

Schaffung eines Bewertungshintergrundes zur Beurteilung der Raumbeständigkeit von hydraulisch gebundenen Hausmüllverbrennungsgaschen mit dem Bedampfungsversuch

FA 8.148

Forschungsstelle: TU München, Prüfamt für Bituminöse Bau- und Kunststoffe (Prof. Dr. techn. R. Springenschmid)
 Bearbeiter: Wörner, T./Westiner, E.
 Löcherer, L.
 Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bonn
 Abschluss: März 2001

1. Ausgangssituation und Aufgabenstellung

Hausmüllverbrennungsgasche (HMV-Asche) entsteht durch Aufbereitung von Rückständen aus der Verbrennung von kommunalem Müll (Siedlungsabfall, Hausmüll und hausmüllähnlicher Gewerbeabfall) in Müllverbrennungsanlagen und ist ein sehr heterogenes, überwiegend mineralisches Stoffgemisch aus gesinterten Verbrennungsprodukten, der eigentlichen Asche, Glas- und Keramikscherben, mineralischen (Beton, Ziegel, Kies, Naturstein) und metallischen Bestandteilen sowie unverbrannten Resten.

Da HMV-Asche umweltbeeinträchtigende Inhaltsstoffe enthält, ist aus wasserwirtschaftlicher Sicht eine Einbindung von HMV-Asche mit Bindemitteln vorteilhaft, da hierdurch die Eluierbarkeit dieser Inhaltsstoffe herabgesetzt wird. Beobachtungen im Labor und in der Praxis haben gezeigt, dass HMV-Asche durch Verfestigung mit hydraulischem Bindemittel auch für höherwertige Einsatzgebiete im Straßenbau grundsätzlich geeignet ist. Auf Grund der positiven Erfahrungen wurde HMV-Asche als Mineralstoff in das für den Straßenoberbau bestehende Technische Regelwerk aufgenommen, obwohl zum Zeitpunkt der Aufnahme in das Regelwerk ein Prüfverfahren zur Beurteilung der Raumbeständigkeit von hydraulisch gebundener HMV-Asche fehlte.

Im Rahmen des Forschungsauftrages „Prüfverfahren zur Beurteilung der Raumbeständigkeit von hydraulisch gebundenen Tragschichten aus Sekundärbaustoffen mit volumenveränderlichen Bestandteilen“ (FA 8.131.G93N) wurde am Prüfamt für Bituminöse Baustoffe und Kunststoffe ein grundsätzliches Prüfverfahren entwickelt, mit dem hydraulisch gebundene HMV-Aschen hinsichtlich ihrer Raumbeständigkeit untersucht und ihr Verhalten bewertet werden kann. Der Bedampfungsversuch kann für hydraulisch gebundene Baustoffgemische mit HMV-Aschen, die länger als vier Wochen abgelagert waren, eingesetzt werden, wobei sich zeigt, dass die Raumbeständigkeit mit steigender Ablagerungsdauer der HMV-Asche zunimmt.

Die Auswertung der im Rahmen dieses Forschungsauftrages gewonnenen Ergebnisse zeigt, übereinstimmend mit älteren Untersuchungen, für die Parameter „Druckfestigkeit“ und „Frostwiderstand“ keinen ausreichend belegbaren Zusammenhang zwischen hydraulischen Bindemitteln und HMV-Aschen. Somit können die beiden Kriterien „Druckfestigkeit“ und „Frostwiderstand“ nur bedingt zur Beurteilung von hydraulisch gebundener HMV-Asche herangezogen werden. Dagegen ist es mit dem Bedampfungsversuch möglich, hydraulisch gebundene HMV-Asche sowohl bezüglich der Eigenschaften der HMV-Asche als auch hinsichtlich der Bindemittleigenschaften und -gehalte zu differenzieren.

Eine Erweiterung der Eignungsprüfung für hydraulisch gebundene HMV-Asche durch den Bedampfungsversuch zur Beurteilung ihrer Raumbeständigkeit ist daher unabdingbar. Insbesondere kann dadurch der bei der Eignungsprüfung festzulegende Bindemittelgehalt in Abhängigkeit von der Art des hydraulischen Bindemittels und der HMV-Asche ermittelt werden. Zur Beurteilung der Raumbeständigkeit lagen noch keine ausreichenden Erfahrungen mit dem Bedampfungsversuch vor.

