

> Schlacke aus der thermischen Abfallbehandlung: heutige Qualität – zukünftige Herausforderungen

Elmar Kuhn, Leo Morf

AWEL, Abteilung Abfallwirtschaft und Betriebe, Postfach, 8090 Zürich

Der Bericht charakterisiert die Wertstoffgewinnung von Metallen aus Kehrichtschlacke. Ausgehend vom Theoretischen Potenzial werden maximale Abscheideraten gemäss dem Technischen Potenzial sowie dem heutigen Stand der Technik dargestellt. Der heutige Stand der Technik hat demnach ein wesentliches Entwicklungspotenzial vor sich. Die Untersuchungen zeigen, dass bis zum Erreichen des Technischen Potenzials markante Steigerungen der Abscheideraten gegenüber heute möglich sind: bei Eisen um 40%, bei Kupfer um 70% und bei Aluminium um 120%. Eine weitestgehende Entfrachtung der Metalle ist nicht nur aus Ressourcengründen sondern auch Deponierisikogründen vorteilhaft. Der Bericht charakterisiert die Schadstoffe der Kehrichtschlacke und vergleicht deren Eluatkonzentrationen mit den Sickerwasserkonzentrationen von Schlackekompartimenten. Aufgrund dieser Vergleiche können künftig bessere Prognosen basierend auf Schlackeuntersuchungen erstellt werden. Aus den Untersuchungen konnte abgeleitet werden, dass ein hoher Ausbrand in den Kehrichtverbrennungsanlagen zu einer kürzeren Nachsorge für das aus dem Schlackenkompartiment anfallende Sickerwasser führt und daher angestrebt werden soll. Es werden ein Reihe weiterer Abklärungen und Massnahmen vorgeschlagen hinsichtlich Input, Verbrennungsprozess, Deponierung, Einleitung in Oberflächengewässer bis zur Anpassung der Ökobilanzmethode.

Keywords: Schlacke, Kehrichtschlacke, Eluatgehalte, TOC, DOC, Schwermetalle, Nichteisenmetalle, Abscheideraten, Sickerwasser, Schlackekompartiment

Einleitung

Die Schweiz hat mit der Behandlungspflicht für brennbare Siedlungsabfälle weltweit einen hohen Standard gesetzt, der in westlichen Ländern nun nachvollzogen wird. Motiviert durch die Ziele «Ressourcenschonung», Umwelt-/Klimaschutz und «Vorsorgeprinzip» bestehen die heutigen Herausforderungen in der Schweiz in der Verbesserung der Verwertung bzw. der Qualität der abzulagernden Abstoffen aus den KVA. Die Rostasche aus Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA), nachfolgend Schlacke genannt, wurde in den letzten Jahren hinsichtlich ihrer Zusammensetzung vertieft unter-

sucht. Ein wichtiger Auslöser bestand darin, dass Schlacke in den letzten Jahren – oder zumindest zeitweise – aufgrund ihres Gehalts an verwertbaren Metallen gewinnbringend entfrachtet wurde. Andererseits stellte sich das AWEL des Kantons Zürich die Frage, ob Schlacke als Rest- oder sogar als Inertstoff «hergestellt» bzw. hinsichtlich seiner Qualität verbessert werden kann. Mit umfassenden Untersuchungen von Schlacke aus allen Zürcher KVA wurde deren Qualität mit Anforderungen an Material verglichen, das auf Inertstoff-, Reststoff- und Reaktordeponien abgelagert werden kann. Es wurden Ansätze für eine Verbesserung der Schlackequalität

aufgezeigt sowie aus Sicht der Autoren weiterer Klärungs- und Handlungsbedarf betreffend Behandlung und Lagerung von Schlacke abgeleitet.

1. Stand der Technik und Potenzial der Schlacken-Wertstoffe

Im Jahre 2007 wurde Schlacke mittels einer modernen Schlackeaufbereitungsanlage (MMA GmbH Degersheim, Technologiestand 2007) entschrottet, und die Metallgehalte der Schlacke vor und nach der Behandlung bestimmt. Die in der Folge als Stand der Technik beurteilten Abscheideraten (Referenz: Theoretisches Potenzial) betragen für Nickel 60%, Chrom 56%, Eisen 42%, Aluminium 13%, Kupfer 13% und Zink 0% (Tabelle 1). In der Folge wird der Begriff des Tech-

nischen Potenzials für die Abscheidbarkeit der Metalle eingeführt, welche als Summe der mit einer modernen Aufbereitungsanlage eliminierbaren Metalle sowie die im Labor bis zu einer Korngrösse von 1 mm zusätzlich händisch abgeschiedenen partikulären Metalle definiert wird. Gegenüber dem Stand der Technik lässt sich die Abscheiderate mit Erreichen des Technischen Potenzials erhöhen: für Eisen von 42% auf 60%, für Aluminium von 13% auf 29% und für Kupfer von 13% auf 22%. Die potenzielle (relative) Zunahme für die Abscheiderate der Metalle beträgt demnach für Eisen 42%, für Aluminium 123% und für Kupfer 70%. Für Chrom und Nickel sind nur geringfügige Verbesserungen zu erwarten. Das Technische Potenzial für Kupfer ist als konservativ einzuschätzen, da es schwierig ist im Korngrössenbereich 1–4 mm die Kupferteile optisch zu erfassen, weshalb für Kupfer höhere Abscheideraten zu erwarten sind als aus den Untersuchungen abgeleitet wurden. Zwischen dem Stand der Technik und dem Technischen Potenzial liegt somit ein weites Feld und somit ein grosses Optimierungspotenzial für die künftige Abscheidung von Metallen aus Schlacke.

Die Metallabscheideraten wurden grosstechnisch mittels einer 300 t Charge ermittelt. Leo Morf zeigt in seinem Übersichtsartikel über die Anwendung der Stoffbuchhaltung in KVA (gleiche Publikation) die Metall- und Schwermetallgehalte in der Schlacke vor (Theoretisches Potenzial) und nach Abscheidung der Metalle.

Die Übertragbarkeit dieses Versuchs mit der 300 t Charge auf andere Schlacken ist aufgrund grosser zeitlicher und örtlicher Schwankungen in den Metallgehalten zurückhaltend zu beurteilen. So variiert Kupfer in Schlacken zu verschiedenen Zeitpunkten deutlich (KVA St. Gallen: 1,7–5,6 g/kg), und in verschiedenen KVA wurden voneinander stark abweichende Jahresmittelwerte bestimmt (KVA Thurgau, 2007: 10,4 g/kg und KVA Limmattal, 2005: 5,3 g/kg).

Aus Schlacke werden in Zukunft wahrscheinlich weitere Wertstoffe gewonnen werden beispielsweise Glas, Calcium und künftig möglicherweise «seltene Metalle», wie z. B. Silber und Indium. Die Technologie des Trockenaustrags, welche heute in der KEZO Hinwil erfolgreich eingesetzt wird, ermöglicht neue technologische Ansätze bei der Behandlung von Schlacke insbesondere hinsichtlich der Wertstoffgewinnung. Das anfangs 2010 ins Leben gerufene Zentrum für nachhaltige Abfall- und Ressourcenwirtschaft (ZAR) widmet sich unter anderem der Förderung solcher Technologien. Es kommt durchaus in Betracht, dass der Trockenaustrag eine Schlüsselfunktion in der künftigen Schlackenaufbereitung einnehmen kann. Zu den Potenzialen seltener Metalle in der Schlacke und Aschen, ist heute erst wenig bekannt.

