

# Trockenaustrag von Kehrichtschlacke



**AWEL**

**UMTEC**

**KEZO**

Dezember 2006

## INHALTSVERZEICHNIS

0.	Zusammenfassung .....	3
1.	Ziele einer nachhaltigen Rohstoffnutzung und Abfallentsorgung .....	4
2.	Worum geht es beim Trockenaustrag von Kehrichtschlacke und welche Ziele werden damit verfolgt .....	5
3.	Einordnung des Trockenaustrags in das neue BAFU-Zielsystem.....	6
4.	Resultate des Pilotversuches .....	7
5.	Die betrieblichen Vorteile überwiegen .....	10
6.	Entsorgung der Grobfraktion .....	11
6.1	Die Inertstoffdeponie – ein zukunftsfähiges Modell .....	11
6.2	Die Qualität der Grobfraktion aus Trockenaustrag in bezug auf die Zielsetzungen der Inertstoffdeponie .....	13
6.3	Ablagerungen auf Inertstoff-Deponien im umliegenden Ausland .....	14
6.4	Versuchsdeponie .....	15
7.	Wirtschaftliche Betrachtungen auf Stufe KVA .....	15
8.	Metallrückgewinnung aus der Elektrofilterasche .....	16
9.	Schlussfolgerungen .....	16
10.	Anhang.....	17

## IMPRESSUM

### Autoren

Franz Adam, AWEL, Zürich

Daniel Böni, KEZO, Hinwil

Rainer Bunge, UMTEC, Rapperswil

Enrico Cassina, Sieber Cassina + Partner, Bern

Elmar Kuhn, AWEL, Zürich

Christian Sieber, AWEL, Zürich

### Redaktion

Peter Hofer, GEO Partner AG, Zürich

### Weitere Informationen zu den Projektpartnern

AWEL: [www.abfall.zh.ch](http://www.abfall.zh.ch)

UMTEC: [www.umtec.ch](http://www.umtec.ch)

KEZO: [www.kezo.ch](http://www.kezo.ch)

## 0. Zusammenfassung

Der Trockenaustrag von Kehrichtschlacke aus der KVA ist ein Konzept der Ressourcenwirtschaft mit dem Ziel, aus den Verbrennungsrückständen die Metallentfrachtung bzw. –gewinnung zu optimieren und einen möglichst grossen Anteil der Schlacke so zu behandeln, dass diese nachsorgefrei deponiert werden kann. Untersuchungen des UMTEC Rapperswil auf der Anlage der Kehrichtverwertung Zürcher Oberland KEZO zeigen auf, dass der Trockenaustrag im industriellen Massstab anwendbar ist.

Die durch den Trockenaustrag geänderte Luftzufuhr ermöglicht einen deutlich besseren Ausbrand der Schlacke sowie den erhöhten Transfer von Schadstoffen (Feinstfraktion  $<100 \mu\text{m}$ ) in die Filterasche. Die abgeseibte Feinfraktion mit  $\leq 2 \text{ mm}$  Korngrösse weist betreffend Eluatwerten bessere Qualitätsmerkmale als die nass ausgetragene Schlacke auf. Die Fraktion  $>2 \text{ mm}$  Korngrösse genügt bezüglich Eluatwerten der kritischen Metalle sogar bestens den Anforderungen an Inertstoffe. Aus dieser Grobfraktion können Eisen und Nichteisenmetalle weitestgehend zurück gewonnen werden. Der Prozess ist wenig aufwändig und resultiert, gegenüber der Aufbereitung nass ausgetragener Schlacke, in wesentlich besseren Metallqualitäten.

Der Typ Inertstoffdeponie entspricht den Anforderungen an ein Endlager gemäss Abfallleitbild 1986. Das Deponiesickerwasser erfüllt bereits in der Betriebsphase die Einleitbedingungen an Fliessgewässer. Die TVA legt für Inertstoffe Grenzwerte für Schwermetall-Gesamtgehalte und Eluatwerte fest. Wo die Herkunft auf Zusammensetzung und geringes Elutionsverhalten schliessen lässt, werden vereinfachte oder erleichterte Anforderungen definiert, so z.B. für mineralische Bauabfälle oder für verglaste Abfälle aus der Behandlung von Auto-Schredderabfällen (Vorschlag BAFU). In Analogie dazu könnte nun die Zulassung weiterer Rückstände abfallspezifisch definiert werden.

Das BAFU ist zurzeit daran, die TVA einer Gesamtrevision zu unterziehen. Daher möchten die Verantwortlichen im Moment davon absehen, eine entsprechende Ergänzung in der TVA vorzunehmen. Tatsache ist, dass mit trocken ausgetragener Grobschlacke ein Verbrennungsrückstand erzielt werden kann, der aufgrund der durchgeführten Eluattests voraussichtlich über ein gutes, stabiles Langzeitverhalten verfügt.

Das AWEL wird 2007 in einem Projekt weitergehende Untersuchungen über die Langzeitstabilität der Grobfraktion der Kehrichtschlacke durchführen lassen. Für die in der KEZO ausgetragene Grobfraktion der Kehrichtschlacke soll ab 2007/08 eine Versuchsdeponie errichtet und betrieben werden, die dann später gemäss neuer TVA entsprechend klassiert werden kann.

Mit dem Trockenaustrag der Kehrichtschlacke würde die schweizerische Deponielandschaft in Richtung Endlager entwickelt. Das Risikopotenzial könnte substantiell vermindert werden. Die Kosten zur Nachsorge würden verkleinert.

Neben dem erheblichen Umweltnutzen dürfte die Umstellung auf Trockenaustrag für die KVA auch wirtschaftlich interessant sein, vor allem wenn die Ablagerung unter weniger aufwändigen Bedingungen als auf der Schlackendeponie, z.B. als Inertstoff, möglich wird.

## 1. Ziele einer nachhaltigen Rohstoffnutzung und Abfallentsorgung

Bereits das Leitbild für die Schweizer Abfallwirtschaft von 1986 fordert, die nicht verwertbaren Abfälle endlagerfähig zu machen oder aber enthaltene Schadstoffe aufzukonzentrieren. Die Abfallpolitik des Bundes wird heute mit dem Bericht „Nachhaltige Rohstoffnutzung und Abfallentsorgung“ (BAFU, 2006) auf eine neue Basis gestellt. Sie wird eng mit der Rohstoffpolitik verknüpft. Damit wird der Kreislaufgedanke gestärkt. Der Bund hat sich zum nachhaltigen Handeln verpflichtet. Entsprechend erhalten Aspekte des wirtschaftlichen Wohlstandes sowie von sozialer Sicherheit und Gerechtigkeit in der Rohstoff- und Abfallpolitik erhöhtes Gewicht.

Die im Bericht des BAFU wiedergegebene Vision für die nachhaltige Nutzung der Rohstoffe und für den Umgang mit Abfällen postuliert:

- „Heutige und künftige Generationen sollen in der Nutzung von natürlichen Rohstoffen durch das Verhalten der heute lebenden Menschen nicht eingeschränkt werden; entsprechend ist der Verbrauch von nicht erneuerbaren und knappen Rohstoffen zu minimieren und der Verbrauch von erneuerbaren Rohstoffen soll nicht grösser sein als die Regenerationsrate.
- Heutige und künftige Generationen sollen in ihrer Gesundheit durch das Verhalten der heute lebenden Menschen nicht eingeschränkt werden. Dies bedeutet, dass die Emissionen aus dem Gebrauch von Stoffen und Energie über alle Etappen des Lebensweges eines Produktes hinweg zu minimieren sind.
- Die Sektoralpolitik zur Rohstoffnutzung und zum Umgang mit Abfällen soll einen Beitrag zum wirtschaftlichen Wohlstand sowie zur sozialen Sicherheit und Gerechtigkeit in der Schweiz und im Ausland leisten.“

Daraus werden insgesamt vier Ziele der nachhaltigen Rohstoffnutzung und Abfallentsorgung abgeleitet, denen sich der Bund verpflichtet. Zwischen diesen Zielen besteht eine enge Abhängigkeit. Die Ziele sind im Einzelnen:

Ziel 1: Die Schweiz leistet einen Beitrag zur nachhaltigen Nutzung nicht erneuerbarer und erneuerbarer Rohstoffe. Damit sollen die Umweltbelastung verringert und der Rohstoffverbrauch reduziert werden.

