

Barbara-Gespräche Payerbach 1998	Band 5	"Abfallentsorgung aus erdwissenschaftlicher Sicht" "Klima - Entwicklung"	Seite 83- 92	Payerbach 2001
-------------------------------------	--------	---	-----------------	-------------------

BARBARA-GESPRÄCHE

Payerbach 1998

Langfristiges Deponieverhalten von Müllverbrennungsschlacken

H. HUBER
M. JAROS
P. LECHNER



Payerbach,
18. September 1998

INHALT

1	Einleitung	85
2	Säureneutralisationskapazität	85
3	Chemische Veränderungen der Schlacke im Verlauf der Alterung	86
4	Auswirkungen der Alterungsprozesse auf die Säurepufferkapazität	87
5	Auswirkung von Niederschlagswasser auf die SNK	88
6	Zusammenfassung und Ausblick	89
7	Literatur	89
	Diskussion	91

Anschrift der Verfasser:

Dipl.Ing. H. HUBER

Dipl.Ing. M. JAROS

Univ.Prof. Dr. P. LECHNER

Abteilung Abfallwirtschaft

Universität für Bodenkultur Wien

Nußdorfer Lände 29 - 31

A - 1190 Wien

Langfristiges Deponieverhalten von Müllverbrennungsschlacken

H. HUBER
M. JAROS
P. LECHNER

1 Einleitung

Das österreichische Abfallwirtschaftsgesetz (AWG §1, Absatz 1) fordert, daß nur reaktionsarme Abfälle abgelagert werden dürfen, welche nach dem Vorsorgeprinzip keine Gefährdung für nachfolgende Generationen darstellen. BACCINI & LICHTENSTEIGER (1989) beschreiben einen solchen Abfall als fest, anorganisch, in oxidiert Form und in Wasser schwerlöslich. Die Rückstände aus Müllverbrennungsanlagen erfüllen aber nur zum Teil diese Anforderungen. Frische Schlacke direkt aus dem Naßentschlacker zeigt zum Teil noch sehr hohe Restreaktivität.

Durch den Kontakt mit Wasser kommt es zur Hydratation der Alkali- und Erdalkalioxide, Oxidation von metallischem Aluminium unter Wasserstoffentwicklung und der Bildung von Sulfoaluminaten, Eisenkorrosion, sowie Sulfidoxidation unter Bildung von Schwefelsäure. Diese zum Teil stark exothermen Prozesse führen in einer Schlackemonodeponie zu einer Erwärmung auf bis zu 90°C und können dadurch das Deponiebasissystem beschädigen. Im weiteren Verlauf kommt es durch eindringendes Kohlendioxid aus der Atmosphäre in die Deponie zur Karbonatisierung von Alkali- und Erdalkalihydroxide und durch Niederschlagswasser zur Auswaschung von leichtlöslichen Salzen und Puffersubstanzen.

Langfristige Alterungsvorgänge wie die Verwitterung amorpher Glasphasen, Bildung von Kalzium-(Aluminium)-Silikat-Hydrat-Phasen (sog. C-(A)-S-H-Phasen) und Kristallneubildungen (z.B. Ettringit), sowie ihre Auswirkung auf die Schwermetallmobilität sind derzeit nur in Ansätzen bekannt (ZEVENBERGEN et al., 1995).

Ein Schlagwort, das bei der Untersuchung des langfristigen Deponieverhaltens (Jahrhunderte bis Jahrtausende) immer wieder auftaucht (JOHNSON, 1993) ist der „Zeitbombeneffekt“. Nach Absinken des pH-Wertes in den sauren Bereich könnte es zu einer erhöhten (toxikologisch relevanten) Freisetzung von Schwermetallen kommen. Um den Einfluß der wesentlichsten Alterungsprozesse auf die Schwermetallmobilität und die Säureneutralisationskapazität zu untersuchen, wurde im Rahmen eines zweijährigen Forschungsprojektes an der Universität für Bodenkultur MVA-Schlacke im Labor künstlich gealtert. (HUBER & JAROŠ, 1997).