Nutzungs-Potenzial			
	Theoretisches Potenzial* (ohne Oxidierte Anteile)	Technisches Potenzial** (inkl. Nutzung der im Labor aussortierten Anteile)	Entfrachtungsgrad für die mechanische Aufbereitung (mit Anlage der Firma MMA GmbH)
Anteile in Gew.-%			
Fe	60%	60%	42% ± 4% (als Teil von 7.2% Fe-Schrott und 0.34% VA-Stahl und 0.2% Fe-Cu-Spulen)
Al	65%	29%	13% ± 3% (als Teil von 1% NE-Metallschrott)
Cu	90%	22%	13% ± 2% (als Teil von 0.2% Fe-Cu-Spulen und 1% NE-Metalle)
Cr	90%	62%	56% ± 4% (als Teil von 0.34% VA-Stahl, 0.2% Fe-Cu-Spulen und 1% NE-Metalle)
Ni	90%	67%	60% ± 5% (als Teil von 0.34% VA-Stahl, 0.2% Fe-Cu-Spulen und 1% NE-Metalle)
Zn	-	0	0
Anteile in g/kg Schlacke			
FE-Schrott	11.9	11.1	7.2
NE-Schrott	5.4	2.84 (inkl. VA-Stahl und Fe-Cu-Spulen)	1 (inkl. VA-Stahl und Fe-Cu-Spulen)

Tab.1 Gemäss dem Stand der Technik Abscheideraten (Referenz: Theoretisches Potenzial) sowie das Technische Potenzial für Abscheideraten von Metallen (Tabelle aus Morf & Kuhn, 2009). Das Theoretische Potenzial beinhaltet den Totalen Gehalt in metallischer verfügbarer Form abzüglich der Oxide (Angaben aus: Zeltner, 1998; L. Morf, persönliche Kommunikation). Die Methode zur Ermittlung des Technischen Potenzials ist in Morf et al., 2008 [1] und Anhang 9.8.3 in Morf & Kuhn 2009 [2] beschrieben.

2. Schadstoffbetrachtung und Qualitätsentwicklung

2.1 Schadstoffaustrag aus Schlackekompartimenten – die ersten Jahrzehnte

Sickerwässer aus Schlackekompartimenten müssen trotz langjährigen Schlackeablagerungszeiten einer Kläranlage zugeführt werden. Die Messwerte von Sickerwässern aus 10–20 jährigen, noch in Betrieb stehenden Schlackekompartimenten wurden mit den Einleitgrenzwerten für Oberflächengewässer verglichen (Morf & Kuhn 2008 [3]). 80% der Sickerwasserproben liegen betreffend dem gelösten organischen Kohlenstoff (DOC) um den Faktor 3–5 bzw. 20% um den Faktor 10 über dem Einleitgrenzwert für Oberflächengewässer (Abbildung 1). Der Vergleich mit Schlacke-Eluatwerten zeigt folgendes: Die DOC-Eluatgehalte liegen mit 5–45 mg DOC/l lediglich maximal um den Faktor zwei über dem Eluatgrenzwert für Inertstoff- und Reststoffdeponien von 20 mg DOC/l. Dies zeigt, dass auch bei Einhalten des Eluatgrenzwerts die Einleitbarkeit für Sickerwasser nicht gewährleistet ist. Aus dieser Gegenüberstellung, kann abgeleitet werden, dass der Eluatgrenzwert verschärft werden müsste, um eine direkte Einleitbarkeit zu ermöglichen. Der Eluatgrenzwert gilt allerdings für die meisten Abfälle, nicht aber für Schlacke. Bis zum heutigen Zeitpunkt wurden Erleichterungen für ihre Ablagerung ermöglicht, wohl weil der technologische Weg zur Verbesserung der Schlackequalität bisher noch nicht festgelegt werden konnte. Eine Ursache für diese Situation rührt wohl daher, dass Schlacke in der Schweiz bis in die 90-er Jahre in verschiedenen Regionen der Schweiz ohne besonders hochstehende Aufbereitung bautechnisch eingesetzt werden konnte.

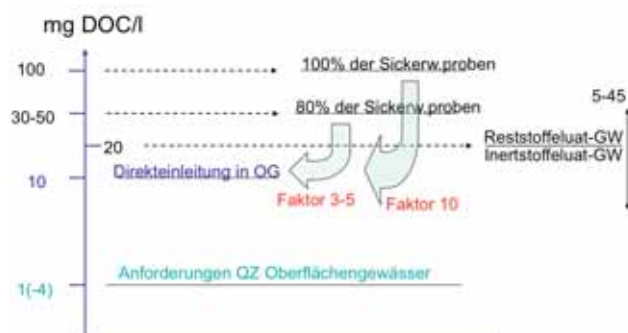


Abb. 1 DOC-Gehalte im Sickerwasser im Vergleich zu den Schlackeneluat-Gehalten. Morf & Kuhn, 2009 [2]

Die Sickerwassergehalte der Stickstoff-Verbindungen (Ammonium/Ammoniak) liegen nach 10–20 Jahren Deponiebetrieb um den Faktor 5–50 über dem (angenommenen) Einleitgrenzwert von 2–5 mg Ammonium/Ammoniak pro Liter. Die Schlackeeluate werden zudem aufgrund ihres Verhaltens in den Daphnien- und Algentoxizitätstests als stark gewässertoxisch beurteilt.

Damit eine zeitliche Verkürzung der Nachsorge von abgelagerter Schlacke erreicht werden kann, muss zumindest hinsichtlich der kritischen Parameter DOC und Ammonium/Ammoniak eine deutliche Verringerung erreicht werden und es darf keine Schädigung der Gewässer aufgrund toxischer Effekte entstehen.

Die Schwermetallgehalte befinden sich im Sickerwasser aus Schlackekompartimenten erfreulicherweise durchwegs unterhalb der Einleitgrenzwerte für Oberflächengewässer. Einzig Kupfer kann in den ersten Betriebsjahren einer Schlackedeponie ab und zu in Gehalten vorkommen, die etwas über dem Einleitgrenzwert liegen. Eine kurz- oder mittelfristige Phase ohne Schwermetallaustrag heisst jedoch noch nicht, dass dies für lange Zeiträume ebenfalls gilt.

2.2 Langfristisrisiko von Schlackekompartimenten

In einer Schlackedeponie laufen eine Vielzahl an physikalischen, biogeochemischen, geotechnischen, chemischen, geochemischen und geologische Prozessen nebeneinander ab. Das Österreichische Umweltbundesamt hatte eine Bewertung abfallwirtschaftlicher Massnahmen mit dem Ziel der nachsorgefreien Deponie in Auftrag gegeben, welche im Jahr 2000 mit einem Bericht abgeschlossen wurde (BEWEND, 2000 [4]). Dieser Bericht charakterisiert die in einer

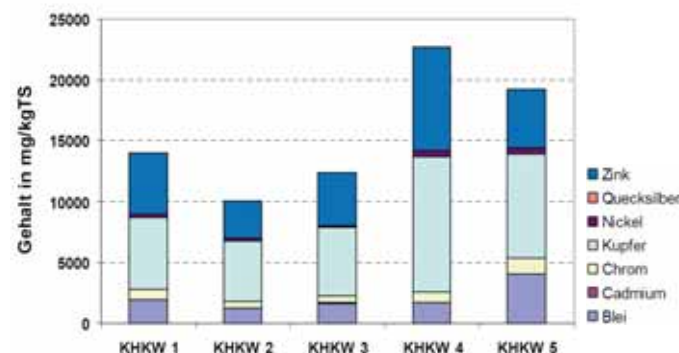


Abb. 2 Vergleich der aggregierten Schwermetallgehalte in den metallentfrachteten* Schlackeproben der einzelnen KVA.

* manuelle Entfrachtung von Fe- und NE-Metallen > 1 mm der Schlackeprobe im Labor (Morf & Kuhn, 2009)

Deponie ablaufenden Prozesse und hält drei wesentliche Phasen fest:

- > *Phase 1*: Karbonatisierung des Calciums und Auswaschen von Sulfat und Chlorid (30 Jahre)
- > *Phase 2*: Abbau des Karbonatpuffers durch Austrag von Calcium (5000 Jahre)
- > *Phase 3*: Schwermetallaustrag im sauren Milieu (Cadmium, Blei, Kupfer, Zink, etc.)

