzwischenlagers

Fazit

Bau, Betrieb und Rückbau von Notfallzwischenlagern sind technisch sehr aufwendig und werden unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten kaum finanzierbare Kosten verursachen. Darüber hinaus wird sich die Abfallqualität im Fall der Lagerung von unaufbereitetem Abfall während der Zwischenlagerung so verändern, dass der Abfall kaum noch mit dem Ziel der Ersatzbrennstoffgewinnung aufzubereiten ist. Selbst die biologische Behandlung der abgetrennten Schwerfraktion bedarf umfangreicher Untersuchungen. Für die aus Notfallzwischenlagern ausgebauten Abfälle müssen Techniken und Arbeitsschutzmaßnahmen angewandt werden, wie sie aus dem Rückbau von Altlasten bekannt sind.

Notfallzwischenlager können zudem rechtzeitig zum 1. Juni 2005 fertiggestellt werden, wenn mit der Planung etwa ein Jahr vor diesem Termin begonnen wurde.

Unter den gegebenen Umständen erscheint die Überbrückung des Zeitraums bis zur Fertigstellung von Abfallbehandlungsanlagen mit Zwischenlagern keine realistische Vorgehensweise. Stehen Abfallbehandlungskapazitäten nicht rechtzeitig zur Verfügung, müssen die Verantwortlichen andere Lösungen finden. Letztlich ist der Gesetzgeber gefordert.

Kap. 3.4.

Ablagerungskriterien

Der wesentliche Unterschied bei den derzeit gültigen Ablagerungskriterien von Reststoffen aus der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung und aus thermischen Verfahren der Abfallbehandlung – z.B. Müllverbrennungsanlagen – besteht hinsichtlich des Glühverlustes und des TOC-Gehaltes im Eluat. Die für Reststoffe aus der MBA festgelegten 18 Ma.-% Glühverlust resultieren aus der Forderung, dass diese Stoffe einen Heizwert von kleiner 6.000 kJ/kg aufweisen sollen. Der Grenzwert für den TOC-Gehalt im Eluat ist dann eine Folge aus dieser Vorgabe. Hier besteht u.E. noch erheblicher Untersuchungsbedarf, einerseits was die Toxizität und andererseits, was das Langzeitverhalten betrifft.

Schließlich muss die mechanisch-biologische Behandlung künftig vor dem Hintergrund der Zielvorstellung der Bundesregierung gesehen werden, nach der die Abfälle vollständig verwertet werden sollen, d.h.,

- dass Wertstoffe und Energie weitgehend verwertet und
- dass obertägige Deponien nur noch für solche Abfälle notwendig werden sollen, die ohne besondere Vorkehrungen abgelagert werden können.

Dieses Ziel wird mit den biologisch behandelten Sekundärabfällen aus den Stoffstromtrennverfahren nicht oder noch nicht erreicht.

Kap. 4.

Zusammenfassung

Die mechanisch-biologische Abfallbehandlung hat im Vergleich zur Müllverbrennung eine kurze Entwicklungsgeschichte. Mit der biologisch-mechanischen Vorbehandlung der Restabfälle allein konnten die in der TA Siedlungsabfall geforderten Eingangswerte für die Deponie nicht erreicht werden. Da aber mit den mechanisch-biologischen Verfahren das Abfallvolumen und die Reaktionsfähigkeit der abzulagernden Sekundärabfälle reduziert werden kann, wurden die unter diesem Begriff zusammengefassten Verfahren mit der Artikelverordnung vom 1. März 2000 unter strengen Auflagen für die Restabfallbehandlung zugelassen.

Mit diesen Anlagen müssen Ersatzbrennstoffe hergestellt werden, die Abgase müssen die Grenzwerte der 30. Verordnung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes und die Sekundärabfälle zur Beseitigung müssen die Grenzwerte der Abfallablagerungsverordnung einhalten. Rechtssicherheit für die Verwertung der Ersatzbrennstoffe wurde mit der Novellierung der 17. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz im Jahr 2003 hergestellt.

Die mechanisch-biologische Abfallbehandlung ist nur ein Baustein in Abfallwirtschaftskonzepten einiger Gebietskörperschaften, jedoch keine endgültige Lösung des Restabfallproblems.