2 Säureneutralisationskapazität

In humiden Klimaten nimmt durch den ständigen Eintrag von Säuren (bzw. Protonen H⁺) in die deponierte Schlacke der pH-Wert im Laufe der Zeit allmählich ab. Es kommt also zur Versauerung. Die Geschwindigkeit der Versauerung hängt außer vom H⁺-Anfall vor allem von der Kapazität der Schlacke ab, Säuren zu neutralisieren, welche als Säureneutralisationskapazität (SNK oder Säurepufferkapazität) bezeichnet wird. Sie ist somit ein Maß für die „Widerstandskraft“ der Schlacke gegenüber pH-Wert-absenkenden Prozessen in der Deponie.

Die Untersuchungen von HIRSCHMANN & FÖRSTNER (1997) zeigen, daß erst unterhalb des neutralen pH-Bereichs mit einer erhöhten Schwermetallfreisetzung zu rechnen ist. Die bis zu diesem pH-Wert interessierenden wesentlichsten Pufferbereiche bzw. Puffersubstanzen sind die Hydroxide und Karbonate der Alkali-

und Erdalkalielemente (v.a. Portlandit $\text{Ca}(\text{OH})_2$ und Kalzit CaCO_3).

Die entscheidende Frage ist nun, wie hoch der Einfluß der oben genannten Alterungsprozesse auf die Säureneutralisationskapazität der Schlacke ist und ab welchem Zeitraum mit einer vermehrten Freisetzung von Schwermetallen gerechnet werden muß?

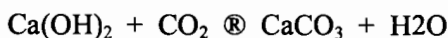
3 Chemische Veränderungen der Schlacke im Verlauf der Alterung

Hydratation

Im Naßentschlacker reagieren die während der Verbrennung gebildeten Alkali- und Erdalkalioxide mit Wasser zu basischen Hydroxiden. Als mengenmäßig wichtigstes Oxid ist CaO (Freikalk) zu nennen, wobei beim sog. Kalklöschen $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2$ Portlandit entsteht und eine Wärme von 65,2 kJ/mol frei wird. Hydratationsprozesse sind aufgrund ihres stark exothermen Charakters neben der Metallkorrosion für das Entstehen der hohen Temperaturen in der Deponie verantwortlich. Auch die hohen pH-Werte von 12 bis 13 in der Schlacke sind auf die Bildung und gute Wasserlöslichkeit von Alkali- und Erdalkalihydroxide zurückzuführen.

Karbonatisierung

Um das gebildete Portlandit konkurrieren im Verlauf der Alterung im wesentlichen zwei Reaktionen. Durch den Eintrag von Kohlendioxid in die feuchte Schlacke wird das vorhandene leicht lösliche Portlandit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) zu Kalzit (CaCO_3) umgewandelt, welches aufgrund seiner geringeren Löslichkeit ausfällt. Durch vollständige Karbonatisierung bei atmosphärischem CO_2 -Partialdruck sinkt der pH-Wert nach Gleichgewichtseinstellung auf 8,3.



Bei CO_2 -Mangel werden statt dessen aus Portlandit und amorpher Kieselsäure SiO_2 vorwiegend Kalzium-(Aluminium)-Silikat-Hydrat-Phasen sog. C-(A)-S-H-Phasen gebildet (=festigkeitsbestimmender Prozeß bei der Aushärtung von Beton). Untersuchungen an 10

Jahre alter Schlacke aus der Deponie Riet in der Schweiz legen nahe, daß bei der Deponierung von frischer, wenig karbonatisierter Schlacke die zweite Reaktion bevorzugt abläuft. Dabei nimmt die Säurepufferkapazität bis pH 7 deutlich ab, da die neu gebildeten Phasen im alkalischen Bereich nur in geringem Ausmaß puffern. Allerdings sind diese Kalzium-Silikate bei Anwesenheit von nur geringsten Mengen an CO_2 thermodynamisch instabil und reagieren dann langsam weiter zu Kalziumkarbonat und Kieselsäure (JOHNSON, 1992).

