für Straßenbau- und Umwelttechnik

- Ingenieurbüro Dr.-Ing. **K**laus **M**esters* -

* Von der IHK im mittleren Ruhrgebiet zu Bochum öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für ***Straßenbaustoffe***

Weg am Kötterberg 51 • D-44807 Bochum
Telefon (02 34) 59 29 24 • Fax (02 34) 59 35 44
info@kmgmbh.com
www.kmgmbh.com

Labor:
Handwerksweg 8a • D-44805 Bochum
Telefon (0234) 5 46 41 40 • Fax (0234) 5 46 41 42

In Zusammenarbeit mit

Institut für Bodenkunde, Universität Hamburg,
Dipl.-Ing. Wilfried Gläseker

Öko-Institut e.V., Büro Darmstadt
Dipl.-Ing. Günter Dehoust

Wissenschaftliche Studie zu Verwertungsmöglichkeiten von HMV-Schlacke des Hanseatischen Schlackenkontors im Straßen- und Erdbau unter Berücksichtigung bau- und umwelttechnischer Aspekte

Bericht Nr.: **FE 0910164**

Auftraggeber: HSK - Hanseatisches Schlackenkontor GmbH, Hamburg

Bochum, im Oktober 2009

Durch das Ministerium für Bauen und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen – III A2 – 30 – 05/48.121 – vom 13. Dezember 2005 nach RAP 04 anerkannte Prüfstelle für Baustoffgemische im Straßenbau. Anerkennung erstreckt sich auf die Kombinationen A1, A3, A4, B3, B4, D0, D3, D4, G1 bis G4, H1, H3, H4 und I1 bis I4.

Eine Veröffentlichung des Untersuchungsberichtes darf nur ungekürzt und erst nach vorheriger Genehmigung erfolgen.

Inhaltsverzeichnis

		Seite
1.	**Vorgang**	**3**
2.	**Derzeitiger und zukünftiger Stellwert der Abfallverbrennung**	**3**
3.	**HMV-Schlacken aus der Abfallverbrennung**	**5**
3.1	Entstehung	5
3.2	Aufbereitung und Lagerung	6
3.3	Anfall, Aufbereitung und Verwertung	7
3.3.1	Deutschland	7
3.3.2	Hamburg	9
3.4	Eigenschaften	10
3.4.1	Stoffliche Zusammensetzung	10
3.4.2	Chemische und mineralogische Zusammensetzung	13
3.4.3	Mobilisierung von Inhaltsstoffen aus HMV-Schlacken	14
3.5	Regelwerke	14
4.	**Aktueller Stand bundeseinheitlicher Regelungen**	**16**
5.	**Untersuchungen an HMV-Schlacken der HSK – Institut für Bodenkunde, Universität Hamburg –** Dipl.-Ing. W. Gläseker	**18**
6.	**Fazit**	**20**
7.	**Stellungnahme aus der Sicht des Oekoinstituts –** Dipl.-Ing. G. Dehoust	**21**
8.	**Literatur**	**24**

1. Vorgang

Die Hanseatische Schlackenkontor GmbH (HSK), Hamburg, hat die KM GmbH für Straßenbau- und Umwelttechnik in Bochum damit beauftragt, eine Studie zu Verwertungsmöglichkeiten von HMV-Schlacke der HSK im Straßen- und Erdbau unter Berücksichtigung bau- und umwelttechnischer Aspekte zu erstellen. Neben der federführenden KM GmbH (Dr. Klaus Mesters) sind noch das Institut für Bodenkunde (Universität Hamburg), Dipl.-Ing. Wilfried Gläseker, und das Öko-Institut in Darmstadt, Dipl.-Ing. Günter Dehoust, an der Studie beteiligt. Von Herrn Gläseker wurden die am Institut für Bodenkunde vorliegenden Forschungs- und Untersuchungsergebnisse der letzten 10 Jahre zusammengestellt. Herr Dehoust nimmt abschließend zu der Studie aus der Sicht des Öko-Instituts Stellung.

2. Derzeitiger und zukünftiger Stellenwert der Abfallverbrennung

Die Verbrennung stellt in Deutschland einen wichtigen Entsorgungsweg für Abfälle dar. Darüber hinaus stieg die Bedeutung der thermischen Abfallbehandlung als Entsorgungsweg für Abfälle mit dem Inkrafttreten der wichtigsten Anforderung aus der Abfallablagerungsverordnung, nämlich dem endgültigen Ablagerungsverbot für unbehandelte Siedlungsabfälle seit dem 01. Juni 2005.

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) legte 1999 ein Eckpunkte-Papier /1/ für die Zukunft der Entsorgung von Siedlungsabfällen vor, welches einen Paradigmenwechsel in der Abfallpolitik einleitete. Danach sollte/sollten

- die Ablagerung unbehandelter Siedlungsabfälle beendet,
- Abfall vor Ablagerung thermisch oder mechanisch-biologisch vorbehandelt,
- die heizwertreiche Fraktion der mechanisch-biologischen Behandlung energetisch genutzt,
- alte Deponien schrittweise geschlossen und
- bis 2020 die Behandlungstechniken weiterentwickelt und ausgebaut werden, so dass alle Siedlungsabfälle in Deutschland vollständig und umweltverträglich verwertet werden können /1, 2/.

Die Umsetzung dieses „Konzeptes 2020“ des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) lässt ein weiter zunehmendes Interesse an der Abfallverbrennung erwarten, denn nach diesem Konzept sollen zukünftig auch vorbehandelte Siedlungsabfälle nicht mehr auf Deponien abgelagert werden. Bereits seit Jahren ist die Zahl der Siedlungsabfalldeponien stark rückläufig. Im Jahre 1993 gab es noch 562 Hausmülldeponien der Deponieklasse II, im Jahre 2004 hingegen jedoch nur noch 297 /3/ mit weiterhin stark abnehmender Tendenz (s. **Abb. 1**).

Um aber die Ablagerung von Abfällen weitgehend entbehrlich machen zu können, ist das stoffliche und energetische Potenzial der Abfälle intensiver zu nutzen, wodurch Rohstoffe und Primärenergie aus fossilen Brennstoffen eingespart werden und somit ein wichtiger Beitrag zum Klimaschutz

geleistet werden könnte. Bisher werden jedoch große Ressourcenpotenziale nicht bzw. nicht optimal genutzt. Hier ist die öffentliche Hand gefordert, als Vorbild zu handeln.

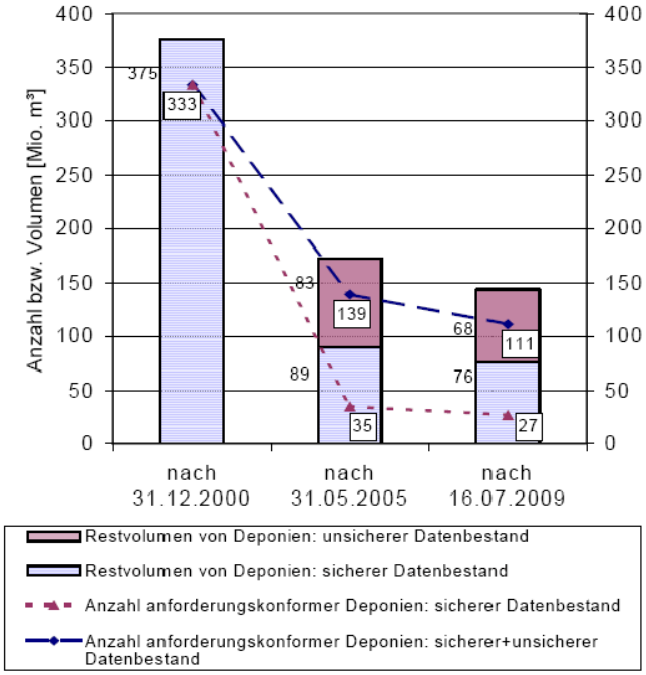


Abbildung 1: Restvolumen und Anzahl Deponien mit Weiterbetriebsmöglichkeit gemäß /3/

Anhand der Grafik in **Abb. 1** ist zu erkennen, dass das Deponie-Restvolumen Mitte 2009 bei rund 150 Mio. m^3 lag (sicherer und unsicherer Datenbestand). Diese neue abfallrechtliche Situation und die allgemein gestiegenen Kosten für die Energieversorgung führten und führen zum Bau neuer Abfallverbrennungsanlagen. Aufgrund dessen sind für die Entwicklung der Abfallwirtschaft in Deutschland die Kapazitäten der existierenden Abfallverbrennungsanlagen von Bedeutung. In **Abb. 2** sind einmal die jährlichen Kapazitäten der deutschen Abfallverbrennungsanlagen mit Gegenüberstellung des Anlagenbestandes für den Zeitraum 1990 bis 2009 /4, 5/ dargestellt.

Wie **Abb. 2** zu entnehmen ist, sind derzeitig 71 Abfallverbrennungsanlagen in Betrieb. Die jährliche Verbrennungskapazität liegt bei knapp 20 Mio. t. Die Anzahl der Abfallverbrennungsanlagen wird zukünftig weiter steigen, so dass auch die Verbrennungskapazitäten zunehmen werden. Inwieweit die Neufassung der Abfallrahmenrichtlinie vom 19. November 2008 /6/ der Europäischen Union, die mit der neuen fünfstufigen Abfallhierarchie die bisherige Definition bzw. Auslegung der Begriffe „Beseitigung“ und „Verwertung“ aus dem deutschen Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz /7/ verändern wird, bleibt abzuwarten.

In Hamburg werden derzeit rund 800.000 t Siedlungsabfälle in vier Abfallverbrennungsanlagen (Borsigstraße, Rugenberger Damm, Stapelfeld und Stellinger Moor) verbrannt.