Produkte sind über ihren ganzen Lebensweg hinweg bezüglich Rohstoffverbrauchs, Umweltbelastung, Wirtschaftlichkeit und sozialen Kriterien zu optimieren. Es ist darauf hinzuwirken, dass für diese Produkte von Seiten der öffentlichen Hand und Privater eine Nachfrage besteht. Ebenso ist nach Wegen zu suchen, um Funktionen von Produkten und Bedürfnisse der Bevölkerung durch Produkte und Dienstleistungen abzudecken, die sich durch einen haushälterischen Rohstoffeinsatz auszeichnen.

Ziel 2: Die Abfallentsorgung muss umweltverträglich sein. Die Schadstoffemissionen in die Umwelt sind dort, wo dies technisch möglich und wirtschaftlich tragbar ist, weiter zu senken.

Die gesamte Abfallentsorgung soll umweltverträglich sein und es sollen heute wie in Zukunft möglichst wenige Schadstoffe in die Umwelt gelangen. Diese Forderung betrifft alle Abfälle, für deren Entsorgung die Schweiz zuständig ist.

Ziel 3: Die Entsorgungssicherheit muss gewährleistet sein

Für umweltverträgliche Verwertung, Behandlung und Deponierung von Abfällen sind ausreichende Angebote innerhalb kurzer Frist vorhanden. Um die Abfälle von den Inhabern zu den Behandlungs-

und Verwertungsanlagen bzw. zu den Deponien zu bringen soll ein Sammel- und Transportsystem vorhanden sein und benutzt werden. Die Entsorgungssicherheit ist auf wirtschaftlich effiziente und bedürfnisgerechte Weise zu gewährleisten.

Ziel 4: Alle Bestrebungen zur Erreichung der ökologischen Zielsetzungen einer nachhaltigen Rohstoffnutzung und Abfallentsorgung tragen auch den wirtschaftlichen und den gesellschaftlichen bzw. sozialen Erfordernissen einer nachhaltigen Entwicklung Rechnung.

In dieses Zielsystem eingebettet sind die Bemühungen der kantonalen Abfall-Verantwortlichen. Auch die Bestrebungen des Kantons Zürich zum Trockenaustrag von KVA-Schlacke sind im Zusammenhang mit dieser Neuausrichtung der Abfallpolitik zu sehen.

## 2. Worum geht es beim Trockenaustrag von Kehrriechtschlacke und welche Ziele werden damit verfolgt

Zentrales Anliegen der kantonalen Abfall-Verantwortlichen ist die Verbesserung der Qualität der KVA-Schlacke. Diese stellt heute die wichtigste Materialmenge dar, welche auf den Reaktordeponien abgelagert wird. Vielerorts sind Bestrebungen im Gange, diesen Deponietyp überflüssig zu machen, da hier eine langjährige und aufwendige Nachsorge nötig ist.

Zahlreiche Versuche zur Verbesserung der Qualität nass ausgetragener Schlacke (BAFU, UMTEC, GSA, AWEL) haben keine zufrieden stellenden Resultate erbracht. Es wurden daher nach Vorversuchen umfassende Tests zum Trockenaustrag durchgeführt. Die Ergebnisse sind überzeugend. In der Einführung dieses Verfahrens sehen die Abfall-Verantwortlichen im Kanton Zürich wichtige Vorteile. Da die mineralischen Bestandteile der Schlacke ohne Wasserzugabe nicht verklumpen, lassen sich die enthaltenen Metalle einfacher, vollständiger und in guter Qualität zurückgewinnen (vgl. Abbildung 2-1). Ein wesentlicher Anteil der Schlacke kann damit in besserer Qualität auf die Deponie gebracht werden. Die Schlacke behält ihre Fähigkeit abzubinden.



Abbildung 2-1: Kehrriechtschlacke aus Nassaustrag (links) und aus Trockenaustrag (rechts)

Ein umfangreiches Versuchsprogramm bei der Kehrriechtverwertung Zürcher Oberland KEZO und beim Institut für Umwelt und Verfahrenstechnik UMTEC an der Hochschule für Technik in Rapperswil hat aufgezeigt, dass sich diese Vorteile auch im industriellen Massstab realisieren lassen. Nachdem die Ofenlinie 2 der KEZO während über 3600 Stunden nach dem Verfahren des Trockenaustrages betrieben wurde, kann davon ausgegangen werden, dass das Verfahren in Hinwil produktionstechnisch

ohne grosse Komplikationen umgesetzt werden kann. Mit geeigneten Behandlungsverfahren liess sich ein hoher Anteil der in der Kehrriechtschlacke enthaltenen Eisen- und Nichteisen-Metalle für die Verwertung aussortieren. Durch die Rückführung der stark schwermetallhaltigen Feinstanteile ( $<100 \mu\text{m}$ ) in den Ofen und die Abtrennung der Feinanteile  $\leq 2 \text{ mm}$  kann eine Restschlacke mit einer Grössenstruktur von  $>2 \text{ mm}$  gewonnen werden. Diese erreicht zwar nicht bezüglich des Schwermetall-Totalgehalts aber bezüglich der Eluate Inertstoff-Qualität. Gemäss den Versuchsergebnissen könnten nach Abscheidung des Metallanteils von rund 10% die Fraktionen wie folgt behandelt, bzw. entsorgt werden.

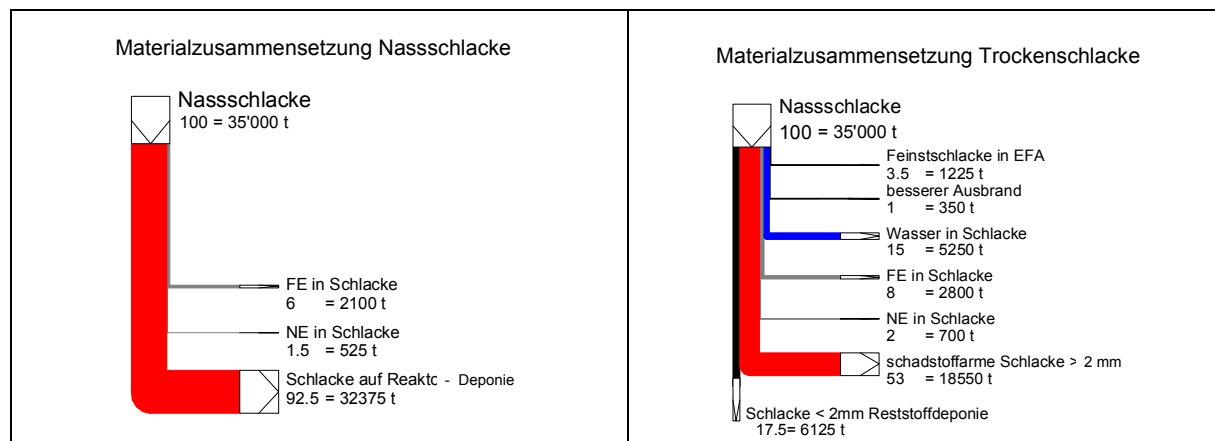


Abbildung 2-2: Materialzusammensetzung von Nass- und Trockenschlacke (in % der gesamten Nassschlacke). Die Schlackemengen resultieren aus ca. 180'000 t Kehrriecht.