Die diesen Aussagen zugrunde liegenden Modelle gehen von homogenen Schlackekörpern aus. Verschiedene Rahmenbedingungen oder Prozesse könnten zu einer schnelleren Auswaschung der Schwermetalle führen, nämlich infolge Verkürzung von Phase 2 beispielsweise aufgrund präferentieller Fliesswege, rascherer Alkalinitätsabnahme als modelliert oder der Ungewissheit über die Entwicklung aufgrund der Kombination verschiedener nebeneinander ablaufender physikalischer, biologischer, chemischer und geologischer Prozesse. Je mehr Schwermetalle eine Schlacke enthält, desto grösser ist deren späteres Freisetzungspotenzial. Im nächsten Kapitel werden die Schwermetallgehalte von heute typischen Schlacken beschrieben.

2.3 Hohe Mengen kleinpartikulärer Schwermetalle – Schlacke ist kein Inertstoff

Die Untersuchung von fünf sehr sorgfältig entnommenen, repräsentativen Schlackemischproben aus fünf Zürcherischen KVA zeigt betreffend Schwermetallgehalten Abweichungen bis zum Faktor zwei (Abbildung 2), was hauptsächlich eine Folge des unterschiedlichen Inputs ist. Da Abfälle aus den Haushalten in ihrer Zusammensetzung sehr ähnlich sind, werden die Abweichungen auf unterschiedliche Anteile und Zusammensetzung gewerblicher Abfälle zurückgeführt.

Auch stark von Metallen entfrachtete Schlacke (abgereichert gemäss dem Technischen Potenzial) ist weit von der Inertstoffqualität entfernt, da die Schwermetallbelastungen die Inertstoffgrenzwerte der Technischen Verordnung über Abfälle (Version geltend ab 1.1.2010) weit überschreiten:

- > *Blei* um 150–700% in allen 5 Proben
- > *Cadmium* bis zu 60% in einem Teil der Proben
- > *Kupfer* um 1000–2000% in allen 5 Proben
- > *Zink* um 200–800% in allen 5 Proben

Eingehalten werden einzig die Inertstoffgrenzwerte betreffend Nickel (0–60% tiefer) und Quecksilber (96–100% tiefer).

Die Eluatgehalte von Ammonium und teils betreffend DOC überschreiten die ab dem 1.1.2010 geltenden Inertstoff-

grenzwerte der angepassten Technischen Verordnung über Abfälle (TVA).

Anderweitige Untersuchungen von Schlacke zeigen, dass der Eluatgrenzwert von Fluorid knapp überschritten und derjenige von Cyanid eingehalten wird. Die Grenzwerte der totalen Gehalte werden betreffend Arsen knapp und betreffend Antimon (200–300 mg/l) und Chrom-total (900–1300 mg/l) massiv überschritten. Chrom VI-total wurde nicht untersucht.

2.4 Eluatgehalte – handelt es sich bei Schlacke um einen Reststoff?

Die aktuelle Strategie der TVA qualifiziert Schlacke als Reaktormaterial, trotzdem wird hier der Vergleich mit der Reststoffqualität geführt, da diese im Gegensatz zur Reaktordeponie Eluatgrenzwerte kennt. Mit der Planung 2007...2010 zur Abfall- und Ressourcenwirtschaft [5] setzte sich das AWEL des Kantons Zürich zum Ziel, dass Kehrichtschlacke in ihrer Qualität deutlich zu verbessern und inertstoffähnliche oder Reststoffqualität zu erreichen sei. Die Untersuchung der Schlackeproben aus den fünf Zürcherischen KVA (vgl. oben) zeigte, dass die Schwermetalleuat-Grenzwerte für Reststoffe einzig betreffend Kupfer und hier nur im Ausnahmefall überschritten wird. Da Reststoffe keine Höchstwerte für Schwermetall-Totalgehalte erfüllen müssen, wäre demnach hinsichtlich der Schwermetalle eine Reststoffqualität für Schlacke (knapp) gegeben.

Werden die weiteren Schlackeeluatwerte mit den Reststoff-Grenzwerten verglichen, so entsprechen pH-Werte und teilweise der DOC (ab 1.1.2010 gilt ein tieferer Grenzwert von 20 mg/L) sowie Sulfitgehalte nicht den Reststoffanforderungen. Die hohen pH-Werte führen allerdings zu keinen nachweisbaren Nachteilen, da die Schwermetalleluat unterhalb der Grenzwerte lagen. Der Sulfitgrenzwert wurde lediglich in einzelnen Proben um maximal den Faktor 1,5 überschritten und er hat zwischenzeitlich an Bedeutung als Schadstoffindikator im Gewässerschutz eingebüsst. Aufgrund dieser Darlegungen könnte der Schlacke somit nahezu Reststoffqualität attestiert werden. Dem punktuell hohen Kupfereluatgehalt bzw. DOC-Gehalt kann zudem mit einem guten Ausbrand entgegnet werden (vgl. Kapitel «TOC als Indikator für den Ausbrand»).

2.5 Ist Sickerwasser aus Schlackekompartimenten gewässertoxisch?

Hinsichtlich der Einleitbarkeit von Sickerwasser in ein Oberflächengewässer oder dem Verhalten in der Kläranlage wurde die toxikologische Wirkung von Schlackeeluaten untersucht. Die Ergebnisse lassen vermuten, dass eine Einleitung des Sickerwassers ein nicht auszuschliessendes ökotoxikologisches Risiko für Wasserorganismen darstellt, da für die Eluate Algen- und Daphnientoxizität nachgewiesen wurde. Zur Ab-

schätzung des diesbezüglichen Risikos sind aber umfangreichere Abklärungen erforderlich insbesondere Untersuchungen von Sickerwasser aus Schlackekompartimenten. Solche Untersuchungen laufen derzeit mit Sickerwässern aus verschiedenen Schlackekompartimenten. Ein biologischer Abbau der organischen Substanzen auf der Deponie bzw. vor der Einleitung könnte allenfalls zu einer Reduktion der ökologisch nachteiligen Wirkung führen.

2.6 TOC als Indikator für den Ausbrand und das Auswaschverhalten auf der Deponie

Untersuchungen von Schlacke aus drei verschiedenen KVA zeigen, dass signifikante Korrelationen des Glühverlusts (GV) zum Totalen organischen Kohlenstoff (TOC) und vom TOC zum gelösten organischen Kohlenstoff (DOC) bestehen (Ab-

bildung 3). Es kann aber auch beobachtet werden, dass phasenweise (tendenziell bei tieferen GV) ein schlechter Zusammenhang zwischen GV und TOC besteht (Abbildung 4). Eine mögliche Erklärung für die negative Beeinflussung dieses Zusammenhangs sind analytische Effekte insbesondere die Zersetzung von Kalk und/oder die Oxidation von Metallen in der Schlacke. Ein höherer Anteil an Kalk aus Bauabfällen, führt demnach zu einem höheren GV.

Da der GV relativ einfach und vor Ort bestimmt werden kann, und vor allem bei höheren Kohlenstoffgehalten ein Zusammenhang zum TOC besteht, würde sich die Analyse des GV für die Beurteilung der Ausbrandqualität anbieten. Weil aber vor allem bei tieferen GV die Proportionalität zum TOC oft nicht mehr besteht, ist die alleinige GV-Bestimmung mit Vorsicht anzuwenden und die ergänzende Bestimmung des