Um den Bedampfungsversuch allgemein anwenden zu können, war es erforderlich, im Rahmen eines Ringversuches Präzisionsdaten für das Prüfverfahren zu ermitteln. Zudem ist es für die Festlegung von Anforderungswerten im Technischen Regelwerk notwendig, einen Bewertungshintergrund für den Bedampfungsversuch an hydraulisch gebundener HMV-Asche zu erarbeiten.

2. Untersuchungsmethodik

2.1 Auswahl der Ausgangsstoffe

2.1.1 HMV-Aschen

Für die Untersuchungen zum Bewertungshintergrund wurden 17 HMV-Aschen aus unterschiedlichen Müllverbrennungsanlagen bzw. Aufbereitungsanlagen herangezogen. Die HMV-Aschen unterscheiden sich hinsichtlich Einzugsgebiet des Mülls, Müllanfall, Bauweise der Müllverbrennungsanlagen und der Aufbereitungseinrichtungen. Für sämtliche Aschen erfolgte eine Beurteilung ihrer bautechnischen Eigenschaften gemäß den entsprechenden Richtlinien und Merkblättern (TL HMVA-StB 95, TL Min-StB 94, ZTV T-StB 95/98 und Merkblatt über die Verwendung von industriellen Nebenprodukten im Straßenbau – Teil: Müllverbrennungsgasche (M V-Asche), Ausgabe 1986). Im Einzelnen wurden folgende Prüfmerkmale untersucht: stoffliche Zusammensetzung, Rohdichte, Korngrößenverteilung, Widerstand gegen Schlag, Widerstand gegen Frost-Tau-Wechsel und Proctordichte. Zusätzlich erfolgten Untersuchungen zur Beurteilung der Raumbeständigkeit und der Wasserdurchlässigkeit der ungebundenen HMV-Aschen.

Die festgestellten bautechnischen Kennwerte der untersuchten HMV-Aschen liegen praktisch innerhalb der für HMV-Aschen üblichen Schwankungsbreite nach dem M V-Asche. Betrachtet man die an den nach der Standardsieblinie 0/22 zusammengesetzten Aschen ermittelten Untersuchungsergebnisse, so wird lediglich bei jeweils einer HMV-Asche die Anforderung der TL HMVA-StB 95 an den Metallgehalt (HMV-Asche A) bzw. den Anteil an Unverbranntem (HMV-Asche H) überschritten. Wird dagegen die Asche in ihrer originalen Zusammensetzung untersucht, so liegt bei zwei Aschen (A und G) der Metallanteil über dem Grenzwert der TL HMVA-StB 95 und bei drei Aschen (F, H und L) ist der erlaubte Anteil an Unverbranntem überschritten. Lässt man den Widerstand gegen Frost-Tau-Wechsel außer Acht, so werden die in den TL HMVA-StB 95 gestellten Anforderungen z.T. deutlich erfüllt (siehe hierzu Tabelle 1).

Insgesamt stellen die HMV-Aschen gut korngestufte, wasser-durchlässige Mineralstoffgemische mit günstiger Kornform und verhältnismäßig hohem Widerstand gegen Schlag dar. Allerdings sind die HMV-Aschen hinsichtlich ihres Widerstandes gegen Frost-Tau-Wechsel als kritisch zu betrachten. Lediglich vier der untersuchten HMV-Aschen erfüllen die Anforderung bei der Prüfung der Körnung 8/16 mm und nur 11 der 17 untersuchten HMV-Aschen erfüllen die Anforderung bei der Prüfung des Gesamtgemisches.

2.1.2 Hydraulische Bindemittel

Für die Untersuchungen zum Einfluss der Bindemittel auf die Ergebnisse des Bedampfungsversuches wurden mit Unterstützung des Forschungsinstitutes der Zementindustrie Düsseldorf (VDZ) fünf hydraulische Bindemittel ausgewählt. Neben einem Hochofenzement CEM III/B 32,5-NW/HS nach DIN 1164, der vom Hersteller angeliefert wurde, stellte das VDZ noch vier weitere Bindemittel zu Verfügung: drei verschiedene Portlandzemente CEM I 32,5 R nach DIN 1164 und einen Tragschichtbinder HT 35 nach DIN 18506. Die wichtigsten bautechnischen

und chemischen Eigenschaften der in die Untersuchungen einbezogenen Bindemittel sind in der Tabelle 2 zusammengestellt.

