

# Trockenausstrag von KVA-Schlacke

## Zusammenfassung



September 2007

## Impressum

### Auftraggeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)  
AWEL, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich  
KEZO, Kehrichtverwertung Zürcher Oberland  
ISDS Oulens SA, Service Industriels de Genève  
AVAG, AG für Abfallverwertung Thun  
GSA, Amt für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft des Kantons Bern

### Autoren

R. Fierz, R. Bunge – UMTEC -Hochschule Rapperswil (HSR), Rapperswil

### Begleitung

| <i>Firma / Institution</i> | <i>Ansprechpartner</i> | <i>Funktion</i>         |
|----------------------------|------------------------|-------------------------|
| KEZO                       | Daniel Böni            | Fach-Begleitung         |
| KEZO                       | Willi Schuler          | Betreuung Versuche KEZO |
| KEZO                       | Werner Oberli          | Betreuung Versuche KEZO |
| BAFU                       | Kaarina Schenk         | Fach-Begleitung         |
| BAFU                       | Daniel Zürcher         | Fach-Begleitung         |
| AWEL                       | Franz Adam             | Fach-Begleitung         |
| AWEL                       | Elmar Kuhn             | Fach-Begleitung         |
| ISDS Oulens SA             | Pierre Ammann          | Fach-Begleitung         |
| AVAG                       | Heiner Straubhaar      | Fach-Begleitung         |
| GSA                        | Jacques Ganguin        | Fach-Begleitung         |
| MARTIN                     | Thomas Uihlein         | Fach-Begleitung         |
| MARTIN                     | Dragutin Brebric       | Fach-Begleitung         |
| PETER                      | Max Peter              | externe Beratung        |
| RYTEC                      | Walter Ryser           | externe Beratung        |

### Download PDF

[www.umwelt-schweiz.ch/abfall](http://www.umwelt-schweiz.ch/abfall)

[www.bafu.admin.ch/abfall](http://www.bafu.admin.ch/abfall)

# Zusammenfassung

## Ausgangslage

Die Menge der Abfälle in der Schweiz, die in Kehrichtverbrennungsanlagen verbrannt wurde, betrug 2006 rund 3.49 Mio. Tonnen. Daraus resultierten als Verbrennungsrückstände rund 754'000 Tonnen Schlacke und rund 66'000 Tonnen Filterasche.

In der Schweiz beginnt sich die Metallrückgewinnung aus Schlacken durchzusetzen. Zurzeit sind bereits mehrere Schlackenaufbereitungsanlagen in Betrieb – weitere sind im Bau oder in der Planung. Diese Anlagen werden bisher grösstenteils auf Deponien eingesetzt. Neu beginnen nun auch KVA ihre Schlacken direkt vor Ort aufzubereiten.

Konventionelle rostgefeuerte KVA verfügen über einen "Nassentschlacker" zur Entfernung der Rostasche ("Schlacke") aus dem Brennraum. Dieser Nassentschlacker erfüllt zwei wichtige Funktionen. Erstens wird die heisse Schlacke abgekühlt. Zweitens wird der Ofenraum luftdicht abgeschlossen. Dies dient der Vermeidung des Eintrittes von "Falschluff = Tertiärluft" durch den Entschlacker infolge von Unterdruck in der Brennkammer.

Ein trockener Austrag der Schlacke mit einem "Trockenentschlacker" könnte aus folgenden Gründen gegenüber dem "Nassentschlacker" von Vorteil sein:

- Gewichtsreduktion der Schlacke um ca. 15-20% (typischer Wassergehalt der Schlacke)
- kein Verklumpen der mineralischen Bestandteile von Schlacke
- Erhalt der Abbindefähigkeit
- gute Qualität der zurück gewonnenen Metalle
- Möglichkeit der trockenmechanischen Entfernung von Salzen und Schwermetallen

Im Frühjahr 2005 wurde im Rahmen einer Vorstudie im Labormassstab gezeigt, dass ein trockener Austrag von Schlacke technisch machbar ist und die beschriebenen Punkte bestätigt werden konnten.

## Problemstellung und Ziele

Das Ziel des Projektes bestand darin, die Ergebnisse der Vorstudie im "technischen Massstab" zu verifizieren.