Quelle: Erfahrungswerte aus dem bisherigen Betrieb der KEZO sowie aus den Versuchen im industriellen Massstab von KEZO und UMTEC

Der Trockenaustrag bietet damit die Möglichkeit, den grössten Anteil der Rückstände aus der Kehrriechtverbrennung nicht mehr in nachsorgeintensiven Reaktordeponien ablagern zu müssen. Das neue Behandlungsverfahren für Kehrriechtschlacke wird nun in der Anlage der KEZO implementiert. Damit wird der Beweis angetreten, dass dieses Verfahren auch im Dauerverfahren funktioniert.

### 3. Einordnung des Trockenaustrags in das neue BAFU-Zielsystem

Die hier diskutierten Bestrebungen zum Trockenaustrag von Schlacke aus der Kehrriechtverbrennung korrespondieren in hohem Masse mit den Vorstellungen des Bundes für die „Nachhaltige Rohstoffnutzung und Abfallentsorgung“: Sie lassen sich wie folgt in das Zielsystem des BAFU integrieren.

#### Ziel 1: Nachhaltige Nutzung der Rohstoffe

- ▷ Die in der Kehrriechtschlacke enthaltenen Metalle (Fe und NE) werden zu einem hohen Anteil für eine Wiederverwendung verfügbar gemacht. Aufgrund der bisherigen Untersuchung können rund 10 Gewichtsprozente der Schlacke der Metallaufbereitung zugeführt werden. Diese Menge ist grösser und zudem von höherer Qualität als bei der Metallentfrachtung aus nasser Schlacke.

#### Ziel 2: Die Abfallentsorgung muss umweltverträglich sein. Die Schadstoffemissionen in die Umwelt sind dort, wo dies technisch möglich und wirtschaftlich tragbar ist, weiter zu senken.

- ▷ Mit dem Trockenaustrag wird angestrebt, die Qualität der zu deponierenden Abfälle und Rückstände zu verbessern und sie insgesamt näher an die Endlagerqualität zu bringen. Ein bedeuten-

der Anteil der Kehrriechtschlacke, die Fraktion von >2 mm, erreicht bezüglich der Eluate Inertstoff-Qualität. Unabhängig vom Deponietyp wird die Ablagerung im Sinne von Ziel 2 umweltverträglicher. Das Vorhaben korrespondiert somit sehr genau mit der Stossrichtung des Bundes, neue Behandlungsverfahren zu fördern.

**Ziel 3: Die Entsorgungssicherheit muss gewährleistet sein.**

- ▷ Durch den Metallaustrag und das Fehlen von Wasser entsteht eine geringere Deponiemenge, der in unserem Lande knappe Deponieraum wird geschont.

**Ziel 4: Alle Bestrebungen zur Erreichung der ökologischen Zielsetzungen einer nachhaltigen Rohstoffnutzung und Abfallentsorgung tragen auch den wirtschaftlichen und den gesellschaftlichen bzw. sozialen Erfordernissen einer nachhaltigen Entwicklung Rechnung.**

- ▷ Die mehrheitliche Verwertung des Metallanteils der Schlacke und die Verbesserung der Qualität der abzulagernden Restschlacke versprechen handfeste wirtschaftliche Vorteile im Entsorgungswesen.
- ▷ Durch Entwicklung des Qualitätsgedankens bei der Kehrriechtschlackebehandlung in der KVA manifestieren sich auf betrieblicher Ebene Aspekte gesellschaftlicher Verbesserungen.
- ▷ Inertstoffdeponien weisen gegenüber Reststoff- und Reaktordeponien eine höhere Akzeptanz in der Bevölkerung auf.

## 4. Resultate des Pilotversuches

Zusammenfassung aus dem Abschlussbericht „Trockenaustrag von KVA-Schlacke“ des UMTEC.

### Hintergrund und Zielsetzung

Die Untersuchung zielte darauf, die im Jahr 2005 im Rahmen eines Laborversuches gefundenen Aussagen im „technischen Massstab“ zu verifizieren. Ferner sollten zusätzliche Abklärungen zur Qualität der Aufbereitungsprodukte im Labormassstab vorgenommen werden.

Mit dem Versuch sollte gezeigt werden, dass der trockene Austrag von KVA-Schlacke auch über längere Zeiträume möglich ist, ohne dass dabei Probleme für den Anlagenbetrieb entstehen. Die Qualität der Schlacke und ihre Aufbereikbaarheit sollte grosstechnisch mit ca. 100 t trocken ausgetragener Schlacke geprüft werden. Die durch die Aufbereitung erhaltenen Produkte sollten untersucht und mögliche Wege der Wiederverwertung oder Ablagerung evaluiert werden.

### Projekinhalt und Versuche

Eine Ofenlinie der KEZO wurde während mehreren Tagen im Trockenaustrag betrieben. Es wurden rund 100 Tonnen trockene Schlacke als Probematerial produziert. Einige hundert Kilogramm wurden in den UMTEC-Labors auf ihre physikalischen und chemischen Eigenschaften untersucht.

Der Grossteil des Versuchsmaterials wurde in Schlackenaufbereitungsanlagen in Holland und Deutschland grosstechnisch aufbereitet. Es wurden Versuche zur Absiebung und zur Rückgewinnung der Metallanteile durchgeführt. Die erhaltenen Produkte wurden im Labor diversen Tests unterzogen.

In einem weiteren Versuch wurde eine Ofenlinie der KEZO auf Trockenaustrag umgerüstet und über etwa zwei Monate betrieben. Die Auswirkungen des Trockenaustrags auf den Ofenbetrieb, besonders auf die Feuerführung sowie schlacken- und rauchgasseitig, wurden untersucht.

Zum direkten Vergleich der Qualität von trocken und nass ausgetragener Schlacke wurde eine Versuchsserie durchgeführt, bei der eine Ofenlinie mit Trockenausstrag sowie eine Ofenlinie mit Nassausstrag parallel mit sorgfältig homogenisiertem Abfall beschickt wurden. Die korrespondierenden Schlacken wurden periodisch beprobt und auf das Elutionsverhalten hin untersucht.

### Ergebnisse der Trockenausstragsversuche

Der Trockenausstrag mit Trockenabsiebung führt weder bei der Entschlackung noch bei der Feuerführung oder beim Rauchgas zu Problemen. Durch den Entschlacker zog zwar etwa 10% „Tertiärluft“ in die Brennkammer ein. Diese hatte überraschend positive Wirkungen, indem die Schlacke in der Ausglimmzone und im Entschlacker besser ausglühte und abkühlte. Brennende oder ausglühende Schlacke wurde auf dem Sieb kaum beobachtet; die Staubbildung war zwar deutlich, erwies sich aber als beherrschbar.

Die Tertiärluft sorgte auch dafür, dass ein grosser Anteil des Feinststaubes (<100 µm) direkt zurück in den Ofen gezogen wurde. Das führte zu 30% bis 50% mehr Filterasche als beim herkömmlichen Betrieb. Es zeigte sich, dass die so aus der Schlacke entfernten Feinstanteile flugaschenähnliche Qualität hatten. Dadurch waren die Eluate der trocken ausgetragenen Schlacken sehr viel besser, als die Eluate der korrespondierenden nass ausgetragenen Schlacken.