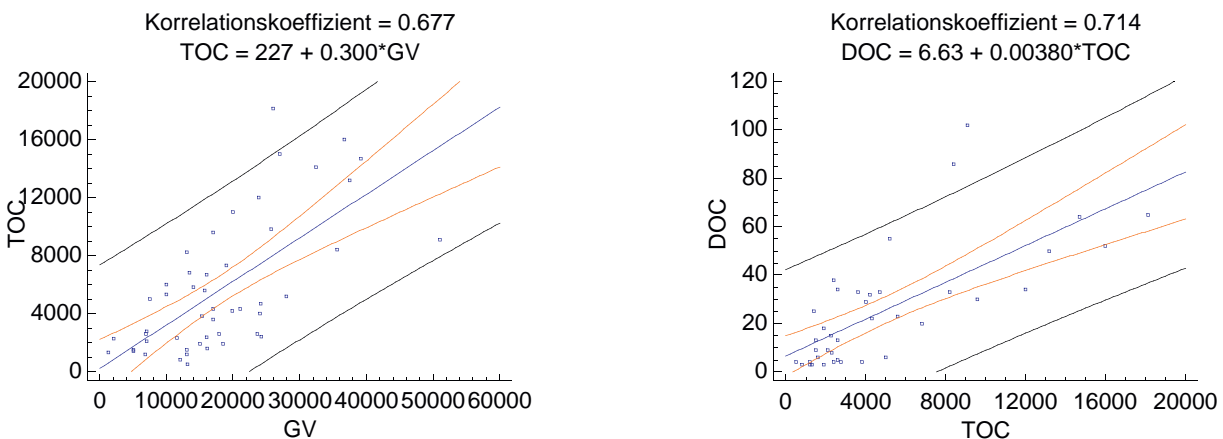


Abb. 3 Grafische Darstellung des Zusammenhangs von GV mit dem TOC (linke Grafik) sowie dem TOC mit dem DOC (rechte Grafik) in der Schlacke. Signifikanz der Korrelation bez. 95% Konfidenzintervall (rote Kurve) ist in beiden Fällen gegeben. Die Werte basieren auf drei Ofenlinien der KVA1 und KVA2. Details siehe Morf & Kuhn 2009 [2].

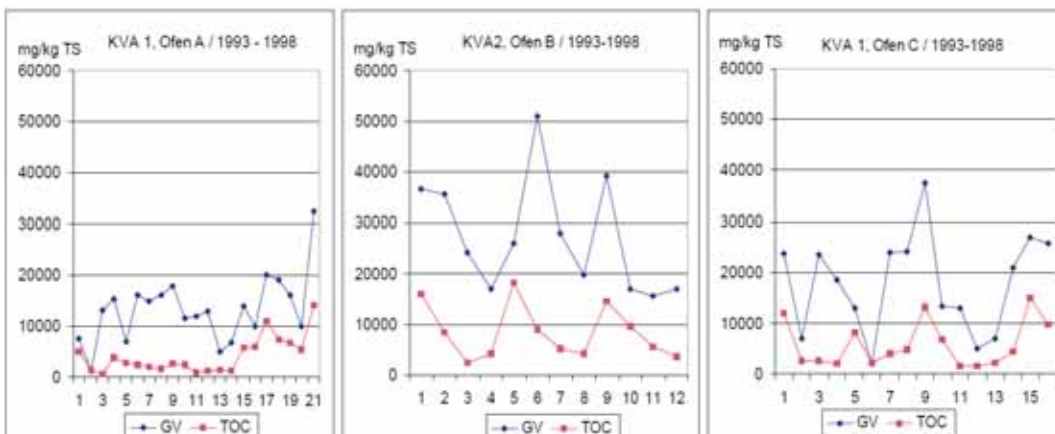


Abb. 4 Zeitlicher Verlauf von GV- und TOC-Wochenmischproben während der Jahre 1993–1998 in den Ofenlinien A (KVA1), B (KVA2) und C (KVA1). Details siehe Morf & Kuhn 2009 [2].

TOC zur verlässlichen Beurteilung der Ausbrandqualität unverzichtbar. Der TOC eignet sich somit besser als Qualitätsziel hinsichtlich der Endlagerqualität von Schlacke.

Die Korrelation TOC-DOC konnte auch in andern Arbeiten gezeigt werden (Knorr et al., 1999), womit der TOC sich als geeigneter Indikator für den DOC bzw. die potenzielle Belastung des Sickerwassers eignet.

Folgendes Schema vergleicht in qualitativer Weise Kohlenstoffbestimmungen (DOC, TOC, $C_{tot.}$) mit dem Glühverlust (Abbildung 5). Auf den Achsen wurden Werte für heute typische Schlacken angegeben.

Es ist ersichtlich, dass GV-Werte deutlich über den TOC-Werten liegen (beispielsweise um den Faktor 3). Das Qualitätsziel des TOC ist daher allein schon aufgrund dieses Zusammenhangs deutlich tiefer als bei 3% (GV-Höchstwert gemäss TVA) anzusiedeln.

Tiefe DOC-Gehalte führen wiederum zu tiefen löslichen Kupfergehalten. Dieser Zusammenhang wurde nicht nur in den hier dargelegten Schlackeeluat-Untersuchungen ermittelt, sondern ist für Sickerwasser aus Freiflächenversuchen auch anderweitig gezeigt worden (BayfU, 2002 [6]). Dieser Effekt wird allgemein als Komplexierung von DOC-Komponenten mit Kupfer gedeutet.

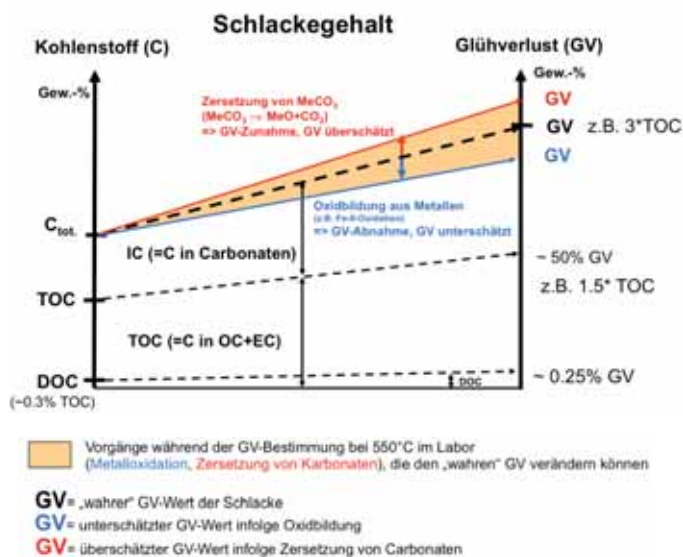


Abb. 5 Kohlenstoffbestimmungen (DOC, TOC und $C_{tot.}$) im Vergleich zum Glühverlust von Schlacke. Der GV ist Ausdruck für den Organischen Kohlenstoff. Die Zersetzung von Carbonaten erhöht jedoch den GV, womit dieser teilweise auch für anorganisches Material steht. Teilweise wird dieser Effekt durch Massenzuwachs infolge Oxidbildung kompensiert. Morf & Kuhn 2009 [2]

2.7 Typische TOC-Gehalte

Der Vergleich des TOC-Gehalts der konventionell ausgetragenen Schlacken aus den fünf beprobten Zürcher KVA zeigt grosse Unterschiede (Abbildung 6). Der höchste TOC liegt mehr als den Faktor 3 über der Schlacke mit dem tiefsten TOC. Es ist zudem ersichtlich, dass ein wesentlicher Teil des Kohlenstoffs anorganischer Natur ist, der bei der GV-Bestimmung zu Fehlinterpretation betreffend des organischen Materials führt.