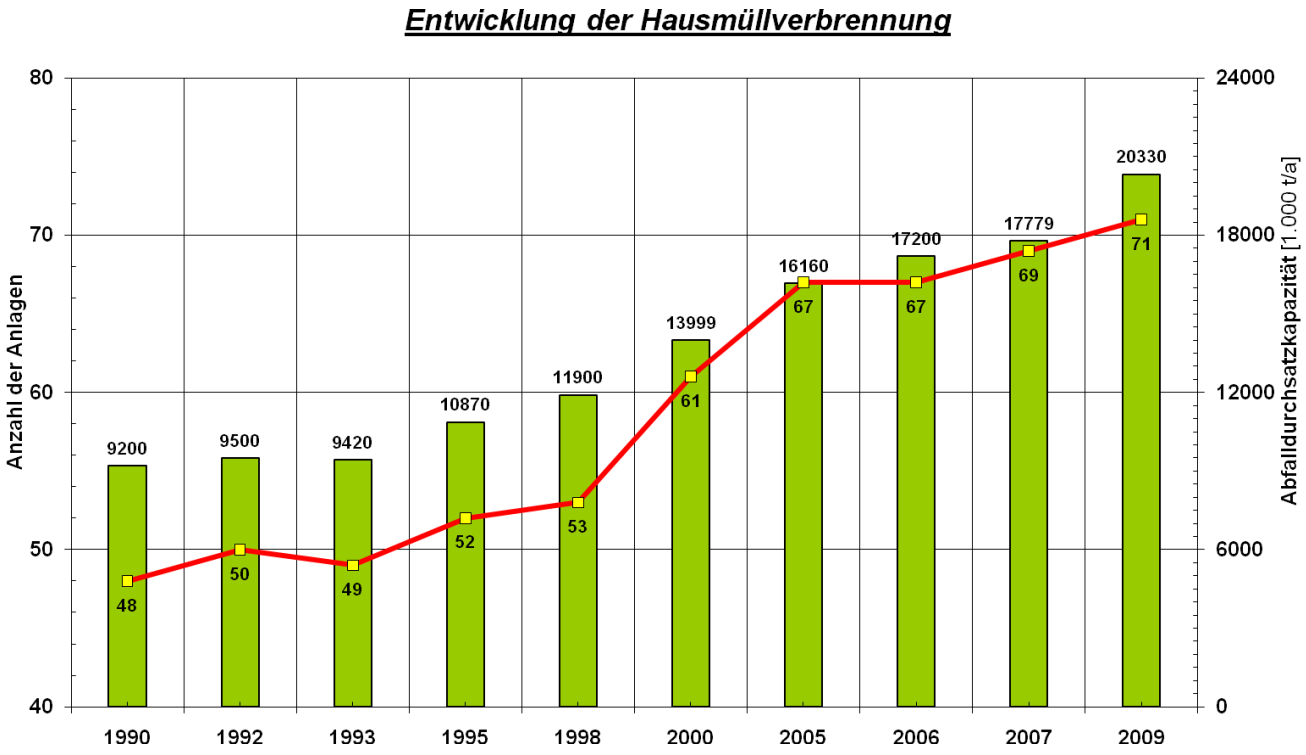


Abbildung 2: Jährlichen Kapazitäten der deutschen Abfallverbrennungsanlagen mit Anlagenbestand für den Zeitraum 1990 bis 2009 /4,5/

3. HMV-Schlacken aus der Abfallverbrennung

3.1 Entstehung

In Verbrennungsanlagen, in denen Siedlungsabfälle (Hausmüll und hausmüllähnliche Gewerbeanfälle) verbrannt werden, fallen in Anlehnung an das Merkblatt über die Verwendung von Hausmüllverbrennungsasche (HMV-Asche wird in anderen Regelwerken auch als HMV-Schlacke bezeichnet, nachfolgend wird nur noch der Begriff HMV-Schlacke verwendet) im Straßenbau – M HMVA /8/ die in **Abb. 3** schematisch dargestellten Rückstände an.

Dabei wird der Siedlungsabfall bei Rostbett-Temperaturen zwischen 800 °C und 1.200 °C verbrannt. Aus dem Verbrennungsraum entstehen nach heutigem Stand der Technik rund 280 kg HMV-Rohschlacke bezogen auf eine Tonne Siedlungsabfall. An Rückständen aus der Abgasreinigung fallen rund 35 kg pro Tonne Siedlungsabfall an. Die HMV-Schlacke wird aus der mit Wasser abgekühlten HMV-Rohschlacke durch geeignete Aufbereitung und Lagerung hergestellt (rund 250 kg/t Siedlungsabfall). HMV-Kesselaschen, HMV-Filterstäube und Reaktionsprodukte aus der Abgasreinigung dürfen in HMV-Schlacke nicht enthalten sein.

Bei den derzeitig in Hamburg zu verbrennenden rund 800.000 t Siedlungsabfällen in den vier Abfallverbrennungsanlagen (Borsigstraße, Rugenberger Damm, Stapelfeld und Stellinger Moor) würde dies einer Anfallmenge an HMV-Schlacken von rund 200.000 t entsprechen.

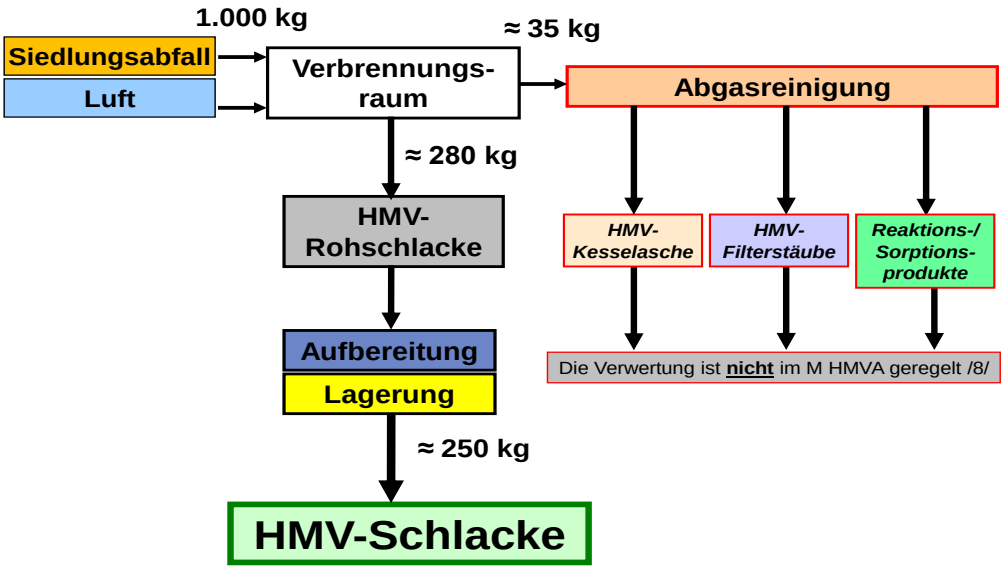


Abbildung 3: Flussdiagramm der Massenströme (anfallende Rückstände) in Hausmüllverbrennungsanlagen gemäß /8/

3.2 Aufbereitung und Lagerung

HMV-Rohschlacken sind so aufzubereiten, dass die HMV-Schlacke gleichmäßige Eigenschaften besitzt. Partien von HMV-Rohschlacken mit hohem Anteil an Unverbranntem und ungenügendem Ausbrand sind von der Aufbereitung auszuschließen.

Die Aufbereitung von HMV-Rohschlacke zu HMV-Schlacke erfolgt gemäß /8/ im Allgemeinen über folgende Stufen:

- Abtrennung grobstückiger Bestandteile
- Vorklassierung mit Trommelmangnet und Überbandmagnet
- Leseband
- Hauptklassierung mit Überbandmagnet und NE-Abscheider, ggf. Sichteranlagen
- Gegebenenfalls Überkornaufbereitung mit Rückführung in den Klassierkreislauf.

Je nach Einsatzgebiet kann die HMV-Schlacke in der Regel zu verschiedenen Lieferkörnungen aufbereitet werden. Die Hamburger HMV-Schlacke wird in der Lieferkörnung 0-32mm - für HMV-Schlacken typische Lieferkörnung - hergestellt. Die HMV-Schlacke ist nach dem Aufbereitungsprozess auch im Hinblick auf eine Verbesserung der Raumbeständigkeit zu lagern. Die jeweiligen Verfahrensschritte – Vorlagerung, Aufbereitung/Lagerzeit und Lieferung – werden dokumentiert.

Bei den Hamburger Abfallverbrennungsanlagen Borsigstraße (MVB) und Rugenberger Damm (MVR) sind integrierte Schlackenwäschen installiert. Die Abkühlung der HMV-Rohschlacke mit

Wasser erfolgt im Stößelentschlacker und wird mit einem erheblichen Überschuss an Wasser betrieben, um leicht lösliche Salze aus der Schlacke zu entfernen. So lassen sich die Chloride reduzieren - Besonderheit der beiden o.g. Anlagen. Nach der integrierten Schlackenwäsche erfolgen dann die üblichen, oben beschriebenen, klassischen Aufbereitungsschritte.

3.3 Anfall, Aufbereitung und Verwertung

3.3.1 Deutschland

An der Ruhr-Universität Bochum wurden erstmalig 1989 /9/ Umfragen durchgeführt, die sich speziell mit dem Anfall, der Aufbereitung und der Verwertung von HMV-Schlacken befassten. Diese Umfragen wurden dann in einem 2jährigen Turnus bis zum Wirtschaftsjahr 2001 fortgeführt. Das Hauptanwendungsgebiet für HMV-Schlacken ist der Straßen- und Erdbau sowie der Deponiebau (Deponiersatzbaustoffe). Den höchsten Verwertungsanteil im qualifizierten Straßenbau - bundesweit - erzielten die HMV-Schlacken im Wirtschaftsjahr 1993, danach ging die Verwertungsquote aufgrund von Veränderungen der politischen Rahmenbedingungen, Vorbehalten und auch immer weiter steigenden restriktiven Anforderungen an die bautechnischen Eigenschaften aber auch an die Umweltverträglichkeit von HMV-Schlacken, kontinuierlich zurück. In Hamburg lag durch intensive Aufklärungsarbeit die Verwertung nahezu bei 100 %. In **Abb. 4** sind die Verwertungsanteile in Abhängigkeit vom Einsatzgebiet vergleichend für die Wirtschaftsjahre 1993 und 2001 gegenübergestellt.

Abb. 4 ist zu entnehmen, dass der klassifizierte, qualitätsgesicherte Straßenbau (vornehmlich die Tragschichten ohne Bindemittel (Frostschutz- und Schottertragschicht)) zunehmend mit knapp 22 % in den Hintergrund tritt. Als Verfüllmaterial wurden rund 38% der HMV-Schlacken eingesetzt, zu dem sicherlich ein Teil der rund 20% unter „Sonstiges/sonstige Verwertung“ zugeschlagen werden kann, so dass die Verwertung als Verfüllung schon als wichtiges Einsatzgebiet bezeichnet werden muss.

Noch deutlicher wird der sich entwickelnde negative Trend, wenn die Entwicklung des Einsatzes von HMV-Schlacken in Tragschichten ohne Bindemittel (Frostschutz-/Schottertragschicht) unmittelbar mit der Entwicklung beim Verfüllmaterial gegenüberstellt. In **Abb. 5** ist die Entwicklung der Verwertung von HMV-Schlacken dieser beiden Einsatzgebiete für den Zeitraum von 1989 bis 2001 (2jähriger Turnus) grafisch vergleichend gegenübergestellt. Der Grafik ist zu entnehmen, dass der Verwertungsanteil für das Einsatzgebiet „Tragschichten ohne Bindemittel“ ab 1993 kontinuierlich gesunken und beim Verfüllmaterial stetig angestiegen ist, wobei die höchste Einschränkung bei den Schottertragschichten festzustellen ist. Derzeitig wird der Anteil auf 2 bis 3 % geschätzt, genaue Angaben sind leider nicht verfügbar.