Auch die technisch weit entwickelten Varianten haben ihre umfassende Bewährung im großen Maßstab unter vollständiger Verwertung des mit ihnen erzeugten Ersatzbrennstoffs noch vor sich. Dies liegt in erster Linie daran, dass sich die Verfahrensentwickler zunächst auf das Abfallbehandlungsverfahren selbst konzentriert haben, wobei häufig die damit zusammenhängenden Problemfelder – Immissions- und Gewässerschutz, Qualitätsanforderungen der Verwerter des Ersatzbrennstoffs sowie die dafür notwendige Logistik und auch die Deponierung des durch die Behandlung veränderten Abfalls – zunächst nicht in vollem Umfang beachtet wurden und auch nicht abgesehen werden konnten.

Neben der Frage, ob die Deponie mit Restfraktionen aus der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung eine letzte Senke für Schadstoffe oder aber gleichfalls wie die Hausmülldeponie eine Reaktordeponie mit einem geringeren Emissionsniveau darstellt, muss sicherlich auch die Aufteilung von Stoffströmen in diesen Anlagen weiter untersucht werden. Die Aufteilung in verschiedene Stoffströme (z.B. mechanisch abgetrennte Fraktionen als Wertstoffe – Eisen- und Nichteisenmetallschrott –, Ersatzbrennstoffe, Restfraktion zur Deponie) birgt das Risiko der Verteilung von Stoffen und würde somit der Forderung nach langfristiger Ressourcenschonung entgegenstehen, weil insbesondere die Konzentrierung der im Abfall enthaltenen anorganischen Stoffe zu fordern ist.

Schließlich sei auch darauf hingewiesen, dass der Grund für den Einsatz von Ersatzbrennstoffen i.d.R. nicht in den brennstofftechnischen Eigenschaften derselben zu sehen ist, sondern dass vielmehr ein wirtschaftliches Interesse sowohl der Hersteller als auch der Verwerter besteht. Dieser legitime Grund sollte in der Diskussion um die mechanisch-biologische Abfallbehandlung und Ersatzbrennstoffe nicht negativ belegt werden, kann aber auch nicht außer Acht gelassen werden.

Abschließend sei erwähnt, dass auch im Zusammenhang mit der Bewertung von Verfahren zur Abfallbehandlung allgemein noch ein erheblicher Diskussions- und Untersuchungsbedarf zum methodischen Vorgehen – z.B. Festlegen von Bilanzgrenzen, Referenzanlagen, Bildung und Verwendung von Wirkungsgraden und Transferfaktoren – und zu belastbaren Massen- und Energiebilanzen von mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen im Besonderen besteht.

Kap. 5.

Quellen

- [1] Anderl, H.; Kaufmann, K.: Thermische Verwertung von Abfallstoffen in der Wirbelschicht – 110 MW Reststoffverwertungsanlage RV-Lenzing, Österreich –. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2002, S. 171-194
- [2] Angerer, T.; Lorber, K. E.: Abgasemissionen und Abgasreinigung bei der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2003
- [3] Beckmann, M.; Horeni, M.; Scholz, R.; Rüppel, F.: Notwendigkeit der Charakterisierung von Ersatzbrennstoffen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2003
- [4] Both, G.: Leitfaden zur energetischen und stofflichen Verwertung von Abfällen in Zement- und Kalkwerken sowie in Kraftwerken in NRW. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2002, S. 407-434
- [5] Both, G.: Leitfaden zur energetischen Verwertung von Abfällen – Genehmigungs- und Überwachungspraxis der Abfallmitverbrennung in NRW. In: ASA: 5. ASA-Abfalltage – Fachtagung Countdown 2005 – Chancen, Risiken und Möglichkeiten der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung am 19. und 20. Februar 2004 in Hannover, S. 331-358
- [6] Brücklmeier, W.; Müller, B. E.: Herstellung gütegesicherter Ersatzbrennstoffe aus unterschiedlichen heizwertreichen Abfällen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2002, S. 257-267
- [7] Brücklmeier, W.; Müller, B. E.: MEAB-Konzept zur Gewinnung und Verwertung von heizwertreichen Abfallfraktionen aus Hausmüll und Gewerbeabfällen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2003
- [8] BSR: Abfallwirtschaft – Entsorgung mit Zukunft. Broschüre
- [9] Christiani, J.; Heyde, M.: Sortierung von Verpackungsabfällen als integrierte Funktion einer mechanisch(-biologischen) Abfallbehandlung – Machbarkeit und Kosten. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2003
- [10] Cuhls, C.: Betriebliche Aspekte bei Biofiltern und RTO für die Abgasreinigung bei MBA. In: ASA: 5. ASA-Abfalltage – Fachtagung Countdown 2005 – Chancen, Risiken und Möglichkeiten der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung am 19. und 20. Februar 2004 in Hannover, S. 371-389
- [11] Doedens, H.: Stand und technische Entwicklung der MBA. In: ASA: 5. ASA-Abfalltage – Fachtagung Countdown 2005 – Chancen, Risiken und Möglichkeiten der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung am 19. und 20. Februar 2004 in Hannover, S. 107-118
- [12] Düsterloh, J.: Herstellung von Ersatzbrennstoffen aus gemischten Gewerbeabfällen und heizwertreicher Fraktion aus MBA. In: ASA: 5. ASA-Abfalltage – Fachtagung Countdown 2005 – Chancen, Risiken und Möglichkeiten der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung am 19. und 20. Februar 2004 in Hannover, S. 273-298
- [13] Fendel, A.: Umsetzung von Projekten des Hauses Rethmann zur Herstellung von Ersatzbrennstoffen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2002, S. 269-276
- [14] Flamme, S.: Verbleib von ausgewählten Schwermetallen bei der Sekundärbrennstoffherzeugung aus Siedlungsabfällen. In: ASA: 5. ASA-Abfalltage – Fachtagung Countdown 2005 – Chancen, Risiken und Möglichkeiten der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung am 19. und 20. Februar 2004 in Hannover, S. 241-253