Tabelle 1: Vergleich der bautechnischen Eigenschaften der untersuchten HMV-Aschen mit den Anforderungen der TL HMV-StB

Kennwert	HMV-Asche																
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
Stoffliche Zusammensetzung		✓	✓	✓	✓				✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓
Korngrößenverteilung	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Kornform	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Widerstand gegen Schlag	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Widerstand gegen Frost-Tau-Wechsel																	
Prüfkörnung 8/16 mm					✓			✓	✓		✓						
Prüfkörnung 0,063/X mm					✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓
Wasserdurchlässigkeit	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

✓ Anforderung erfüllt

Tabelle 2: Festigkeiten und chemische Eigenschaften der hydraulischen Bindemittel

	I CEM I 32,5 R	II CEM I 32,5 R	III HT 35	IV CEM I 32,5 R	V CEM III/B 32,5-NW/HS
2-Tage-Festigkeit [N/mm ²]	21,0	24,4	13,1	23,4	11,3
28-Tage-Festigkeit [N/mm ²]	50,2	46,6	48,9	48,6	47,5
SiO ₂ [%]	18,9	20,9	25,8	20,9	30,0
Al ₂ O ₃ [%]	5,5	5,57	8,81	4,55	8,8
Fe ₂ O ₃ [%]	3,01	2,41	1,38	2,95	1,5
Na ₂ O [%]	0,07	0,14	0,19	0,22	0,21
SO ₃ [%]	3,05	2,80	3,43	2,98	2,3
Na ₂ O-Äqu. [%]	0,46	0,77	0,65	0,67	0,61
C ₃ A-Gehalt [%]	9,6	11,0	4,5	7,3	3,5

2.2 Eignungsprüfungen

Nach den ZTVT-StB 95/98 ist der Bindemittelgehalt für das als Verfestigung mit hydraulischem Bindemittel vorgesehene Bau-

stoffgemisch durch eine Eignungsprüfung zu ermitteln. Dabei ist der Bindemittelgehalt so zu wählen, dass die 28-Tage-Druckfestigkeit (β_{D28}) 7,0 N/mm² beträgt (bei einem Einsatz unter Asphalt-schichten) und die bei der Prüfung des Frostwiderstandes ermittelte Längenänderung (Δl) nicht größer als 1 ‰ ist.

Die bei den Eignungsprüfungen erhaltenen Werte für Druckfestigkeit und Frostwiderstand werden mit dem vorstehend angegebenen Sollwert verglichen und daraus der sich für das jeweilige Prüfmerkmal ergebende Bindemittelgehalt festgelegt. Der höhere der beiden Werte stellt dann den für das jeweilige Gemisch optimalen Bindemittelgehalt dar.

Die ermittelten Druckfestigkeiten liegen im Bereich von 3,9 bis 16,1 N/mm². Bei jeder untersuchten Asche ist unabhängig vom verwendeten hydraulischen Bindemittel ein Anstieg der Druckfestigkeit mit steigendem Bindemittelgehalt festzustellen. Zwischen den untersuchten Aschen zeigen sich allerdings deutliche Unterschiede in den Druckfestigkeiten unabhängig vom verwendeten hydraulischen Bindemittel.

Die gemessenen Längenänderungen bei der Frostprüfung liegen im Bereich von 0,1 bis 4,4 ‰. Bei den untersuchten Aschen ist eine Abnahme der Längenänderungen, also eine Zunahme des Frostwiderstands, mit steigendem Bindemittelgehalt festzustellen.

Insgesamt ergaben sich in den Eignungsprüfungen für die untersuchten hydraulisch gebundenen Baustoffgemische optimale Bindemittelgehalte zwischen 8,0 und 12,0 M.-%.