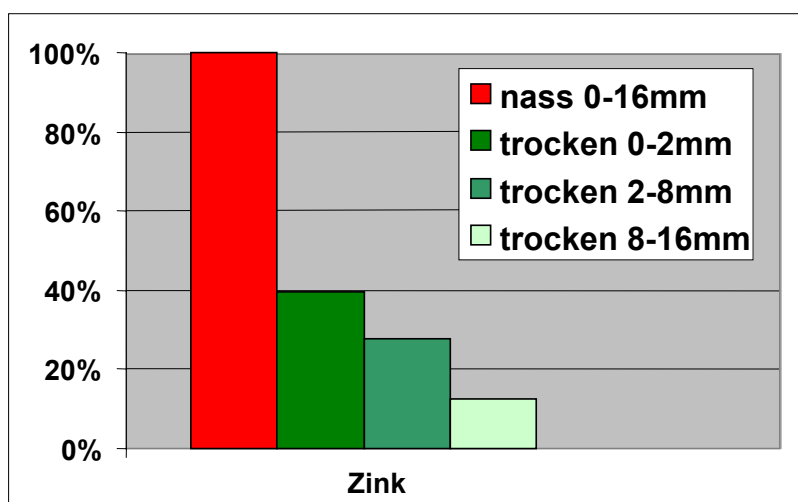


Abbildung 4-1: Die Eluate nach TVA der Korngrössenfraktionen trocken ausgetragener Schlacke im Verhältnis zum Eluat der nass ausgetragenen Schlacke (normiert auf 100%). Durch die Entfernung der sehr stark eluierenden Feinstkornfraktion <100 µm mittels Tertiärluft eluiert die Trockenschlacke viel weniger als die Nassschlacke.

Zur weiteren Verbesserung der Qualität von trocken ausgetragener Schlacke wurde diese bei 2mm abgesiebt. Das Feinkorn  $\leq 2$  mm kann problemlos in einer Reststoffdeponie abgelagert werden. Das Grobkorn  $>2$  mm hat einen Glühverlust von weniger als 1%, enthält nur noch rund 50% der ursprünglich vorhandenen wasserlöslichen Salze, ist weitgehend staubfrei, eluiert wenig, und eignet sich hervorragend zur Aufbereitung zwecks Metallrückgewinnung. Während bei Zink und Kupfer die Eluatwerte bei Nassschlacke den Anforderungen an Inertstoffe nicht genügen, ist dies bei trocken ausgetragener Schlacke im Mittel der Fall.

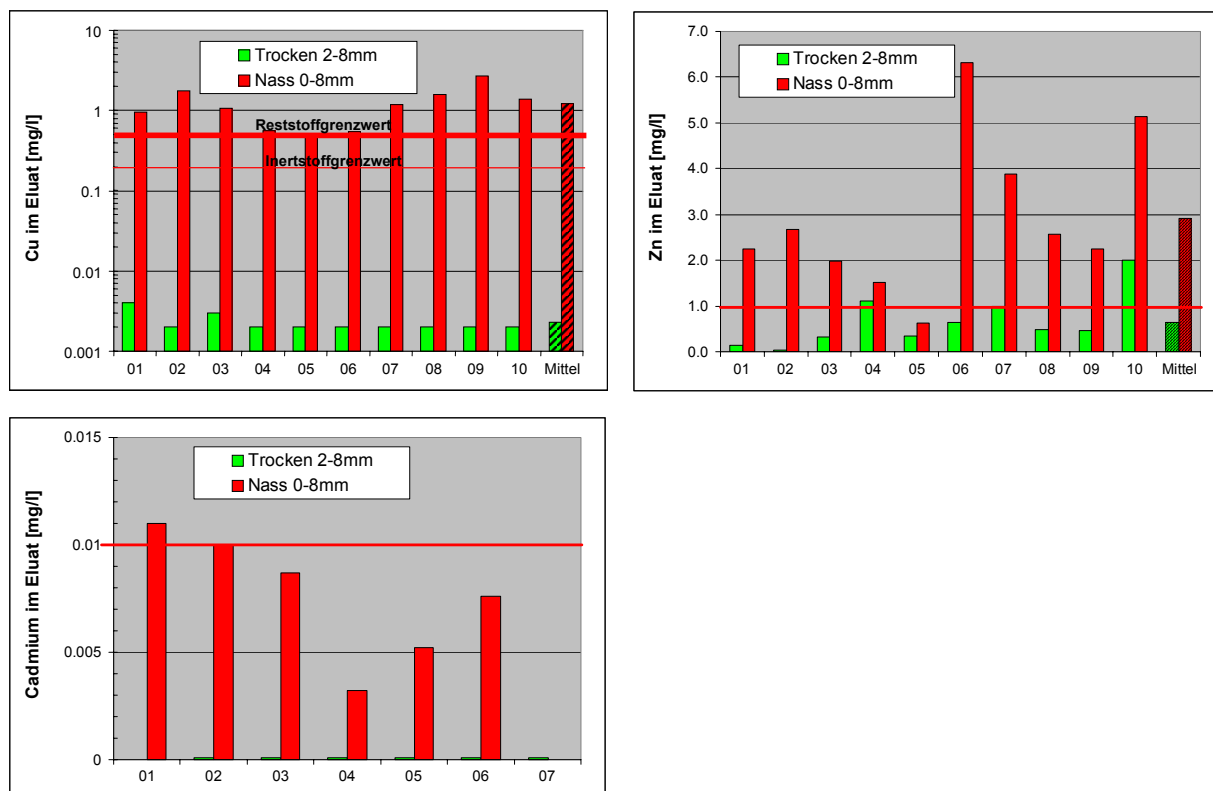


Abbildung 4-2: Die Eluate nach TVA für Kupfer, Zink und Cadmium von 10 Proben trocken ausgetragener Schlacke 2-8mm und korrespondierender nass ausgetragener Schlacke <8mm. Die Grobfraction der Trockenschlacke eluiert viel weniger stark als die Nassschlacke.

Der Pilotversuch zur trockenmechanischen Aufbereitung hat gezeigt, dass die Aufbereitung von trockener Schlacke wesentlich einfacher ist, als die von nasser Schlacke. Die trockene Schlacke klebt nicht zusammen und die enthaltenen Metalle weisen keine Anbackungen auf. Daher konnte auf eine Feinzerkleinerungsstufe zur Freilegung von Metallstücken verzichtet werden. Bei etwa gleicher Metallausbeute wie beim Nassausstrag ist der apparative Aufwand beim Trockenausstrag wesentlich geringer und die Qualität der Metalle ist deutlich besser.



Abbildung 4-3: Aus der Schlacke zurück gewonnene Metallfraktionen: links Aluminium – rechts Messing. Die Metalle sind „blank“: Sie haben keine Schlackenanhäufungen.

Die bei der Aufbereitung erzielte Abscheidung von Metallen (ca. 8 Gewichtsprozent Eisen-, ca. 3 Gewichtsprozent NE-Metalle), deckten sich weitestgehend mit den im Labor ermittelten Anteilen. Die

zurück gewinnbaren Metalle sind also auch im grosstechnischen Massstab fast vollständig aus der Schlacke entfernt worden.

### Fazit

Die Resultate aus dem Projekt zeigen, dass der trockene Austrag von KVA-Schlacke keine gravierenden technischen Probleme mit sich bringt. Durch die in den Ofen einziehende Tertiärluft werden filterascheähnliche Feinstanteile zurück in den Ofen gesogen, die Schlacke wird gekühlt und sie brennt hervorragend aus.