3. Ziele der Abfallwirtschaft – Fernziel Langfristsicherheit

Wie in anderen dicht besiedelten Industrieländern mit hohem Lebensstandard hat sich auch in der Schweiz die Erkenntnis durchgesetzt, dass ein Konflikt besteht zwischen dem Ziel, mehr Güter zu produzieren und zu konsumieren, und dem Ziel eine umweltverträgliche Produktion und Entsorgung jederzeit sicherstellen zu können. In den 80-er Jahren wurden die auch heute noch zutreffenden sowie visionären Grundsätze für die schweizerische Abfallwirtschaft festgelegt. In den 90-er Jahren konzipierte ein nationales Forschungsprogramm technologische Lösungsansätze für nachsorgefreie Ablagerung (Endlagerung). Das BAFU erkennt in einem Bericht zur künftigen Gestaltung der Abfallpolitik des Bundes weiterhin

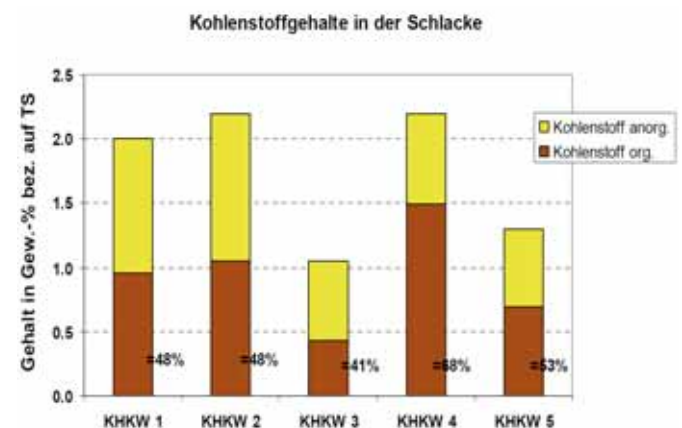


Abb. 6 Vergleich der organischen und anorganischen Kohlenstoffgehalte in Gew.-% (bez. Trockensubstanz) in 2-Wochenmischproben von Schlacke aus einzelnen KHKW [2]

Handlungsbedarf im Bereich der (Reaktor)Deponien. Die Abfallplanung des Kantons Zürich setzte für die Planungsperiode 2007...2010 Ziele zur Risikoreduktion von Reaktor- insbesondere von Schlackedeponien. Nachfolgend wird auf diese Bereiche näher eingetreten.

3.1 Leitbild für die schweizerische Abfallwirtschaft

Gemäss dem schweizerischen Abfalleitbild des Bundesamts für Umweltschutz (BUS) aus dem Jahre 1986 sollen Entsorgungssysteme aus Abfällen nur zwei Arten von Stoffklassen produzieren, nämlich wiederverwertbare Stoffe und endlagerfähige Reststoffe (BUS, 1986 [7]). Ferner sind die Abfallbehandlungsverfahren so zu konzipieren, dass umweltgefährdende Stoffe in möglichst konzentrierter Form und umweltverträgliche Stoffe in möglichst reiner, d.h. erdkruste- oder bodenähnlicher

Form anfallen. Eine Ablagerung ist in einem sogenannten Endlager vorzunehmen, einer Deponie, deren Stoffflüsse in die Umwelt (Luft, Wasser und Boden) sowohl kurz- wie langfristig ohne Nachbehandlung umweltverträglich sind.

Im Gegensatz dazu finden in der Reaktordeponie aufgrund des vorhandenen organischen Materials mikrobiologische Abbauprozesse statt («Bioreaktor»), welche zu Gasen (ein Gemisch mit den Hauptkomponenten Methan und Kohlendioxid) und zu organisch reichen Sickerwässern (Konzentration an gelöstem organischen Kohlenstoff) führen, die «nachbehandelt» werden müssen. Bestehende «Reaktordeponien» sind ebenfalls in endlagerfähige Deponien überzuführen.

3.2 Technische Ziele gemäss Integriertem Projekt Abfall (IP Abfall)

In einer engen Zusammenarbeit von Industrie und Forschung setzte sich das Integrierte Projekt Abfall (IP Abfall) zum Ziel, Beiträge zur Verbesserung der Umweltverträglichkeit fester Verbrennungsrückstände zu leisten [8]. Als 1993 das Schwerpunktprogramm Umwelt (SSP Umwelt) seine Arbeit aufnahm, erwartete man in der Umweltechnik den Durchbruch von grundsätzlich neuen Technologien der thermischen Abfallbehandlung (z.B. Thermoselect, Siemens), welche nicht nur das Problem der Luftschadstoffemissionen lösen, sondern auch wieder verwertbare oder umweltgerecht deponierbare Rückstände produzieren würden. Die Frage des Verhaltens von Schwermetallen in der Abfallverbrennung, der Nachbehandlung von Verbrennungsrückständen und bei der Beurteilung des Langzeitverhaltens in der Deponie bzw. als Baustoff stand im Zentrum der technisch ausgerichteten Forschungsarbeiten des IP Abfall (SSP Modul Umweltechnik, ab 1996). Es wurden Behandlungsverfahren geprüft, die nicht allzu grosse Energieaufwendungen beinhalteten. Es wurden Verfahren zur Entgiftung von Filterasche pilotiert, welche eine substanzielle Abtrennung der Schwermetalle bei möglichst minimalen Kosten versprechen. Ferner trugen die Untersu-

chungen an verglasten Rückständen dazu bei, das Verhalten solcher Stoffe besser zu verstehen und es bestehen nun Grundlagen, die es erlauben, technische Standards für solche Produkte festzulegen. Konkret leiten sich aus IP Abfall folgende Erkenntnisse für die Schwermetall-Entfrachtung von Schlacken und Flugaschen ab [9]:

1. Die thermische Verflüchtigung von Schwermetallen erfolgt bevorzugt in reduzierender und/oder in Salzsäure angereicherter Atmosphäre bei Temperaturen unterhalb des Ascheschmelzpunkts.
2. Schwerflüchtige Anteile (Kupfer, Eisen) und Metalle grösserer Stückigkeit werden bevorzugt aus der Schlacke oder aus einem Pyrolysekoks mit Hilfe mechanischer Verfahren abgetrennt.
3. Filterasche lässt sich so weit von Schwermetallen entfrachten, dass sie verwertbar oder endlagerfähig gemacht werden kann.

IP Abfall hat zwar bis Ende 90-er Jahre Ergebnisse produzieren können, die in die Praxis umgesetzt werden könn(t)en, andererseits war aber damals klar, dass die Ziele des Abfalleitbilds nur erreicht werden können, wenn der politische Wille vorhanden ist, d.h. bei Verankerung von gesetzlichen Vorgaben.

3.3 Aktualisierte Ziele der schweizerischen Abfallwirtschaft

Die durch das Bundesamt für Umweltschutz ausgelöste «Evaluation der Abfallpolitik des Bundes» (BHP Hanser und Partner AG, Sept. 2005 [10]) kam betreffend Ablagerung von Abfällen zu folgendem Schluss: *«Auf Reaktordeponien werden Abfälle abgelagert, die aufgrund ihrer chemischen Beschaffenheit oder Reaktivität nicht als endlagerfähig gelten können. Dieser Deponietyp entspricht daher nicht dem im Abfalleitbild angestrebten Ziel nur endlagerfähige Abfälle abzulagern. Da aber noch nicht alle Abfälle bis zur erforderlichen chemischen Stabilität aufbereitet werden können, sind Reaktordeponien im Sinne einer Übergangslösung gerechtfertigt.»* Mit der auf den 1.1.2010 festgelegten Änderung der TVA hat der Bundesrat zwischenzeitlich strengere Anforderungen an Materialien festgelegt, die auf Reaktordeponien abgelagert werden. So wurden neu Eluatgrenzwerte für eine Reihe organischer Schadstoffe festgelegt sowie eine Pflicht zur Abscheidung von Nicht-Eisenmetallen aus der Schlacke (max. Restgehalt 1,5% partikulär).

Der Bericht des BAFU zur künftigen Gestaltung der Abfall- und Ressourcenpolitik hält im Ziel 2 fest *«Die Schadstoffemissionen in die Umwelt sind dort, wo dies technisch möglich und wirtschaftlich tragbar ist, weiter zu senken.»* (BAFU, 2006 [11]). Zur umweltgerechten Deponierung von Abfällen wird konkretisiert *«Längerfristig kann nicht garantiert werden, dass kein Sickerwasser in den Untergrund gelangt. Den*

entscheidenden Einfluss auf eine langfristig sichere Deponie hat somit die Qualität der abgelagerten Abfälle.» Die Stossrichtung 2D sieht die Zielerreichung mit folgender Strategie: «Verbesserung der Qualität der zu deponierenden Abfälle und Rückstände aus Behandlungsverfahren, um den Nachsorgeaufwand wesentlich zu verringern.»

3.4 Ziele des AWEL Kanton Zürich

In der Planung der Abfall- und Ressourcenwirtschaft 2007... 2010 hat das AWEL folgende Ziele festgelegt:

- > Aus den festen KVA-Rückständen soll ein möglichst hoher Anteil an Rohstoffen wie z. B. Metalle zurückgewonnen werden.
- > Klärschlamm soll so verwertet werden, dass eine spätere Nutzung des Phosphoranteils möglich ist.
- > Die KVA-Schlacke soll Endlagerfähigkeit erreichen (z. B. inertstoff- oder inertstoffähnliche Qualität).