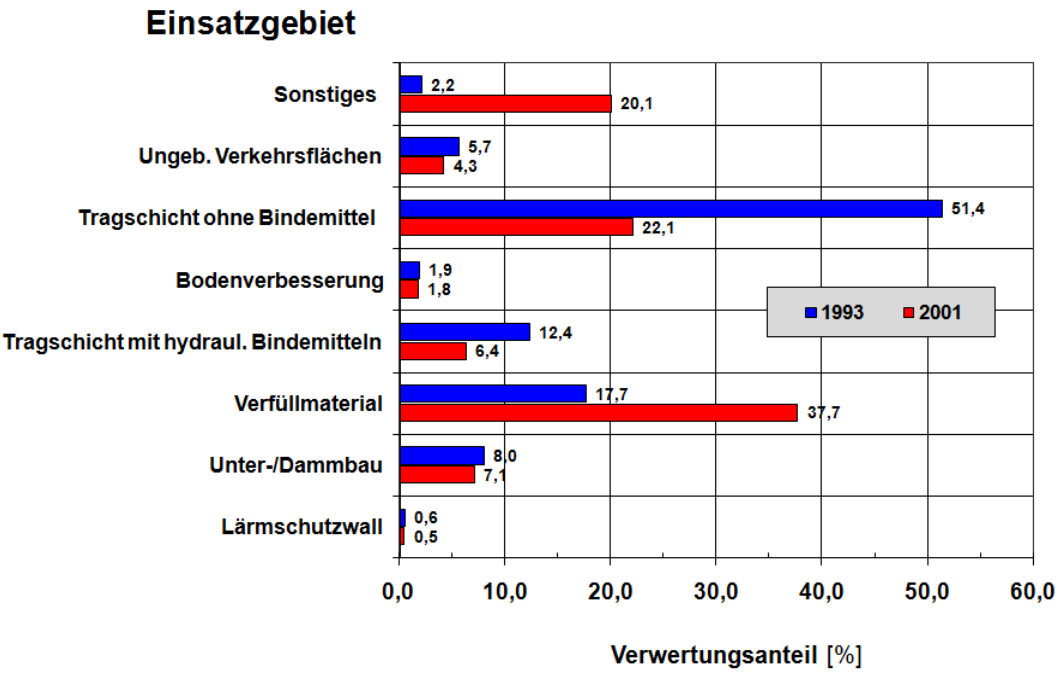


Abbildung 4: Entwicklung Verwertungsanteile von HMV-Schlacken in Abhängigkeit vom Einsatzgebiet für das Wirtschaftsjahr 1993 im Vergleich zu 2001

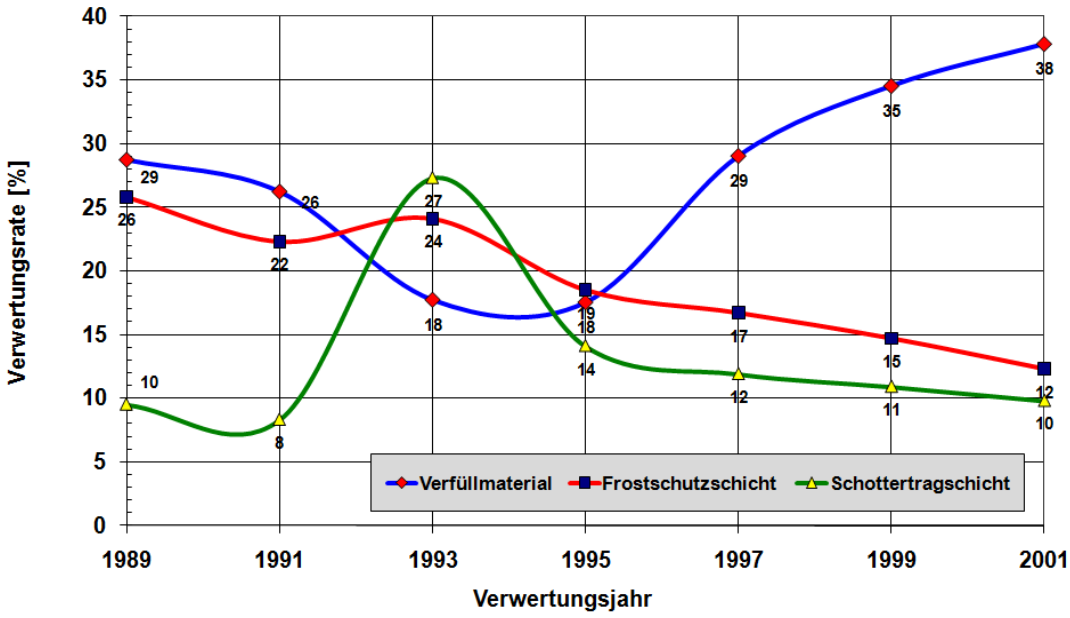


Abbildung 5: Vergleich der Verwertungsanteile von HMV-Schlacken in einem Zeitraum von 1989 bis 2001 für Tragschichten ohne Bindemittel und Verfüllmaterial

Aus bautechnischer Sicht sind die o.a. Tendenzen nicht ganz nachvollziehbar, da es sich bei den HMV-Schlacken um einen über mehrere Jahrzehnte erprobter Baustoff handelt. HMV-Schlacken weisen sehr gute Verdichtungseigenschaften und hohe Tragfähigkeiten auf. Darüber hinaus ist noch die Unempfindlichkeit hinsichtlich etwaiger Schwankungen des Einbauwassergehaltes zu nennen.

Insofern sind HMV-Schlacken - aus bautechnischer Sicht - als vielseitig einsetzbarer Ersatzbaustoff zu betrachten.

3.3.2 Hamburg

Im Bundesland Hamburg ist entgegen dem Bundestrend eine wesentlich andere Entwicklung festzustellen. Die Haupteinsatzbereiche von HMV-Schlacken der Körnung 0/32 mm des HSK liegen im Bereich der Tragschichten ohne Bindemittel (Frostschutz-/Schottertragschichten), Oberbau von Industrie- und Gewerbeflächen (z.B. HHLA Containerterminal Altenwerder) und untergeordnet der Einsatz von HMV-Schlacken als Deponieersatzbaustoff. Im Vergleich zu anderen Bundesländern führt Hamburg seit vielen Jahren ein Einbaukataster mit der Erfassung aller relevanten Kennwerte. Darüber hinaus verpflichtet sich das HSK bei einem etwaigen Rückbau die HMV-Schlacke wieder zurück zu nehmen (Rücknahmeverpflichtung). Durch diese vertrauensbildenden Maßnahmen weist Hamburg eine Verwertungsrate der HMV-Schlacken in Tragschichten ohne Bindemittel für die Jahre 2001 von 97,6 %, 2004 von 95,4 % und 2008 von immerhin noch 74,4 % aus. Die Verwertungsanteile in Abhängigkeit vom Einsatzgebiete der HMV-Schlacken des HSK sind in **Abb. 6** als Balkendiagramm grafisch gegenübergestellt. In **Abb. 7** ist die Entwicklung der Einsatzgebiete der HMV-Schlacken des HSK in dem Zeitraum von 1996 bis 2009 dargestellt.

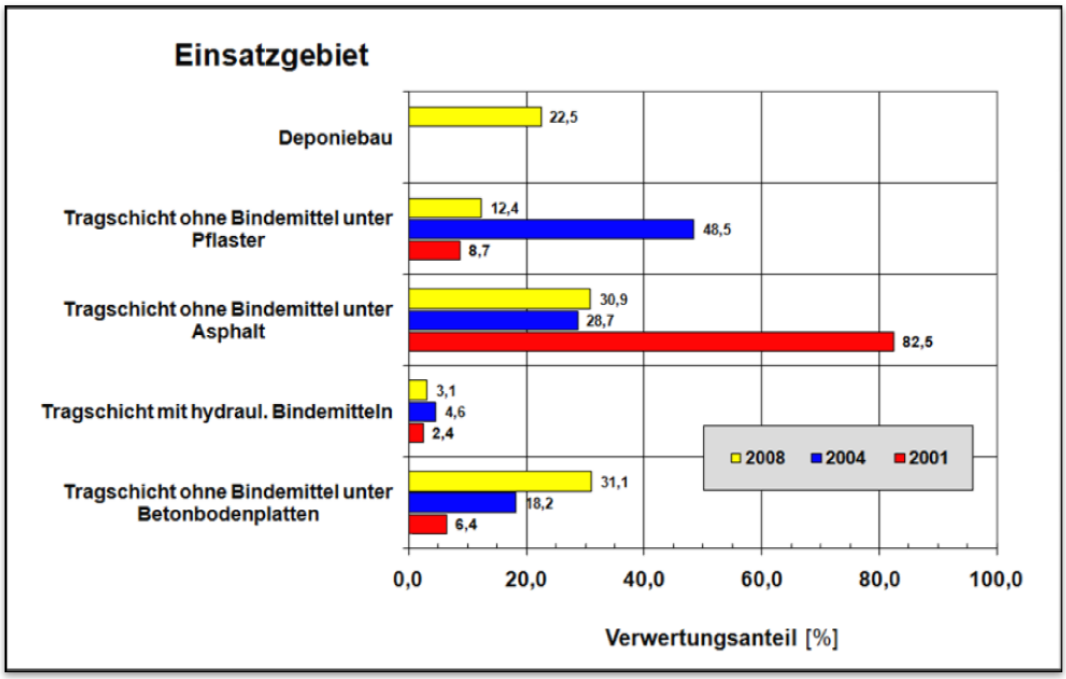


Abbildung 6: Entwicklung Verwertungsanteile von HMV-Schlacken des **HSK** in Abhängigkeit vom Einsatzgebiet für das Wirtschaftsjahr 2001 im Vergleich zu 2004 und 2008

Bei der genaueren Betrachtung, wie **Abb. 7** zu entnehmen ist, zeigt sich auch in Hamburg der abnehmende Trend (von 90 % auf 30 %) hinsichtlich des Einsatzes von HMV-Schlacke in Schottertragschichten. Alle anderen Einsatzgebiete unterliegen sicherlich auch bauüblichen Schwankungen.