Durch eine Absiebung bei 2mm wird ein Feinanteil erzeugt, der immer noch eine bessere Qualität hat, als konventionell nass ausgetragene Schlacke. Der Grobanteil >2mm hat punkto TVA-Eluaten eine noch wesentlich bessere Qualität und kann, nach Revision der TVA, möglicherweise auf einer Deponie abgelagert werden, welche keine Nachsorge erfordert („Mineralstoffdeponie“).

Die in der Schlacke enthaltenen ca. 10% Metallanteile können ohne vorgängige Zerkleinerung der Schlacke mit relativ einfachen mechanischen Aufbereitungsverfahren zurück gewonnen werden.

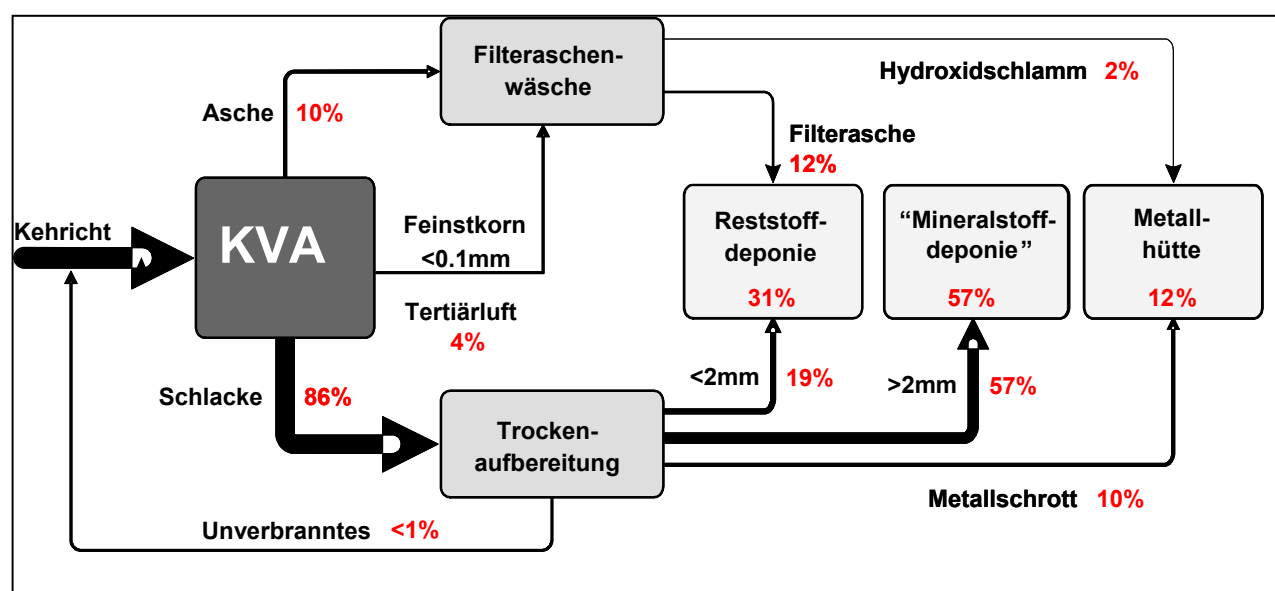


Abbildung 4-4: Massenströme einer KVA mit Trockenausstrag: Die Summe der Verbrennungsrückstände beträgt 100%.

## 5. Die betrieblichen Vorteile überwiegen

Aus Sicht des Geschäftsführers der Kehrriechtschlackeverwertung Zürcher Oberland KEZO sprechen viele Gründe dafür, die Schlacke auf der Anlage in Hinwil künftig trocken auszutragen.

Einmal ergeben sich bei der Schlacke tiefere Glühverluste. In Form der Vorwärmung der Tertiärluft kann Energie aus der Schlacke zurückgewonnen werden. Ohne das aggressive Schlackenwasser entstehen keine Korrosionsprobleme in der Austragungseinheit. Ebenso entfallen Emissionen durch Brühdämpfe beim Austrag der Schlacke.

Von Vorteil ist ferner die regelmässige Belegung der Schlackentransportanlagen aufgrund des kontinuierlichen Austrags. Die stark belastete Feinstschlacke (<100 µm) wird ohne aufwendige Separier-

und Transportanlagen abgetrennt. Dies geschieht nur mit Hilfe der Tertiärluft unmittelbar beim Austrag mit direkter Rückführung in den Ofen, bzw. Elektrofilter. Der Feinanteil der Schlacke ( $\leq 2$  mm) lässt sich mit einer einfachen Siebeinheit separieren.

Grosse, in der Austragseinheit verklemmte Teile können einfach geborgen werden, da die Bergung nicht durch das Schlackenwasser und stark klebende Nassschlacke gestört wird. Die Schlacke auf dem Transportband kann schnell und einfach qualitativ beurteilt werden. Dies ermöglicht rasches Eingreifen in der Verbrennung. Mit der Separierung der Feinschlacke ( $\leq 2$  mm) wird die Grundlage für eine fast staubfreie weitergehende Schlackenaufbereitung geschaffen. Da ein Antrocknen der Schlacke nicht nötig ist, kann die Aufbereitung kontinuierlich und in-line erfolgen. Die Wertstoffe lassen sich einfach und effizient mit hohem Wirkungsgrad ausscheiden. Der Anlagen- und Personalaufwand für eine weitergehende Schlackenaufbereitung ist wesentlich kleiner.

Die Wertstoffe liegen in der Schlacke in fast reiner Form vor, womit sich auch höhere Preise realisieren lassen. Da einerseits weniger Gewicht transportiert werden muss und die einzelnen Fraktionen andererseits direkt dem Verwerter zugeführt werden können, ergeben sich wesentliche logistische Vorteile. Und schliesslich wird die Qualität der Schlacke nachhaltig verbessert. Die vollständige Verbrennung des Kehrichts reduziert den organischen Gehalt in der Schlacke und die Ablagerung der Feinstanteile ( $<100$   $\mu\text{m}$ ) im Filter entzieht ihr zusätzlich Schadstoffe. Die Eluatwerte der Grobfraction liegen deutlich tiefer als bei der bisherigen Nassschlacke

Selbstverständlich sind mit dem neuen Verfahren auch einige Nachteile verbunden. Zum einen entsteht mehr Filterasche. Aufgrund der Versuche werden zusätzlich 30% bis 50% der bisherigen Menge erwartet. Diese Filterasche muss teurer entsorgt werden als die Schlacke, gegenwärtig zu rund Fr. 250.–/t. Damit sind die Schadstoffe aber ökologisch am richtigen Ort. Zum Zweiten ist es wichtig, das Staubproblem, welches sich durch den Trockenausstrag ergeben kann, sorgfältig zu lösen. Die Feinanteile  $\leq 2$  mm sollen pneumatisch abgesaugt und in einem speziellen Silo zur weiteren Behandlung eingelagert werden. Diese Feinfraktion weist mehr eluierbare Schwermetalle auf als die Grobfraction. Zudem ist festzuhalten, dass langjährige Erfahrungen mit dem Verfahren fehlen. Es handelt sich hier um eine Pilotanlage, für deren Betrieb noch nicht alles geklärt ist. Der zu erwartende Lernprozess wird zusätzliche Prozessoptimierungen aufzeigen, aber auch einige Kosten verursachen.