2.3 Ringanalyse

Zur Ermittlung der Präzisionsdaten für die Bestimmung der Raumbeständigkeit mit dem Bedampfungsversuch wurde eine Ringanalyse gemäß dem „Merkblatt über die statistische Auswertung von Prüfergebnissen, Teil 3“ durchgeführt, an der 12 Laboratorien ihre Teilnahme zusagten. Leider lieferten nur 6 Laboratorien Ergebnisse ab, die gemäß Teil 4 und Teil 2 des Merkblattes auf Ausreißer untersucht und anschließend nach Ausschluss der Ausreißer statistisch ausgewertet wurden.

Die sich aus der durchgeführten Ringanalyse ergebenden Werte sind in der Tabelle 3 zusammengestellt. Die Endergebnisse der Ringanalyse können allerdings wegen der geringen Anzahl an verwertbaren Ergebnissen nur als Anhaltswerte für die endgültigen Präzisionsdaten des Prüfverfahrens „Bedampfungsversuch“ angesehen werden. Der für die Standardabweichung unter Vergleichsbedingungen ermittelte vergleichsweise ungünstige Wert ist auf die geringe Anzahl an verwertbaren Ergebnissen zurückzuführen. Es konnte jedoch für die Standardabweichung unter Wiederholbedingungen ein realistischerer Wert erzielt werden. So dürfte die Wiederholpräzision unter Vergleichsbedingungen ($r = 0,3247 ‰$) zumindest annäherungsweise dem tatsächlichen Wert entsprechen, der sich bei einem Ringversuch, der auf einer ausreichenden Anzahl an Ergebnissen basiert, ergeben hätte.

Tabelle 3: Ergebnisse der Ringanalyse in ‰

Standardabweichung für Mehrfachbestimmung	σ_a	0,4238
Standardabweichung unter Wiederholbedingungen	s_r/σ_r	0,1172
Standardabweichung unter Vergleichsbedingungen	s_R/σ_R	1,6854
zulässige Spannweite (= $3,31 \sigma_a$)	a_{zul}	1,4027
Wiederholpräzision (= $2,77s_r$)	r	0,3247
Vergleichspräzision (= $2,77s_R$)	R	4,6686

2.4 Ermittlung des Bewertungshintergrundes

2.4.1 Raumbeständigkeit ungebundener HMV-Asche

Zur Beurteilung der Raumbeständigkeit von ungebundener HMV-Asche sind im Technischen Regelwerk keine Prüfverfahren verankert, in den TL HMVA-StB 95 wird allerdings als Anforderung verlangt, dass das Material ausreichend raumbeständig ist. Für die hier durchgeführten Untersuchungen wurde der Kochversuch und der Dampfversuch ausgewählt. Eine Abhängigkeit der Volumenzunahmen beim Dampfversuch von den beim Kochversuch festgestellten Absplitterungen ist nicht nachweisbar. Die Untersuchungsergebnisse können nur eingeschränkt zur Beurteilung der Raumbeständigkeit von HMV-Asche herangezogen werden.

2.4.2 Raumbeständigkeit hydraulisch gebundener HMV-Asche

Die Prüfung der Raumbeständigkeit von hydraulisch gebundener HMV-Asche erfolgte mit dem Bedampfungsversuch an insgesamt 17 HMV-Aschen und 5 hydraulischen Bindemitteln. Da für die Beurteilung des Einflusses der Eigenschaften der HMV-Aschen auf die Ergebnisse des Bedampfungsversuches eine Beeinflussung durch das eingesetzte Bindemittel vermieden werden sollte, wurde ein Bindemittel mit niedrigem C_3A -Gehalt ausgewählt, das sich bereits in früheren Untersuchungen als günstig erwiesen hat. Die Untersuchungen des Einflusses der Eigenschaften der Bindemittel auf die Raumbeständigkeit wurden an zwei HMV-Aschen, die sich in ihren Eigenschaften deutlich unterscheiden, mit 5 verschiedenen Bindemitteln durchgeführt.

Bei allen untersuchten HMV-Aschen nehmen unabhängig vom verwendeten Bindemittel mit steigendem Bindemittelgehalt die gemessenen Dehnungen ab, die Raumbeständigkeit folglich zu. Ein systematischer Zusammenhang zwischen der Raumbeständigkeit der Baustoffgemische und ihrem Bindemittelgehalt – unabhängig von der untersuchten HMV-Asche – ist anhand der vorliegenden Untersuchungen nicht eindeutig nachweisbar.