Eine wichtige Frage, die sich nun stellt, ist die Geschwindigkeit dieser Reaktionen. Aus Untersuchungen an Kohleflugasche (SABBAS, 1995) ist bekannt, daß die C(A)SH-Phasenbildung sehr rasch vor sich gehen kann. Bei Vorliegen von feinem reaktionsfähigem Material kann dies bereits innerhalb von Stunden erfolgen. Über die Geschwindigkeit der Karbonatisierung in MVA-Schlacke ist einerseits bekannt, daß bei einjährigen Ablagerungen von Schlacke die Karbonatisierungstiefe auf die ersten 10 - 20 cm begrenzt ist (MARZI et al., 1998). Andererseits berichtet KIESER et al. (1995) von einer Schlackeablagerung, in der 5 bis 25 Jahre alte Schlacke aus unterschiedlicher Tiefe bereits einen pH-Wert von 8,2 bis 9,8 aufweist. In den Versuchen mit künstlicher Alterung durch anaerobe feuchte Lagerung von MVA-Schlacke über mehrere Monate konnte keine Abnahme der SNK gemessen werden (HUBER & JAROŠ, 1997). Ob dies mit der kurzen Lagerungszeit oder mit der bereits fortgeschrittenen Karbonatisierung zusammenhängt, ist derzeit noch unklar.

Oxidation von Sulfiden und elementaren Metallen

In der Schlacke vorhandene Sulfide können oxidiert werden, wobei versauernde Protonen freigesetzt werden. Der Sulfidgehalt der frischen Schlacke lag bei 1,5 g/kgTS. Bei der künstlichen Alterung der Schlacke konnte sowohl bei der Begasung mit Luft, als auch im anaeroben Milieu eine rasche Abnahme der Sulfidkonzentration von bis zu 1 g/kg TS Schlacke innerhalb von 2 Monaten festgestellt werden. Hohe pH-Werte und Sauerstoffzufuhr scheinen die Sulfidoxidation zu begünstigen.

Mikrobielle Aktivität

Die Bestimmung des mikrobiellen Abbaus von organischem Restkohlenstoff in der Schlacke erfolgte im aeroben Milieu über die Messung der Atmungsaktivität im Sapromat. Um zwischen mikrobiellem und anorganischem Sauerstoffverbrauch unterscheiden zu können, wurde jeweils eine der im Sapromat untersuchten Proben mit Natriumazid vergiftet. Aus der Differenz der beiden Summenkurven konnte ein mikrobieller Sauerstoffverbrauch von ca. 2 gO₂/kg TS Schlacke festgestellt werden. Das entspricht umgerechnet etwa 700 mg verfügbaren Kohlenstoff je kg Schlacke. Im Eluat nach ÖN S2072 wurde ein vergleichbarer DOC (= der in Wasser lösliche, organische Kohlenstoff) von bis zu 500 mgC/kg gemessen. Zusammenfassend kann gesagt werden, daß unter der Voraussetzung eines guten Ausbrandes in der MVA (<3%TOC) nur ein geringer Anteil des gesamten TOC mikrobiell verfügbar ist.

4 Auswirkungen der Alterungsprozesse auf die Säurepufferkapazität

Die künstlich forcierte Alterung von MVA-Schlacke zeigte, daß interne, chemische Alterungsprozesse wie die Oxidation von Sulfiden und organischem Kohlenstoff die SNK bis zum (relevanten) pH-Wert von 6,5 nicht maßgeblich abzusenken vermögen (siehe Tabelle 1).

