



# Aschen aus der Müllverbrennung – Baustoff auf Deponien oder Abfall zur Ablagerung?

## 1 Hintergrund und Zielsetzung

Im Jahr 2003 wurden in den 15 bayerischen Müllverbrennungsanlagen ca. zwei Mio. Tonnen Restabfall thermisch behandelt. Dabei fielen etwa 565.000 Tonnen Verbrennungsaschen (Rostaschen<sup>1</sup>; als Synonym für diese Aschen wird häufig auch der Begriff Schlacken verwendet) an.

Nach der Abscheidung von ca. 50.000 Tonnen Metallschrott aus den Roh-Aschen wurden etwa 405.000 Tonnen zu sogenannten Müllverbrennungsaschen (MV-Aschen) aufbereitet und als Baustoff verwertet; ca. 110.000 Tonnen wurden als Abfall deponiert. Im Jahr 2003 wurden somit ca. 80 % der in Bayern anfallenden MV-Aschen verwertet [1].

In zwei bayerischen Forschungsvorhaben wurden das Verhalten von Müllverbrennungsaschen auf Deponien im Hinblick auf Temperaturentwicklung und Wasserstoffbildung untersucht und Empfehlungen für den Einbau dieser Aschen abgeleitet [2], [3].

Im Folgenden werden die rechtlichen Grundlagen zur Entsorgung von MV-Aschen sowie der Stand der Technik bei der Aufbereitung und Ablagerung von MV-Aschen auf Deponien beschrieben.

In die Hinweise zur Aufbereitung und Entsorgung von Müllverbrennungsaschen fließen die Ergebnisse der beiden aktuell abgeschlossenen Forschungsvorhaben ein.

Die Ausführungen beschränken sich auf die Verwertung bzw. Beseitigung von Müllverbrennungsaschen auf Deponien. Andere Verwertungsmöglichkeiten werden im Rahmen dieses Beitrags nicht betrachtet.

## 2 Regelwerke

Das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) regelt die Entsorgung (Verwertung bzw. Beseitigung) von Abfällen [4]. Demnach sind nicht vermeidbare Abfälle vorrangig zu verwerten. Die Verwertung hat ordnungsgemäß und schadlos zu erfolgen, sie muss technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar sein (vgl. KrW-/AbfG § 5 Abs. 3, 4; die Begriffe „ordnungsgemäß“ und „schadlos“ sind in der „Allgemeinen Musterverwaltungsvorschrift des LAI (Länderausschuss für Immissionsschutz) zur Vermeidung, Verwertung und Beseitigung von Abfällen nach § 5 Abs. 1 Nr. 3 BImSchG [5] konkretisiert). Eine stoffliche Verwertung eines Abfalls liegt dann vor, wenn der Hauptzweck der Maßnahme in der Nutzung des Abfalls und nicht in der Beseitigung des Schadstoffpotenzials liegt (KrW-/AbfG § 4 Abs. 1, 3).

Bei der Entsorgung von Müllverbrennungsaschen auf Deponien erscheint eine Einstufung als Beseitigungsmaßnahme zunächst naheliegend, da Deponien als Beseitigungsanlagen konzipiert sind. Während der Betriebs- und Stilllegungsphasen von Deponien sind jedoch eine Vielzahl von Baumaßnahmen notwendig, bei denen neben Baustoffen wie Lehm, Sand oder Schotter auch geeignete Abfälle eingesetzt werden können. Eine Verwertung von Müllverbrennungsaschen – unter Berücksichtigung der o. g. Kriterien des KrW-/AbfG – als Baustoff auf Deponien ist somit grundsätzlich möglich.

Die Verwertung von Abfällen auf Deponien hat das Bayerische Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV) mit Schreiben vom 15.07.2004 wie folgt konkretisiert:

„In Auslegung des Hauptzweck-Kriteriums des § 4 Abs. 3 KrW-/AbfG wird in Bayern der Einsatz von Abfällen zu Deponiebauzwecken als Verwertung anerkannt,

Ralf Beck  
Tel.: 0821/9071-5372,  
[ralf.beck@lfu.bayern.de](mailto:ralf.beck@lfu.bayern.de)

Werner Kröger  
Tel.: 0821/9071-5357,  
[werner.kroeger@lfu.bayern.de](mailto:werner.kroeger@lfu.bayern.de)

<sup>1</sup> Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis (AVV) vom 10.12.2001, Schlüssel-Nr. 19 01 11: „Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken aus öffentlichen Abfallbehandlungsanlagen“.