- [15] Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI): Antropogene N_2O - und CH_4 -Emissionen in der Bundesrepublik Deutschland. Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Forschungsbericht 104 01 108/02, Karlsruhe, 1995
- [16] Fricke, K.; Bauer, J.; Münnich, K.; Bahr, T.: Deponierung durch mechanisch-biologische Abfallbehandlung stabilisierter Restabfälle. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe 4. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2004
- [17] Gäde-Butzlaff, V.; Bortnowsky, J.: Ausschreibung von Entsorgungsdienstleistungen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2003
- [18] Grünekle, C. E.: Biologische Trocknung von Hausmüll mit dem Herhof Trockenstabilisierverfahren – Biologische, chemische und physikalische Grundlagen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2002, S. 299-306
- [19] Hackl, A. E.: Der Beitrag der Abfallwirtschaft in der österreichischen Klimastrategie. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Optimierungspotential der Abfallverbrennung. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2003, S. 299-305
- [20] Hahn, J.: Mechanisch-biologische Abfallbehandlung als Baustein für vollständige Abfallverwertung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2003
- [21] Holarek, M.; Lischke, G.: Wirbelschichtofen zur Verbrennung von Klärschlamm und Ersatzbrennstoff. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Optimierungspotential der Abfallverbrennung. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2003, S. 245-286
- [22] Johnke, B.: Abfallverbrennung – ein Beitrag zum Klimaschutz in Deutschland –. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Optimierungspotential der Abfallverbrennung. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2003, S. 307-316
- [23] Kahn, R.: Abgasreinigung für mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlagen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2003
- [24] Kaulbarsch, R.: Müllverbrennung für Fernwärme und Industriedampfversorgung – Einbindung in Energiekonzepte schon bei der Standortwahl –. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Optimierungspotential der Abfallverbrennung. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2003, S. 403-425
- [25] Ketelsen, K.; Kanning, K.; Kleemann, M.: Aktuelle Erfahrungen mit der Planung und Realisierung von MBA. In: ASA: 5. ASA-Abfalltage – Fachtagung Countdown 2005 – Chancen, Risiken und Möglichkeiten der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung am 19. und 20. Februar 2004 in Hannover, S. 119-157
- [26] Ketelsen, K.: Erfahrungen bei Bau und Inbetriebnahme von mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe 4. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2004
- [27] Koch, P.: Stoffstromtrennung im Verfahren der Hese Umwelt GmbH. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2002, S. 277-288
- [28] Koch, P.; Kanitz, J.: Ablagerungsfähigkeit der biologisch behandelten Fraktion aus einer mechanisch-biologischen Behandlungsanlage. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2003
- [29] Kossina, I.: Optimierte Müllverbrennung als Baustein ökologischer und ökonomischer Abfallwirtschaftskonzepte. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Optimierungspotential der Abfallverbrennung. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2003, S. 15-58

