

Schweizerische Technische Verordnung über Abfälle (TVA)

– Verwertungsbedingungen für Rückstände aus Metallindustrie, Abfallverwertungsanlagen und Kraftwerken –

Hans-Peter Fahrni

1.	Verwertung von Rückständen aus der Metallurgie	30
1.1.	Metallurgische Industrie in der Schweiz.....	30
1.2.	Filterstäube aus Stahlwerken	31
1.3.	Elektroofenschlacke	31
1.4.	Ausblick auf die mit der Totalrevision der TVA zu erwartenden Regelungen für Rückstände aus der Metallindustrie ...	32
2.	Rückstände der Abfallverbrennung.....	33
2.1.	Ausgangslage.....	33
2.2.	KVA-Schlacke, heutige Regelung.....	33
2.3.	KVA-Schlacke, laufende Entwicklung.....	34
2.3.	Filterstäube.....	36
2.4.	Zukünftige Regelungen für die Entsorgung von Rückständen aus der Abfallverbrennung	38
2.5.	Rückstände der Klärschlammverbrennung.....	39
2.6.	Zukünftige Regelungen zur Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm	40
3.	Rückstände von Kraftwerken	40
3.1.	Ausgangslage und heutige Regelungen	40
3.2.	Rückstände von Kraftwerken, Ausblick auf zukünftige Regelungen	41
4.	Literatur	41

Die rechtlichen Grundlagen zur Abfallbehandlung und zur Verwertung von Rückständen aus Metallurgie und Abfallverbrennung in der Schweiz befinden sich zurzeit im Umbruch. Die Technische Verordnung über Abfälle [1], die mit ihren Anforderungen die technischen Aspekte der Abfallbehandlung regelt, steht vor einer Totalrevision. Zwar wurden in den rund 23 Jahren seit dem Inkrafttreten die Regelungen mit einem

Duzend punktueller Änderungen dem technische Fortschritt angepasst. Doch drängt sich aufgrund der geänderten Rahmenbedingungen und aufgrund von erweiterten Zielsetzungen – etwa bei der Ressourcenverwertung – eine vollständige Überarbeitung, d.h. eine Totalrevision auf. Diese Revision wird zurzeit im Bundesamt für Umwelt vorbereitet. Ziel ist es, die neuen Regelungen im Laufe des Jahres 2014 einem breiten Anhörungsverfahren zu unterziehen. Anschließend wird der schweizerische Bundesrat – voraussichtlich im Jahr 2015 – die revidierte Verordnung verabschieden.

Im Folgenden wird jeweils das geltende Recht und die – in der Praxis häufig ebenso wichtige Vollzugspraxis – angesprochen. Dank der mittlerweile weit gediehenen Vorarbeiten zur Totalrevision können auch die sich abzeichnenden neuen Regelungen skizziert werden. Beim heutigen Stand der Revision sind aber die Informationen zu zukünftigen Regelungen als Hinweise zur zukünftigen Entwicklung und nicht etwa als rechtlich verbindliche Aussagen zu werten.

1. Verwertung von Rückständen aus der Metallurgie

1.1. Metallurgische Industrie in der Schweiz

Die rechtlichen Anforderungen bei der Abfallentsorgung richten sich naturgemäß nach den zu regelnden Sachverhalten. Da in der Schweiz eine Gesetzgebung auf Vorrat kaum auf Verständnis stößt, erstaunt es nicht, wenn sich Strategien, Gesetze und Verordnungen auf die tatsächlich zur Entsorgung anfallenden Rückstände ausrichten. Zwar fallen bei der Verhüttung von Erzen und der Weiterbearbeitung der metallischen Rohstoffe die unterschiedlichsten Abfälle in beträchtlichen Mengen an. Angesichts der kleinen Bedeutung der Rohstoffindustrie in der Schweiz gibt es aber nur wenig Abfallarten aus diesem Bereich, für die eine spezifische Regelung Sinn macht.

Die Schweiz verfügt, von Kalk- und Hartgesteinen abgesehen, kaum über große Bodenschätze. Erze werden seit Mitte des letzten Jahrhunderts nicht mehr abgebaut. In der Schweiz stehen denn auch weder ein Hochofen noch eine Anlage zur Verhütung von Buntmetallen in Betrieb. Die Anlagen zur Produktion von Primäraluminium sind seit längeren stillgelegt.

Als Quelle von Rückständen der Metallindustrie sind primär die die beiden Elektrostahlöfen in Gerlafingen und Emmenbrücke zu nennen. Im Stahlwerk Gerlafingen werden pro Jahr rund 720'000 Baustahl, d.h. Bewehrungs- und Profilstahl hergestellt. Dazu wird in einem Elektrostahlöfen praktisch ausschließlich Eisenschrott eingesetzt.

Das Stahlwerk Emmenbrücke stellt eine ganze Palette von Qualitäts-, Edel- und Automatenstählen für die europäische Automobil-, Maschinen- und Apparateindustrie her. Die Kapazität liegt im Bereich von rund 600.000 Tonnen. Als Ausgangsprodukt werden je nach Stahlsorte die entsprechenden Schrotte eingesetzt und nach Bedarf Legierungsbestandteile zugefügt.

In beiden Stahlwerken fallen im Wesentlichen zwei typische Rückstände an: metallhaltige Filterstäube und die sogenannte Elektroofenschlacke, eine Art eisenhaltiges Schmelzgestein.

1.2. Filterstäube aus Stahlwerken

Die Filterstäube aus Stahlwerken gelten in der Schweiz als Sonderabfall, das bedeutet, dass sie dem Kontrollverfahren der Verordnung über den Verkehr mit Abfällen VeVA [2] unterliegen. Die Regelungen dieser Verordnung sind in weiten Teilen analog zur Richtlinie der Europäischen Union über den Verkehr mit Abfällen [3]. Die Abfälle dürfen nur mit Begleitschein transportiert werden. Sie dürfen nur an Empfänger abgegeben werden, die über eine entsprechende Bewilligung verfügen. Der Export ist nur erlaubt, wenn die Entsorgung umweltverträglich ist und dem Stand der Technik entspricht; zudem ist eine Notifizierung bzw. eine Zustimmung der Transitstaaten und des Empfängerstaates erforderlich.