Aus den Ergebnissen des Projekts «Qualitätsentwicklung konventionell ausgetragener Schlacke» kann abgeleitet werden, dass hinsichtlich einer möglichst nachsorgearmen Schlacke ein möglichst hoher Ausbrand und eine möglichst gute Metallentfrachtung vorzunehmen sei (Abbildung 7).

«Stand der Technik»

Das Abfallgesetz des Kantons Zürich fordert für die Behandlung von Abfällen die Anwendung des Stands der Technik. Einem neueren Bundesgerichtsentscheid betreffend Abfallanlagen ist zu entnehmen, dass die periodisch zu erteilenden Betriebsbewilligungen bei deren Erneuerung den Stand der Technik zu erfüllen haben. Die Anwendung des Stands der Technik bedeutet, dass zumindest qualitative Aspekte hinsichtlich der Erfüllung eines rechtlich oder normativ vorgegebenen Umweltziels zu erfüllen sind.

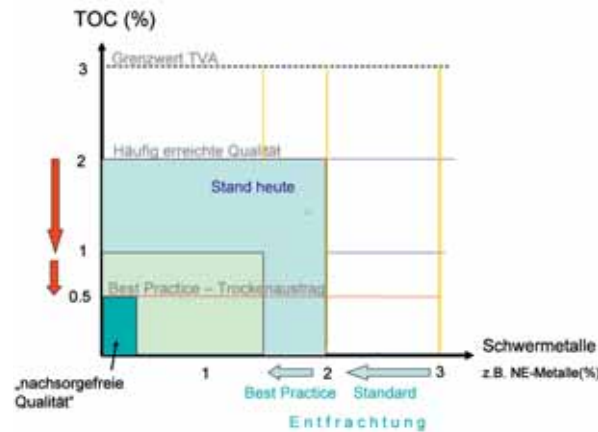


Abb. 7 Verbesserung der Schlackequalität durch Prozesse zur Reduktion von TOC (Ausbrand) und Entfrachtung der Nichteisenmetalle mit dem Ziel einer nachsorgefreien Schlacke. Die angegebenen Werte haben nur eine orientierende Grösse.

4. Rahmenbedingungen, Stand der Technik, Limiten

4.1 Einfluss der Prozessführung

Durch Variation einzelner Prozessparameter kann der Transfer der Metalle Blei, Cadmium, Zink und Kupfer in die Schlacke – auch bei moderner Steuerungs- und Regelungstechnik – im bestehenden Betrieb einer Grossanlage nicht signifikant beeinflusst werden. Allerdings können Anlagen mit unterschiedlicher Prozesskonzeption (z. B. Rosttyp, Verbrennungsluft- und Rauchgasströmungsführung) zu unterschiedlichen Transferkoeffizienten führen. Mit höherer Prozesstemperatur kann der Transfer der Schwermetalle in den Filterstaub nicht signifikant verändert werden.

Betreffend Schwermetall-Eluaten ist weder ein Zusammenhang zur Prozesskonzeption noch zur Anlagensteuerung zu erkennen. Hingegen konnte in Pilotanlagenversuchen mit drastisch unterschiedlichen Rahmenbedingungen gezeigt werden, dass Verweilzeit und Primärluftbewirtschaftung sowohl Transfer wie auch Eluationsverhalten der Schwermetalle deutlich beeinflussen (Morf & Kuhn, 2009 [2]).

Mit höherer Prozesstemperatur ist es möglich den Schlackeausbrand deutlich zu verbessern. Unbestritten ist zudem der Zusammenhang zwischen dem Lastzustand der KVA und dem TOC-Gehalt der Schlacke wie auch dem TOC-Gehalt des Filterstaubs (Abbildung 8).

4.2 Einfluss des Müllinputs auf die Schlackequalität

Bezüglich des Transfers von diversen Metallen und Nichtmetallen in die Schlacke zeigen Messungen in Grossanlagen eine deutliche Abhängigkeit vom Abfallinput (z. B. Kehrriech mit/ ohne Klärschlamm, Kehrriech mit/ohne RESH; siehe S. 53 in Morf & Kuhn 2009). Versuche auf Pilotanlagen zeigen zudem, dass bei erhöhtem Chlorgehalt im Abfallinput eine er-

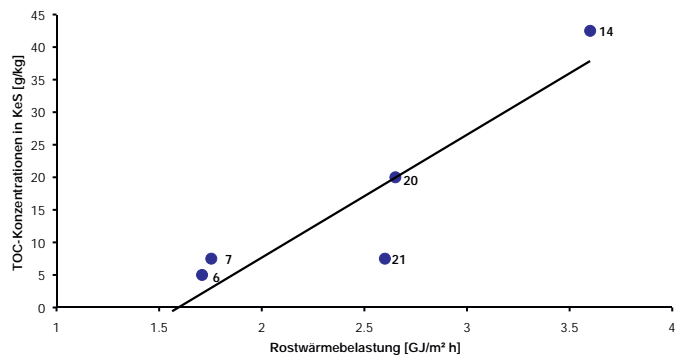


Abb. 8 Rostwärmebelastung versus TOC-Konzentration in Kesselasche (Morf Ph., 1996) [12]

höhte Schwermetall-Freisetzungsrates aus dem Rostbett resultiert, währenddem hohe Müllfeuchten die Freisetzung aus dem Rostbett verringern.

«RESH wird zurzeit in schweizerischen und ausländischen KVA entsorgt. Die Verbrennung von RESH belastet die Anlage und führt zu höheren Metallgehalten in den Rückständen aus der Verbrennung. Trotzdem ist dieser Entsorgungsweg aus ökologischer Sicht bei weitem besser als die Deponierung. Eine spezialisierte Anlage zur RESH-Behandlung könnte verwertbare metallische Bestandteile im RESH abtrennen und würde zu einer verbesserten Qualität der Rückstände führen» (BHP Hanser und Partner AG, Sept. 2005). Nach dem zwischenzeitlich gescheiterten Projekt in Monthey werden demnächst Versuche mit RESH auf der KVA KEZO Hinwil durchgeführt, wobei die Vorteile des Trockenaustrags sowie nachgeschaltete Prozessschritte (mechanisch und andere Aufbereitungsschritte) genutzt werden sollen.

Ein höherer Heizwert des Input-Materials führt trotz höherem Kohlenstoffgehalt zu signifikant tieferem TOC-Restgehalt in der Schlacke.

5. Strategische Herausforderungen und Lösungsansatz

In der Schweiz fallen jährlich rund 3 Millionen Tonnen brennbare Abfälle an. Nach der energetischen Nutzung der Abfälle bleibt etwas mehr als ein Fünftel als Kehrichtschlacke, Filterasche und Schlämme aus der Rauchgaswäsche zurück. Sie werden heute in Deponien eingelagert. Es stellen sich zwei wesentliche Herausforderungen:

- > *Die Rückstände enthalten wertvolle metallische und mineralische Rohstoffe. Die Rückgewinnung ist noch nicht optimal. Damit bleibt ein grosser Beitrag zur Ressourcenschonung und Umwelt- bzw. Klimaschutz ungenutzt.*
- > *Die Rückstände verursachen bei der heutigen Deponierung immer noch Rest-Emissionen. Es treten Schadstoffe aus. Daraus ergibt sich ein Nachsorgeaufwand mit einem realen Langzeitrisiko. Das Vorsorgeprinzip bzgl. Langzeitrisiken ist konsequent anzuwenden.*

Bei der Behandlung und Verwertung von Verbrennungsrückständen braucht es in der Schweiz einen Innovations-schub. Das Zentrum für nachhaltige Abfall- und Ressourcennutzung (ZAR) will die Schweizer Abfallwirtschaft in ihrer Entwicklung stärken, indem es folgendes Ziel anpeilt:

- > *Die thermische Abfallverwertung ist ein integrierter Bestandteil der schweizerischen Ressourcenpolitik. Sie betrachtet Abfälle als potenzielle Rohstoffe und nutzt deren Energie- und Stoffpotenzial optimal aus. Die Material- und Energienutzung soll über den gesamten*

Lebenszyklus der Produkte gesehen erhöht und die Notwendigkeit von Deponielösungen minimiert werden.

und dieses mit vier Stossrichtungen verfolgen will:

- a) Thermischen Prozess optimieren
Technische und anlagenorientierte Optimierungen. Qualitative und quantitative Erfassung und Bewertung der Stoffströme
- b) Aufbereitung
Einsatz modernster Sortierverfahren hinsichtlich markt-orientierte Rückführung der Wertstoffe
- c) Produkte-Entwicklung
Evaluation von potenziellen Absatzmärkten, Entwicklung von Produktspezifikationen, Versuche zur Schliessung des Kreislaufs
- d) Wertstofflager
Optimierte Wertstoffgewinnung soll haushälterischen Umgang mit Deponieraum ermöglichen. Derzeit nicht verwertbare Anteile der Verbrennungsrückstände sind so zu behandeln, dass sie nachsorgefrei in einem Wertstofflager hinsichtlich einer späteren Nutzung aufbewahrt werden können.

6. Weiterer Handlungsbedarf auf technischer Ebene

6.1 Fernhalten von Schadstoffen vom Input einer KVA oder Schadstoff-Entfrachtung aus der Schlacke?

Die Verbrennung von stark schwermetallhaltigen Abfällen führt zwangsläufig zu erhöhten Schwermetallgehalten in Schlacke und Filterstaub. Die grössten Beiträge an Schwermetallen in die KVA bringen die RESH-Abfälle. Aus heutiger Sicht macht die Verbrennung in einer KVA Sinn, doch es sind Lösungswege zu suchen, die nicht zu einer Erhöhung der Schwermetallrückstände in Schlacke und Filterstaub führen.

6.2 Optimierung des Verbrennungsprozesses

Ein guter Ausbrand des Kehrichts ist durch einen hohen Mineralisierungsgrad der organischen Materie charakterisiert, was zu tiefen TOC-Werten in der zurückbleibenden Schlacke führt (z.B. 0,5%). Dies wiederum führt zu geringen DOC-Eluatwerten bzw. tieferen DOC-Gehalten im Sickerwasser aus dem Schlackekompartiment und dem Zurückhalten von Kupfer in der Deponie. Der angestrebte gute Ausbrand könnte sich zudem positiv auswirken hinsichtlich geringerer Gehalte an gewässerproblematischen Inhaltstoffen im Sickerwasser (z.B. Ammonium/Ammoniak, ev. Gewässertoxizität. Alle diese Phänomene führen zu einer Verkürzung der Nachsorgezeit, d. h. einer baldigeren Einleitbarkeit von Sickerwasser in ein Oberflächengewässer.

Des Weiteren reduziert ein tiefer TOC den nachträglichen Verbrauch an Alkalinität infolge mikrobieller TOC-Oxidation. Eine hohe Alkalinität ist wichtig für die Stabilität der Immobilisierung der Schwermetalle im Deponiekörper.

- > Die gesetzlichen Vorgaben betreffend des Ausbrands in KVA sollen – um dem Stand der Technik nachzukommen – um ein Qualitätsziel für den TOC (z. B. Nassaustrag 0,5–1 %, Trockenausstrag 0,25–0,5 %) erweitert werden.
- > Es ist zu klären ob eine Korrelation des TOC in der Schlacke besteht i) zum Ammonium-/Ammoniakgehalt, ii) zum totalen Stickstoffgehalt sowie iii) zum ökotoxikologischen Schadenspotenzial?
- > Es soll geprüft werden inwiefern Ammonium/Ammoniak durch Prozesssteuerung in der KVA grosstechnisch beispielsweise durch Eindüsen von Wasser in die Brennzonen verringert werden kann?
- > Die Einflüsse der Rosttechnologie hinsichtlich des gezielten Schwermetalltransfers in der Verbrennung sollen grosstechnisch geprüft werden.

6.3 Schlackebehandlung

Die Entfrachtung der Schlacke von Nichteisenmetallen bzw. Schwermetallen (z. B. Kupfer, Chromat, ...) soll in möglichst weitestgehender Form vorgenommen werden. Mit der am 1.1.2010 in Kraft getretenen TVA-Änderung hat das BAFU in einem ersten Schritt eine Entfrachtungsvorgabe für partikuläre Metalle festgelegt.

6.4 Deponiespezifische Massnahmen

- > Welche Unsicherheiten bestehen in der langfristigen Prognose betreffend Eluierung von Schwermetallen aus Schlackedeponien? Sind gegenüber dem klassischen Modell (BEWEND, 2000) deutlich verkürzte Verweilzeitdauern im Deponiekörper bis zur Eluierung der Schwermetalle denkbar beispielsweise durch präferentielle Fliesswege bzw. durch biologische und/oder andere Prozesse? Welche Schwermetall-Konzentrationen sind zu erwarten?
- > Inwieweit ist die langfristige Eluierung von Schwermetallen aus Schlackedeponien tolerierbar? Damit der Langfristsicherheit bzw. dem Endlagerziel von Schlacke im Sinne des Leitbilds entsprochen wird, wäre eine baldige rechtliche Konkretisierung durch den Gesetzgeber wünschenswert. Der Relevanz des Schwermetallrisikos von Schlackedeponien sind konkrete Schutzmassnahmen gegenüberzustellen. Andernfalls wäre eine Neuausrichtung des Leitbilds zu erwägen.
- > Es sind Prognosen für das Mittel- und Langfristverhalten von Schlackedeponien erforderlich. In welchen Zeiträumen sind welche Belastungen zu erwarten? Die

potenziellen Nachsorgekosten sind zu quantifizieren und die Verursacher sind vollumfänglich in die Finanzierung einzubinden.

- > Hinsichtlich des Verhaltens von Ammonium/Ammoniak und DOC in Schlackedeponien sind Abklärungen zu Geschwindigkeit und Potenzial der biologischen Abbauprozesse vorzunehmen. Sind biologische Umwandlungsprozesse denkbar, welche Rahmenbedingungen begünstigen bzw. verhindern diese? Wie ist die Abdeckung von Schlackedeponien zu realisieren hinsichtlich einer möglichst kurzen Nachsorgezeit (Ammonium/Ammoniak, DOC) bzw. einem möglichst geringen Langzeitrisiko (geringe Schwermetalleluierung)?
- > Es sind technische Abklärungen vorzunehmen wie die langfristige Nachsorge des anfallenden Sickerwassers kostengünstig möglichst auf der Deponie vorgenommen werden kann. Infrage kommen in-situ-Abbau durch Rezirkulation, allerdings nur sofern die Umfeldbedingungen biologische Prozesse überhaupt zulassen, sowie Kleinkläranlagen, solche allenfalls in Form eines unterhaltarmen Schönungsteichs.

6.5 Gewässerspezifische Abklärungen

Betreffend allfälliger Einleitung von Sickerwasser ins Oberflächengewässer aus alten und künftigen Schlackedeponien ist die Festlegung eines Ammonium-/Ammoniakgrenzwerts erforderlich. Eine ökotoxikologische Beurteilung von Sickerwässern aus Schlackedeponien mit unterschiedlicher Alterung bringt wesentliche Informationen zum Nachsorgezeitraum sowie allenfalls zur Behandlung dieses Abwassers.

6.6 Weiterentwicklung von Bewertungsinstrumenten

Es wäre wünschenswert der unerwünschten Umweltbelastung durch die Schwermetallverbreitung eine ökologische Gewichtung zuzuschreiben. Es ist demnach zu prüfen, ob die langfristige Eluierung von Schwermetallen in die Methode der Ökobilanzen Eingang finden soll. Gegebenenfalls ist ein geeignetes Bewertungsteil für die Methode der Ökobilanzierung zu entwickeln. Ein solches Vorgehen hätte weitgehende steuernde Auswirkungen auf sämtliche Prozesse, welche zu schwermetallhaltigen Ablagerungsrückständen führen.