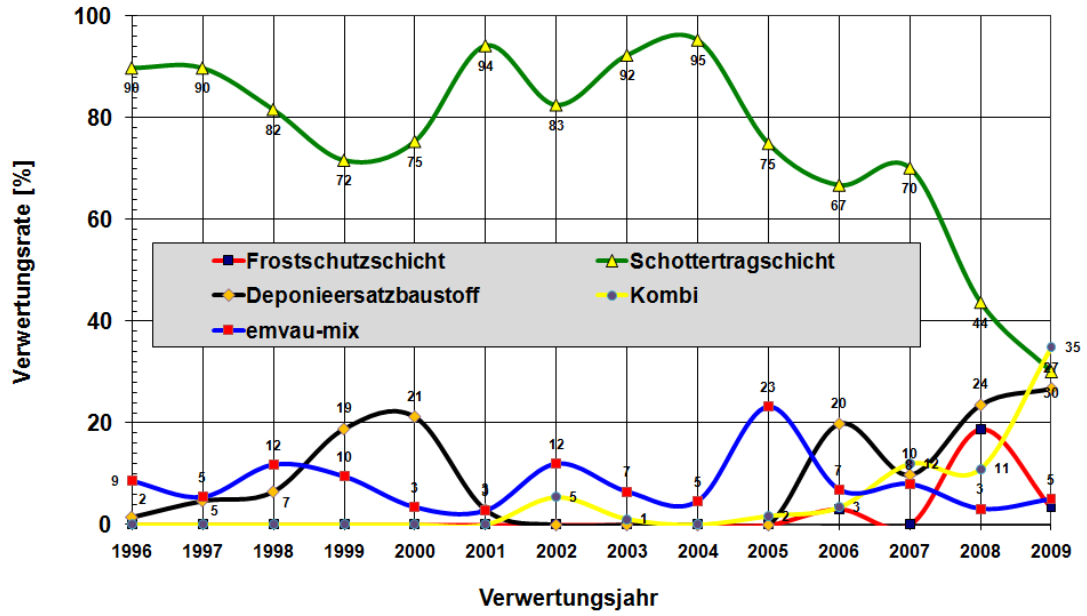


Abbildung 7: Vergleich der Verwertungsanteile von HMV-Schlacken des HSK in einem Zeitraum von 1999 bis 2009 in Abhängigkeit vom Einsatzgebiet

3.4 Eigenschaften

3.4.1 Stoffliche Zusammensetzung

HMV-Schlacke ist ein Gemenge aus Verbrennungsprodukten von porösen und dichten Schlacken mit Anteilen glasiger bis kristalliner Schlacken. Des Weiteren sind dort Inertstoffe (Glas, Keramik, Porzellan), metallische Bestandteile, Sonstiges (z.B. nicht brennbare mineralische Bestandteile, wie Beton, Ziegel, Mauerwerk, Festgestein, Kies (aus dem hausmüllähnlichen Gewerbeabfall) und in geringen Mengen Unverbranntes enthalten. Die Anteile der einzelnen Stoffgruppen in HMV-Schlacken hängen im Wesentlichen von der Zusammensetzung der Siedlungsabfälle ab. Gemäß M HMVA /8/ liegen die Anteile der vorgenannten Stoffgruppen in der in **Tab. 1** angegebenen Bandbreite. Darüber hinaus sind die Ergebnisse aus der regelmäßigen Überwachung der Anlagen Stapelfeld, Borsigstraße (1996 bis 2008) und Rugenberger Damm (1999 bis 2008) mit aufgeführt. In **Abb. 8** bis **10** sind die Stoffgruppen als arithmetisches Mittel in Abhängigkeit von der Abfallverbrennungsanlage zusätzlich (zur besseren Verdeutlichung) noch grafisch dargestellt.

Es sind jeweils die Bandbreiten des arithmetischen Mittels aller drei Abfallverbrennungsanlagen gelistet. Die Daten stammen aus dem Schlackenbericht 2008, erstellt vom Heiden Labor für Baustoff- und Umweltprüfung, Roggentin, /10/. Die Ergebnisse weisen auf eine sehr gute

Aufbereitung und hohem Ausbrand hin. Die Metallgehalte in der HMV-Schlacke liegen im Bundesvergleich im unteren Bereich. Gleiches gilt für die Stoffgruppe „Sonstiges“ und „Unverbranntes“. Die Anteile der Stoffgruppe „Glas/Keramik“ liegen im Bundesdurchschnitt.

Tabelle 1: Schwankungsbreiten der stofflichen Zusammensetzung von HMV-Schlacken der MVB, MVR und Stapelfeld /10/ mit Anforderungen gemäß Merkblatt /8/

Stoffliche Zusammensetzung von HMV-Schlacken [M.-%]			
	Hamburger Anlagen /10/	**M HMVA /8/**	
Stoffgruppe	**Arithmetisches Mittel 1996 bzw. 1999 bis 2008**	**Schwankungsbreiten**	**Anforderungen**
Schlacke/Asche	79,4 – 83,6	30 – 80	—
Glas/Keramik	14,0 – 17,4	20 - 70	—
Metalle	1,0 – 1,4	0 - 20	**≤ 5**
Sonstiges	1,6 – 1,9	0 - 20	—
Unverbranntes	0,10 – 0,20	0 - 10	**≤ 0,5**

Um eine bessere Vorstellung zu erhalten, welche Stoffgruppenverteilung in typischen HMV-Schlacken 0/32 mm vorliegt, sind einmal in **Bild 1** bis **7** die Hauptstoffgruppen am Beispiel der Kornklasse 8/16 mm (dort ist die Stoffgruppenverteilung am besten erkennbar) fotodokumentiert. Anhand dieser Bilder wird der hohe Mineralisierungsgrad und der heutzutage - durch die immer besser werdende Aufbereitungstechnik – nur noch geringe Anteil an organischen Bestandteilen in der HMV-Schlacke deutlich.

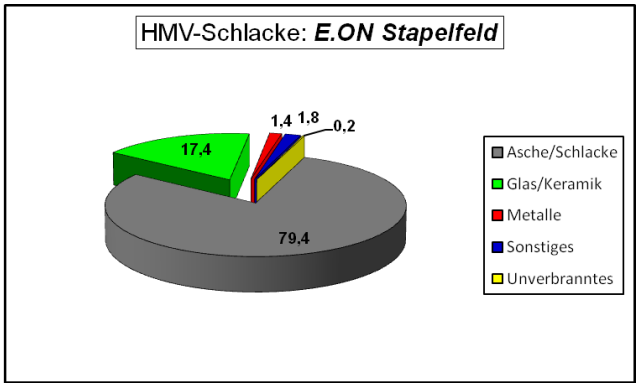


Abb. 8: Typische Stoffliche Zusammensetzung, **HMV-Schlacke „E.ON Stapelfeld“**

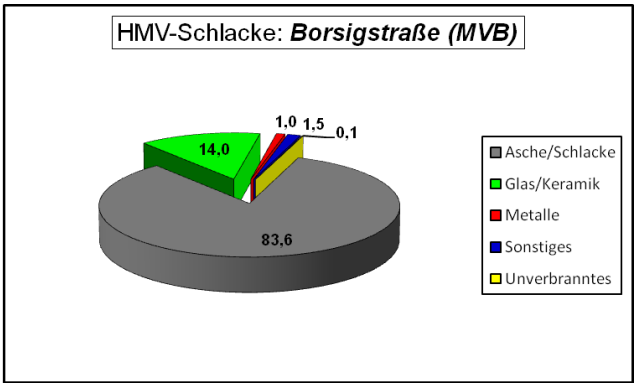


Abb. 9: Typische Stoffliche Zusammensetzung, **HMV-Schlacke „Borsigstraße (MVB)**

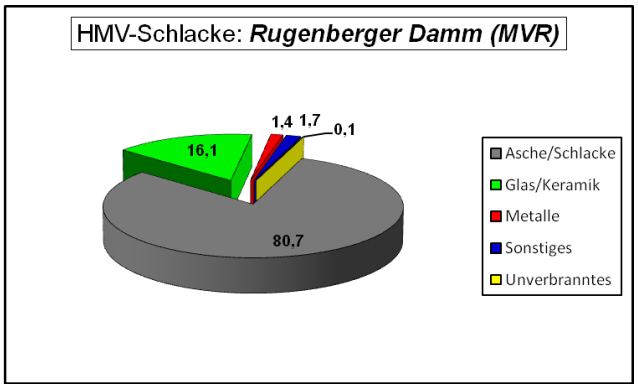


Abb. 10: Typische Stoffliche Zusammensetzung, **HMV-Schlacke „Rugenberger Damm**

Bild 1: HMV-Schlacke **8/16 mm**, ***ungewaschen***

Auf den **Bildern 3** und **4** wird die unterschiedliche Kornform der beiden Stoffgruppen Schlacke/Asche und Glas/Keramik deutlich, die - aus bautechnischer Sicht - auch Einfluss auf das günstige Verdichtungsverhalten von HMV-Schlacke haben.

Bild 2: HMV-Schlacke **8/16 mm**, ***gewaschen***,

Bild 3: HMV-Schlacke **8/16 mm**, gewaschen, ***Schlacke/Asche***

Bild 4: HMV-Schlacke **8/16 mm**, ***gewaschen***, **Glas/Keramik**

Bild 5: HMV-Schlacke **8/16 mm**, ***gewaschen*** **Sonstiges**

Aus **Bild 1** bis **5** – Kornklasse 8/16 mm - wird deutlich, dass die heutigen HMV-Schlacken überwiegend mineralischer Natur sind. Die HMV-Schlacken des HSK **Abb. 8** bis **10** weisen einen sehr hohen Anteil an Schlacke/Asche auf, mittleren Anteil der Stoffgruppe Glas/Keramik und untergeordnete Anteile an Metalle/Unverbranntes sowie Sonstiges auf. Solche HMV-Schlacken verfügen über gute bautechnische Eigenschaften. Auch die Mobilität von Inhaltsstoffen liegt dadurch in der Regel auf einem niedrigen Niveau.