Die direkte Deponierung der Stahlwerkfilterstäube ist in der Schweiz nicht erlaubt. Die Abfälle erfüllen mit ihrem hohen Gehalt an Zink die Vorschriften für die Ablagerungen auf Inertstoffdeponie nicht. Entsprechend den Anforderungen in Abs. der TVA dürfen Inertstoffe maximal 1.000 mg Zink pro kg Trockensubstanz enthalten.

Für eine Ablagerung auf einer Reststoffdeponie müssen in einem Eluattest unter anderem Zink-Gehalte im Eluat von weniger 10 mg/Liter erfüllt sein. Der Eluattest wird in Wasser durchgeführt, das kontinuierlich von Kohlendioxid durchströmt wird. Dadurch werden die in einer Deponie im *worst case* zu erwartenden Bedingungen simuliert. Zudem ergibt sich durch diesen Eluattest ein gewisser Zeitraffereffekt. Unbehandelte Filterstäube aus Stahlwerken erfüllen die Bedingungen für eine Ablagerung auf einer Reststoffdeponie nicht. Falls eine Deponierung beabsichtigt würde, müssten Filterstäube aus Stahlwerken vorher behandelt – z.B. verfestigt – werden. Die Kosten einer solchen Behandlung zusammen mit den Deponiekosten liegen aber deutlich höher, als die Kosten, die sich aus der Verwertung ergeben. In der Praxis bedeutet dies, dass die Stäube aus Stahlwerken der Verwertung zugeführt werden.

Stahlwerkstäube enthalten bis zu dreißig Prozent Zink als Zinkoxid und zudem Bleioxide. Die Verwertung in geeigneten Anlagen stellt deshalb zweifellos die Methode der Wahl zur Entsorgung dar. Allerdings fehlen in der Schweiz dazu die technischen Anlagen. Die anfallenden Mengen an Filterstäuben aus Stahlwerken genügen bei Weitem nicht für den Aufbau und rentablen Betrieb eines eigenen Wälzwerkes. Im Jahr 2011 wurden deshalb knapp 20.000 Tonnen Stahlwerkstäube unter dem Abfallschlüssel 100207 ausgeführt. Ziel der schweizerischen Exporte sind Wälzwerke im EU-Raum, in denen Zink und Blei zurückgewonnen werden.

1.3. Elektroofenschlacke

Elektroofenschlacke EOS ist ein industrielles Nebenprodukt, das bei der Stahlherstellung im Schmelzofen (Elektrolichtbogenofen) entsteht. Hauptbestandteile sind Calciumoxid, Siliziumoxid und Eisenoxide. Wegen des hohen Anteils an Calciumoxid wird Wasser in Kontakt mit EOS stark basisch. Als Verunreinigungen kommen Vanadium, Wolfram, Molybdän, Chrom und evtl. Fluoride vor. EOS weist viele Eigenschaften eines Schmelzgesteins auf und eignet sich aufgrund seiner physikalischen Eigenschaften grundsätzlich für den Einsatz zu Bauzwecken. Wegen dem hohen pH-Wert, der sich

in durchsickerndem Wasser einstellt und wegen dem Verunreinigungspotential durch die erwähnten Schwermetalle ist der Einsatz von EOS in der Schweiz nur unter einschränkenden Bedingungen erlaubt. Diese Bedingungen haben die Kantone Solothurn und Luzern, in denen sich die beiden erwähnten Stahlwerke befinden, zusammen mit dem benachbarten Kanton Bern ausgearbeitet und publiziert [4, 5].

Beim Einsatz von EOS sind die folgenden Bedingungen zu erfüllen:

- In loser Form darf EOS nur unter einer dichten, d.h. bindemittelgebundenen Deckschicht (z.B. Betonplatte, Asphaltbelag, Gebäude) eingebaut werden. Die Deckschicht muss innerhalb von drei Monaten eingebracht werden.
- Der Einsatz ohne Deckschicht darf nur in hydraulisch oder bituminös gebundener Form erfolgen.
- Die Schichtstärke für jede Einsatzmöglichkeit darf maximal zwei Meter betragen. Zum höchsten Grundwasserspiegel ist ein Abstand von mindestens zwei Metern einzuhalten.
- Kein Einsatz in Grundwasserschutzzonen und –arealen und kein Kontakt mit Oberflächen-, Hang-, Quell- oder Grundwasser.
- Keine Verwendung als Sicker- oder Drainagematerial oder als Auffüll- oder Hinterfüllmaterial in Baugruben.
- Wird EOS als Koffermaterial im Straßenbau eingesetzt, ist darauf zu achten, dass das Straßenabwasser bei einer Versickerung nicht mit der EOS in Kontakt kommt.

EOS-Schlacke weist Inertstoffqualität auf, wird die EOS nicht unter den gestellten Anforderungen verwertet, muss sie auf einer Inertstoffdeponie abgelagert werden. Aushubmaterial, das mit EOS vermischt ist, muss ebenfalls auf einer solchen Deponie entsorgt werden.

Der Import von EOS als Zumahlstoff zur Zementherstellung ist grundsätzlich möglich, allerdings müssen dazu die entsprechenden Richtwerte für EOS in der Vollzugshilfe *Kohleflugasche und Hochofenschlacke* des BAFU eingehalten sein [6], vgl. auch Tabelle 2.