## 6. Entsorgung der Grobfraction

### 6.1 Die Inertstoffdeponie – ein zukunftsfähiges Modell

Die TVA definiert die Sicherheit von Deponien auf drei Säulen (3-Barrieren-Prinzip):

1. Deponietechnik, welche die langfristige Funktionstüchtigkeit der Abdichtungs- und Entwässerungseinrichtungen gewährleistet;
2. Standortvoraussetzungen, welche sicherstellen, dass auch bei einem Versagen der technischen Barrieren das Risiko einer Gefährdung von nutzbarem Trinkwasser im hydrogeologischen Umfeld, unter Berücksichtigung der Emissionen der Deponie, gering bleibt;
3. Begrenzung des Schadstoffpotenzials des Deponieinhaltes und Beschränkung der Schadstoff-Freisetzung (Emissionen) auf ein umweltverträgliches Mass.

Mit der Inertstoffdeponie wurde ein Deponietyp geschaffen, der den Anforderungen an ein Endlager im Sinne des Leitbildes für die Schweizerische Abfallwirtschaft von 1986 entspricht<sup>1</sup>. Das Deponiesickerwasser erfüllt hier bereits in der Betriebsphase die Einleitbedingungen an Fliessgewässer und verursacht dadurch auch praktisch keine Nachsorgesorgekosten.

Die TVA legt für Inertstoffe grundsätzlich Grenzwerte für Schwermetall-Gesamtgehalte und Eluatwerte fest. Die Eluatbestimmung erfolgt unter sauren Bedingungen (CO<sub>2</sub>-Sättigung) und simuliert damit das Langzeitverhalten.

Für Inertstoffe, deren Herkunft oder Herstellungsverfahren auf die Zusammensetzung und das Elutionsverhalten schliessen lassen, definiert die TVA vereinfachte bzw. erleichterte Vorgaben. Zu diesen Abfällen gehören *mineralische Bauabfälle* sowie weitere Abfälle gemäss den entsprechenden Empfehlungen des BAFU vom Juli 2000, welche unter bestimmten Bedingungen ohne weitere chemische Untersuchungen auf Inertstoffdeponien abgelagert werden dürfen. Auch für die Ablagerung von *verglasten Rückständen aus der Behandlung von Auto-Schredderabfällen* sind erleichterte Anforderungen betreffend den Gesamt-Schwermetallgehalten vorgesehen. Für diese, aus dem Verarbeitungsprozess klar definierbaren Rückstände, wurde vom BAFU in der entsprechenden Vernehmlassung eine Zulassung auf Inertstoffdeponien vorgeschlagen. Dies geschah unter der Voraussetzung, dass die verglasten Rückstände trotz erhöhter Schwermetallgehalte eine ausreichende Stabilität aufweisen.

Aus den oben aufgeführten TVA-Strategien wird hier abgeleitet, dass die Zulassung von weiteren Rückständen auf Inertstoffdeponien grundsätzlich abfallspezifisch definiert werden kann, soweit folgende Anforderungen erfüllt sind:

- a) Die Rückstände müssen aus klar definierten Behandlungsprozessen stammen, aufgrund derer die Eigenschaften laufend überwacht und innerhalb vorgegebener Grenzen gehalten werden können.
- b) Die Eluat-Grenzwerte für Inertstoffe müssen eingehalten werden.

Für Inertstoffe, welche die Eluat-Grenzwerte einhalten, müssten nach Meinung der Autoren dieses Berichtes die Gesamtgehalte aus gewässerschutztechnischer Sicht nicht unbedingt begrenzt werden. Die Verifizierung von Punkt a soll und muss aber der Langzeitsicherheit Rechnung tragen.

In Übereinstimmung mit den Zielen einer nachhaltigen Rohstoffnutzung in der Abfallwirtschaft ist es zudem angebracht für die Gesamtgehalte Schwellenwerte festzulegen. Sind diese überschritten, ist die Verwertung der Metalle zu verlangen. In Anbetracht der in KVA vorhandenen technischen und betrieblichen Infrastruktur wird vorgeschlagen, das Verwertungsgebot an der unteren Bandbreite der Gesamtgehalte wie sie in Erzen in der Natur vorhanden sind, festzulegen (siehe Tabelle 6-2).

---

<sup>1</sup> Endlagerfähig ist ein Reststoff (oder ein Inertstoff) dann, wenn er in einer geeigneten Hülle (nach geochemischen und geophysikalischen Kriterien ausgewählt) langfristig (über hunderte von Jahren) nur jene Stoffe an die Umweltkompartimente (Luft, Wasser, Boden) abgibt, welche diese in ihren chemischen und physikalischen Eigenschaften nicht beeinträchtigen. Ein Endlager ist also eine Deponie, deren Stoffflüsse an die Umwelt umweltverträglich sind und nicht mehr behandelt werden müssen. Endlagerfähige Stoffe sind feste Stoffe.

## 6.2 Die Qualität der Grobfraktion aus Trockenaustrag in bezug auf die Zielsetzungen der Inertstoffdeponie

Wie aus den Resultaten des Pilotversuches ersichtlich ist, kann die Grobfraktion >2 mm aus trocken ausgetragener Schlacke als Rückstand aus klar definierten kontrollierbaren Behandlungsprozessen bezeichnet werden. Die Eluat-Grenzwerte nach Test 1 (CO<sub>2</sub>-gesättigt) für Inertstoffe werden eingehalten. Eine Überschreitung wurde beim Chrom VI nach Test 2 gemessen. Erhöhte Chrom VI-Freisetzungen sind auch aus zementhaltigen Bauabfällen bekannt. Entsprechende Untersuchungen des Vereins Deutscher Zementwerke VDZ haben gezeigt, dass erhöhte Chrom-VI-Gehalte im Eluat von zementgebundenen Baustoffen nur kurzzeitig auftreten. Die Freisetzung reduziert sich mit fortschreitender Hydratation (Abbindeprozesse wie sie auch in KVA-Schlacken nach deren Ablagerung unter Wasseraufnahme ablaufen) und durch die Ausbildung einer Zementsteinmatrix.

Tabelle 6-1:

Eluatwerte Trockenaustrag >2 mm im Vergleich zu den Grenzwerten für Inertstoffe.

		TVA Inertstoffe	Trockenaustrag >2mm
Eluatwerte (Test 1)		Grenzwert	gemessen
Pb	mg/l	0.10	< 0.002
Cd	mg/l	0.01	< 0.0001
Cr gesamt	mg/l	keine Vorgabe	< 0.1
Cu	mg/l	0.20	< 0.002
Zn	mg/l	1.00	0.5
Cr VI ) <sup>2</sup>	mg/l	0.01	0.05

)<sup>2</sup> 24h Eluat Test 2

Die Einhaltung der Eluat-Grenzwerte ist bereits ein Hinweis auf die langfristige Stabilität der Grobfraktion. Ähnlich wie bei den verglasten Rückständen aus der Behandlung von Auto-Schredderabfällen wird die Langzeitstabilität bei der Grobfraktion durch die beschränkte Löslichkeit der Matrix, in der die Metalle eingebunden sind und welche die Milieubedingungen bestimmen, gewährleistet. Die Löslichkeit der Metalle in der Grobfraktion wird dabei durch folgende Faktoren kontrolliert und tief gehalten:

- Hohe Pufferkapazität (Alkalinität) der Matrix: ca. 80% der Grobfraktion bestehen aus Kalzium, Silizium, Eisen- und Aluminiumoxiden (siehe Diagramm 13 in Johnson 1993).
- Die Metalle liegen in der Matrix eingebunden zum grössten Teil in metallischer und somit in schwerlöslicher Form vor. 20% - 25% sind in Sinterschlacke eingebunden, welche glasähnliche Eigenschaften aufweist.