- [30] Krümpelbeck, I.; Ehrig, H.-J.: Sickerwasser – Menge, Zusammensetzung und Behandlung. In: Müllhandbuch, Lfg. 3/01, Kz. 4587, S. 9 f
- [31] Kühle-Weidemeier, M.: Ablagerung von MBA-Output – Grundlagen und Erfahrungen. In: ASA: 5. ASA-Abfalltage – Fachtagung Countdown 2005 – Chancen, Risiken und Möglichkeiten der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung am 19. und 20. Februar 2004 in Hannover, S. 391-418
- [32] Lahl, U.; Ludwig, O.: Die Novelle der Abfallverbrennungsverordnung (17. BImSchV) schafft angegliche Anforderungen für Mono- und Mitverbrennungsanlagen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2003
- [33] Lahl, U.; Ludwig, O.: Umsetzung der EU-Abfallverbrennungsrichtlinie in deutsches Recht – Novelle der 17. BImSchV. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Optimierungspotential der Abfallverbrennung. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2003, S. 317-326
- [34] Langen, M.: Qualitätsdifferenzierte Brennstoffherzeugung im mechanischen Teil von MBA/MA-Anlagen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2003
- [35] Löffler, H.: Ökologische Abfallbehandlung in Wien – Thermische Abfallbehandlung und Fernwärme –. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Optimierungspotential der Abfallverbrennung. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2003, S. 379-401
- [36] Lorber, K. E.; Novak, J.; Müller, P.: Deponie-Langzeitverhalten der MBA-Schwerfraktion. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2003
- [37] Löschau, M.: Getrennte Bioabfallerfassung versus hochwertige Restabfallbehandlung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2003
- [38] Maierhofer, R.: Der Wirbelschichtofen in Wien zur Verbrennung von Ersatzbrennstoffen und Klärschlamm. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2003
- [39] Marb, C.: Stoffliche Zusammensetzung des Restmülls: Konzentrationen und Frachten. In: Bayerisches LFU (Hrsg.): Restmüllanalysen – eine Grundlage eines nachhaltigen Stoffstrommanagements der Abfallwirtschaft, Augsburg, 2002
- [40] Martin, J.; Fleck, E.: Der Einsatz von verschiedenen Brennstoffen in Martin-Feuerungssystemen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2003
- [41] Matthes, V.: Erfahrungen bei der Ausschreibung und Realisierung mechanisch-biologischer Abfallbehandlungsanlagen. In: ASA: 5. ASA-Abfalltage – Fachtagung Countdown 2005 – Chancen, Risiken und Möglichkeiten der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung am 19. und 20. Februar 2004 in Hannover, S. 181-193
- [42] Nieweler, A.: Erfahrungen bei der Nachrüstung von Alt-MBA an die Anforderungen der AbfAbIV und der 30. BImSchV. In: ASA: 5. ASA-Abfalltage – Fachtagung Countdown 2005 – Chancen, Risiken und Möglichkeiten der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung am 19. und 20. Februar 2004 in Hannover, S. 195-202
- [43] Pergande, F.: Wüste Brandenburg. In: Frankfurter Allgemeine Zeitung, Nr. 160/Seite 7, 14.07.2003
- [44] Petersen, F.: Entwicklungslinien zu Wettbewerbselementen und Zuständigkeitsregelungen in der deutschen Siedlungsabfallwirtschaft. Vortrag zur Tagung Quo vadis Abfallwirtschaft – liberal, kommunal oder kollegial?, in Augsburg am 9. und 10. Oktober 2003
- [45] Piechura, H.: Wirbelschichtverbrennungsanlagen und Anforderungen an den Ersatzbrennstoff. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2003