1.4. Ausblick auf die mit der Totalrevision der TVA zu erwartenden Regelungen für Rückstände aus der Metallindustrie

Die Gesetzgebung auf Bundesebenen enthält für Stahlwerkstäube die notwendigen Vorschriften, um eine kontrollierte Entsorgung und eine Verwertung nach dem Stand der Technik durchzusetzen. In diesem Bereich sind deshalb von der Totalrevision kaum Änderungen zu erwarten. Etwas anders sieht die Situation bei der Elektroofenschlacke aus: hier regeln nur kantonale Merkblätter den Einsatz von EOS als Baustoff. Es ist deshalb vorgesehen, mit der Totalrevision der TVA die bisher auf kantonaler Ebene bestehenden Regelungen in Bundesrecht zu überzuführen. Auch die bisher in der Zementrichtlinie und verschiedenen zugehörigen Vollzugshilfen enthaltenen Anforderungen werden im Rahmen der TVA-Totalrevision wohl zumindest teilweise in Verordnungsrecht überführt.

2. Rückstände der Abfallverbrennung

2.1. Ausgangslage

Nicht verwertbare, brennbare Abfälle müssen in der Schweiz seit dem 1. Januar 2000 verbrannt werden. Rund 3,5 Millionen Tonnen Abfälle aus Haushalten und Gewerbe sowie dazu geeignete Abfälle aus der Industrie werden jährlich in den 30 Kehrrichtverbrennungsanlagen KVA (Abfallverbrennungsanlagen) verbrannt. Bei der Verbrennung fallen rund 22 Prozent oder jährlich 770.000 Tonnen Kehrrichtschlacke und etwa zwei Prozent oder gegen 70.000 Tonnen Filterstäube an. Sämtliche Anlagen nutzen die Verbrennungsenergie zur Produktion von elektrischem Strom und/oder Fernwärme. Dank der technischen Fortschritte in der Abgasreinigung halten die KVA nicht nur die Grenzwerte der schweizerischen Luftreinhaltevorschriften ein, sondern weisen meist um Faktoren tiefere Emissionen auf.

2.2. KVA-Schlacke, heutige Regelung

Bei der Entsorgung von Kehrrichtschlacke (MVA-Schlacke) ist ein großer Unterschied zwischen den geltenden Regelungen der TVA und der tatsächliche Praxis festzustellen: Dies, weil die rechtlich noch offenstehende Möglichkeit zur Verwertung als Baustoff, z.B. im Straßenbau, seit längerem nicht mehr genutzt wird. Die Kehrrichtschlacke wird heute – nach einer mehr oder weniger weit getriebenen Metallrückgewinnung – deponiert. Dabei erfolgt die Ablagerung auf eigens dafür bestimmten Kompartimenten auf Deponien mit Abdichtung und Sickerwasserfassung. Die rechtlichen Voraussetzungen für eine Ablagerung finden sich in Anhang 1, Ziff. 32 der Technischen Verordnung über Abfälle:

Schlacke aus Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle darf abgelagert werden, sofern in der Schlacke enthaltene partikuläre Nicht-Eisenmetalle nach dem Stand der Technik vorgängig zurückgewonnen wurden, mindestens aber soweit, dass ihr Anteil in der Schlacke 1,5 Gewichtsprozent nicht überschreitet. Für die Bestimmung des Gehalts an partikulären Nicht-Eisenmetallen wird die Schlacke auf eine Korngröße von 2 mm gemahlen;

Die TVA erlaubt in Art. 13 eigentlich noch die Verwertung von Kehrrichtschlacke beim Bau von Straßen, Plätzen und Dämmen. Allerdings wird dieser Entsorgungsweg kaum genutzt. Für die Verwendung zu Bezwecken muss die Schlacke von Metallschrott befreit sein und darf höchsten drei Prozent unverbrannte Anteile aufweisen; zudem ist die Schlacke vor dem Einbau während mindestens einem Monats feucht zu lagern. Beim Einbau zu Bezwecken gelten diverse Einschränkungen zum Schutz des Grundwassers und der Bodenfruchtbarkeit. So darf Schlacke gemäß TVA:

nur außerhalb von Grundwasserschutzzonen und Grundwasserschutzarealen verwertet werden. Wird die Schlacke beim Bau von Straßen und Plätzen verwertet, so: müssen diese mit einer Deckschicht versehen sein, welche die Durchsickerung von Niederschlagswasser möglichst gering hält; Zudem darf die Schichtdicke der Schlacke höchstens 50 cm betragen;

Zum höchstmöglichen Grundwasserstand muss im Gewässerschutzbereich A ein Sicherheitsabstand von mindestens 3 m, im Gewässerschutzbereich B von mindestens 2 m eingehalten werden.

Wird die Schlacke beim Bau von Dämmen verwertet, so ist die Durchsickerung von Niederschlagswasser so gering wie möglich zu halten und die Dämme sind gegen den Untergrund abzudichten; das Abwasser ist zu sammeln und abzuleiten.

Die zuständige kantonale Behörde kann zudem weitere Einschränkungen verfügen.

Die Abkehr von der Verwertung von KVA-Schlacken zu Bauzwecken begann schon anfangs der neunziger Jahre. Die damals insbesondere an der EAWAG erfolgten Untersuchungen zu Zusammensetzung und Verhalten von KVA-Schlacke zeigten den heterogenen Charakter des Materials und wiesen Schwermetallgehalte nach, die weit über denjenigen typischer Gesteine und Baumaterialien lagen. Dazu kamen etwa im Straßenbau immer wieder bautechnischen Probleme als Folge des Einbaus von KVA-Schlacke. Das endgültige Aus für den Einbau von KVA-Schlacke brachte aber die Erkenntnis, dass man sich mit der Verwendung von Schlacke sowohl als Lieferant wie auch als Bauherr oder Eigentümer einer Parzelle letztlich ein langfristiges Problem einhandelt. In zahlreichen Fällen wurde über die Verteilung der Sanierungskosten gestritten, die sich bei der Erneuerung von Straßen oder bei der Bebauung von früher mit einer Schlackenfundation versehenen Plätzen ergaben. Die problemlose Verfügbarkeit von neuem Kies und von Recyclingkies, sowie von Betonabbruch in geprüfter Qualität macht den Einsatz der heutigen KVA-Schlacke noch unattraktiver.