3.4.2 Chemische und mineralogische Zusammensetzung

Die in der Literatur aufgeführten Analysen zur chemischen Zusammensetzung von HMV-Schlacken sind sehr zahlreich und aufgrund unterschiedlicher Analysentechnik und Annahmen zum Teil nur sehr schwer zu vergleichen. HMV-Schlacken bestehen vorwiegend aus wasserunlöslichen Silikaten, Calcium-, Aluminium-, Eisen- und sonstigen Oxiden sowie Carbonaten und Chloriden der Alkali- und Erdalkalimetalle. Die Gehalte an Silikaten, Alkali- und Erdalkaliverbindungen liegen mittlerweile bei über 90 %. Eine Zusammenstellung diverser chemischer Untersuchungen ist in **Tab. 2** aufgeführt /11/. In Spalte 1 der **Tab. 2** sind die nach 1990 üblichen Schwankungsbreiten der Hauptbestandteile in HMV-Schlacken gelistet. Die in der Literatur anzutreffenden Daten vor 1990 sind nicht mehr repräsentativ für heutige Schlacken aus der Abfallverbrennung. Es muss heute von einer veränderten Restabfallzusammensetzung ausgegangen werden, bedingt durch Recyclingmaßnahmen und erhöhten Anteil an hausmüllähnlichem Gewerbeabfall; auch der Einfluss vorgeschalteter Sammelmaßnahmen (z.B. bei Eisen und Aluminium, deren Konzentrationen erheblich zurückgegangen sind) macht sich deutlich bemerkbar. Des Weiteren ist eine verbesserte primär- und sekundärseitige Schlackenbehandlung neben dem grundsätzlichen Ausschluss von Rückständen aus der Rauchgasreinigung zu nennen. Zur qualitativen Einstufung der HMV-Schlacken wurden die Inhaltsstoffe der Erdkruste als Bezugswert herangezogen (Spalte 3), ohne Berücksichtigung der umweltrelevanten, wasserwirtschaftlichen oder bautechnischen Aspekte. Zum direkten Vergleich wurden sogenannte Anreicherungsfaktoren (AF, s. Spalte 4) berechnet, die zur Vereinfachung bis zu einem AF < 10 als unkritisch eingestuft werden, da bereits geringe Mess-, Probe- und Produktabweichungen zu erhöhten Anreicherungsfaktoren führen können. AF-Werte > 10 wurden farblich unterlegt dargestellt. Erhöhte Anreicherungsfaktoren wurden bei den Hauptbestandteilen für Schwefel (AF = 11), Chlor (AF = 21) festgestellt.

Tendenziell ist weiterhin eine Verbesserung der HMV-Schlackenqualitäten hinsichtlich der Hauptbestandteile zu erkennen (Reduktion Schwefel/Chlor).

Tabelle 2: Chemische Zusammensetzung von Schlacken aus Abfallverbrennungsanlagen - Zusammenfassung von Messergebnissen im Vergleich zur Erdkruste - /11/

Hauptbestandteile		Schwankungsbreiten nach 1990	Mittelwerte nach 1990	Mittelwerte der Erdkruste	Anreicherungsfaktor AF [-]
		[g/kg TM]			
		1	2	3	4
Silicium	**Si**	140-320	232	280	0,8
Aluminium	**Al**	5-95	50	82	0,6
Calcium	**Ca**	30-140	101	41	2,5
Natrium	**Na**	5-35	24	24	1,0
Magnesium	**Mg**	4-18	14	23	0,6
Kalium	**Ka**	3-21	12	21	0,6
Eisen	**Fe**	20-110	48	56	0,9
Phosphor	**P**	3-34	6,1	1,1	5,5
Schwefel	**S**	2-4	2,9	0,26	11
Chlor	**Cl**	0,3-6,3	2,7	0,13	21

3.4.3 Mobilisierung von Inhaltsstoffen aus HMV-Schlacken

Mit dem Vorliegen bautechnischer Anforderungen (s.a. Abschnitt 3.5) wurden gleichzeitig auch Anforderungen an die wasserwirtschaftliche Verträglichkeit gestellt. Da die Anforderungen an die wasserwirtschaftliche Verträglichkeit von Industriellen Nebenprodukten und Recycling-Baustoffen Länderhoheit sind, gibt es keine bundeseinheitlichen Anforderungen an die Umweltverträglichkeit von HMV-Schlacken. Momentan wird an solchen einheitlichen Anforderungen im Rahmen einer Verordnung für Sekundärbaustoffe (Ersatzbaustoffverordnung) gearbeitet, auf die im Abschnitt 4. noch näher eingegangen wird.

Aufgrund der integrierten Schlackenwäsche der Hamburger Müllverwertungsanlagen Borsigstraße und Rugenberger Damm ist die Mobilisierung von Inhaltsstoffen aus diesen Schlacken (vornehmlich Chlorid) reduziert. Die niedrigste Chlorid-Mobilisierung wurde (arithmetische Mittel von 73 mg/l für den Zeitraum 1997 bis 2006) /10/ bei der HMV-Schlacke der MVB, Borsigstraße, ermittelt. Der Zuordnungswert Z 2 des LAGA-Merkblattes M 20 /12/ und der Grenzwert gemäß TL Gestein-StB /13/ von 250 mg/l wird somit um ein Vielfaches unterschritten.

3.5 Regelwerke

Erste Erfahrungen über den Einsatz von HMV-Schlacken aus der Abfallverbrennung im Straßen- und Erdbau wurden Anfang der 70iger Jahre gemacht. Nordrhein-Westfalen, als Bundesland mit der höchsten Industriedichte, war bereits frühzeitig gefordert ein Regelwerk für den Einsatz von industriellen Nebenprodukten und Recycling-Baustoffen zu schaffen. Zeitnah wurde deshalb

innerhalb der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen in Köln an entsprechenden einschlägigen Regelwerken gearbeitet.

Für die Verwertung der HMV-Schlacken im Straßen- und Erdbau existiert schon seit Mitte der 80iger-Jahre ein technisches Regelwerk, zunächst als Merkblatt über die Verwendung von industriellen Nebenprodukten im Straßenbau, Teil: Müllverbrennungsasche (MV-Asche) /14/. In diesem Merkblatt war bereits eine Güteüberwachung gemäß den Richtlinien für die Güteüberwachung von Mineralstoffen im Straßenbau – RG Min-StB /15/ nach den Grundsätzen der Güteüberwachung für Primärrohstoffe verbindlich festgelegt. Im Jahr 1995 folgten die Technischen Lieferbedingungen für Hausmüllverbrennungsasche im Straßenbau - TL HMVA-StB 95 /16/, die dann in die Technische Lieferbedingungen für Mineralstoffe im Straßenbau (Gesteinskörnungen und Werksteine im Straßenbau) TL Min-StB 2000 /17/ eingebunden wurden.

Um länderübergreifende Handelshemmnisse zukünftig ausschließen zu können, wurde auf EU-Ebene begonnen, Europäische Regelwerke zu schaffen, die dann in den Mitgliedsstaaten national umzusetzen sind. Hierzu wurde ein Europäisches Komitee für Normung ins Leben gerufen (CEN). In den letzten Jahren wurde im CEN eine Reihe von Normen erarbeitet und veröffentlicht, die durch die Technischen Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau - TL Gestein-StB 04 /13/ in das deutsche Regelwerk umzusetzen waren, Stichtag für die Umsetzung war der 01.06.2004. Die in den TL Gestein-StB enthalten Anforderungen sowohl an natürliche, industriell hergestellte als auch recyclierte Gesteinskörnungen gleichermaßen, die bei der Herstellung von Oberbauschicht aus Asphalt, Beton, hydraulisch gebundenen und ungebundenen Baustoffgemischen, Pflasterdecken und Plattenbelägen, Dünne Schichten im Kalteinbau und Oberflächenbehandlungen verwendet werden. Im Laufe der Jahre wurden die TL Gestein-StB um die gemischspezifischen Anforderungen (Asphalt/Beton) ergänzt. Auch für den Erdbau waren Europäische Zwänge ins nationale Regelwerk umzusetzen. Für den Straßen- und Erdbau liegt nunmehr ein vollständiges und sehr komplexes von Europa notifiziertes einschlägiges Regelwerk vor, was gleichermaßen für Primär- und Sekundärbaustoffe (u.a. HMV-Schlacke) gilt. In **Abb. 11** ist dieses komplexe Regelwerk als Flussdiagramm dargestellt.

Wie der **Abb. 11** zu entnehmen, ist das deutsche Regelwerk nach Anwendungsgebieten (Tragschichten ohne Bindemittel, mit Bitumen gebundene Schichten (Asphalt) und mit hydraulischem Bindemittel gebundene Schichten (Beton)) aufgeteilt. Der Erdbau hat auch ein eigenständiges System. Grundsätzlich ist bei allen Baustoffen (Primär- und Sekundärbaustoffen) das gleiche Anforderungssystem (bautechnische Anforderungen/Qualitätssicherung) der Beurteilung zugrunde zu legen. Die Technischen Lieferbedingungen enthalten Anforderungen an die Lieferung von Baustoffen; die Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien (ZTV) Anforderungen an den Einbau. Die für die Überprüfung der Anforderungen erforderlichen

Prüfverfahren sind in den Technischen Prüfvorschriften für Gesteinskörnungen/Asphalt/Beton im Straßenbau (TP) geregelt. Darüber hinaus ist in den Technischen Lieferbedingungen für Baustoffgemische und Böden zur Herstellung von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau Teil: Güteüberwachung /18/ das Qualitätssicherungssystem vorgegeben. Baustoffgemische und Böden, die in einem Produktionsschritt bzw. nicht aus Gesteinskörnungen nach den TL Gestein-StB /13/ hergestellt werden, müssen im Rahmen des Eignungsnachweises und der Güteüberwachungen

- die gemischspezifischen Anforderungen der TL SoB-StB (Anlage 2.1) und
- die gesteinsspezifischen Anforderungen der TL Gestein-StB (Anlage 2.2) erfüllen.

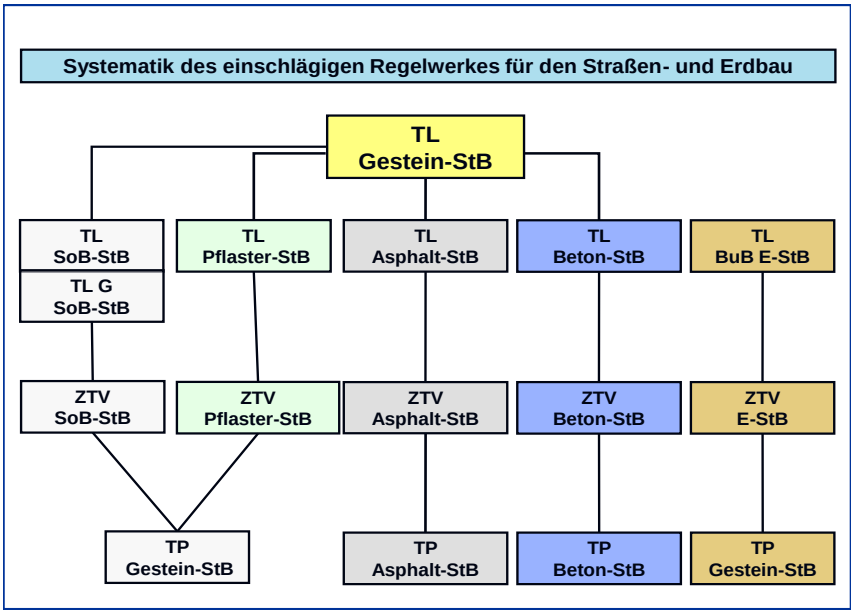


Abbildung 11: Systematik des einschlägigen Regelwerkes für den Straßen- und Erdbau

Das straßenbautechnische Güteüberwachungssystem ist sehr dezidiert und auf einem sehr hohen Qualitätsstandard. Danach müssen – wie natürliche Baustoffe – die HMV-Schlacken u.a. wöchentlich auf bestimmte bautechnische Merkmale hin überprüft werden. Im Rahmen der Fremdüberwachung sind an HMV-Schlacken durch eine unabhängige Prüfstelle 4mal/Jahr umfangreiche bautechnische Untersuchungen aber auch Untersuchungen zur Umweltverträglichkeit vorzunehmen. Der Prüfrhythmus ist im Vergleich zu Naturbaustoffen aufgrund der umweltrelevanten Inhaltsstoffe sogar noch höher, wodurch ein hoher Qualitätsstandard erreicht wird.