Das bedeutet, daß langfristig nur durch Eintrag von Niederschlagswasser in die Deponie und Auswaschung von Säurepufferkapazität, eine pH-Wertabsenkung unter den Neutralpunkt erfolgen kann. Aufgrund der experimentell bestimmten SNK von MVA-Schlacke und bekannter Säureeintrags- und Säurebildungs-raten sowie Basenauswaschung läßt sich die Dauer bis zur Unterschreitung jenes pH-Wertes abschätzen, ab welcher relevante Mengen an Schwermetallen ausgewaschen werden können.

	Gehalt in der Schlacke in g/kg	gebildete Protonen in mol/kg	Verringerung der SNK bis pH 8,3	Verringerung der SNK bis pH 6,5	Verringerung der SNK bis pH 4,0
Gesamt-SNK			1,2 mol/kg	2,2 mol/kg	3,9 mol/kg
Sulfidoxidation					
maximal	1,5 g/kg	0,09 mol/kg	8%	4%	2%
gemessene	1 g/kg	0,06 mol/kg	6%	3%	1,5%
Abbau von organischem Material					
maximal (= TOC)	11,6 g/kg	1,9 mol/kg	161%	73%	50%
gemessen (= DOC)	0,7 g/kg	0,12 mol/kg	10 %	5%	3%
Karbonatisierung					
theoretisch			100%	0%	0%
gemessen			73%*	1%	0,5%
Auswaschung					
mit L/S = 10 l/kg			42% *	13%	7%

* ... Der Unterschied zwischen Berechnung und Messung ergibt sich aus der unvollständigen Karbonatisierung der Schlacke in Originalkorngröße nach CO₂-Begasung.

Tabelle 1: Auswirkung der untersuchten Alterungsprozesse auf die SNK

5 Auswirkung von Niederschlagswasser auf die SNK

Um den Einfluß von Niederschlagswasser und Auslaugung auf die SNK abzuschätzen, wurde eine Modellrechnung mit den in Tabelle 2 getroffenen Annahmen durchgeführt. Der in die Deponie eindringende Niederschlag (=Versickerungsmenge) stellt dabei die ausschlaggebende Größe dar. In Österreich gibt es hinsichtlich der meteorologischen Verhältnisse große Unterschiede, weshalb zwei Extremstandorte ausgewählt wurden (HUBER, 1995). Als niederschlagsarm (arides Klima) mit hoher potentieller Evapotranspiration kann das Gebiet Großenzersdorf östlich von Wien bezeichnet werden. Im Gegensatz dazu gilt z.B. Salzburg als niederschlagsreich mit ca. 1400 mm pro Jahr und vergleichsweise geringer potentieller Evapotranspiration.

Einfluß von saurem Niederschlagswasser

Geht man von einem pH von 4 im Niederschlag aus, ergibt sich für den Säureeintrag in die Deponie ein Wert von 0,04 mmol H⁺ je kg Schlacke pro Jahr. Der Zeitraum, in welchem die SNK bis pH 6,5 (2,2 mol H⁺ /kg TS Schlacke) durch Neutralisationsprozesse aufgebraucht ist, beläuft sich dabei auf 60.000 Jahre für Salzburg und 12.000.000 Jahre für Großenzersdorf. Daraus ist zu erkennen, daß der Einfluß an pH-bildenden starken Säuren (HNO₃, H₂SO₄) im Niederschlag auf die Säurepufferkapazität der Schlacke vernachlässigbar klein ist.

Auswaschung von Hydroxiden

Etwa 20% des untersuchten Puffervermögens bis pH 6,5 liegen in der Schlacke als Portlandit vor. Da dieser sehr gut wasserlöslich ist, kann es durch Auswaschung des hydroxidischen Pufferanteils in der Schlacke kommen. Der Auswaschung entgegen stehen aber Prozesse wie Karbonatisierung und Ettringitbildung. Da diese Reaktionen in der Regel wesentlich rascher erfolgen, ist die Gefahr einer Hydroxidwaschung vernachlässigbar.