2.4.3 Einfluss der Eigenschaften der HMV-Asche auf die Raumbeständigkeit

Der Einfluss der Korngrößenverteilung auf die Ergebnisse des Bedampfungsversuches nimmt auf Grund der vorliegenden Ergebnisse mit steigendem Bindemittelgehalt der Baustoffgemische ab. Eine Zunahme der Dehnungen der Probekörper mit steigendem Aschegehalt, wie sie in früheren Untersuchungen festgestellt wurde, wird durch die ermittelten Daten nicht bestätigt. Probekörper aus HMV-Aschen mit einem hohen Anteil an Sand (Körner kleiner 2 mm) weisen größere Dehnungen auf als Probekörper aus Aschen mit einem niedrigen Sandanteil. Eine Abhängigkeit zwischen den Ergebnissen der Prüfungen „Widerstand gegen Schlag“ und „Widerstand gegen Frost-Tau-Wechsel“ an den ungebundenen Aschen und den an den daraus hergestellten Probekörpern festgestellten Dehnungen zeigte

sich nicht. Die Abschätzung der Raumbeständigkeit von hydraulisch gebundener HMV-Asche anhand der Ergebnisse der Raumbeständigkeitsprüfung der ungebundenen Asche (Kochversuch, Dampfversuch) ist nicht möglich.

2.4.4 Einfluss der Eigenschaften von hydraulischen Bindemitteln auf die Raumbeständigkeit

Unabhängig von der Art des verwendeten hydraulischen Bindemittels nehmen mit steigendem Bindemittelgehalt des Baustoffgemisches die an den Probekörpern festgestellten Dehnungen ab, die Raumbeständigkeit der hydraulisch gebundenen HMV-Aschen also zu. Die Untersuchungen zeigen eine Abhängigkeit der Raumbeständigkeit vom C_3A -Gehalt des hydraulischen Bindemittels. Werden Bindemittel mit niedrigen C_3A -Gehalten (unter 5 %) verwendet, ergeben sich deutlich geringere Dehnungen im Bedampfungsversuch. Durch die geeignete Wahl eines Bindemittels kann der Bindemittelgehalt im Baustoffgemisch relativ niedrig gehalten werden.

3. Schlussfolgerungen für die Praxis

Vorschlag eines Anforderungswertes für den Bedampfungsversuch

Entscheidend für die Abschätzung der ausreichenden Raumbeständigkeit von hydraulisch gebundener HMV-Asche ist die Prüfung am Gesamtgemisch mit dem Bedampfungsversuch. Für eine Erweiterung der Eignungsprüfung von hydraulisch gebundener HMV-Asche durch den Bedampfungsversuch zur Beurteilung ihrer Raumbeständigkeit ist die Festlegung eines Anforderungswertes unabdingbar. Aus den Erfahrungen des Forschungsauftrags „Prüfverfahren zur Beurteilung der Raumbeständigkeit von hydraulisch gebundenen Tragschichten aus Sekundärbaustoffen mit volumenveränderlichen Bestandteilen“ und weiteren am Prüfamts routinemäßig durchgeführten Untersuchungen an HMV-Aschen wäre zur Einhaltung der Anforderung an die Raumbeständigkeit ein Höchstwert der Dehnungen von maximal 1 ‰ vorzuschlagen.

Die im Ringversuch ermittelte vergleichsweise ungünstige Vergleichspräzision lässt die Festlegung eines allgemein gültigen Grenzwertes zum jetzigen Zeitpunkt jedoch nicht sinnvoll erscheinen. Die Praktikabilität des Bedampfungsversuches zur Ermittlung der Raumbeständigkeit hydraulisch gebundener HMV-Asche belegt hingegen die im Ringversuch ermittelte gute Wiederholbarkeit. Eine Optimierung der Bindemittelgehalte für hydraulisch gebundene HMV-Asche ist daher unabhängig vom Niveau der auftretenden Dehnungen möglich.

Zur endgültigen Klärung der Präzisionsdaten des Bedampfungsversuches und damit auch zur Festlegung eines Anforderungswertes ist ein erneuter Ringversuch mit einer deutlich höheren Teilnehmerzahl nötig. Zuvor sollte aber bei den Prüfstellen eine größere Erfahrung mit dem Prüfverfahren vorliegen.

□