4. Aktueller Stand bundeseinheitlicher Regelungen

Wie bereits in Abschnitt 3.4.3 erwähnt, fehlen bislang bundeseinheitliche Regelungen für mineralische Abfälle, industrielle Nebenprodukte und Recycling-Baustoffe. Mit der geplanten Ersatzbaustoffverordnung für Sekundärbaustoffe soll diese Lücke geschlossen werden, um zukünftig für diese Materialien gleiche Rahmenbedingungen hinsichtlich der Beurteilung der

Umweltverträglichkeit zu schaffen, sodass der derzeitige unbefriedigende Zustand unterschiedlicher Regelungen eines jeden Bundeslandes damit zukünftig entfallen würde.

In dem 1. Arbeitsentwurf der Ersatzbaustoffverordnung /19/ sind Anforderungen festgelegt, die nicht auf dem bisherigen Standardauslaugungsverfahren (modifiziertes DEV S4-Verfahren, s. TP Gestein-StB Teil 7.1.1 /20//DIN EN 12457-4 /21/) basieren. Es wurde hierfür ein neues Auslaugungsverfahren, das Säulenverfahren gemäß DIN 19528 /22/ mit einem W/F- Verhältnis 2:1 installiert. Im Gespräch ist darüber hinaus auch noch ein Schüttelverfahren gemäß DIN 19529 (ebenfalls W/F 2:1) /23/, das jedoch in dem derzeitig vorliegenden Arbeitsentwurf /19/ nicht enthalten ist. Um eine Abschätzung der Auswirkungen dieses Arbeitsentwurfes auf den zukünftigen Einsatz von Hausmüllverbrennungsschlacke (HMV-Schlacke) vornehmen zu können, wurde im Auftrag der Interessengemeinschaft der Aufbereiter und Verwerter von Müllverbrennungsschlacken (IGAM) /24/ an verschiedenen HMV-Schlacken die Umweltverträglichkeit mit den o.g. verschiedenen Auslaugungsverfahren überprüft und die Ergebnisse vergleichend in Abhängigkeit von dem jeweiligen Auslaugungsverfahren gegenübergestellt. Ziel war es festzustellen, ob das Material die im Entwurf der Verordnung vorhandenen Materialwerte für HMVA 1 oder zumindest für HMVA 2 einhalten kann, und ob gegenüber den heutigen Verwertungsregelungen eine Verschlechterung eintreten würde, d.h. insbesondere eine Verschiebung des Materials von einer Verwertungsmöglichkeit in die Beseitigungspflicht. Den Eluatanalysen wurden die Parameter pH-Wert, Leitfähigkeit, Chlorid, Sulfat, Antimon, Arsen, Blei, Cadmium, $Chrom_{ges.}$, Kupfer, Molybdän, Nickel, Vanadium und Zink zugrunde gelegt. Zur Überprüfung der Wiederholbarkeit erfolgte jeweils eine Dreifach-Bestimmung. Insgesamt wurden 24 verschiedene HMV-Schlacken nach diesem Verfahren untersucht; mit dabei waren auch zwei HMV-Schlacken der HSK (MVB und MVR). Die HMV-Schlacken der MVB und MVR lagen für Chlorid und Sulfat im Bereich des 25%-Percentils und damit auf einem sehr niedrigen Mobilisierungsniveau, was vor allem hinsichtlich Chlorid mit der integrierten Schlackenwäsche zusammenhängt. Im Langzeitsäulenversuch zeigt die HMV-Schlacke der HSK einen typischen Verlauf für Chlorid und Sulfat, der beispielhaft in **Abb. 12** dargestellt ist.

In /19/ sind 2 HMVA-Qualitäten gelistet. Dort wurden Grenzwerte für Chlorid von HMVA 1: HMVA 2 = 560 mg/l/2.500 mg/l und für Sulfat HMVA 1: HMVA 2 = 280 mg/l/2.000 mg/l genannt. Werden nunmehr die ermittelten Chlorid- und Sulfat-Konzentrationen mit den Anforderungen gemäß dem Arbeitsentwurf der Ersatzbaustoffverordnung /19/ verglichen, so sind die HMV-Schlacken der MVB und MVR bezüglich der Chlorid-Auslaugung in die HMVA 1-Klasse einzustufen; die gemessenen Sulfat-Konzentrationen hingegen liegen geringfügig über den Anforderungen der HMVA 1-Klasse.

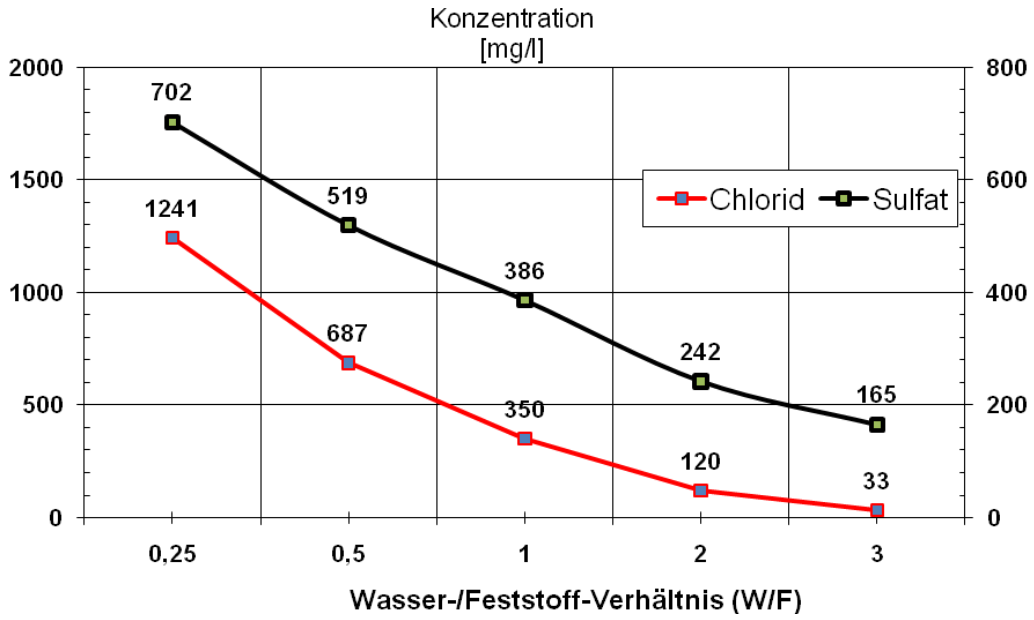


Abbildung 12: Chlorid- und Sulfat-Abklingkurve im Säulenlangzeitversuch einer HMV-Schlacke-Probe der HSK

Aus der Abklingkurve kann die maßgebliche Chlorid-/Sulfat-Konzentration berechnet und mit den Anforderungen gemäß /19/ verglichen werden. Für Chlorid liegt der Wert bei rund 390 mg/l und für Sulfat bei 370 mg/l. Auch hier ist die gleiche Tendenz wie in /24/ erkennbar. Der Festlegung der Anforderungen in /19/ wurde ein strenges wissenschaftliches Konzept zugrundegelegt. Hier wurden straßenbautechnische Annahmen getroffen, die korrigiert werden mussten (Stichwort: Korrektur der Eingangsparameter für die Infiltrationsrate beim Einsatz in Frostschutzschichten (wichtiges Anwendungsgebiet für HMV-Schlacke)). Die neuen Berechnungen mit diesen Ergänzungen ergeben wesentlich höhere zulässige Konzentrationen, so dass sicherlich die HMV-Schlacken der MVB und MVR zukünftig in die Klasse 1 einzustufen wären. Auch wird noch - aufgrund der aktuellen neuen Gesetzgebung § 48 WHG (Ort der Beurteilung für die Geringfügigkeitsschwellenwerte (1 m vor Eintritt in das Grundwasser)) - über den Abstand zum Grundwasser (LAWA Forderung: 2 Meter (Vorsorgeprinzip)) diskutiert. Die zukünftige Entwicklung bleibt abzuwarten. Im Rahmen des 2. Arbeitsentwurfes, der Anfang 2010 erwartet wird, wird dies noch eingehend geprüft.

5. Untersuchungen an HMV-Schlacken der HSK – Institut für Bodenkunde, Universität Hamburg – Dipl.-Ing. W. Gläseker

In dem Zeitraum von 1996 bis 2005 wurden im Auftrag der HSK diverse Projekte vom Institut für Bodenkunde (IfB), Leiter: Dr. agr. Dietmar Goetz, Universität Hamburg durchgeführt. Es wurden u.a. statistische Auswertungen von Zeitreihenanalysen an HMV-Schlacken aus dem Hamburger Umland (Dr. Uerkvitz) angefertigt und Abschätzungen zur Mobilität von Inhaltsstoffen aus HMV-Schlacken

vorgenommen. Dort wurden aber recht hohe Streuungen in den Ergebnissen festgestellt, weshalb ergänzend umfangreiche Untersuchungen im IfB durchgeführt wurden, mit dem Ziel, die Ursachen für die hohen Streuungen zu erforschen. Bei dieser Untersuchung wurden über 200 Auslaugungen an HMV-Schlacken aus den Anlagen Stapelfeld, Borsigstraße (MVB) und Rugenberger Damm (MVR) durchgeführt. Die Ergebnisse waren mit HMV-Schlackenergebnissen aus sechs anderen Abfallverbrennungsanlagen aus Deutschland verglichen worden. Aufgrund des geringen Datensatzes der sechs anderen Anlagen war hier nicht von einem repräsentativen Vergleich der Anlagen auszugegehen.