- wenn (mit dem Ziel der Schonung ansonsten einzusetzender Primär-Rohstoffe) für die jeweilige Maßnahme bautechnisch geeignete Abfälle zum Einsatz kommen,
- wenn die eingesetzten Abfälle die im jeweiligen Bescheid für die Zulassung der Deponie festgelegten Inputkriterien der Deponie einhalten, und
- wenn es sich um eine aus fachlicher Sicht erforderliche Baumaßnahme innerhalb des durch die Deponieabdichtungssysteme gesicherten Bereichs in der aus fachlicher Sicht erforderlichen Dimensionierung handelt.“

Im Entwurf der „Verordnung über die Verwertung von Abfällen auf Deponien über Tage“ [6] ist ausgeführt, dass bei der Verwertung von Abfällen auf Deponien nur so viel Material eingesetzt werden darf, wie für die jeweiligen Baumaßnahmen erforderlich ist und dass die Aschen funktional und bautechnisch für die jeweilige Maßnahme geeignet sein müssen. Dies gilt auch für Aschen aus Müllverbrennungsanlagen.

Weitere Regelungen zur Entsorgung von Müllverbrennungsaschen enthalten folgende Merkblätter der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA):

- Die Merkblätter M19 und M20 enthalten Vorgaben zur Untersuchung und zur Qualitätskontrolle (durch Fremd- und Eigenüberwachung) bei der Entsorgung von Abfällen aus Verbrennungsanlagen bzw. bei der stofflichen Verwertung mineralischer Reststoffe/Abfälle [7], 0.
- In Merkblatt M20 ist ausdrücklich die Möglichkeit genannt, MV-Aschen bautechnisch in Deponien zu verwenden. Die für eine Verwertung angeführten „günstigen Merkmale“ einer Baumaßnahme (hydrogeologisch günstiger Standort, Großbaumaßnahme, ausreichender Grundwasserabstand, keine häufigen Reparaturarbeiten) sind i. d. R. auf Deponien gegeben. Im Sinne des Merkblatts liegen somit bei bautechnischen Verwertungsmaßnahmen auf Deponien günstige Verhältnisse vor.
- Die in den Merkblättern aufgeführte Einschränkung der Verwertbarkeit auf Deponien auf die Einbauklasse Z2 (vgl. Merkblatt M20) ist durch die Ausführungen in o. g. Schreiben des StMUGV obsolet. Maßgeblich sind die Anforderungen an Abfälle, die sich aus der jeweiligen Anlageneignung ergeben.

## 3 Eigenschaften und Aufbereitung von MV-Aschen

Die Zusammensetzung und die Eigenschaften von nicht aufbereiteten Müllverbrennungsaschen (Roh-Aschen) werden maßgeblich durch die Abfallzusammensetzung, durch die Feuerungsbedingungen und Verweilzeit in der Verbrennungsanlage sowie durch die Art des Austrags (i. d. R. Nassentschlackung) beeinflusst und variieren beträchtlich [9].

Roh-Aschen – synonym wird auch der Begriff MV-Rohschlacken verwendet – sind ein Gemenge aus

- ca. 45 Massenprozent feinkörnigen Aschen,
- ca. 40 Massenprozent gesinterten grobkörnigeren Verbrennungsprodukten (Schlacken),
- ca. 10 Massenprozent inerten Abfallinhaltsstoffen wie Glas, Keramik und Steinen,
- ca. 5 Massenprozent Metallen und
- bis zu 2 Mass.-% organischem Material, wobei die Verteilung stark schwanken kann [10].

Aus chemischer Sicht sind MV-Aschen mit Eisen durchsetzte Calcium-Aluminium-Silikate von hoher Reaktivität. Daneben sind eine Reihe von Metallen als Nebenbestandteile (u. a. Magnesium, Titan, Kalium, Natrium) bzw. als Spurenelemente enthalten (Zink, Kupfer, Blei etc.). Als Anionen sind v. a. Chlorid und Sulfat, untergeordnet auch Fluorid und Phosphat zu nennen.

Nach ihrem Austrag befinden sich die in den Aschen gebildeten Mineralphasen noch nicht in einem Gleichgewichtszustand, sondern unterliegen vielfältigen Umwandlungsprozessen wie Hydratisierungs-, Verfestigungs-, Salzbildungs- und Lösungsreaktionen sowie Reaktionen des Eisens und Aluminiums [11].

Seit langem bekannt und Gegenstand vieler Veröffentlichungen sind die günstigen Wirkungen einer „Aschealterung“ auf die Umweltverträglichkeit der MV-Aschen [12]. Diese sind v. a. auf Carbonatisierungsreaktionen zurückzuführen, im Zuge derer die Fixierung von Schwermetallen teilweise verbessert wird. Zudem können im Laufe einer „gesteuerten“ Aschealterung exotherme Reaktionen weitgehend abklingen und ein beträchtlicher Teil des vorhandenen Wasserstoffbildungspotenzials umgesetzt werden.