- Es sollte gezeigt werden, dass der trockene Austrag von Schlacke auch über längere Zeiträume möglich ist, ohne dass dabei Probleme für den Anlagenbetrieb entstehen.
- Des Weiteren sollte die Qualität der Schlacke und ihre Aufbereitbarkeit eingehend untersucht werden. Dies sollte in Form einer grosstechnischen Aufbereitung von ca. 100t trocken ausgetragener Schlacke geschehen.
- Es war die Qualität der aufbereiteten Schlacke zu bestimmen.

## Versuchsdurchführung

Die Umsetzung in den "technischen Massstab" erfolgte in der KVA Hinwil (KEZO). Dort wurde in einem ersten Schritt eine Ofenlinie für mehrere Tage mit einem Trockenaustrag der Schlacke betrieben. Hierbei wurden etwa hundert Tonnen trockene Schlacke als Probematerial produziert. Rund 430 Kilogramm dieser Schlacke wurden dann auf ihre physikalischen und chemischen Eigenschaften (Löslichkeit, Glühverluste, Korngrössenverteilung und chemische Zusammensetzung) hin untersucht. Besonderes Augenmerk wurde auf die Zusammensetzung der Schlacke, die Aufbereitbarkeit im Labormassstab und auf die Qualität der Metalle gelegt. Des Weiteren wurden verschiedene Versuche bezüglich der Abtrennung einzelner Fraktionen (Glas-Keramik- und der Sinterschlacke) durchgeführt.

Der überwiegende Teil der trocken ausgetragenen Schlacke wurde für Aufbereitungsversuche im grosstechnischen Massstab verwendet. Dafür wurde die Schlacke in die Niederlande und nach Deutschland transportiert, wo sie auf grosstechnischen Schlackenaufbereitungsanlagen aufbereitet wurde. Es wurden Versuche zur Absiebung der Schlacke, zur Rückgewinnung der Metallanteile und zum Abscheiden der Glas- und Sinterschlacke-Fraktionen durchgeführt. Die durch die Aufbereitung erhaltenen Produkte wurden in akkreditierten Labors untersucht und verschiedenen chemischen und physikalischen Tests unterzogen (gemäss BAFU-Vollzugshilfe 2005 „Analysemethoden für Feststoff- und Wasserproben aus belasteten Standorten und Aushubmaterial“). In einem weiteren Schritt wurde eine Ofenlinie der KVA Hinwil (KEZO) für einen mehrmonatigen Pilotversuch auf Trockenaustrag umgerüstet. Es wurde ein Sieb unter dem Austrag des Entschlackers installiert, welches die trocken ausgetragene Schlacke direkt am Austrag bei 2mm absiebt. Während dieser Versuchsphase wurde untersucht, ob der Trockenaustrag negative Auswirkungen auf den Ofenbetrieb hatte, und zwar sowohl bei der Feuerführung, als auch schlacken- und rauchgasseitig.

Die trocken ausgetragene und abgesiebte Schlacke wurde in einer mehrtägigen Beprobungskampagne beprobt und auf die Eigenschaften bezüglich ihrer Eluierbarkeit untersucht (Technischer Verordnung über Abfälle TVA - Eluattest 1988). Um die Analyseergebnisse mit denen von nass ausgetragener Schlacke zu vergleichen wurden zwei Ofenlinien parallel mit dem gleichen Rohmaterial beaufschlagt: Eine Linie mit Trockenaustrag und die zweite Linie mit Nassaustrag.

## **Ergebnisse**

### **Ergebnisse der Trockenaustragungsversuche**

Der über etwa zwei Monate durchgeführte Trockenaustrag der Schlacke mit nachgeschalteter Trockenabsiebung hat gezeigt, dass der trockene Betrieb des Entschlackers weder bei der Entschlackung selbst, noch bei der Feuerführung und auch nicht rauchgasseitig zu technischen Problemen bei diesem Anlagentyp führt.

Durch den Entschlacker zog etwa 10% Falschluff ("Tertiärluft") in die Ofenkammer ein. Diese stellte jedoch für die Feuerführung kein Problem dar. Es war sogar zu beobachten, dass durch diese "Tertiärluft" die Schlacke in der Ausglimmzone und im Entschlacker hervorragend ausglühte und abkühlte.