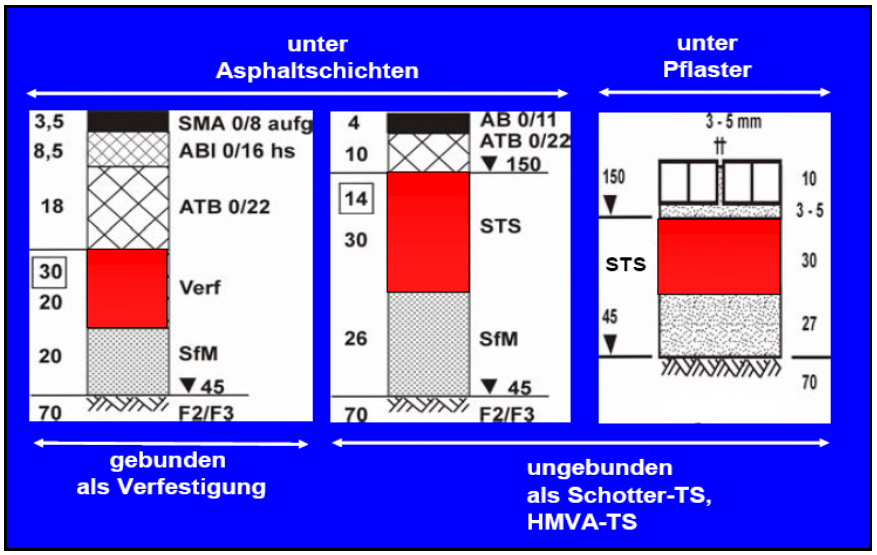
Um der Fragestellung nach zu gehen, ob die Korngrößenverteilung Einfluss auf die Mobilisierung der leichtlöslichen Salze (Chlorid und Sulfat) nimmt, wurde beispielhaft 2002 eine verkaufsfertige HMV-Schlacken-Probe der MVB in zwei Körnungen - 0/3 mm und 0/10 mm - aufbereitet. An diesen Schlacke-Proben wurden die Schwermetalle im Feststoff (10fach-Bestimmung, Königswasseraufschluss) bestimmt. Die Ergebnisse zeigten, dass die Chrom- und Kupfermediane (genau 50% aller Ergebnisse liegen darüber und genau 50% unter diesem Wert) der Körnung 0/10 mm signifikant niedriger als bei der Körnung 0/3mm lagen, während sich die Ergebnisse für Eisen, Mangan, Blei und Zink umgekehrt verhielten. Auch in diesen Untersuchungen waren zum Teil recht hohe Streuungen feststellbar. Eindeutige Abhängigkeiten der Schwermetall-Gehalte von der Körnung waren nicht feststellbar; hier schienen die Metalle in der HMV-Schlacke über das gesamte Kornspektrum ähnlich verteilt zu sein. Da Aluminium sich als ein Leitparameter für etwaige Raumunbeständigkeiten von HMV-Schlacke herausstellte, wurde in den Jahren 1995 bis 2005 an Mischproben neben anderen Schwermetallen das metallische Aluminium näher betrachtet. Die Aluminiumgehalte lagen zwischen 46.700 mg/kg (1995) und 30.000 mg/kg (2005). Diese Reduktion der Aluminiumgehalte zeigte sich auch deutlich beim Eisen, was auf eine zunehmend bessere Aufbereitung (Fe-/NE-Abscheidung), aber auch auf eine andere Abfallzusammensetzung zurückgeführt werden könnte. Die übrigen gemessenen Elemente wiesen keine signifikanten Veränderungen in ihren Gehalten auf.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass bei den meisten Schwermetallen keine massenmäßige Veränderung in o.g. Untersuchungszeitraum stattgefunden hat. Für Aluminium, Chrom und Eisen sind leicht abnehmende Gesamtgehalte in den Schlacken zu verzeichnen, beim Kupfer wurde ein geringfügiger Anstieg festgestellt. An dieser Stelle sei auch darauf hingewiesen, dass etwaige Schwermetallmobilitäten aufgrund der hohen Alkalität nicht zu erwarten sind. Die Ergebnisse zeigen, dass durch weitergehende Behandlungsmaßnahmen (integrierte Schlackenwäsche, weitergehende Aufbereitungs- und Lagerungstechnik) die Qualität der HMV-Schlacken der HSK verbessert worden ist.

6. Fazit

Die Ausführungen in dieser Studie machen deutlich, dass HMV-Schlacken aus der Abfallverbrennung zukünftig einen immer höheren Stellenwert einnehmen werden. Darüber hinaus wird deutlich, dass HMV-Schlacke ein bereits sehr umfänglich abgeprüfter Sekundärbaustoff ist. Dies gilt sowohl für die bautechnischen Eigenschaften als auch für die Umweltverträglichkeit. Auch im Sinne der Kreislaufwirtschaft aber auch durch Europäische Zwänge wird Deutschland zunehmend gefordert werden, sich weiterhin intensiv mit der Verwertung von HMV-Schlacke auseinanderzusetzen, vor allem auch im Hinblick auf die zu erwartenden zukünftigen – höheren - Mengen an HMV-Schlacken. Das einschlägige Regelwerk für HMV-Schlacken ist vollständig und ausreichend. Aus bautechnischer Sicht sind HMV-Schlacken als altbewährter Sekundärbaustoff zu betrachten. Die Aufbereitungstechnik ist auf einem sehr hohen Qualitätsstandard, so dass die Aufbereiter von HMV-Schlacken heutzutage sehr wohl in der Lage sind, einen qualitativ hochwertigen Baustoff zu produzieren. Diese Baustoffe müssen selbstverständlich auch weiterhin dem einschlägigen Güteüberwachungssystem unterzogen werden. Durch die geplanten bundeseinheitlichen Regelungen (Ersatzbaustoffverordnung für Sekundärbaustoffe) wird nunmehr die seit vielen Jahren geforderte einheitliche Beurteilungsgrundlage aus wasserwirtschaftlicher Sicht umgesetzt. Die wissenschaftlich abgeleiteten Anforderungen an die Umweltverträglichkeit von Sekundärbaustoffen tragen zusätzlich zu einer seit Jahren geforderten Rechtssicherheit, aber auch zu einem vertrauensvollem Umgang mit solchen Stoffe bei, um die gewünschte Nachhaltigkeit für die nachfolgende Generation sicherzustellen. Es kann nicht ein Sekundärbaustoff heute in die Verwertung gehen aber zukünftig eine Altlast werden, was durch das wissenschaftliche Ableitungskonzept im Rahmen der Erarbeitung der Ersatzbaustoffverordnung nunmehr ausgeschlossen werden kann.

Die HMV-Schlacken der HSK unterliegen dem zuvor beschriebenen einschlägigen Güteüberwachungssystem. HMV-Schlacke aus den Anlagen MVB und MVR werden einer integrierten Schlackenwäsche unterzogen, wo durch die Mobilisierung von vor allem Chloriden aus den HMV-Schlacken erheblich reduziert wird. Auch die vorliegende Aufbereitungstechnik weist einen hohen Standard auf, so dass bautechnisch und auch aus Sicht der Umweltverträglichkeit die Vorbehalte vonseiten der Anwender ausgeräumt sein sollten. Das Hauptanwendungsgebiet von HMV-Schlacken des HSK sind Bauweisen unter wasserundurchlässigen Deckschichten (vorwiegend Asphalt im Straßenbau, Beton in Gewerbe-/Industrieflächen) aber auch unter teildurchlässigen Deckschichten (Pflaster/Platten). In **Abb. 13** sind diese Anwendungsgebiete beispielhaft für Hamburg dargestellt.



Legende:

SMA	=	Splittmastixasphalt
ABi	=	Asphaltbinder
ATS	=	Asphalttragschicht (ATB)
SfM	=	Schicht aus frostunempfindlichen Material (HMV-Schlacke)
STS	=	Schottertragschicht (HMV-Schlacke)

Abbildung 13: Einbaumöglichkeiten für HMV-Schlacken des HSK im Straßenoberbau

Diese Anwendungsgebiete sind auch in der geplanten Ersatzbaustoffverordnung unter entsprechenden Randbedingungen gelistet.

7. Stellungnahme aus der Sicht des Oekoinstitutes – Dipl.-Ing. G. Dehoust

Die Müllverbrennung wird in den letzten Jahren im Wesentlichen bezüglich ihres energetischen Wirkungsgrades und die Substitution von Primärbrennstoffen diskutiert /25/. Obwohl das ein wichtiger Aspekt ist, wird häufig verkannt, dass die Behandlung der Abfälle die Hauptaufgabe einer MVA ist und bleibt.

Neben der Inertisierung von Restmüll und der Schaffung eines „handelbaren Materials“ kommt der Müllverbrennung eine weitere, besonders wichtige Funktion zu: die Ausschleusung von Schadstoffen aus der belebten Umwelt. Dies wird insbesondere durch eine Untertage Einlagerung der Rauchgasreinigungsrückstände erreicht. In diesen sind thermisch nicht zerstörbare (Schwermetalle) oder rückgebildete Schadstoffe (Chlororganika) aufkonzentriert.

Diese Leistung kann bei einem suboptimalen Umgang mit den Rostaschen zunichte gemacht werden. Die Situation in Hamburg ist allerdings im Vergleich zu anderen Regionen bezüglich der Sicherheit der Verwertung der Müllverbrennungsaschen vorbildlich. Neben der überdurchschnittlich guten Aufbereitung der Aschen, wird deren Qualität mit einer aufwendigen und gut funktionierenden Güteüberwachung kontrolliert. Darüber hinaus wird durch intensive Abstimmung aller beteiligten Behörden der Stadt Hamburg gewährleistet, dass die Aschen nur in dafür gut geeigneten Baumaßnahmen eingesetzt werden. Aus Sicht des Wasserschutzes weniger geeignete Standorte werden erfasst und für den Einsatz ausgeschlossen. Schwerpunkt der Überwachung ist die sichere

Verhinderung der Auslaugung von Schadstoffen. Hierdurch werden negative Auswirkungen auf die Umwelt nach dem heutigen Kenntnisstand weitestgehend ausgeschlossen.

Unabhängig von der Frage der aktuellen Eluierbarkeit, ist die Verteilung von hohen Schadstoffgehalten in der Umwelt und in Bauwerken nicht wünschenswert. Der Vergleich der Schadstoffbelastungen von ungewaschenen MVA-Aschen mit anderen Sekundärbaustoffen hat für die MVA-Aschen erwartungsgemäß überdurchschnittliche Belastungen gezeigt /26/.