Während einer etwa zwei bis vier Wochen dauernden Zwischenlagerung „altern“ die Aschen durch chemische Reaktionen, die Feuchtigkeit wird in Mineralphasen chemisch gebunden und der Wassergehalt nimmt dabei ab. Die Aschen können dann entschrottet und gesiebt werden. Abbildung 1 zeigt beispielhaft die Zusammensetzung einer gealterten und entschrotteten MV-Asche, Abbildung 2 zeigt das typische Aussehen einer aufbereiteten und gealterten MV-Asche.

Möglichkeiten zur Verbesserung der Eigenschaften von MV-Aschen und damit zur Optimierung der Verwertbarkeit sind im LAGA-Merkblatt M19 detailliert beschrieben:

- Abfallzusammensetzung:
  - Reduzierung von Inertstoffen und schwermetallhaltigen Abfällen.
- Verbrennung:
  - Optimierung der Verbrennungsbedingungen durch verfahrenstechnische Maßnahmen.
  - Getrennte Erfassung von Filter- und Kesselstäuben (Ziel: schwermetallarme Aschen).
  - Rückführung des Rostdurchfalls in die Verbrennung (Ziel: geringe organische Anteile).
  - Durch Waschen der Aschen/Schlacken mit Wasser aus Nassentschlackern können leicht wasserlösliche Bestandteile reduziert werden.
- Aufbereitung:
  - Voraussetzung: Entwässerung der MV-Rohaschen (zwei bis vier Wochen).
  - Abtrennung der Eisenfraktion.
  - Absiebung der Feinfraktion und des Überkorns:
 

Der Feinanteil soll abgetrennt werden, da er erhöhte Schadstoffgehalte und eine größere Eluierbarkeit der Schadstoffe aufweist. Die bautechnischen Anforderungen (Kornverteilung) sind jedoch zu berücksichtigen. Das Überkorn (z. B. größer 45 mm) enthält einen hohen Anteil nicht verwertbarer, insbesondere unverbrannter Bestandteile und sollte in die Verbrennungsanlage zurückgeführt werden.
  - Alterung:
 

Zur Verbesserung der Volumenbeständigkeit und des Elutionsverhaltens der aufbereiteten Aschen/Schlacken ist eine Alterung von mindestens drei Monaten erforderlich. Um die Kontrolle der Lagerzeit zu erleichtern, sollten die aufbereiteten HMV-Rohaschen nicht fortlaufend aufge-

haldet, sondern mietenförmig gelagert werden. Je nach Platzverhältnissen und Betriebsabläufen sind auch andere Lagerungsformen bzw. geeignete Maßnahmen geeignet, solange eine eindeutige Zuordnung möglich ist.

Die Alterung kann durch eine kontinuierliche Durchlüftung, durch lockere, nicht zu hohe Schüttungen und permanente Befeuchtung (Wasserkreislaufführung) positiv beeinflusst werden. Die Behandlung darf nur auf befestigten Plätzen mit Abwassererfassung erfolgen.

Das Ende der Alterung ist am Temperaturverlauf erkennbar, wenn durch die abgeschlossenen Hydratisierungsprozesse keine Reaktionswärme mehr freigesetzt wird.

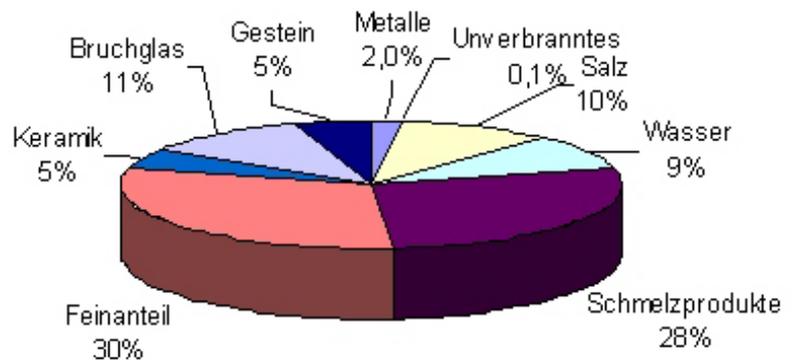


Abb. 1: Beispielhafte Darstellung der Massenanteile verschiedener Stoffgruppen in aufbereiteter MV-Asche [13].