Auswaschung von Karbonaten

Die Geschwindigkeit des Kalzitaustrags ist im wesentlichen vom CO₂-Partialdruck abhängig (SIGG & STUMM, 1996). Höhere CO₂-Partialdrücke wären zum Beispiel denkbar, wenn der Niederschlag vor seinem Eindringen in die Deponie einen natürlichen, belebten Boden (z.B. in Form einer Deponieabdeckung) durchsickert und dort mit CO₂ angereichert wird. Die durchschnittliche CO₂-Konzentrationen in der Bodenluft beträgt 0,2 bis 0,7 % (SCHACHTSCHABEL et al., 1992). Dabei stellen sich pH-Werte zwischen 7,8 und 7,4 ein. Tabelle 3 zeigt die Geschwindigkeit der Karbonatwaschung unter den gegebenen Milieubedingungen und in Abhängigkeit vom CO₂-Partialdruck. Bei einem Anstieg des Partialdruckes auf 0,7 % wird das Karbonat fast dreimal so schnell ausgetragen. Erst wenn nur noch größere Kalksteinreste vorliegen, kann der pH-Wert im Porenwasser niedriger sein, als es dem Gleichgewicht entspricht, weil das Karbonat unregelmäßig verteilt und die reaktive Oberfläche stark verkleinert ist.

Scenario:	Salzburg	Großenzersdorf
Versickerungsmenge:	700 l/m ² ,a	70 l/m ² ,a
Perkolation durch die Deponie:	homogen	
Höhe der Deponie:	1 Meter	20 Meter
Ablagerungsdichte:	1,7 t/m ³	
Infiltrationsrate:	0,4 l/kg,a	0,002 l/kg,a

Tabelle 2: Gewählte Annahmen für die Modellrechnung

Karbonatgesamtgehalt: 1 mol CO ₃ / kg Schlacke			Szenario Sbg.	Szenario Gr.
CO ₂ - Partialdruck	pH-Wert (nach Gleichgewichts- einstellung)	Löslichkeit von HCO ₃ ⁻ [mol/l]	Dauer der Pufferauswaschung	
pCO ₂ = 0,03 %	8,3	0,002	1300 Jahre	250 000 Jahre
pCO ₂ = 0,2 %	7,8	0,004	700 Jahre	130 000 Jahre
pCO ₂ = 0,7 %	7,4	0,005	500 Jahre	100 000 Jahre

Tabelle 3: Zeitdauer der Pufferauswaschung

Die Modellrechnung, die einen „Worst-Case“ darstellt, zeigt, daß die Zeiträume in denen mit einer relevanten pH-Wert-Absenkung zu rechnen ist, sehr lange sind, vor allem wenn man die Mächtigkeit von Schlackemonodeponien (10-20m) und freie Sickerwasserwege (Klüfte) zusätzlich berücksichtigt. Letztere führen zwar lokal zur einer schnelleren SNK-Abnahme, aber durch den Verdünnungseffekt ist mit geringeren Schadstoffkonzentrationen im Sickerwasser zu rechnen.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die Untersuchungen über die internen chemischen Vorgänge in der Schlacke und die Be-

rechnungen über die Auslaugbarkeit von Puffersubstanzen lassen einen prognostizierten Zeitbombeneffekt in den nächsten 5000 bis 10000 Jahren als sehr unrealistisch erscheinen. Aufgrund der Annahme der homogenen Durchströmung in der durchgeführten Modellrechnung muß die Aussagekraft über das Langzeitverhalten auf eine Schlackesäule mit einer Grundfläche von 1 m² beschränkt bleiben. Aber gerade die Unsicherheit der getroffenen Annahmen zeigen im speziellen die Notwendigkeit und die Schwerpunkte für weiteren Forschungsbedarf, vor allem hinsichtlich der Vorhersagbarkeit der zu erwartenden Sickerwasserqualität bei der Deponierung von Abfällen.