Der vereinzelt erwogene Export von KVA-Schlacke zur ausländischen Entsorgung, sei dies nun ein Einsatz zu Bauzwecken oder eine Deponierung, widerspricht dem Prinzip zur Entsorgung der Massenabfälle im eigenen Land, wie es die Schweiz seit Jahrzehnten verfolgt. Siedlungsabfälle, Klärschlamm aber auch Kehrrichtschlacke sollen demnach im Inland entsorgt werden. Ausnahmen sind etwa im Rahmen der grenznahen Zusammenarbeit oder bei Engpässen möglich. Die heutigen Kapazitäten reichen jedoch aus, um die gewünschte Entsorgungs-Autonomie bei diesen Abfällen zu garantieren.

2.3. KVA-Schlacke, laufende Entwicklung

Die Regelungen der TVA zur Entsorgung der Schlacke verlangen zwar eine Rückgewinnung von Eisenschrott und von Nicht-Eisenmetallen nach dem Stand der Technik. Diese Regelungen bedürfen aber angesichts der rasch laufenden technischen Entwicklung zumindest einer Interpretation. In kaum einem Bereich der Abfallwirtschaft ist in den letzten Jahren eine so dynamische Entwicklung zu verzeichnen, wie bei der der Rückgewinnung von Metallen aus KVA-Schlacke. Seit 2005 laufen an der KVA KEZO im Zürcher Oberland Versuche zum Trockenaustrag von Schlacke. 2009 wurde eine Ofenlinie auf Trockenaustrag umgebaut. 2010 die Stiftung nachhaltige Abfall- und Ressourcennutzung (ZAR) gegründet. Dank der großzügigen Unterstützung der Stifter und dank der Bereitschaft des Kehrrichtverbandes zum Umbau der Anlage konnten mittlerweile eine Fülle von praktischen Ergebnissen gewonnen werden. Die bereits realisierte Feinschlacken-Aufbereitung für die Fraktion 1.0–5.0 mm arbeitet sehr effizient.

Damit lassen sich heute über neunzig Prozent der NE-Metalle in der Feinschlacke abtrennen. Um die Rückgewinnung von verschiedenen NE-Metallen, insbesondere auch von Edelmetallen zu erhöhen, wurde die bestehende Aufbereitungsanlage mit einer Aufbereitung für Feinstschlacke, d.h. für die Fraktion 0,2 bis 1,0 mm, erweitert.

Eisen wird mit einem Magnetabscheider abgetrennt. Aus dem verbleibenden Rückstand werden die Nichteisenmetalle mit einer Wirbelstromtrennung zurückgewonnen. Die Nichteisenmetalle werden mit Trenntischen weiter in eine Fraktion *leicht*, d.h. vor allem Aluminium, und eine Fraktion *schwer*, vor allem aus Kupfer bestehend, getrennt. So wurden 2011 aus den rund 40.000 Tonnen Schlacke, die jährlich in der KVA Hinwil anfallen, neben rund zehn Prozent Eisenschrott auch rund 900 Tonnen hochwertige Nichteisenmetallschrotte zurückgewonnen [7]. In der Presse fand die Tatsache besondere Aufmerksamkeit, dass sich in der schweren Fraktion neben rund sechzig Prozent metallischem Kupfer auch rund 150 g Gold pro Tonne finden. Dieses Gold stammt wohl weniger aus den verbrannten Haushaltsabfällen sondern aus nichtmetallischen Rückständen aus der Verwertung von Elektro- und Elektronikgeräten sowie aus nichtmetallischen Schredder-Abfällen.

Im Laufe der letzten Jahre wurde die Anlage immer wieder optimiert. Es zeigte sich rasch, dass eine größere Anlage wesentlich tiefere Behandlungskosten oder, dank der hohen Schrottpreise, mehr Gewinn verspricht. Mit dem Zürcher Abfallverband wird die KEZO in Hinwil eine Recyclinganlage bauen, dass die Schlacke aller Zürcher KVA auftrennen wird.

Im Hinblick auf eine zukünftige Regelung der Schlackenverwertung ist interessant, dass die Erlöse der zurückgewonnen Metalle die Mehrkosten der besseren Schlackenverwertung größtenteils decken. Weil die Metalle bei einem Trockenaustrag viel bessere Qualität aufweisen, ist auch der zu erzielende Erlös gerade bei den Nichteisenmetallen höher.

	Erlös für Metalle aus Aufbereitung feuchter Schlacke	Erlös für Metalle bei Trockenaustrag
	CHF/t	
Eisen	60	200
Nichteisen-schrott	1.370	2.370

Tabelle 1:

Erlös für Schrott aus KVA

Quelle: Straubhaar, H.: Konzept für eine erweiterte Aufbereitung der Schlacke aus der KVA Thun, Projektarbeit, Hochschule für Technik Rapperswil, 2013

Beim Trockenaustrag ergibt sich die Möglichkeit, auch kleinteiliges Aluminium ab 0,2 mm Größe aus der Schlacke abzutrennen und der Verwertung zuzuführen. Diese Aluminiumkügelchen entstehen bei der Verbrennung aus dünnen Aluminiumfolien. Die Oberfläche der Kügelchen ist zwar oxidiert, sie bestehen aber vorwiegend aus metallischem Aluminium, so dass sich die Fraktion in üblichen Schmelzprozessen einsetzen lässt.