Abb. 2: Aufbereitete und gealterte MV-Asche

## 4 Ergebnisse aktueller Forschungsvorhaben

### 4.1 Exothermer Stoffumsatz in MVA-Schlackedeponien

Die in MV-Aschen während der ersten Wochen ablaufenden chemischen Reaktionen sind in der Summe exotherm und verursachen in Verbindung mit der geringen Wärmeleitfähigkeit der Aschen bei entsprechend kleinem Oberflächen/Volumenverhältnis eine deutliche Erwärmung.

Hohe Temperaturen innerhalb von Deponien können sich ungünstig auf Bauteile aus Kunststoffen – z.B. Sickerwasserrohre zur Deponieentwässerung oder Kunststoffdichtungsbahnen (KDB) der Basisabdichtung – auswirken. Die Langzeitbeständigkeit von Kunststoffdichtungsbahnen wird von den Herstellerfirmen nur für Temperaturen bis maximal 40 °C garantiert. Des Weiteren sind Schäden an mineralischen Basisabdichtungen durch Austrocknung vorstellbar.

In dem Forschungsvorhaben „Exothermer Stoffumsatz in MVA-Schlackedeponien“ [2] wurden die in zwei Monodeponien ablaufenden chemischen und physikalischen Prozesse untersucht. Dabei wurden Messfelder auf den Deponien eingerichtet, um u. a. zeitlich aufgelöste Temperaturverläufe und -profile über die Ablagerungsmächtigkeit zu ermitteln. Mit den Erkenntnissen aus dem Vorhaben sollen Vorbehandlung und Einbau von MV-Aschen so optimiert werden, dass sich unkritische Temperaturverhältnisse einstellen.

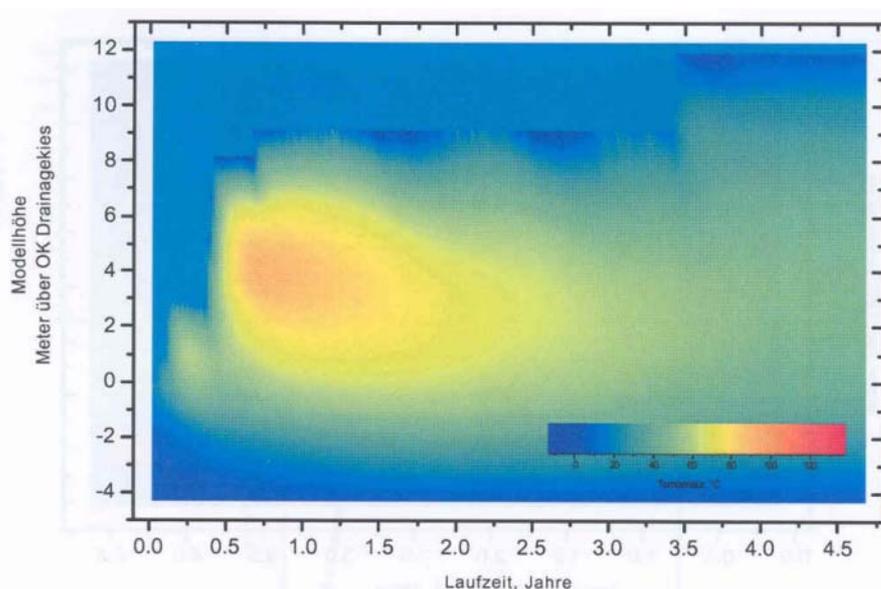


Abb. 3: Mit einem Simulationsprogramm (eindimensional, instationär) berechnete Temperaturentwicklung in der Deponie A (Bereich mit Ascheeinbau in Schichten) über einen Zeitraum von 4,5 Jahren. Dabei zeigt sich die Erwärmung auf etwa 85 °C innerhalb von drei Monaten im Kernbereich der Ascheschüttung. Gut erkennbar sind auch der Temperaturanstieg an der Basisabdichtung bei 0 m sowie der anschließende Temperaturrückgang in allen Aschelagen [2].

Die auf den beiden Deponien abgelagerten Aschen stammen aus einer bayerischen Müllverbrennungsanlage (MVA) mit einem Nassentschlacker. Vor dem Einbau in beiden Deponien wurden die Aschen zwischen ein und sechs Wochen lang gelagert und entschrottet.

In der untersuchten Deponie A werden Aschen mit einer Gesamtmächtigkeit von 10 m abgelagert. In einem Bereich wurden MV-Aschen innerhalb von drei Wochen in einer Schichthöhe von 10 m eingebaut, in einem anderen wurden die Aschen lagenweise – in etwa ein Meter mächtigen Schichten – bis zum Erreichen der Gesamtmächtigkeit eingebaut. In zentralen Bereichen der Messfelder – sowohl bei auf eine kleine Fläche konzentrierten als auch bei flächigem Einbau – wurden Temperaturen bis zu 85 °C gemessen, an der Basisabdichtung der Deponie traten in beiden Bereichen Temperaturen bis zu 45 °C auf.