- [46] Pruckner, E.: Energiegewinnung aus Ersatzbrennstoffen – Problemlösung für die Zukunft?. In: Wasser, Luft und Boden (2003), Nr. 11-12, S. 51-54
- [47] Reil, E.; Angerer, T.; Lorber, K.: Bestimmung von Indikatoren zur Effizienzsteigerung des Betriebes der MVA Spittelau. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Optimierungspotential der Abfallverbrennung. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2003, S. 161-180
- [48] Reil, E.; Angerer, T.; Prochaska, M.: Einsatz von Ersatzbrennstoffen in einer Müllverbrennungsanlage – Versuch zur Überprüfung der Transferkoeffizienten auf Plausibilität an der MVA Spittelau. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2003
- [49] Reith, M.: Forderungen an die Ersatzbrennstoffqualität für die Verwertung im Müllheizkraftwerk Mannheim. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2002, S. 129-138
- [50] Rotter, S.: Lohnt sich die anaerobe Stufe bei der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung? In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2003
- [51] Rotter, S.; Löschau, M.: Energiebilanzen von Entsorgungsnetzen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe 4. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2004
- [52] Schalk, P.: Reinigung von MBA-Abwasser entsprechend den Grenzwerten des Anhangs 23 der Abwasserverordnung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2003
- [53] Schulz, W.: Erfahrungen oder mögliche Ansätze beim Einsatz von Sekundärbrennstoffen aus Siedlungsabfällen – Möglichkeiten der Mitverbrennung in Kraftwerken. In: ASA: 5. ASA-Abfalltage – Fachtagung Countdown 2005 – Chancen, Risiken und Möglichkeiten der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung am 19. und 20. Februar 2004 in Hannover, S. 299-316
- [54] Stegemann, H.: Erfahrungen bei der Nachrüstung einer MBA an die Anforderungen der Abfallablagerungsverordnung und der MBA-Verordnung nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (30. BImSchV) – MBA Gescher. In: ASA: 5. ASA-Abfalltage – Fachtagung Countdown 2005 – Chancen, Risiken und Möglichkeiten der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung am 19. und 20. Februar 2004 in Hannover, S. 203-209
- [55] Tabasaran, O.; Huber, H.-D.: Ausschreibung und Bieterauswahl. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2003
- [56] Terhorst, W.; Glorius, T.: Sekundärbrennstoffproduktion und -einsatz mit oder ohne Gütesicherung? In: ASA: 5. ASA-Abfalltage – Fachtagung Countdown 2005 – Chancen, Risiken und Möglichkeiten der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung am 19. und 20. Februar 2004 in Hannover, S.231-240
- [57] Thalhammer, H.: Minderung von MBA-Emissionen – Vom Pilotversuch zur großtechnischen Abgasentsorgung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2003
- [58] Thiel, S.: Mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlagen als stoffstromspezifische Bausteine kommunaler Abfallwirtschaftskonzepte. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe 4. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2004
- [59] Thomé, E.; Thomé-Kozmiensky, K. J.: Transport und Zwischenlagerung von Ersatzbrennstoff. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2003
- [60] Thomé-Kozmiensky, K. J.: Tendenzen und Entwicklungen bei der Behandlung von Hausmüll und hausmüllähnlichem Abfall. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2003, S. 3-40

- [61] Thomé-Kozmiensky, K. J.: Stellung, Möglichkeiten und Probleme der MBA in der Abfallwirtschaft. In: ASA: 5. ASA-Abfalltage – Fachtagung Countdown 2005 – Chancen, Risiken und Möglichkeiten der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung am 19. und 20. Februar 2004 in Hannover, S. 53-87
- [62] Thomé-Kozmiensky, K. J.; Löschau, M.; Kley, G.; Köcher, P.; Thiel, S.: Entsorgung von Sekundärabfällen aus der Abfallverbrennung. In: Kossina, I. (Hrsg.): Abfallwirtschaft für Wien. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2004, S. 497-742
- [63] Tietze, U.: Anforderungen an Ersatzbrennstoffe für den Einsatz in der Rüdersdorfer Zement GmbH. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2002, S. 231-244
- [64] Tillmann, K. P.: Verwertung von Trockenstabilat im Kraftwerk – Rechtliche Anforderungen, Qualitätssicherung und Betriebserfahrungen –. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2002, S. 195-208
- [65] Turk, T.; Hake, J.; Wallmann, R.; Müller, W.; Fricke, K.: Erfahrungen bei der Ausschreibung und Realisierung von MBA nach der 30. BImSchV aus Sicht von Planungsbüros: Ingenieurgemeinschaft Witzenhausen Fricke & Turk GmbH (IGW). In: ASA: 5. ASA-Abfalltage – Fachtagung Countdown 2005 – Chancen, Risiken und Möglichkeiten der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung am 19. und 20. Februar 2004 in Hannover, S. 159-180
- [66] Wallmann, R.; Cuhls, C.; Clemens, J.; Scheelhaase, T.; Hake, J.: Nachrüstung von MBA-Altanlagen – Offene Nachrotte gemäß § 16 der 30. BImSchV. In: ASA: 5. ASA-Abfalltage – Fachtagung Countdown 2005 – Chancen, Risiken und Möglichkeiten der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung am 19. und 20. Februar 2004 in Hannover, S. 211-230
- [67] Zeschmar-Lahl, B.: Bioaerosole und biologische Abfallbehandlungsanlagen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe 4. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2004
- [68] N.N.: RWE Power nennt Leitlinien für den Einsatz von Ersatzbrennstoffen. In: Euwid 14 (2004), Nr. 6, S. 3
- [69] N.N.: Zementindustrie will EBS-Einsatz erhöhen. In: Euwid 14 (2004), Nr. 6, S. 4
- [70] N.N.: Stadtwerke Flensburg wollen Ersatzbrennstoffe mitverbrennen. In: Euwid 14 (2004), Nr. 6, S. 5