Die Absiebung erfolgte ebenfalls ohne grössere technische Schwierigkeiten. Brennende oder glühende Schlacke wurde auf dem Sieb äusserst selten beobachtet. Die Staubbildung am Austrag war zwar signifikant, aber beherrschbar indem die Absiebstation mit provisorischen Kunststoffvorhängen ummantelt wurde. Die in den Ofen einziehende "Tertiärluft" sorgte zudem dafür, dass ein grosser Teil dieses Staubs direkt zurück in den Ofen gezogen wurde.

Durch diese "Tertiärluft" gelangte ein Teil des Schlackenstaubes in die Rauchgase und somit in die Elektrofilter. Dies hatte zur Folge, dass 30 bis 50 Masse% mehr Filterasche als bei herkömmlichem Betrieb anfiel. Diese Erhöhung des Staubanteils hatte aber keinen negativen technischen Effekt auf die Rauchgasreinigung oder auf die neutrale Filteraschenwäsche in der KVA Hinwil (KEZO).

### **Ergebnisse der Aufbereitungsversuche der trocken ausgetragenen Schlacke**

Der Versuch "trockenmechanische Aufbereitung" wurde grosstechnisch in Deutschland und in den Niederlanden durchgeführt. Dabei wurde gezeigt, dass die Aufbereitung von trockener Schlacke insgesamt wesentlich einfacher ist, als von nasser Schlacke. Die trockene Schlacke klebt nicht zusammen und die enthaltenen Metallstücke weisen wesentlich weniger Anbackungen auf. Daher konnte auf eine Feinzerkleinerungsstufe zur Freilegung von Metallstücken verzichtet werden, da auch sehr kleine Metallstücke „unverbacken“ vorlagen und damit für die Rückgewinnung zugänglich waren.

Die bei der Aufbereitung erzielte Abscheidung von Metallstücken, Glas und Sinterschlacke deckte sich weitestgehend mit den im Labor ermittelten Anteilen. Das bedeutet, dass der grösste Teil dieser zurückgewinnbaren Fraktionen aus der Schlacke entfernt wurde.

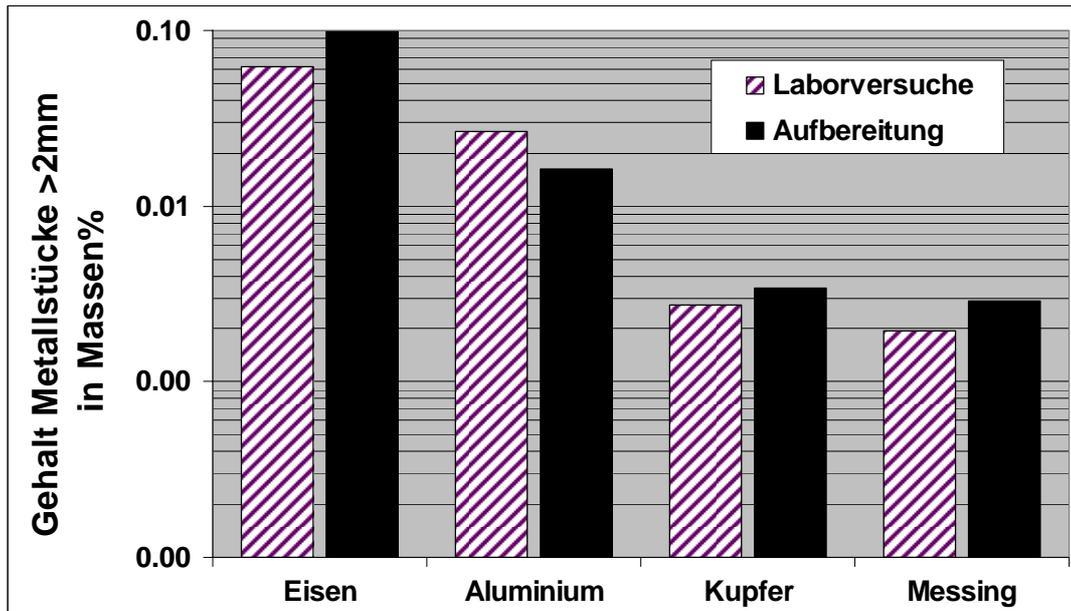


Abb. 1 Zurückgewinnbare Metallanteile aus Schlacke im Laborversuch und im großtechnischen Massstab in D und NL



Abb. 2 Aus der Schlacke zurück gewonnene Glas- und Metallfraktion

### Ergebnisse der Laborversuche

Die Laborversuche zeigten, dass die Qualität der trocken ausgetragenen Schlacke durch die Abtrennung des Feinanteils wesentlich verbessert wird. Zum einen wird die Schlacke durch Abtrennung der <2mm Fraktion, welche etwa 30% der Gesamtschlackenmasse ausmacht, von gut 50% ihrer löslichen Salze befreit. Zum anderen wird zumindest beim Zink eine Entfrachtung der Schlacke erreicht.