Als weitere Massnahme soll geprüft werden, ob es Sinn macht, Kompartimente mit aufbereiteter Schlacke mit einer 2m-Abdeckschicht aus kalkhaltigem Bodenmaterial zu versehen, um so die Pufferkapazität zu vergrössern.

Die nachstehende Tabelle vergleicht die Schwermetallgehalte von aufbereiteter Schlacke mit den Gesamtgehalten von Schwermetallen in der Erdkruste und in Erzen sowie mit den von der TVA vorgegebenen Grenzwerten für Inertstoffe bzw. mit den vorgeschlagenen Grenzwerten für verglaste Abfälle. Die aufbereitete Schlacke enthält zwar gegenüber der Erdkruste erhöhte Gehalte, gegenüber den Erzen hingegen massiv tiefere Gehalte. Eine weitere Abreicherung der Schadstoffe aus der aufbereiteten Schlacke ist daher nicht angezeigt.

Gesamtgehalte		TVA Inertstoffe	TVA verglaste Abfälle	Trockenaustrag > 2 mm	Erdkruste	
		Grenzwert	Vorschlag Grenzwert	gemessen	Mittelwert ) <sup>1</sup>	Erze ) <sup>1</sup>
Cu	mg/kg	500	3'000	2'217	32 – 58	5'000 - 20'000
Zn	mg/kg	1'000	6'000	1'280	63 – 82	40'000 - 50'000
Pb	mg/kg	500	1'000	2'519	10 – 15	20'000 - 50'000
Cd	mg/kg	10	10	1	0.15 – 0.18	5'000 – 30'000
Ni	mg/kg	500	500	137	37 – 72	10'000 – 20'000
Hg	mg/kg	2	Keine Vorgabe	< 2	0.003 – 0.02	n.b.
Cr	mg/kg	500	4'000	650	48 – 96	30'000
SiO <sub>2</sub>	%		>30%	34.11%	666 – 583	n.b.
löslich	%	0,5%		1.80%		

)<sup>1</sup> Literatur: Deponierung fester Rückstände aus der Abfallwirtschaft, Baccini, Gamper

Tabelle 6-2: Gesamtgehalte von Schwermetallen

### 6.3 Ablagerungen auf Inertstoff-Deponien im umliegenden Ausland

Die Frage stellt sich, ob eine Ablagerung der hier diskutierten Grobfraction der trocken ausgetragenen Schlacke auf Inertstoffdeponien gemäss den aktuellen EU-Richtlinien sowie denjenigen der BRD zulässig wäre.

Die Europäische Union hat in Ihrer Richtlinie über Abfalldeponien vom 26. April 1999, die als Rahmengesetzgebung zu betrachten ist und von den einzelnen Mitgliedstaaten in nationales Recht umgesetzt werden muss, verschiedene Begriffe und Deponietypen festgelegt. Demnach unterliegen „Inertabfälle“ keinen wesentlichen physikalischen, chemischen oder biologischen Veränderungen. Sie lösen sich nicht auf, brennen nicht und reagieren nicht in anderer Weise physikalisch oder chemisch. Sie bauen sich nicht biologisch ab und beeinträchtigen andere Materialien nicht in einer Weise, die zu Umweltverschmutzungen führen oder sich negativ auf die menschliche Gesundheit auswirken könnte. Auslaugbarkeit und Schadstoffgehalt der Abfälle sowie die Ökotoxizität des Sickerwassers müssen unerheblich sein. Sie dürfen insbesondere die Qualität von Oberflächen- und Grundwasser nicht gefährden (nach Artikel 2).

		TVA Inertstoffe	EU-Richtlinie Inertstoffe	AV BRD Deponieklasse 1	Trockenaustrag > 2mm
Eluatwerte (Test 1)		Grenzwert <sup>1)</sup>	Grenzwert <sup>2)</sup>	Grenzwert <sup>3)</sup>	gemessen <sup>1)</sup>
Pb	mg/l	0.10	0.05	0.2	< 0.002
Cd	mg/l	0.01	0.004	0.05	< 0.0001
Cr gesamt	mg/l	Keine Vorgabe	0.05	0.3	< 0.1
Cu	mg/l	0.20	0.2	1	< 0.002
Zn	mg/l	1.00	0.4	2	0.5
Cr VI <sup>3)</sup>	mg/l	0.01	Keine Vorgabe	0.05	0.05

Legende: 1) Eluat ca. bei pH 4.0

2) Eluat ca. bei pH 6.8-8.2

3) 24h Eluat Test 2 (pH neutral)

Tabelle 6-3: Eluat-Grenzwerte Schweiz, EU und BRD im Vergleich; gemessene Werte für Trockenaustrag, Fraktion >2 mm.

Die EU definiert Eluat-Grenzwerte für die „Inertabfälle“, nicht aber Schwermetall-Gesamtgehalte. Den Mitgliedstaaten und deren Bewilligungsbehörden wird in vorgegebenen Grenzen überlassen, einerseits die Anforderungen an die Eluat-Bestimmungen zu definieren und andererseits die Grenzwerte auf Basis der EU-Richtwerte festzulegen. Dies soll unter Abwägung der Abfallzusammensetzung und dem Sicherheitsstandard der Deponie erfolgen. Die EU- und die BRD-Richtlinien gehen in ihren Grenzwerten von Eluatwerten aus, welche grundsätzlich unter neutralen Bedingungen bestimmt werden. Im Rahmen der „grundlegenden Charakterisierung“ eines Abfalls kann auch eine Auslaugung unter sauren oder gegebenenfalls basischen Verhältnissen durchgeführt werden, wobei die Bedingungen nicht näher definiert sind. Die EU-Richtlinie lässt bei den Annahmekriterien bis 3-fach höhere Werte als in Tabelle 6-3 dargestellt zu, wenn:

- der Sicherheitsstandard der Deponie dies zulässt (Kompetenz der Bewilligungsbehörde)
- die Emissionen keine zusätzliche Gefahr für die Umwelt darstellen (Risikobewertung)

Für die am Trockenaustrag >2 mm unter sauren Bedingungen bestimmten Eluatwerte bedeutet dies, dass die Richtwerte der EU-Richtlinie selbst dann eingehalten werden können, wenn das Sickerwasser einer Inertstoffdeponie extrem versauern würde. Das Eluat eines Inertstoffes mit erhöhten Schwermetallgehalten unter Worst-Case-Bedingungen zu bestimmen würde demnach durchaus dem Vollzugsgedanken der EU-Richtlinie entsprechen. Die EU-Richtlinie entbehrt auch nicht einer gewissen Logik, wenn in einem solchen Falle nicht noch zusätzlich die Gesamtgehalte begrenzt werden. Sinnvoll wäre letzteres jedoch nach wie vor im Sinne eines Verwertungsgebotes wie für die Rückstände der Galvanik bekannt und hier in Abschnitt 6.2 auch für die KVA-Rückstände postuliert.

In Anbetracht der Zusammensetzung der trocken ausgetragenen Schlacke aus KVA ist es auch unter der EU-Richtlinie angebracht, Eluat-Bestimmungen unter sauren Bedingungen gemäss TVA-Test 1 durchzuführen. Unter Berücksichtigung des Sicherheitsstandards von TVA-konformen Inertstoffdeponien können die Grenzwerte der EU-Richtlinie um bis zu Faktor 3 erhöht werden. Gemäss diesen Vorgaben erfüllen die trocken ausgetragenen Schlacken >2 mm die Annahmekriterien der Inertstoffdeponien in der EU.