7 Literatur

BACCINI, P., LICHTENSTEIGER, T. (1989): The landfill reactor and final storage, Conclusions and outlook; Lecture Notes in Earth Sciences 20, Baccini, P. (Hrsg.), Springer V., Berlin, 427-431

HIRSCHMANN G., FÖRSTNER U. (1997): Langfristiges Deponieverhalten von Müllverbrennungsschlacken, BMBF-Verbundvorhaben Deponiekörper - Inerte Abfälle, Technische Universität Hamburg-Harburg, Arbeitsbereich Umweltschutz

HUBER H. (1995): Wasser-, Gas- und Stoffhaushalt der Mülldeponie; Diplomarbeit an der TU-Wien, Abteilung Abfallwirtschaft

HUBER H., Jaroš M. (1997): Emissionsverhalten von MVA-Schlacke nach forcierter Alterung, Waste Reports 6/97, Hrsg. Lechner P., Abteilung Abfallwirtschaft, Universität für Bodenkultur Wien

JOHNSON C.A. (1993): Chemische Eigenschaften und Langzeitverhalten der Müllschlacke, in Deponierung fester Rückstände aus der Abfallwirtschaft, Workshop Kartause Ittingen, Hrsg. Baccini u. Gamper, EAWAG Dübendorf und ETH Zürich

JOHNSON C.A. (1992): Alterungsprozesse in der Schlacke, In: Belevi, H., Johnson, A., Lichtensteiger, T., Zeltner, C., Emissionsabschätzung für Kehrichtschlacke - Projekt EKESA 1992, Seite 104-109

KIESER J., BEGAND S., HANKE W. (1996): Untersuchung kausaler Zusammenhänge zwischen Stoffwandlungsvorgängen und Temperaturverhältnissen in der MVA-Schlackedeponie Offenbach/M, Hessische Landesanstalt für Umwelt, Umweltplanung, Arbeits- und Umweltschutz, Heft 204

MARZI TH., PALITZSCH S., BECKMANN R., KÜMMEL R., BEARD A., KELDENICH K. (1998):

Wirkungsmechanismen bei der Alterung von Müllverbrennungsaschen, Müll und Abfall 5/98, S. 316-322

SCHACHTSCHABEL P., BLUME H.-P., BRÜMMER G., HARTGE K.-H., SCHWERTMANN U. (1992): Lehrbuch der Bodenkunde, 13. Auflage, Stuttgart

SIGG L., STUMM W.; (1996): Aquatische Chemie - Eine Einführung in die Chemie wässriger Lösungen und natürlicher Gewässer, 4., durchges. Aufl. - Zürich: vdf, Hochschulverl. an der ETH Zürich; Stuttgart: Teubner

SABBAS T. (1995): Verhalten von Wirbelschichtfeuerungsaschen im Laufe ihrer Stabilisierung, Dissertation an der Formal- und Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Wien.

ZEVENBERGEN C., REEUWIJK VAN L.P., BRADLEY J.P., KEIJZER J., KROES R. (1995): Leaching of heavy metals from MSW incineration bottom ash in a disposal environment. In: Proceedings of Sardinia '95, Fifth International Landfill Symposium, Volume III, CISA Environmental Sanitary Engineering Centre, Cagliari/Sardinia, Italy

DISKUSSION

Langfristiges Deponieverhalten von
Müllverbrennungsschlacken

Die thermische Abfallverwertung im Umweltvergleich

RIEHL-H.: Ich möchte darauf hinweisen, daß ich schon vor einigen Jahrzehnten darauf hingewiesen habe, daß eine Deponie an sich untersucht gehört und nicht Laboruntersuchungen das allein Seligmachende sind. Das wird jetzt nachträglich sehr spät zwar aber trotzdem bestätigt. Außerdem möchte ich die homogene Durchdringung einer Deponie ganz strikte in Abrede stellen.