Zwar muss eine Aufbereitungsanlage für trocken ausgetragene Kehrichtschlacke verschiedene Maßnahmen zur Kontrolle der Staubbelastung aufweisen, so sind etwa

geschlossene Fördereinrichtungen, Absaugen von Staub oder Anfeuchten beim Umladen sortierter Rückstände notwendig. Die Qualität der metallischen Rückstände ist beim Trockenausstrag aber deutlich besser. Kleine Teile verkleben nicht, auch relativ feinteiliges Aluminium oxidiert kaum. Kupfer und Messing kommen, mit fast blanker Oberfläche wieder zu Vorschein. Wie weit sich die Abtrennung feinerer Metallteilchen auch nach einem Nassausstrag realisieren lässt, ist zurzeit noch offen. Eine Voraussetzung dafür wäre aber sicher eine umgehende Behandlung der feuchten Schlacke, damit die Metalle abgetrennt werden können, bevor sie korrodieren und verkleben.

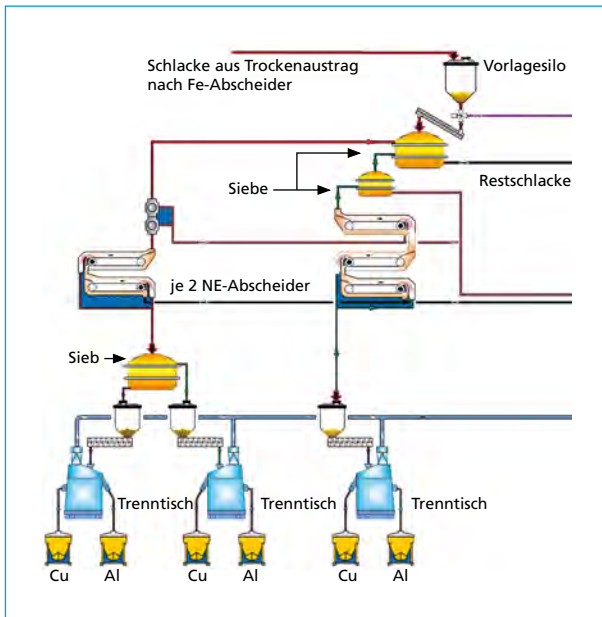


Bild 1:

Prozessschema der Schlackenfeintrennung in der KVA KEZO in Hinwil

Quelle: Zentrum für nachhaltige Abfall- und Ressourcennutzung, ZAR, Geschäftsbericht 2012; Hinwil 2013, PDF-File unter www.zar.ch abrufbar

Der nach der Metallabtrennung zurückbleibende mineralische Rest wird sich gegenüber der heute produzierten Schlacke weiter verbessern. Trotzdem muss diese Fraktion noch deponiert werden. Es wurden diverse externe Versuche durchgeführt, um die Einbaubarkeit von Trockenschlacke zu beurteilen. Die Ergebnisse liegen zwar noch nicht vollständig vor. Schon jetzt lässt sich aber sagen, dass z.B. der Kupfergehalt im Sickerwasser einer Deponie von Trockenschlacke, die nach dem Stand der Technik behandelt wurde, gegenüber einer Deponie von Nassschlacke um Faktoren tiefer liegt. Auch die nicht immer ganz unproblematischen Emissionen von Wasserstoff liegen bei einer Deponie von Trockenschlacke deutlich tiefer. Dies erstaunt nicht, fällt doch mit der Abtrennung des kleinteiligen Aluminiums auch die Hauptursache der Wasserstoffbildung dahin.

2.3. Filterstäube

In den Schweizer Abfallverbrennungsanlagen fallen jährlich rund 70.000 t Elektrofilterasche an. Die Asche enthält u.a. Zink, Blei und Cadmiumverbindung in hoher

Konzentration. Zudem finden sich auch lösliche Salze, Russ, polyzyklische, aromatische Kohlenwasserstoffe und Spuren chlorierter Verbindungen wie Dioxine. Die Elektrofilterasche aus KVA (EFA) ist als Sonderfall (Abfallschlüssel 190113) klassiert.

Für die Entsorgung stehen heute die folgenden Wege offen:

1. Export in untertägige Deponien, wobei die Schweiz darauf achtet, dass die zur Ablagerung genutzten Salzstöcke die strengen Anforderungen des Abfallrechts erfüllen.
2. Behandlung und Verfestigung der EFA zu einem Rückstand, der die relativ strengen Anforderungen der TVA an abzulagernde Reststoffe einhält. Das so behandelte Material kann auf Reststoffdeponien abgelagert werden.
3. Bei der sauren Wäsche der EFA kommt die in den Abgaswäschern der KVA anfallende stark saure Lösung nach Entfernen des darin enthaltenen Quecksilbers zum Einsatz. Die Entfernung des Quecksilbers erfolgt durch selektive Ionentauscher. Die von Quecksilber befreiten sauren Abwässer der Wäscher werden dann zum Behandeln der Elektrofilterasche genutzt. Die in der Waschlösung enthaltenen Metalle, insbesondere Zink, werden gefällt oder elektrolytisch separiert. Die sauer gewaschene und damit von löslichen Metallen befreite Asche wird häufig der abzulagernden Kehrichtschlacke beigemischt. Dieses sogenannte FLUWA-Verfahren wird z.B. in [10] beschrieben.

Die Verteilung auf die drei Verfahren hat sich in Laufe der Zeit etwas geändert. Der Anteil des Exportes nahm – nicht zuletzt wegen gesunkener Preise – etwas zu.

Der Anteil der Filterasche, der zu einem Reststoff verfestigt wird, ist dagegen rückläufig. Die Verfestigung verlangt ein sorgfältiges Vorgehen, insbesondere eine ausreichend lange feuchte Lagerung der Filterasche. Dadurch lässt sich das Aufquellen der verfestigten Rückstände vermeiden, das sich sonst wegen der Wasserstoffbildung bei der Korrosion von Aluminiumflittern ergibt. Wegen dem Fehlen einer Metallrückgewinnung, wegen der fehlenden Dioxinzerstörung und schließlich wegen dem Bedarf an wertvollem Deponievolumen kann die Verfestigung wohl nicht als zukunftssträchtige Lösung angesehen werden.