6.7 Entsorgung von Filterstaub

Aus Platzgründen konnte Filterstaub in diesem Artikel nicht beschreiben werden. Trotzdem sei hier ein Hinweis erlaubt. *«Die Entsorgung von Flugasche und Filterasche aus der Kehrichtverbrennung ist bis heute nicht optimal gelöst. Die Ablagerung dieser Verbrennungsrückstände in ausländischen Untertagedeponien (Salzbergwerke) ist zurzeit vor allem aus finanziellen Gründen noch zugelassen. Vorgängig zur Ablagerung auf einer Deponie kommen in der Schweiz zwei Behand-*

lungsmethoden zur Anwendung: die ‹saure Wäsche› und die Zementverfestigung. Dabei können die heute abgelagerten Rückstände aufgrund ihrer Qualität noch nicht als endlagerfähig bezeichnet werden.» (BHP Hanser und Partner AG, Sept. 2005).

In Analogie zur Schlacke soll auch Filterstaub aus KVA vor seiner Ablagerung weitestgehend von Nichteisenmetallen bzw. Schwermetallen (z. B. Zink, Kupfer, ev. seltene Metalle, ...) entfrachtet werden und diese der Wiederverwertung zugeführt werden.

7. Zusammenspiel der Kräfte

Die schweizerische Abfallwirtschaft hat in den letzten 20 Jahren basierend auf einem visionären Abfallleitbild und einer frühen und modernen Abfallgesetzgebung viele Ziele erreicht und enorme Fortschritte erreicht. Nachdem die KVA-Kapazitäten aufgebaut worden waren und keine Abfälle mehr direkt abgelagert wurden, konnten auch lufthygienisch und energetisch noch grosse Fortschritte erzielt werden. Stagniert haben allerdings die Entwicklungen um eine Verbesserung der Rückstandsqualität der KVA-Abstoffe. Der Trockenaustrag hat nun neue Ansatzpunkte in der Wertstoffgewinnung aus Schlacke ausgelöst, die auch den Aspekt der Schadstoffabminderung beinhalten. So stellt sich das Zentrum für Nachhaltige Abfall- und Ressourcenwirtschaft (ZAR) dem Ziel technologische Entwicklungen insbesondere betreffend den KVA-Abstoffen zu fördern.

Werden in der Schweiz die metallischen und mineralischen Rohstoffe aus den brennbaren Abfällen zurück gewonnen, leistet die Schweiz einen wichtigen Beitrag zur Optimierung der Stoffkreisläufe. Damit können Einsparungen von Energie- und Umweltbelastungen im Ausland erzielt werden.

Und durch die bessere Abfallverwertung lassen sich Umwelt Risiken bei der Deponierung reduzieren.

Der vorliegende Bericht leitet aus Untersuchungen von Schlacke und Sickerwasser aus Schlackekompartimenten ab, dass für den Ausbrand ein weitergehendes Qualitätsziel (z. B. innert weniger Jahre 0,5–1% TOC und später auch <0,5% TOC) festgelegt werden soll. Es ist zudem zu erwarten, dass bei konsequenter Anwendung des Stands der Technik die Abscheidung der partikulären Nichteisenmetalle künftig deutlich unter die von der TVA vorgegebene Restmenge von 1,5% möglich sein wird (vgl. Technisches Potenzial).

Für die Forscher besteht die Herausforderung darin, Grundlagen zur Verfügung zu stellen, damit es möglich wird einen Entscheid zu fällen, ob und gegebenenfalls welche Massnahmen erforderlich sind, um die Langfristsicherheit von Schlackedeponien zu gewährleisten.

Werden dank einer technologischen Entwicklung höhere Umwelleistungen bei gleichem oder unwesentlich höherem wirtschaftlichen Aufwand möglich, so ist der Gesetzgeber oder eine andere normative Kraft gefragt neue Umweltziele festzulegen (Abbildung 9). Es bestehen aber auch andere Instrumente wie Labels oder Anreize, die eine Entwicklung zu höher stehenden Umweltzielen unterstützen können.

Dank

Verschiedene Personen haben die Basisarbeiten, die zum Bericht Morf & Kuhn 2009 geführt haben, und welcher die Grundlage für den hier vorliegenden Bericht darstellen, unterstützt. Der Dank geht insbesondere an Daniel Böni KEZO Hinwil, Dr. Christoph Huter Entsorgung & Recycling Zürich, Hansruedi Schmid, Christian Sieber und Franz Adam AWEL Zürich.

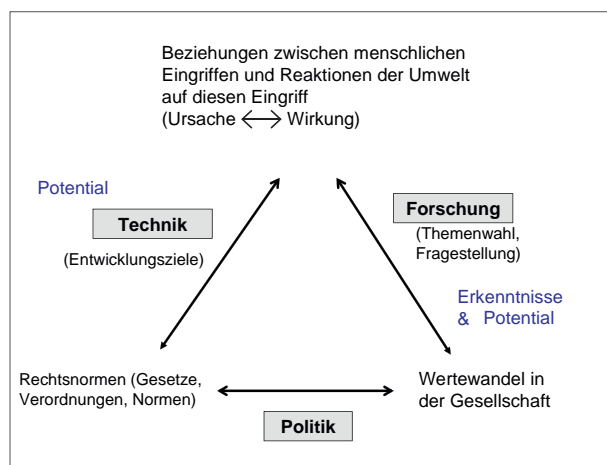


Abb. 9 Wechselwirkung zwischen Politik, Technik und Forschung (adaptiert von Prof. Helmut Kroiss, ÖWAV 2009–1909)

Quellen

[1] Morf L., Taverna, R. Buser, A. (2008): Schlackemonitoring in der KVA Thurgau im Jahr 2007, Endbericht Geo Partner AG.

[2] Morf L. & Kuhn E. (2009): Qualitätsentwicklung konventionell ausgetragener Schlacke. Bericht AWEL Kanton Zürich

[3] Morf L. & Kuhn E. (2008): Qualität von Sickerwasser aus Zürcher Schlackekompartimenten. Bericht AWEL Kanton Zürich.

[4] BEWEND (2000): Bewertung abfallwirtschaftlicher Massnahmen mit dem Ziel der nachsorgefreien Deponie BEWEND. Endbericht Version 3, Wien November 2000.

[5] AWEL Kanton Zürich (2007): Abfall- und Ressourcenwirtschaft – Planung 2007...2010.

[6] Bayrisches Landesamt für Umweltschutz (2002): Verwertung von Rostschlacken aus der thermischen Abfallbehandlung im Rahmen von Bauvorhaben.

[7] Leitbild für die Schweizerische Abfallwirtschaft. Bundesamt für Umweltschutz 1986, Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 51.

[8] Stucki S. (1999): «Perlen» aus dem SPP Umwelt. Integriertes Projekt Abfall. Schweizerischer Nationalfonds 12/99 Panorama

[9] Stucki S. (1999). Forschung für eine nachhaltige Abfallwirtschaft, ein Überblick über die Ergebnisse des IP Abfall. Beitrag aus Gesamtbericht «Ergebnisse des IP-Abfall im SPP Umwelt des Schweizerischen Nationalfonds 1996–1999.

[10] Hanser C., et al. (2005). Evaluation der Abfallpolitik des Bundes. BHP – Hanser und Partner AG, Electrowatt-EKONO AG. Bericht im Auftrag des BAFU erstellt.

[11] Hanser C., Kuster J., Gessler R., Ehrler M. (2006): Nachhaltige Rohstoffnutzung und Abfallentsorgung. Grundlagen für die zukünftige Gestaltung der Politik des Bundes. Umwelt-Wissen Nr. 0612. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern.

[12] Morf P. (2006). Einfluss der Verbrennungstechnik auf den Ausbrand in Kehrichtverbrennungsanlagen. Diplomarbeit ETH Zürich.