HUBER: Das habe ich deutlich gesagt.

RIEHL-H.: Der Fehler wird immer wieder gemacht, wenn der Ansatz gewählt wird, eine Basisdichtung als Ganzes in Rechnung zu stellen, ein Spalt oder eine undichte Stelle im Müllkörper wird immer ausgeschwemmt sein, es wird zu "Verkarstungen" kommen, das hat man auch in Breitenau gesehen, und die Basisdichtung punktuell belasten. Vor Pauschalrechnungen, die eine gesamte homogene Durchströmung einer Deponie voraussetzen, kann man nicht eindringlich genug warnen.

HUBER: Die Untersuchungen im Labor sind wichtig, um die Schwerpunkte festzulegen, wo sind die Knackpunkte, wo finden die wichtigsten Prozesse statt, und das haben wir auch zeigen können, daß die Auswaschung der wichtigste Prozeß ist, und deshalb müssen wir jetzt unbedingt auf die Deponie gehen, um diese Prozesse zu untersuchen, um Vorhersagen über das langfristige Verhalten überhaupt machen zu können.

SCHEIDL: Ich habe selbst für den Standort ...**unverständlich**... an der Fischa die Untersuchungen ausgeführt für die Abnahme der Pufferkapazität, und die Zahlen decken sich nahezu. Das ist eine Modellrechnung, die im Labormaßstab und mit den Erfahrungen aus dem Labor möglich ist.

Ich habe dann versucht, war ein Sickerwasser zu modellieren, das habe ich zur Seite gelegt, es geht nicht. Wenn man das versucht, kommt

man darauf, daß man noch viel zu wenig Daten über die Abfälle hat, über die Wegigkeiten und und und...

Ich habe die Literatur auf Anhaltspunkte durchforstet, völlig unmöglich.

HUBER: Die biochemischen Modelle gehen immer von einem homogenen Material aus, deshalb muß man immer Modelle miteinander kombinieren, die auch die freien Sickerwasserwege mitberücksichtigen.

VORTISCH: Eine der wichtigen Fragen: bei den Schlacken Die Situation ...**unverständlich**... schlechter als die Glasphase. Gläser sind kurzzeitig relativ stabil, geologisch aber instabil und sogar die instabilste Materie, die die Erde selbst natürlich hervorbringen kann, das dürfen wir nicht vergessen. Das zweite, Sie haben eigentlich keine krustenähnliche Zusammensetzung, Sie haben sehr hohe CaO-Gehalte gehabt. Wissen Sie, woher die in Ihrem Fall bei einem Hausmüll stammen ?

HUBER: Die hohen Ca-Konzentrationen ?

VORTISCH: Die Oxidgehalte.

HUBER: Man muß hier sagen, es ist eigentlich nur als Calciumoxid dargestellt, ein Teil ist bereits Karbonat, ein Teil Hydroxid, ein Teil liegt als Gips vor, das ist kein reines Calciumoxid, das war, wie es eigentlich aus der Verbrennung kommen sollte.

VORTISCH: Wenn es vom Rost herunterkommt, ist es sicher Oxid und ein Teil Silikat.

HUBER: Sicher wird kein geringer Teil silikatisch vorliegen, etwa 40 - 50%.

VORTISCH: Was für die Stabilitätsbetrachtungen natürlich auch wichtig wäre.

HUBER: Das ist richtig. Gerade bei der Verwitterung von Gläsern hat ZEVENBERGEN einiges untersucht, 10-20 Jahre alte Schlacke, und hat sich die Glasphasen angesehen, und da konnte er wirklich an der Oberfläche dieser

gebildeten Gläser Verwitterung feststellen. Es findet eine Tonmineralbildung statt. Die Dicke dieser Mineralbildung beschränkt sich aber auf Nanometer, das möchte ich bewußt betonen.