Der dritte Weg, die saure Wäsche, wird schon heute für mehr als die Hälfte der in der Schweiz anfallenden KVA-Filterasche genutzt und weist ein großes Entwicklungspotential auf. So können die sauer gewaschenen Rückstände beispielsweise durch eine Flotation weitgehend von Russ und damit von Dioxinen befreit werden. Die Zumischung der verbleibenden Rückstände zur KVA-Schlacke hat dann weder eine Erhöhung des Gehaltes an löslichen Schermetallen noch des Dioxingehaltes zur Folge. Die Deponieeigenschaften der Rückstände sind damit klar verbessert. Eine weitere Möglichkeit ist die Rückführung der sauer gewaschenen Asche in die Verbrennung. Da die flüchtigen Metalle – insbesondere Zink, Cadmium und Blei – ausgewaschen sind, kommt es nicht zu einer unerwünschten Aufkonzentrierung dieser Metalle im Kreislauf.

Für die Gewinnung von hochreinem Zink aus dem Filtrat der sauren Wäsche wurden im Übrigen Extraktionsverfahren entwickelt und erprobt. Zu nennen ist hier etwa das sogenannte FLUREC Verfahren [11].

2.4. Zukünftige Regelungen für die Entsorgung von Rückständen aus der Abfallverbrennung

Der Erlass neuer oder die Anpassung bestehender Regelungen ist besonders anspruchsvoll im sich dynamisch weiterentwickelnden Bereich der Kehrichtschlacke und Elektrofilterasche. Einerseits will der Gesetzgeber durch optimale Regelungen erreichen, dass die Akteure die Möglichkeiten zu einer ökologischen Verbesserung bei der Abfallwirtschaft rasch nutzen. Andererseits können verpflichtende Regelungen erst erlassen werden, wenn die zum Erfüllen der Vorschriften notwendigen technischen Verfahren bekannt und für den Routineinsatz geeignet sind. Erschwerend kommt hinzu, dass Entwicklung zur kommerziellen Technik nur stattfindet, wenn sich daraus für die Abfallanlage Vorteile finanzieller oder betrieblicher Art ergeben oder, wenn Vorschriften den Einsatz neuer Technologien verlangen.

In diesem Spannungsfeld steht die Gesetzgebung auch im Bereich der Rückstände von Abfallverbrennungsanlagen.

Die Metallrückgewinnung aus KVA-Schlacke funktioniert. Beim heutigen Stand der Technik ergibt der Trockenausstrag hervorragende Ergebnisse, die konventionelle Nassentschlackung hinkt (noch?) deutlich nach. Für Neuanlagen kann in dieser Situation ohne große Probleme das Einhalten des aktuellen Standes der Technik gefordert werden. Bei bestehenden Anlagen müssen Mindestanforderungen für die Metallrückgewinnung erlassen werden. Solche Anforderungen sind schon in der geltenden TVA enthalten: *die zur Ablagerung gelangende Schlacke darf höchstens noch 1,5 Prozent Nicht Eisenmetalle enthalten*. Eine stufenweise Verschärfung der Anforderung oder eine mehrjährige Sanierungsfrist für bestehende Anlagen sind zu erwarten.

Wenn auch für bestehende KVA mit der TVA-Revision kaum der Trockenausstrag von KVA-Schlacke verlangt wird, so sind doch ehrgeizige Ziele für den Restgehalt von Metallen in der Schlacke zu erwarten. Schliesslich bildet die Rückführung von Metallen aus den Verbrennungsrückständen in den Wirtschaftskreislauf ein wichtiges Element der schweizerischen Ressourcenpolitik.

Die Ablagerung der von Metallen befreiten Schlacke wird auch in Zukunft auf dazu bestimmten Deponien erfolgen. Dabei wird die revidierte TVA einen neuen Deponietyp, die sogenannte Schlackendeponie, definieren. Dabei werden sich die Anforderungen an zugelassenen Anfälle, Standort, Gestaltung und technische Ausrüstung nach dem Ziel ausrichten, dass eine solche Deponie nach ein oder zwei Generationen keine Behandlung von Sickerwasser und keine technische Eingriffe mehr benötigen sollte.

Was die Entsorgung der Elektrofilterasche betrifft, liegen heute eigentlich genügend Resultate vor, um die Rückgewinnung der in der Filterasche vorhandenen Metalle zu verlangen. Dabei muss nicht jede KVA eigen Anlagen zur Behandlung von Filterasche bauen, die Zentralisierung in größeren Anlagen bietet betriebliche und finanzielle Vorteile.

Fraglich ist, ob eine Regelung, welche eine Rückführung der Asche in den Verbrennungsprozess verlangt schon durchsetzbar ist. Die dreissig Abfallverbrennungsanlagen

weisen im Detail, doch etwas unterschiedliche Anlagen zur Abgasreinigung auf. Zudem können gewisse Probleme auftreten, wenn nicht nur die salzsauren Abwasser des ersten Wäschers sondern auch die Abwasser aus der zweiten Stufe, d.h. dem Auswaschen von Schwefeldioxid, benutzt wird. Angesichts der in diesem Bereich noch offenen Fragen könnte die Rückmischung der gewaschenen Filterasche in die Schlacke und die gemeinsame Ablagerung auf eine Deponie noch einige Zeit Bestand haben.