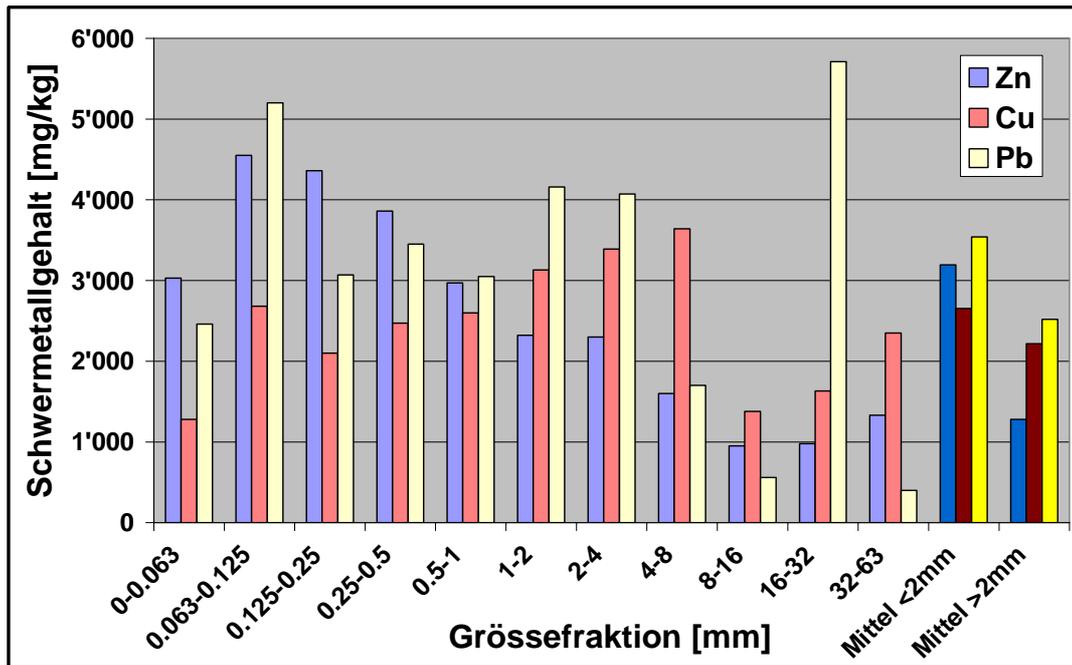


Abb. 3 Schwermetallgehalte (Zn, Cu, Pb) der verschiedenen Korngrössenfraktionen der trocken ausgetragenen Schlacke

Die Entfrachtung an Schwermetallen in der trocken ausgetragenen Schlacke ist zwar insgesamt nicht sehr erheblich, aber es werden vor allem solche Schwermetalle, die in wasserlöslichen Verbindungen (Zn-, Cu-, Pb -Verbindungen) vorliegen, mit dem Feinanteil abgetrennt. Dies hat zu Folge, dass die Grobfraktion der Schlacke viel weniger wasserlösliche Schwermetallverbindungen enthält und somit ein deutlich verbessertes Eluationsverhalten für diese Elemente (Zink (Zn), Kupfer (Cu), Blei (Pb)) aufweist.

Die Versuchsergebnisse legen insbesondere die Folgerung nahe, dass in nass ausgetragener Schlacke etwa 3% sehr feinkörnige, flugaschenähnliche Anteile enthalten sind. Die Schwermetalle in dieser Fraktion liegen vermutlich bevorzugt als Chloride vor, welche sehr gut wasserlöslich sind. Gelangt eine solche Schlacke in den Nassentschlacker, so lösen sich die Schwermetallchloride auf. Durch Adsorption (vor allem an Eisenoxiden) sowie durch die anhaftende Feuchtigkeit geschieht eine Umlagerung der wasserlöslichen Schwermetalle von den ursprünglich sehr feinkörnigen Fraktionen der Schlacke auch in die grobkörnigeren Schlackefraktionen. Bei einer nachträglichen Siebung der nass ausgetragenen Schlacke bleiben daher die Schwermetalle über alle Korngrössenfraktionen verteilt.