#### **6.4 Versuchsdeponie**

Aufgrund der Inhomogenität des Abfalls und damit auch der Schlacke kann der endgültige Verfahrensbeweis nur mit einem Versuchs-Kompartiment für Trockenschlacke auf einer Deponie geführt werden. Aus diesem Grunde wird die KEZO, sobald Trockenschlacke in genügender Menge und Qualität produziert wird, auf der Deponie entsprechende Versuchs-Kompartimente einrichten. Mit einem intensiven Monitoring wird man neben den Sickerwasseranalysen auch die Dehnung sowie die Temperatur im Deponiekörper aufnehmen und auswerten. Mit diesen Analysen werden dann gesicherte Grundlagen für die Erneuerung der TVA geschaffen.

### **7. Wirtschaftliche Betrachtungen auf Stufe KVA**

Die KEZO-Betreiber erwarten, dass die Einsparungen bei der Entsorgung der anfallenden Schlacke und dem allgemeinen Unterhalt sowie die Erträge aus dem Verkauf der Metalle den Mehraufwand verursacht durch höhere Entsorgungskosten beim Filterstaub und den Kapitalkosten für die Umrüstung kompensieren. Damit wird das Verfahren des Trockenaustrages zur wirtschaftlich interessantesten Alternative für eine nachhaltige Verbesserung der Trockenschlacke.

## 8. Metallrückgewinnung aus der Elektrofilterasche

Mit dem Trockenaustrag werden durch die neue Luftführung in einem vermehrten Ausmasse Feinstanteile in die Filterasche geführt. Dies hat zur Folge, dass der Filteraschenanteil um ca. 30 % - 50% zunimmt. Die Schwermetall-Konzentrationen der Filterasche bewegen sich, insbesondere für Zink, im Bereich der Erzlagerstätten. Wird das Ressourcendenken konsequent zur Anwendung gebracht, ist auch diese Ressource im Zeitpunkt der besten Zugänglichkeit zu nutzen. Denn sind die Filterstäube einmal konditioniert in einer Untertage-Deponie abgelagert, so muss für die Rückgewinnung der Metalle wieder unverhältnismässig viel Energie aufgewendet werden.

## 9. Schlussfolgerungen

Der Trockenaustrag von Schlacke bringt zum einen eine effiziente Wertstofftrennung unter erleichterten Prozessbedingungen und durch die vollständigere Verbrennung des Brennguts eine Verbesserung der Schlackequalität. Aufgrund der geringen Eluatwerte in den durchgeführten Versuchen sollen die Rückstände zukünftig auch auf einer adäquaten Deponie abgelagert werden. Das AWEL wird in einer Studie bis Ende 2007 mit verschiedenen Ansätzen das Langzeitverhalten der trocken ausgetragenen Grobschlacke simulieren. Im weiteren sollen bis zu einer definitiven Regelung in der Schweiz die entsprechenden Verbrennungsrückstände aus der KEZO auf einer Versuchsdeponie abgelagert werden, die dann in der Folge entsprechend klassiert werden kann.

Der Quervergleich mit den von der Europäischen Union erlassenen Deponierichtlinien und den in Deutschland im Jahre 2007 in Kraft tretenden Deponiebestimmungen zeigt auf, dass die Grobfraction der trocken ausgetragenen Kehrichtschlacke auf einer Inertstoffdeponie abgelagert werden könnte.

Mit einer Ergänzung von Anhang 1 der TVA, könnte die Ablagerung auf der Inertstoffdeponie rechtlich abgestützt werden.

- Die **Ziffer 1** müsste um einen Absatz c, „aufbereitete Schlacke nach Ziffer 14“ erweitert werden.

Einzuführen wäre neu eine **Ziffer 14** „aufbereitete Schlacke“ mit dem folgenden Inhalt:

Auf Inertstoffdeponien darf trocken ausgetragene, aufbereitete Schlacke abgelagert werden, wenn folgende Anforderungen erfüllt sind:

- a) die Anforderungen gemäss TVA Anh. 1 Ziff. 11 Abs. c und d sind eingehalten;
- b) Metalle (Eisen- und Nichteisenmetalle) werden soweit technisch möglich und betrieblich machbar entfernt (beste verfügbare Technologie);
- c) Es resultiert ein hoher Ausbrand mit max. 1,5 % unverbrannten Anteilen.

Die Qualität der aufbereiteten Schlacke könnte mit einem spezifischen Überwachungsprogramm so sichergestellt werden, dass von einem Produkt im eigentlichen Sinne gesprochen werden kann. Des- sen Qualität kann in der Folge auch überwacht und sichergestellt werden. Eventuell kann hierbei das Instrument der Stoffbuchhaltung wertvolle Dienste leisten. Der grosstechnische Trockenaustrag in der KEZO ist ab dem 1.1.2008 operativ. Um dem Trockenaustrag zum Durchbruch zu verhelfen, ist daher der Entscheid hinsichtlich vereinfachter Anforderungen an die Deponierung trocken ausgetragener Schlacke eminent wichtig. Im Hinblick auf die weitere Verbreitung dieses Verfahrens und damit einer deutlichen Verbesserung der Schlackequalität sollte dieser Entscheid baldmöglichst gefällt werden.

## 10. Anhang

### Literatur

Eidg. Kommission für Abfallwirtschaft, 1986:

Leitbild für die Schweizerische Abfallwirtschaft, Bundesamt für Umweltschutz (Hrsg.); Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 51; Bern, Juni 1986; 41 Seiten

Fierz R., Bunge R., 2006:

Trockenaustrag von KVA-Schlacke - Phase 2: Pilotversuch zum Trockenaustrag und Schlackenaufbereitung im technischen Massstab. Phase 3: Erweiterte Untersuchungen zum Elutionsverhalten von trocken ausgetragener Schlacke. Rapperswil, Dezember 2006;102 Seiten,

Hanser C., Kuster J., Gessler R., Ehrler M.. 2006:

Nachhaltige Rohstoffnutzung und Abfallentsorgung. Grundlagen für die Gestaltung der zukünftigen Politik des Bundes. Umweltwissen 0612. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern, 94 Seiten.

Hügi M., Kettler r., 2004:

Abfallstatistik 2002, mit Daten der KVA-Planung 2003. Umweltmaterialien Nr. 186. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern. 104 Seiten.

Johnson, A., 1993:

„Chemische Eigenschaften und Langzeitverhalten der Müllschlacke“, aus „Deponierung fester Abfälle aus der Abfallwirtschaft“, Tagung in der Kartause Ittingen

Liechti, J., 2000:

Erfolge und künftige Praxis bei der Entsorgung von Galvanikabfällen;

BUWAL, 2004:

Abfallstatistik 2002

BUWAL, Juli 2000:

Abfälle auf Inertstoffdeponien

### Rechtsgrundlagen EU und BRD

- Richtlinie 1993/31/EG des Rates vom 26.04.1999 über Abfalldeponien
- Entscheidungen des Rates vom 19.12.2002 über die Festlegung von Kriterien über die Annahme von Abfällen auf Abfalldeponien gemäss Artikel 16 und Anhang 2 der Richtlinie 1999/31/EG
- Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen vom 20.02.2001 (BRD: BGBl 2001 305)
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, WA II 5, Kabinettsbeschluss vom 13.09.2006, Entwurf einer Verordnung für die Umsetzung der Ratsentscheidung vom 19.02.02 zur Festlegung von Kriterien und Verfahren für die Annahme von Abfällen auf Abfalldeponien.