2.5. Rückstände der Klärschlammverbrennung

In der Schweiz wird heute sämtlichen Klärschlamm aus der Abwasserreinigung verbrannt. Die landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm aus der kommunalen Abwasserreinigung war in der Schweiz immer wieder mit Schwierigkeiten konfrontiert. Der Nachweis von Wurmeiern und Salmonellen machte Auflagen zur Hygienisierung notwendig. Dank großen Anstrengung in der Abwassersanierung von Industrie und Gewerbe konnten die Schwermetallgehalte des Schlammes zwar deutlich gesenkt werden; leider blieben aber die Schwermetallgehalte für die langfristige landwirtschaftliche Nutzung recht hoch. Der Nachweis einer Vielzahl von organischen Schadstoffe im Klärschlamm zusammen mit der Befürchtung, über den Klärschlamm könnten die für den Rinderwahnsinn verantwortlichen Prionen übertragen werden, führten um das Jahr 2000 zu einem Umdenken bei der Klärschlamm-Entsorgung. Die Großverteiler begannen sich von der Klärschlammmanwendung zu distanzieren und wiesen die Produzenten von Produkten mit *Bio-Labels* an, auf Klärschlamm zu verzichten. Auch der Schweizerische Bauernverband empfahl Mitte 2001 seinen Mitgliedern, auf die Verwendung von Klärschlamm zu verzichten.

Der Absatz von Klärschlamm in der Landwirtschaft brach 2002 zusammen. Die Schweizer Regierung beschloss 2003 die weitere Verwendung des Klärschlammes in der Landwirtschaft stufenweise zu beenden. Seit 2006 wird der gesamte Klärschlamm, d.h. jährlich rund vier Millionen Tonnen flüssiger Schlamm mit rund 210.000 Tonnen Trockensubstanz verbrannt. Der Schlamm durchläuft meist zuerst eine Faulung, wird dann entwässert und in speziellen Verbrennungsanlagen für Klärschlamm sowie in KVA verbrannt. Ein Teil des Klärschlammes wird getrocknet und in Zementwerken als Ersatzbrennstoff genutzt.

Ein Schwachpunkt der heutigen Situation ist der Verlust von rund 5500 Tonnen Phosphor pro Jahr. Soviel endet heute pro Jahr entweder im Zement oder in der Asche der Schlammverbrennungsanlagen. In der Schweiz wird rund achtzig Prozent des Abwassers in Abwasserreinigungsanlagen mit Phosphorfällung behandelt. Dabei gelangen jeweils gut neunzig Prozent des im Abwasser enthaltenen Phosphors in den Klärschlamm. Sämtlicher Klärschlamm wird schon heute verbrannt. Deshalb liegt es nahe, nach Prozessen zu suchen, die eine Nutzung des in dieser Asche enthaltenen Phosphors erlauben.

Der direkte Einsatz von Klärschlammmasche als Dünger ist nicht zielführend. Durch die Verbrennung bilden sich schlecht pflanzenverfügbare Phosphorverbindungen, zudem enthält die Asche auch die nicht flüchtigen Schwermetalle aus dem Klärschlamm. Für die Produktion von wirkungsvollen Phosphordünger aus Klärschlammmasche stehen

jedoch mindesten drei Verfahren zur Diskussion. Allerdings erlaubt keines dieser Verfahren, die in der Asche enthaltenen Schwermetalle soweit abzutrennen, dass die Phosphordünger die für Komposte oder Gärgut entwickelten Schwermetallwerte für Recyclingdünger einhalten kann.

2.6. Zukünftige Regelungen zur Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm

Angesichts der noch vorhandenen Detailprobleme bei der routinemäßigen Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm-Asche sind zuerst wohl zeitlich befristete Regelungen zum tolerierten Schwermetallgehalt, insbesondere dem Zink- und Kupfergehalt, von Dünger aus Klärschlamm-Asche zu erwarten.

Da die Mitverbrennung des Klärschlammes in Zementwerken oder Kehrichtverbrennungsanlagen eine Rückgewinnung von Phosphor verunmöglicht, werden diese Entsorgungswege nach einer Übergangszeit wohl nicht mehr zulässig sein. Angesichts der zum Teil bedeutenden Investitionen für spezifische Schlammverbrennungsanlagen werden solche Vorschriften aber erst nach einer angemessenen Übergangsfrist, d.h. kaum vor 2020 in Kraft treten. Bis zu diesem Zeitpunkt werden auch die zurzeit in ersten Anlagen betriebenen technischen Verfahren zur Rückgewinnung von Phosphor aus Asche optimiert sein.

3. Rückstände von Kraftwerken

3.1. Ausgangslage und heutige Regelungen

2012 wurden in der Schweiz 58,7 % des Stroms in hydraulischen Kraftwerken, d.h. Speicher- und Laufkraftwerken und 35,8 % in Kernkraftwerken erzeugt. Nur rund 5,4 % der elektrischen Energie wird thermisch erzeugt. Den bei weitem wichtigsten Beitrag zur thermischen Stromerzeugung leisten übrigens die 30 KVA, die zusammen fast drei Prozent der schweizerischen Stromproduktion liefern. Auf Gasturbinen, Dieselmotoren und Biogasanlagen entfallen etwas über zwei Prozent der Stromproduktion. Photovoltaik und Windenergie blieben 2012 noch unter 0,2 %. Kohlekraftwerke und deren Rückstände gibt es nicht. Wenn solche Rückstände in der Schweiz auftauchen, sind sie importiert. Da die Schweiz zu diesen Rückständen über keine spezifischen Regelungen verfügte, wurden in den neunziger Jahren verschiedentlich Kohleflugaschen zweifelhafter Qualität insbesondere aus Braunkohlekraftwerken als Zuschlagstoff für Zemente importiert. Die Schweiz drohte, zum Absatzort von stark mit Arsen belasteten Flugaschen zu werden. Zusammen mit der Zementindustrie wurde in der Folge eine Richtlinie erarbeitet. Als schadstoffarm gilt Kohleflugasche, welche die Richtwerte in Spalte 1 der Tabelle 2 einhält. Die Asche ist unter dem Abfallschlüssel 10 01 17 zu codieren und gilt nicht als Sonderabfall nach VeVA. Asche dieser Qualität kann importiert und zur Herstellung von Flugasche Zementen genutzt werden. Die Asche darf aber nicht in ungebundener Form verwendet werden. Sind die Richtwerte überschritten, gilt die Asche als Sonderabfall und darf nicht bei der Zementproduktion eingesetzt werden.