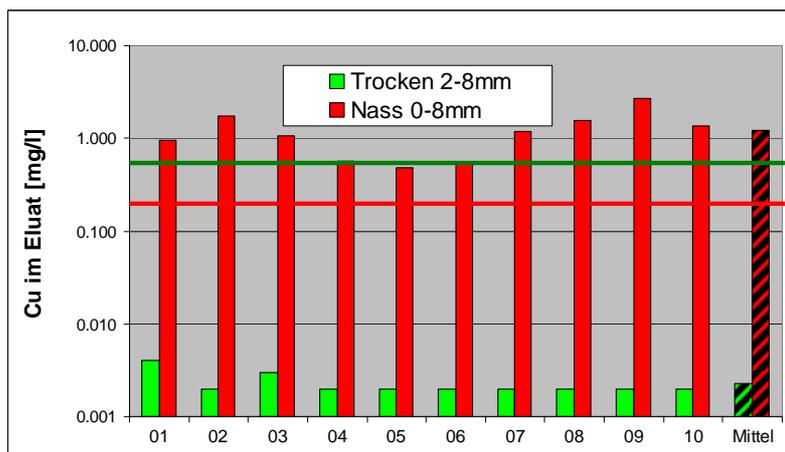
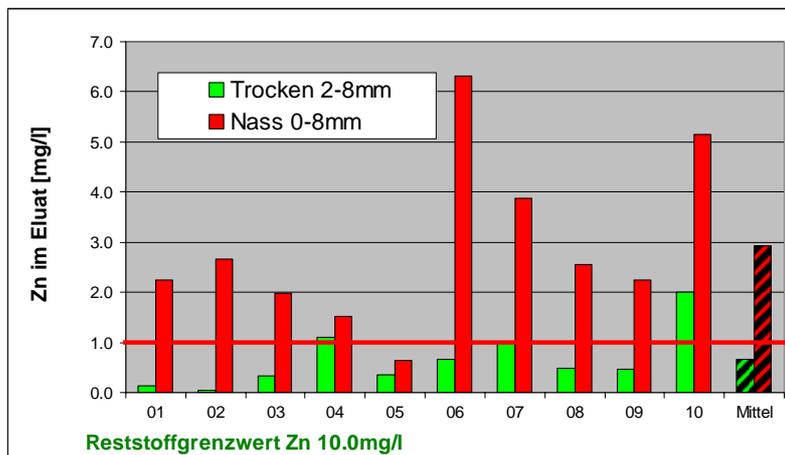
Bei der trocken ausgetragenen Schlacke werden die Schwermetallchloride nicht im Wasser des Entschlackers aufgelöst und somit erfolgt keine nachträgliche Verteilung der Schwermetalle auf alle Fraktionen. Zudem wird bei der KVA Hinwil (KEZO) durch die "Tertiärluft" zunächst ein Teil des flugaschenähnlichen Feinstkorns der Schlacke zurück in den Ofen gezogen und dann mit der Filterasche ausgebracht. Dadurch wird, wie schon erwähnt, der Massenanteil der zu entsorgenden Filterasche um 30 bis 50 Masse% erhöht.