Stoffstromanalysen über die bundesweiten Schadstofffrachten von 50 relevanten Abfällen[1] im Jahr 2004 unabhängig von der Art der Entsorgung erbrachte für die 2.8 Mio. t MVA-Aschen nach /27/ folgende Ergebnisse:

- **Blei:** 1.157 t; Ranking Platz 4, 12 % der Gesamtmenge, (Gesamte Einleitungen[1] von Blei in Oberflächengewässer 296 t im Jahr 2000, nach Angaben des Umweltbundesamts),
- **Zink:** 7.344 t; Ranking Platz 3, 14 % der Gesamtmenge (Gesamte Einleitungen von Zink in Oberflächengewässer 3.187 t im Jahr 2000, nach Angaben des Umweltbundesamts),

1. Bei der Ermittlung der Schadstofffrachten werden die Schwermetallgehalte im Feststoff mit dem Massenstrom der Abfälle multipliziert. Damit wird dem grundsätzlichen Gedanken Rechnung getragen, dass die Verteilung von Schadstoffen in der Umwelt unabhängig von ihrem Auslaugungsverhalten nicht gewünscht ist. Zum einen um deren sichere Verwahrung auch langfristig zu gewährleisten und um Aufkonzentrierungen und Emissionen durch zukünftige Recyclingschritte der Materialien zu vermeiden!
2. Insbesondere aus kommunalen und industriellen Kläranlagen!

- **Cadmium**: 15 t; Ranking Platz 5, 6 % der Gesamtmenge (Gesamte Einleitungen von Cadmium in Oberflächengewässer 12 t im Jahr 2000, nach Angaben des Umweltbundesamts).

Dies zeigt, dass die MVA-Aschen in Summe bezüglich der Schwermetallbelastung einen wichtigen Stoffstrom darstellen, der besondere Anforderungen an den Umgang erforderlich macht. Untersuchungen an MVA-Aschen haben gezeigt, dass sich die Situation in Hamburg aufgrund der besseren Aufbereitung der Aschen, bei den meisten Parametern besser darstellt als im Durchschnitt der untersuchten Aschen, bezüglich dem Parameter Zink sind die Werte der Hamburger Aschen deutlich besser. Die Belastung der Hamburger Aschen durch Zink war (vermutlich durch die intensive Behandlung) um etwa 90 Prozent reduziert.

Dies zeigt, dass aus Sicht des Öko-Instituts der „Hamburger Weg“ der weitergehenden Aufbereitung der Aschen – intensive Metallabtrennung und Wäsche - als wegweisend auch für ganz Deutschland anzusehen ist.

Genauso wichtig, wie die Ausschleusung von Schadstoffen aus der Umwelt ist der wichtige Aspekt der Schonung von mineralischen Ressourcen. Demzufolge ist die möglichst hochwertige Verwertung von Sekundärrohstoffen als unverzichtbare Maßnahme zum Schutz der Umwelt zu fordern /28/. Durch die Schonung der mineralischen Ressourcen wird insbesondere das überaus aktuelle und dringende Umweltkriterium Flächenschutz gestützt. Dies gilt insbesondere für stark besiedelte Regionen wie Hamburg, die darüber hinaus einen hohen Bedarf an mineralischen Baustoffen

aufweisen. Darüber hinaus werden durch ein effektives, regionales Recycling mineralischer Sekundärbaustoffe (neben den MVA-Aschen zählen hierzu auch die Recyclingbaustoffe und weitere mineralische Industrieabfälle) Verkehrsemissionen durch den Antransport von mineralischen Primärbaustoffen vermieden bzw. verringert.

Trotz dieser scheinbaren Widersprüche gibt es einen Weg, beide Umweltziele, die Schonung von Primärressourcen und die sichere Ausschleusung von Schadstoffen, zu erreichen.

Die Wäsche der MVA-Aschen aus den Anlagen MVB und MVR sind hierzu wie beschrieben ein wichtiger erster Schritt. Auch die Vorgaben HMVA 1 in dem Entwurf zur Ersatzbaustoff-VO für die in weiten Einsatzgebieten nutzbaren schadstoffentfrachteten MVA-Aschen berücksichtigen diesen Aspekt. Weitere Wege könnten aus der Sicht des Öko-Instituts in die Überlegungen zu einer Optimierung bei der Aufbereitung von MVA-Aschen mit einbezogen werden:

1. Untersuchungen und Tests, ob die derzeit praktizierte Aschenwäsche bezüglich der Ausschleusung von Schadstoffen noch optimiert werden kann,
2. Abtrennung und sichere Entsorgung der Feinfraktion zur Ausschleusung der dort angereicherten Schwermetalle,
3. Ausdehnung dieses optimierten Konzepts auf die Aschen aller Hamburger Anlagen.

So aufbereitete Aschen, sollten zur Vermeidung von Transporten und zur Einsparung von Ressourcen unbedingt für möglichst hochwertige Anwendungen genutzt werden (siehe Kapitel 3.3).

Die geeignete Entsorgungsvariante für die abgetrennte Feinfraktion ist noch zu klären. Eine geeignete Entsorgung für diese schadstoffangereicherte Feinfraktion könnte z.B. die Verwertung im Bergversatz unter Tage sein, ggf. zusammen mit den Rauchgasreinigungsrückständen /27/.

8. Literatur

/1/ Eckpunktepapier: http://www.deponie-stief.de/recht/bund/texte/bmu_eckp99.htm

/2/ Keßler, Herrmann: Von der Utopie zur Wirklichkeit, Müllmagazin Nr. 3/2004, S.44 ff.

/3/ Rechtliche, ökonomische und organisatorische Ansätze zur Schließung von Siedlungsdeponieraum, Forschungsbericht 299 34 301,FB 000601, UBA-Texte 18/2004

/4/ Umweltbundesamt/Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA)/envit (1990-2005, 2007)/ITAD Interessengemeinschaft der Thermische Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland e.V. (2006)2007: Schätzwert

/5/ Richers, U.: Behandlungskapazitäten der deutschen Abfallverbrennungsanlagen, Müll und Abfall 07.09, 41. Jahrgang, S. 332 ff.

/6/ RICHTLINIE 2008/98/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien

/7/ Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz - KrW-/AbfG) KrW-/AbfG vom 27. September 1994 (BGBl. I S. 2705), das durch Artikel 3 des Gesetzes vom 11. August 2009 (BGBl. I S. 2723) geändert worden ist" Stand: Zuletzt geändert durch Art. 5 G v. 22.12.2008 I 2986

/8/ Merkblatt über die Verwendung von Hausmüllverbrennungsasche im Straßenbau - HMVA, Ausgabe 2005, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln

/9/ Krass, K.; Radenberg, M.: Anfall, Aufbereitung und Verwertung von Müllverbrennungsasche – Auswertung einer Umfrage, Straße und Autobahn, Heft 12, S. 693ff., 1991, Kirschbaum Verlag, Bonn

/10/ Schlackenbericht 2008: Chemische und physikalische Untersuchungen an Hamburger Müllverbrennungsschlacken, Heiden Labor für Baustoff- und Umweltprüfung GmbH, Roggentin

/11/ Reimann, D.O.: Menge, Beschaffenheit und Verwertungsmöglichkeiten von MV-Schlacke Gesamtübersicht, Beihefte zu Müll und Abfall, 31, Entsorgung von Schlacken und sonstigen Reststoffen

/12/ Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall M 20 (LAGA): Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen – Technische Regeln – Stand: 6. November 2003

/13/ Technische Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau - TL Gestein-StB 04, Ausgabe 2004/Fassung 2007, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln

/14/ Merkblatt über die Verwendung von industriellen Nebenprodukten im Straßenbau, Teil: Müllverbrennungsasche (MV-Asche), Ausgabe 1986, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln

/15/ Richtlinien für die Güteüberwachung von Mineralstoffen im Straßenbau . RG Min-StB 83, Ausgabe 1983, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln

/16/ Technische Lieferbedingungen für Hausmüllverbrennungsasche im Straßenbau - TL HMVA-StB 95, Ausgabe 1995, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln

/17/ Technische Lieferbedingungen für Mineralstoffe im Straßenbau (Gesteinskörnungen und Werksteine im Straßenbau) - TL Min-StB 2000, Ausgabe 2000, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln

/18/ Technische Lieferbedingungen für Baustoffgemische und Böden zur Herstellung von Schichten ohne Bindemittel Teil: Güteüberwachung – TL G SoB-StB 04, Ausgabe 2004/Fassung 2007, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln

/19/ Arbeitsentwurf ″Ersatzbaustoffverordnung″
Verordnung zur Regelung des Einbaus von mineralischen Ersatzbaustoffen in technischen Bauwerken und zur Änderung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung, 2007

/20/ TP Gestein-StB Teil 7.1.1
Technische Prüfvorschriften für Gesteinskörnungen im Straßenbau – Modifiziertes DEV S4-Verfahren, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2007

/21/ DIN EN 12457-4
Charakterisierung von Abfällen – Auslaugung – Teil 4: Einstufiges Schüttelverfahren mit einem Flüssigkeits-/Feststoffverhältnis von 10 l/kg für Materialien mit einer Korngröße unter 10 mm, Beuth-Verlag, Berlin 2003

/22/ DIN 19528
Elution von Feststoffen - Perkolationsverfahren zur gemeinsamen Untersuchung des Elutionsverhaltens von organischen und anorganischen Stoffen für Materialien mit einer Korngröße bis 32 mm, Beuth Verlag, Berlin 01.2009

/23/ DIN 19529
Elution von Feststoffen - Schüttelverfahren mit einem Wasser-/Feststoffverhältnis von 2 l/kg zur Untersuchung der Elution von anorganischen Stoffen für Materialien mit einer Korngröße bis 32 mm, Beuth Verlag, Berlin 01.2009

/24/ Mesters, K.: Untersuchungen an HMV-Schlacken im Rahmen der Ersatzbaustoffverordnung, IGAM, 11.2008 (unveröffentlicht)

/25/ „Beitrag der Abfallwirtschaft zum Klimaschutz – Statusbericht zum Beitrag der Abfallwirtschaft zum Klimaschutz und mögliche Potenziale“, Öko-Institut e.V. und IFEU Heidelberg, Ufo-Plan-Vorhaben 205 33 314 des Umweltbundesamtes; Darmstadt, Heidelberg 2005

/26/ „Aufkommen, Qualität und Verbleib mineralischer Abfälle“, Ufo-Forschunsplanprojekt FKZ 204 33 325, Öko-Institut e.V., Darmstadt 2008

/27/ „Methodenentwicklung für die ökologische Bewertung der Entsorgung gefährlicher Abfälle unter und über Tage und Anwendung auf ausgewählte Abfälle“, BMBF-Forschungsvorhaben, Öko-Institut e.V., Darmstadt 2008

/28/ „Steigerung von Akzeptanz und Einsatz mineralischer Sekundärrohstoffe unter Berücksichtigung schutzgutbezogener und anwendungsbezogener Anforderungen, des potenziellen, volkswirtschaftlichen Nutzens sowie branchenbezogener, ökonomischer Anreizinstrumente“, IFEU Heidelberg, Öko-Institut e.V., IÖW. Büro Jakubowski; UFO-Plan-Vorhaben, FKZ 205 33 313 des Umweltbundesamtes; Heidelberg, Darmstadt, Berlin, Ahrensburg 2008