Die Gesamtmächtigkeit der MV-Aschen in der untersuchten Deponie B liegt bei etwa vier Metern. Hier wurden Aschen nach sehr kurzer Zwischenlagerung in maximal 1 m mächtigen Schichten eingebaut. Weitere Aschelagen wurden nach jeweils 2 Monaten aufgebracht. In dieser Deponie wurde ein schnellerer Temperaturanstieg als in den beiden Profilen der Deponie A beobachtet; das Temperaturmaximum von etwa 75 °C lag im Zentrum der zuletzt abgelagerten obersten Schicht.

Mit einem im Rahmen des Vorhabens entwickelten eindimensionalen Computersimulationsmodell wurde die Wärmeausbreitung in Aschedeponien berechnet. Das Programm wurde mit Messdaten aus den untersuchten Deponien kalibriert bzw. validiert und erlaubt die Modellierung unterschiedlicher Einbauvarianten (vgl. Abb. 3).

Aus den Untersuchungsergebnissen wurden folgende Handlungsempfehlungen abgeleitet:

- Durch die Entschrottung werden Reaktivität und exotherme Reaktionen von MV-Aschen erheblich vermindert.
- Für die unmittelbar nach dem Austrag aus dem Nassentschlacker einsetzenden Alterungsprozesse der Aschen (v. a. Carbonatisierung) ist ein Kontakt mit Wasser, Luftsauerstoff und Kohlendioxid erforderlich. Empfohlen wird deshalb eine ausreichend lange Zwischenlagerung im Freien in Form kleiner Mieten. Dabei wirkt das günstige Verhältnis von Oberfläche zu Volumen auch einer übermäßigen Temperaturerhöhung entgegen. Durch ein- oder mehrmalige Umlagerung wird der Alterungsprozess von Aschen günstig beeinflusst.

- Wenn eine Ablagerung der entschlackten Aschen in geringmächtigen Lagen bis maximal 1 m – also mit großem Oberflächen-/Volumenverhältnis – möglich ist, kann eine drei- bis vierwöchige Zwischenlagerzeit in Bezug auf zulässige Temperaturen ausreichend sein.
- Um den Austrag löslicher Bestandteile zu beschleunigen, sollten die Aschen bei der Zwischenlagerung regelmäßig bewässert werden.
- Bei sehr kurzer Zwischenlagerung und/oder mangelnder Bewässerung kann nach [2] eine Reinfiltration von Sickerwasser auf der Deponie zweckmäßig sein. Diese könnte – insbesondere bei geringen Niederschlagsmengen am Standort – die Auslaugung unterstützen und so zu einem früheren Zeitpunkt ein stabileres System herbeiführen.

## 4.2 Wasserstoffproduzierende abiotische Reaktionen in MVA-Schlackedeponien [3]

Auf einer bayerischen Deponie werden MV-Aschen, in einzelnen Bereichen auch MV-Aschen und Rauchgasreinigungsrückstände (RGR) gemischt abgelagert. Bei Arbeiten an der Oberflächenabdichtung (Kunststoffdichtungsbahn) kam es 1997 zu einer lokalen Verpuffung.

Zur Klärung der Ursachen wurden im Rahmen eines Forschungsvorhabens Aschen und RGR chemisch und mineralogisch untersucht. Durch Probenahmen aus Testfeldern wurden u. a. die Metallgehalte (insbesondere metallisches Aluminium) in den abgelagerten Rückständen sowie Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Stoffsystemen untersucht. In Laborexperimenten wurden wasserstoffbildende Reaktionen von frischen und abgelagerten Aschen und RGR charakterisiert.

Ziel der Untersuchungen war es, Prognosen über das Langzeitverhalten unterschiedlicher MVA-Rückstände hinsichtlich ihres Wasserstoffbildungspotenzials zu erstellen und Handlungsempfehlungen abzuleiten.

Abbildung 4 zeigt beispielhaft unterschiedliche Wasserstoffbildungspotenziale von trocken und nass ausgetragener Asche bei Zugabe von Wasser; bei pH 11,4 wird vorzugsweise Aluminium hydratisiert. Die Differenz der Wasserstoffbildungspotenziale der trocken und nass ausgetragenen Schlacke bei gleichem pH wird darauf zurückgeführt, dass im Nassentschlacker ein Teil des metallischen Aluminiums spontan hydratisiert wird.