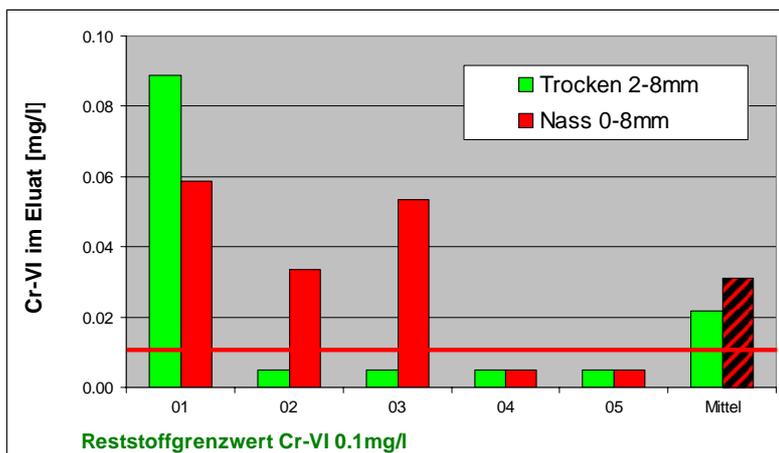
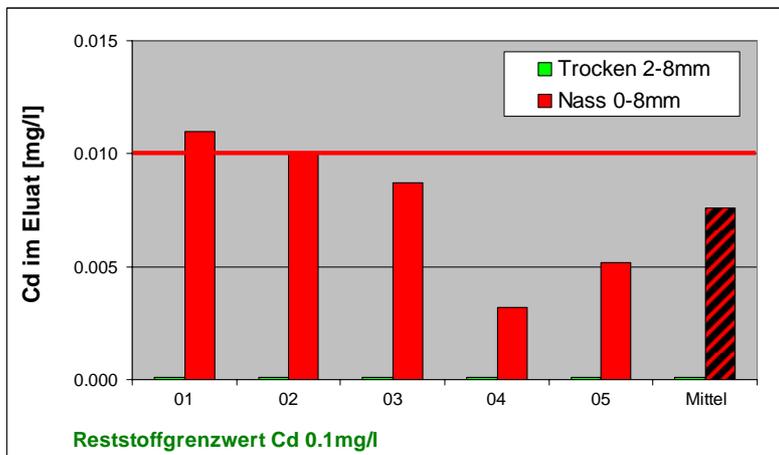
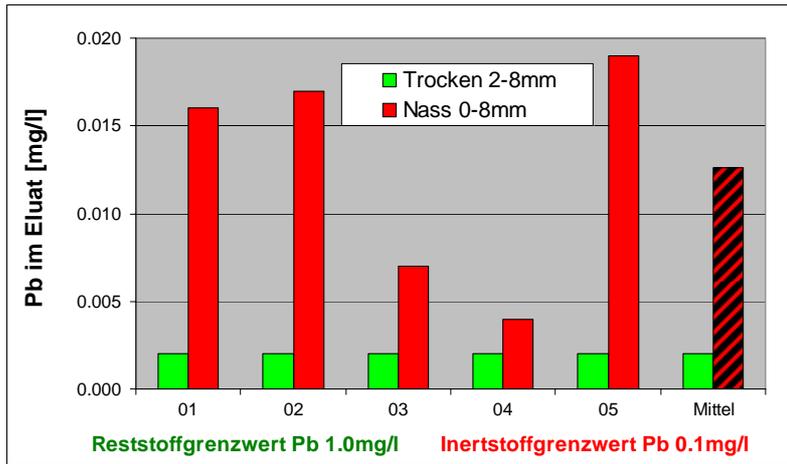
Mit der Siebung des verbleibenden Schlackeanteils wird ein grosser Teil der restlichen mit Schwermetallchloriden kontaminierten Feinstkornfraktionen entfernt. Somit ist nur noch ein kleiner Anteil löslicher Schwermetallchloride in der Grobfraktion der Schlacke,

die damit auch ein verbessertes Eluatverhalten für Zink (Zn), Kupfer (Cu), Blei (Pb), Cadmium (Cd) und Chrom VI (Cr-VI) zeigt.

Es ist aber zu berücksichtigen, dass diese Versuchsdurchführung anlagenspezifisch ist und dass es sich bei den Laborversuchen um Einzelmessungen handelt. Die Ergebnisse können also nicht direkt auf andere Anlagen, Versuchsdurchführungen etc. angewendet werden.

Die folgenden fünf Grafiken zeigen die Ergebnisse des TVA-Eluattests für Zn, Cu, Pb, Cd und Cr-IV für die Grobfraktionen der nass und trocken ausgetragenen Schlacke im Vergleich. Es zeigt sich für diese Versuchsdurchführung, dass die löslichen Zn- Cu- Pb- Cd- und Cr-VI Verbindungen bei der trocken ausgetragenen Schlacke vergleichsweise wenig in der Grobfraktion zu finden sind. Für diese Elemente Zn, Cu, Pd, Cd und für Cr-VI wurden die Eluatgrenzwerte der TVA zumeist eingehalten. Es handelt sich dabei um Einzelmessungen, so dass eine Fehlerabschätzung nicht sinnvoll ist. Der Unterschied zur nass ausgetragenen Schlacke ist aber offensichtlich, wenn auch nicht alle Grenzwerte für die Inertstoffqualität eingehalten sind.