VORTISCH: 10-20 Jahre ist keine allzulange Zeit.

HUBER: Man kann hochrechnen.

UNBEKANNT: Darf ich vielleicht darauf hinweisen, daß ich die hohe Silikatbildungsrate sehr bezweifle, und zwar aus dem ganz einfachen Grund, man würde bei Zementklinkerbrand nicht auf 1450°C Brenntemperatur hochgehen müssen, um genau diese Reaktion erzielen zu können. Die setzt eigentlich nicht bei 850°C wirklich ein. Wenn wir einen Zementdrehofen vergleichen, als Modell betrachtet, da haben wir bei 850°C höchstens eine Karbonatreaktion, außer, man hat bereits vorher Silikat drinnen, aber normalerweise ist diese Sinterbildung, die ja mit der Calciumsilikatbildung verbunden ist, bei dieser Temperatur noch nicht sehr wahrscheinlich.

Ich bin kein Geologe, aber ich habe zu lange Zement gebrannt, da weiß ich viel darüber, es ist eher sehr unwahrscheinlich.

HUBER: Es finden sich auch fast keine glasierten Phasen, das Glas, das gefunden wird, ist eigentlich Flaschenbruch.

VORTISCH: Orthoklas- und Wollastonitbildung ist bei diesen Temperaturen nicht möglich.

UNBEKANNT: Bei diesen Temperaturen nicht. Was wahrscheinlich ist, daß wir eine

erhöhte Sulfatbildung haben, also Calciumsulfat, das liegt genau im Bereich des Anhydrits.

VORTISCH: Wobei der Ettringit das Problem hat, daß er in der Löslichkeit ähnlich wie Gips ist und zunächst als Speichermineral Schadstoffe erheblich aufnehmen kann und dann eine Stabilität vortäuschen kann. Darum gibt es ja Leute, die Gips oder Ettringit gerne für eine Ablagerung als Speichermineral verwenden möchten, der aber in Wirklichkeit natürlich keine stabile Phase darstellt. Die Frage ist, haben Sie die Ettringit-Instabilität bei Ihren Untersuchungen mit berücksichtigen können ?

HUBER: In die Mineralogie konnte ich mit diesem Projekt nicht gehen, aber wenn Sie auf den Gips hinweisen, wir haben die Schlacke intensiv mit CO₂ begast, wir haben gerade den Einfluß des CO₂ in den natürlichen Prozessen vorweggenommen und hier findet wirklich eine Umwandlung des Gipses in Karbonat, also eine Umfällung statt, und dann haben wir plötzlich die hohen Sulfatkonzentrationen gefunden, die man aus den Schlacken- ich denke jetzt in Richtung Behandlung - mit Laugung eigentlich nicht herausbekommt. Erst nach einer Alterung könnte man höhere Sulfatkonzentrationen auslaugen.

VORTISCH: Ettringit ist ein Problem, das man im Auge behalten sollte, auch wenn der bei diesem Verfahren unter Umständen noch nicht zur Verfügung steht, aber gerade er neigt dazu, erst nach längerer Zeit in Lösung zu gehen.

Diskussionsbeiträge von:

Dipl.Ing. H. HUBER

*Abteilung Abfallwirtschaft
Universität für Bodenkultur Wien
Nußdorfer Lände 29 - 31
A - 1190 Wien*

Dr. Georg RIEHL - H

*Hauptstraße 70
A - 2801 Katzelsdorf*

Dipl.Ing. Dr. Kurt SCHEIDL

*Staatlich befugter und beedeter
Zivilingenieur für technische Chemie
Wernerstraße 12
A - 7000 Eisenstadt*

Prof. Dr. Walter VORTISCH

*Inst. f. Geowissenschaften, Prospektion
u. angewandte Sedimentologie
Montanuniversität Leoben
A - 8700 Leoben*