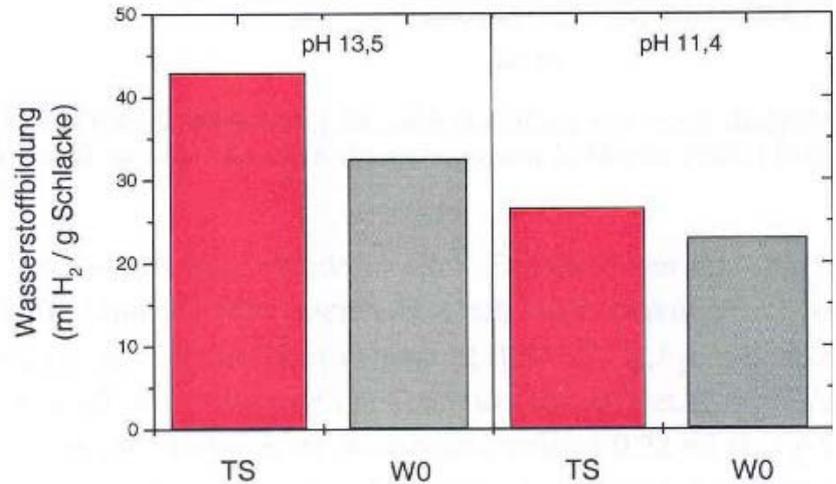


Abb. 4: Wasserstoffbildungspotenziale von trocken (TS) und nass (WO) ausgetragener MV-Asche bei unterschiedlichen pH-Werten [3]

Ergebnisse der Untersuchungen waren:

- Die untersuchten Deponiebereiche verfügen über ein bedeutendes Wasserstoffbildungspotenzial. Die Langzeitversuche ergaben zwar eine mit der Zeit abnehmende Wasserstoffbildungsrate, jedoch handelt es sich bei den wasserstoffbildenden Reaktionen um langanhaltende Prozesse.
- Die Wasserstoffentwicklung wird vor allem auf die Umwandlung des in MVA-Rückständen enthaltenen metallischen Aluminiums zu Aluminiumhydroxid zurückgeführt. Sie ist neben dem Aluminiumgehalt zusätzlich abhängig von der Oberfläche der Aluminiumpartikel und dem pH-Wert.
- Die Metallgehalte im Schlackefeinkorn, das überwiegend in der Deponie eingebaut wurde, liegen bei 1-7 Gew.-%. Proben aus Asche-RGR-Gemischen wiesen mit 2-8 Gew.-% ähnliche Metallgehalte auf. Ca. 2/3 der Metallgehalte wurden als Aluminium identifiziert.
- Höhere Chlorid-Konzentrationen in den MV-Rückständen erhöhen den Reaktionsumsatz bei der Wasserstoffbildung, da sie die effektive Reaktionsoberfläche vergrößern. Langfristig bewirken Reaktionssäume um die Aluminiumpartikel, dass die Wasserstoffbildungsraten abnehmen.
- MVA-Rückstände reagieren in Verbindung mit Wasser alkalisch. Ab pH > 9,5 wird Aluminium zunehmend hydratisiert. Bei einer gemeinsamen Einlagerung von RGR und Schlacke in der Deponie trägt Portlandit in frischem RGR-Material dazu bei, dass sich über Jahrzehnte stark alkalische pH-Werte > 11 einstellen können. Dadurch werden die Bedingungen für eine langfristige Wasserstoffbildung begünstigt.

- Die experimentellen Ergebnisse zeigen, dass innerhalb der Untersuchungszeit die H<sub>2</sub>-Produktion nicht zum Stillstand kommt. Dies entspricht den Beobachtungen in der Deponie. Aufgrund der verschiedenen einflussnehmenden Parameter kann keine allgemeingültige Modellreaktion formuliert werden. Mithilfe der experimentellen Daten wurde jedoch die Wasserstoffproduktion für die verschiedenen deponierten Materialien abgeschätzt. In der bayerischen Deponie entstehen demnach je nach Material stündlich zwischen 0,5x10<sup>-3</sup> und 0,13 m<sup>3</sup> Wasserstoff pro Mg MV-Rückstand, für eine zu Vergleichszwecken betrachtete Aschedeponie in den USA wurden 0,018 bis 0,380 m<sup>3</sup> Wasserstoff pro Stunde und Mg MV-Rückstand ermittelt.