— TVA-Inertstoffgrenzwert    — TVA-Reststoffgrenzwert

Abb. 4 TVA-Eluate für die Elemente Zn, Cu, Pb und Cd und für Cr-VI für nass und trocken ausgetragene Schlacke

Im Weiteren wurde Abklärungen bezüglich Asbest und Dioxin gemacht. Im Feinanteil der Schlacke, welcher nicht mit der "Tertiärluft" zurück in den Ofen gezogen ist, sind sowohl Asbest als auch Dioxin vernachlässigbar.

Waschversuche im Labor haben gezeigt, dass bei einer "sauren Wäsche" des Schlackefeinanteils, anlog zur "sauren Wäsche" der Filterasche, ein Teil der Schwermetalle zurückgewonnen werden kann.

Die Abbindefähigkeit von trockener Schlacke entspricht etwa derjenigen von nasser Schlacke. Die Laboruntersuchungen haben gezeigt, dass trockene Schlacke nach erstmaliger Befeuchtung (beim Einbau in die Deponie) ein gutes Abdichtungsverhalten aufweist.

## **Schlussfolgerungen**

Der Trockenaustrag, so wie er in der KVA Hinwil (KEZO) durchgeführt wurde, zeigt keine gravierenden technischen Probleme. Durch die in den Ofen einziehende "Tertiärluft" wird der filteraschenähnliche Feinanteil der Schlacke zurück in den Ofen gesogen. Zudem wird die Schlacke selber gekühlt und brennt gut aus. Mit dem Einzug des Feinanteils in den Ofen wird ein Teil der Schwermetallfracht von der Schlacke in die Filterasche verschoben, deren Masse sich bis zu 50% erhöht. In diesem Feinanteil ist ein grosser Teil der wasserlöslichen Schwermetalle, die mit der Schlacke normalerweise ausgetragen werden, angereichert. Dadurch zeigt sich beim Grobanteil der Schlacke ein stark verbessertes Eluatverhalten für die Elemente Zn, Cu, Pb und Cd gegenüber nass ausgetragener Schlacke. Die Inertstoffgrenzwerte werden bei den Gesamtgehalten noch nicht eingehalten, bei den Eluatgrenzwerten zeigen die Einzelmessungen für Zn, Cu, Pb und Cd, dass diese jedenfalls im Mittel eingehalten werden können. Die zurück gewonnenen Metalle (Eisen, Aluminium, Kupfer, Messing) aus der trocken ausgetragenen Schlacke weisen eine bessere Qualität, d.h. weniger Anbackungen, auf als diejenigen, die aus der nass ausgetragenen Schlacke separiert werden.

Der Trockenaustrag von Schlacke ist demnach ein möglicher Schritt in die richtige Richtung, hin zu einer verbesserten Schlackequalität. Allerdings ist zu beachten, dass die durchgeführten Versuche und deren Ergebnisse für die KVA Hinwil (KEZO) gelten. Damit der Trockenaustrag, so wie er in den Versuchen durchgeführt wurde, neben den technischen und ökonomischen Aspekten auch als deutliche Verbesserung im Hinblick auf die Umweltverträglichkeit ist, ist die in wesentlich grösseren Mengen anfallende Filterasche sauer zu waschen, um u.a. eine Entfrachtung und Rückgewinnung an Schwermetallen zu erreichen. Zudem müssen wohl zukünftig die Dioxine vor der Ablagerung der Filterasche auf einer Übertagedeponie zerstört werden.

## **Handlungsbedarf**

- Abklären, ob Anpassungen an dem hier beschriebenen Trockenaustrag nötig sind, damit es zu keinen technischen Problemen bei anderen Anlagentypen führt.
- Optimierung der Mengen und Qualitäten der Behandlungsrückstände im gesamten System KVA – Weiterentwicklung des Trockenaustrags der Schlacke und der Behandlung der Filterasche.
- Das Eluatverhalten von mehreren Tonnen nass und trocken ausgetragener Schlacke unter semi-realistischen Bedingungen ist zu untersuchen. Dafür werden Muldenversuche durchgeführt.