	Spalte 1	Spalte 2
	Richtwerte für Kohleflugasche	Richtwerte für Hochofenschlacke
	mg/kg	
Arsen (As)	40	30
Antimon (Sb)	10	5
Blei (Pb)	300	75
Cadmium (Cd)	2	1
Chrom gesamt (Cr)	300	200
Cr VI (löslich)	2	2
Kupfer (Cu)	200	00
Nickel (Ni)	200	200
Quecksilber (Hg)	1	0,5
Thallium (Tl)	2	2
Zink (Zn)	1.000	400
Zinn (Sn)	30	30
Barium (Ba)	1.500	1.000
Beryllium (Be)	10	10
Kobalt (Co)	100	100
Selen (Se)	5	5
Vanadium (V)	300	300

Tabelle 2:

Zulässige Schwermetallgehalte in Kohleflugasche und Hochofenschlacke für die Zementproduktion

Quelle: Bundesamt für Umwelt, Vollzugshilfe Kohleflugasche und Hochofenschlacke; Import und Verwendung von Kohleflugasche und Hochofenschlacke zur Herstellung von Zement und Beton, 2006

Durch die Zugabe oder Zumahlung von Kohleflugasche oder Hochofenschlacke darf keine Anreicherung des Zements und Betons mit organischen Substanzen, insbesondere schwerabbaubaren und /oder hochtoxischen (z.B. Dioxinen), erfolgen. Bei der Herstellung von Zement und Beton sind die Bestimmungen im Anhang 2.16 der ChemRRV6 über den Gehalt an löslichem Chrom (VI) zu beachten.

3.2. Rückstände von Kraftwerken, Ausblick auf zukünftige Regelungen

Die Gesetzgebung auf Bundesebenen enthält für Kohleflugasche die notwendigen Regelungen, um den Import von ungeeigneten Aschen zu unterbinden. Materiell ist damit nur ein kleiner Anpassungsbedarf gegeben allerdings ist durch die verschiedenen Änderungen der im Bereich der Entsorgung von Abfällen Zementwerken und der dazu gehörigen Vollzugshilfen eine etwas unübersichtliche Situation entstanden. Wichtige Grundsätze und könnten deshalb bei der Totalrevision der TVA auf Verordnungsniveau gehoben werden.

4. Literatur

- [1] Schweizerischer Bundesrat, Technische Verordnung über Abfälle (TVA) vom 10. Dezember 1990, Stand am 1. Januar 2010
- [2] Schweizerischer Bundesrat, Verordnung über den Verkehr mit Abfällen (VeVA) vom 22. Juni 2005, Stand am 1. Januar 2010
- [3] Verordnung (EG) Nr. 1013/2006 des Europäischen Parlamentes und des Rates vom (14. Juni 2006) über die Verbringung von Abfällen
- [4] Amt für Umwelt Solothurn, Merkblatt zum Einsatz von Elektroöfen Schlacke, 2011

- [5] Amt für Wasser und Abfall des Kantons Bern, AWA, Merkblatt: Elektroofen-Schlacke richtig verwenden, 2003
- [6] Bundesamt für Umwelt, Vollzugshilfe Kohleflugasche und Hochofenschlacke; Import und Verwendung von Kohleflugasche und Hochofenschlacke zur Herstellung von Zement und Beton, 2006
- [7] Morf, L. S.; Böni, D.: Potenziale für Wertstoffrecycling aus Kehrriecht, Umwelt Perspektiven ,1, 2013, S. 6-8
- [8] Straubhaar, H.:Konzept für eine erweiterte Aufbereitung der Schlacke aus der KVA Thun, Projektarbeit, Hochschule für Technik Rapperswil, 2013
- [9] Zentrum für nachhaltige Abfall- und Ressourcennutzung, ZAR, Geschäftsbericht 2012; Hinwil 2013, PDF-File unter www.zar-ch.ch abrufbar
- [10] Morf, L. S.; Gloor, R.; Haag, O.; Haupt, M.; Skutan, S.; Di Lorenzo, F.; Böni, D.: Precious metals and rare earth elements in municipal solid waste – Sources and fate in a Swiss incineration plant. Waste Management 33(3):634 (2013)PMID 23085306
- [11] Bühler, A.; Schlumberger, S.: Schwermetalle aus der Flugasche zurückgewinnen, Saure Flugaschewäsche – FLUWA-Verfahren ein zukunftsweisendes Verfahren in der Abfallverbrennung. <http://www.bsh.ch/upload/public/0/71/BSH-Umweltservice-AG-Saure-Flugaschenwaesche-FLUWA-Verfahren.pdf>
- [12] Schlumberger, S.:Neue Technologien und Möglichkeiten der Behandlung vonRauchgasreinigungsrückständen im Sinne eines nachhaltigenRessourcenmanagements <http://www.bsh.ch/upload/public/0/71/BSH-Umweltservice-AG-Zinkrueckgewinnung-und-Ascherueckfuehrung-FLUREC-Verfahren.pdf>

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Aschen • Schlacken • Stäube

– aus Abfallverbrennung und Metallurgie –

Karl J. Thomé-Kozmiensky.

– Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2013

ISBN 978-3-935317-99-3

ISBN 978-3-935317-99-3 TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Copyright: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky
Alle Rechte vorbehalten

Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky • Neuruppin 2013

Redaktion und Lektorat: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky,
Dr.-Ing. Stephanie Thiel, M.Sc. Elisabeth Thomé-Kozmiensky

Erfassung und Layout: Ginette Teske, Ina Böhme, Petra Dittmann, Cordula Müller,
Fabian Thiel, Martin Schubert

Druck: Mediengruppe Universal Grafische Betriebe München GmbH, München

Foto auf dem Buchdeckel: Dipl.-Ing. Daniel Böni, KEZO Kehrrechtverwertung Zürcher
Oberland

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien, z.B. DIN, VDI, VDE, VGB Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.