Aus den Untersuchungsergebnissen wurden folgende Handlungsempfehlungen abgeleitet:

- Die Aluminiumgehalte in MV-Aschen sollten vor einer Ablagerung soweit als möglich minimiert werden. Mögliche Maßnahmen sind eine Begrenzung der Aluminiumgehalte in den zu verbrennenden Abfällen oder eine nachträgliche Aluminium-Abscheidung (Wirbelstromaggregate) aus den MV-Aschen.
- MV-Aschen und RGR sollten nach Möglichkeit nicht gemeinsam abgelagert werden. Bei einer Ablagerung von MV-Aschen ohne RGR nimmt die Wasserstoffbildung innerhalb weniger Jahre durch sinkende pH-Werte auf < 10 kontinuierlich ab.
- Bei Abdichtungsmaßnahmen an Aschedeponien – v. a. mit Kunststoffdichtungsbahnen – sind mögliche Wasserkonzentrationen zu berücksichtigen.



Abb. 5: MV-Asche als Ersatz für eine geotextile Trennlage (Vlies) auf dem Kiesflächenfilter (Dränage) einer Basisabdichtung

## 5 Bautechnische Verwertung von Müllverbrennungsaschen auf Deponien

Die Verwendung von Müllverbrennungsaschen als Baustoff auf Deponien ist vor allem unter folgenden Aspekten vorteilhaft:

- geringere Entsorgungskosten im Vergleich zur Beseitigung als Abfall,
- Ressourcenschonung durch Substitution von Primärbaustoffen,
- aufgrund der Sicherungssysteme von Deponien reduziertes Grundwassergefährdungspotenzial im Vergleich zu anderen obertägigen Verwertungsmöglichkeiten,
- optimierte Bedingungen für Baustofftransporte bei räumlicher Nähe von Müllverbrennungsanlage und Deponie.

Wegen der wirtschaftlichen Vorteile, die sich bei der Verwertung von MV-Aschen im Deponiebau ergeben, ist jedoch eine im Zweifelsfall restriktive Auslegung der Verwertungs-Kriterien und eine ausreichende Überwachung von Deponiebaumaßnahmen erforderlich. Das rechtliche Instrumentarium zur Verhinderung sog. „Scheinverwertungen“ ist vorhanden.

Um die Eignung von MV-Aschen festzustellen, ist stets die bautechnische Eignung und die Einhaltung der Zuordnungswerte zu prüfen. Bei Baumaßnahmen muss dies im Qualitätsmanagementplan (früher: Qualitätssicherungsplan) erfolgen, wobei Eigen- und Fremdkontrollen sowie die behördliche Überwachung festzulegen sind (Anhang E, TA Abfall [14]). Wichtige Parameter für die Prüfung der bautechnischen Eignung können im Einzelfall sein: Korngrößenverteilung, Verdichtbarkeit, Durchlässigkeitsbeiwert, Kalkgehalt, Standfestigkeit (Scherfestigkeit), Kornstabilität, abschlämmbare Bestandteile, organische Verunreinigungen, tonige und merglige Bestandteile, Widerstand gegen Verwitterung (Frost-Tau-Wechsel-Versuche), Schlagzertrümmerungswert.

MV-Aschen können als Ersatzbaustoff bei der Herstellung folgender Deponiesysteme verwendet werden:

- Ersatz für Geotextil über der Entwässerungsschicht (vgl. Abb. 5),
- als Baustoff für deponietechnisch notwendige Baumaßnahmen, wie z.B. Baustraßen auf dem Ablagerungsbereich, für Trenndämme zwischen Deponiebereichen (Abb. 6) sowie zur Wiederverfüllung von Schächten und Baugruben,
- als Material für die arbeitstägliche Abdeckung von speziellen Abfällen (Abb. 7),

- als Profilierungsmaterial. Nach dem aktuellen Entwurf der Deponieverwertungsverordnung ist dies nur in der Stilllegungsphase einer Deponie zulässig bzw. wenn alle anderen Möglichkeiten zur Minimierung der erforderlichen Volumina ausgeschöpft sind,
- als Gasdrän- oder Ausgleichsschicht (Abb. 8) des Oberflächenabdichtungssystems.

## 6 Zusammenfassung

Die Verwertung von Müllverbrennungsaschen im Rahmen von Deponiebaumaßnahmen kann eine ökologisch und ökonomisch sinnvolle Alternative zum Einsatz von Primärbaustoffen sein.

Sachliche Voraussetzung sind dabei die für die jeweilige Baumaßnahme geeigneten bauphysikalischen Eigenschaften der einzusetzenden Aschen. Für jede Einzelmaßnahme ist die funktionale und bautechnische Eignung der Aschen nachzuweisen. Hierfür müssen sie eine chemische, physikalisch und bodenmechanische Beschaffenheit aufweisen, die nach dem Einbau in das Bauteil dessen Funktionserfüllung für die erforderliche Frist (überwiegend langfristig) gewährleistet [6].

Sollen Aschen eingesetzt werden, die nicht vollständig den Empfehlungen der LAGA entsprechend vorbehandelt sind, müssen die möglichen Auswirkungen der exothermen Reaktionen berücksichtigt werden. Untersuchungen haben gezeigt, dass sich die Temperaturentwicklung in Aschehaufwerken durch die Art des Einbaus in gewissem Umfang kontrollieren lässt.

Bei nicht in vollständigem Umfang vorbehandelten Aschen oder bei solchen mit erhöhten Gehalten an metallischem Aluminium ist die Wasserstoffentwicklung zu berücksichtigen. Auch die gemeinsame Ablagerung von Aschen und RGR verursacht intensivere und länger anhaltende Wasserstoffemissionen. Wegen der hohen Flüchtigkeit sind Anreicherungen von Wasserstoff in offenen Aschehaufwerken unwahrscheinlich. Bei Abdichtungsmaßnahmen sind jedoch geeignete (Arbeits-)Schutzmaßnahmen zu prüfen; auch ein Einbau von Gasdomen am Hochpunkt von Asche-Deponien ist denkbar.

Grenzen für die bautechnische Verwertung von MV-Aschen ergeben sich aus den Vorgaben des Entwurfs der Deponieverwertungsverordnung in Verbindung mit landesrechtlichen Regelungen.



Abb. 6: Damm zur Abtrennung verschiedener Deponiebereiche



Abb. 7: Arbeitstägliche Abdeckung von asbesthaltigen Abfällen



Abb. 8: Ausgleichsschicht aus MV-Asche

## 7 Literaturverzeichnis

- [1] Abfallwirtschaft – Hausmüll in Bayern – Bilanzen 2003 (Abfallbilanz 2003). Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Augsburg, 2004.
- [2] Baumann, T.; Biber, R.; Speiser, C; Niessner, R.: Exothermer Stoffumsatz in MVA-Schlackedeponien. Abschlussbericht zum Vorhaben F158, TU München, Lehrstuhl für Hydrogeologie, Hydrochemie und Umweltanalytik, 2004.
- [3] Magel, G.; Heuss-Aßbichler, S.; Fehr, K.T.: H<sub>2</sub>-produzierende abiotische Reaktionen in MVA-Schlackedeponien. Abschlussbericht zum Vorhaben F188. LMU München, Department für Geo- und Umweltwissenschaften, Bereich Mineralogie, Petrologie und Geochemie, 2004.
- [4] Anonym: Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (KrW-/AbfG), 1994, zuletzt geändert BGBl I (2004), S. 82.
- [5] Anonym: Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge; 1974, neu gefasst durch Bek. v. 26. 9.2002, BGBl I (2002), S. 3830.
- [6] Anonym: Verordnung über die Verwertung von Abfällen auf Deponien über Tage (Deponieverwertungsverordnung - DepVerwV). Entwurf, Stand: 11.06.2004.
- [7] Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA): Mitteilung 19: Merkblatt über die Entsorgung von Abfällen aus Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle (LAGA M19). Erich Schmidt Verlag, Berlin, 1994.
- [8] Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA): Mitteilung 20: Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen – Technische Regeln – (LA-GA M20). Erich Schmidt Verlag, Berlin, 1997.
- [9] Riedel, H.: Müllverbrennungsschlacken: umwelt- und verwertungsrelevante Eigenschaften, VGB PowerTech 84, 2004, S. 42 - 48.
- [10] Lichtensteiger, T.: Müllschlacken aus petrologischer Sicht, Geowissenschaften 14, 1996, S. 173 - 179.
- [11] Pfrang-Stotz, G.; Reichelt, J.: Charakterisierung und Bewertung von Müllverbrennungsschlacken aus 15 Müllverbrennungsanlagen unterschiedlicher Verfahrenstechnik. Müll und Abfall 1999, 5, S. 262 - 268.
- [12] Lahl, U.: Schlackeaufbereitung durch Alterung und Laugung, In: Beihefte zu Müll und Abfall 31, 1994, S. 86 - 91.
- [13] Burg, H.: Chemisch-mineralogische Untersuchung von Müllverbrennungsschlacke: Zusammensetzung, Alterungsverhalten, bauphysikalische Eigenschaften. Diplomarbeit (nicht veröffentlicht), 1999, Ludwig-Maximilians-Universität München, S. 112.
- [14] Anonym: Zweite Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz: Teil 1: Technische Anleitung zur Lagerung, chemisch/physikalischen, biologischen Behandlung, Verbrennung und Ablagerung von besonders überwachungsbedürftigen Abfällen, GMBI (1991), S. 139, Änderung: GMBI (1991), S. 469.