



Kurzbericht Schlackenprojekt

Kanton Zürich, Baudirektion
Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Sektion Abfallwirtschaft und Betriebe
Kontakt: Daniel Locher, Weinbergstrasse 34, 8090 Zürich, daniel.locher@bd.zh.ch



Zürcher Abfallverwertungs AG
Kontakt: Alfred Rudin, Nansenstrasse 16, 8050 Zürich, alfred.rudin@z-a-v.ch

Zürcher
Abfallverwertung

26. Juni 2023

1/10

Zusammenfassung

NE-Potential in Rohschlacken

Die NE-Metallgesamtgehalte (NE = Nicht-Eisenmetalle) in den Rohschlacken von Kehrichtverwertungsanlagen (KVA) stellen das Potential rückgewinnbarer NE-Metalle dar. Unter realen Bedingungen der Schlackenaufbereitung ist nicht das gesamte Potential nutzbar, weil ein Teil der NE-Metalle in Schlacken eingeschmolzen ist und nur rückgewonnen werden kann, wenn die Schlacke fein aufgebrochen wird. Bei der Analyse der NE-Metallgehalte ist es daher sinnvoll, nicht nur Gesamtgehalte zu messen, sondern die abscheidbare Menge unter einem definierten Zerkleinerungsgrad zu bestimmen. Da die Rückgewinnung von NE-Metallen einen hohen ökologischen Nutzen hat, sind das Potential und die abscheidbaren Mengen von grosser Bedeutung. In der vorliegenden gemeinsamen Arbeit konnten die NE-Metallgehalte in den Rohschlacken aller 5 Zürcher KVAs unter Anwendung mehrerer Analysenmethoden mit hoher Genauigkeit bestimmt werden.

Die einzelnen Anlagen weisen unabhängig von der angewendeten Analysenmethode, und auch zeitlich betrachtet, ziemlich konstante NE-Metallgehalte in ihren Rohschlacken auf. Im gegenseitigen Vergleich unterscheiden sich die NE-Metallgehalte in der Schlacke der Anlagen aber stark. Um möglichst das gesamte NE-Potential zu ermitteln, wurden auch Analysenmethoden kombiniert, wodurch im Vergleich zu den einzelnen, bisher angewandten Methoden durchwegs höhere Gehalte gemessen wurden. Die Reihenfolge der Anlagen blieb hinsichtlich der NE-Metallgehalte bei allen Untersuchungen gleich. Anlagen mit Trockenaustrag weisen sowohl die höchsten wie auch die niedrigsten NE-Metallgehalte in den Rohschlacken auf. Die Anlagen mit Nassaustrag liegen im Mittelfeld. Der NE-Metallgehalt der Schlacke ist massgebend von zwei Faktoren abhängig: vom Metallgehalt im Abfall und von der Menge mineralischer Abfälle in der thermischen Behandlung (z.B. belastete Böden), welche kein Metall enthalten, aber viel Schlacke generieren.

Die NE-Metallgehalte in den Rohschlacken sind somit abhängig von der Abfallzusammensetzung der einzelnen Anlagen: Die Austragsart (nass/trocken) hat hingegen keinen Einfluss auf die Metallpotentiale in frischer Rohschlacke. Bezüglich der Formen und Strukturen sind an den herausgelösten NE-Metallteilen keine Unterschiede zwischen nass stabilisierter und trocken ausgetragener Schlacke erkennbar (Abbildung 1).



Abbildung 1: NE-Metall >16 mm im Vergleich. Links im Bild aus Trockenschlackenprobe (ERZ), rechts aus Nassschlackenprobe (Winterthur).

Neben den Metallgehalten wurde im Rahmen dieses Projektes auch die Ausbrandqualität (Leitwert TOC, Total Organic Carbon) in der Rohschlacke beurteilt, da diese ebenfalls von hoher ökologischer Bedeutung ist. Es wurde die Erkenntnis gewonnen, dass der im Kanton Zürich vereinbarte TOC-Zielwert von 0.5 % (Grenzwert gemäss BAFU/VVEA: 2.0 %) unabhängig von der Austragsart «nass/trocken» erreicht werden kann.

Korrosionsverluste durch Nassaustrag

Im warmen und alkalischen Wasserbad des Nass-Entschlackers kann metallisches Aluminium oxidiert werden und in der Rückgewinnung verloren gehen. Mittels Simulationen der herrschenden Bedingungen und Messungen der Gasentwicklung wurden typische Korrosionsraten bestimmt.

Der Aluminiumverlust in Nass-Entschlackern schwankt stark, liegt aber im Bereich der Messungenauigkeit der NE-Bestimmungsmethoden. Korrosionsprozesse infolge längerer Lagerung von Nassschlacke wurde nicht betrachtet.

Rest-NE-Metallgehalte in aufbereiteten Schlacken

Alle Metalle, die nicht aus der Rohschlacke zurückgewonnen wurden, werden zusammen mit der Restschlacke deponiert. Es wurden die Rest-NE-Metallgehalte in den aufbereiteten Schlacken von 3 verschiedene Aufbereitern mit unterschiedlichen Analysemethoden bestimmt. Die Resultate werden in einem separaten Bericht beschrieben.

Durchgeführte Arbeiten

Bedeutung der Metallrückgewinnung aus Kehrichtschlacken von Kehrichtverwertungsanlagen (KVA)

Kehrichtschlacke beinhaltet ein grosses ökonomisches und ökologisches Potential zur Rückgewinnung der enthaltenen Metalle. Durch die thermische Verwertung von Abfällen wird die Masse des angelieferten Abfalls um rund 80 Prozent reduziert. Die restlichen 20 Prozent fallen neben rund 2 % Filterasche hauptsächlich als Kehrichtschlacke an, welche mit Metallen angereichert ist.

Die metallisch vorliegenden NE-Metalle (Aluminium, Kupfer, Gold etc.) sind dabei besonders ökologisch und ökonomisch relevant. Die Eisenmetalle (FE-Metalle) sind ökologisch weniger relevant, sind leicht magnetisch abscheidbar und werden in der nachfolgend erwähnten Studie nicht im Detail untersucht.

Eine Rückgewinnung der NE-Metalle aus der Kehrichtschlacke hat positive Umweltauswirkungen, welche auf die folgenden zwei Mechanismen zurückzuführen sind:

- a) Zurückgewonnene und in den Metallkreislauf zurückgeführte Metalle substituieren primär produzierte Metalle. Die Primärproduktion der Metalle ist in der Regel mit massiv grösseren Umweltwirkungen verbunden, weshalb eine Substitution zu einer Verringerung der gesamten Umweltbelastung führt.
- b) Die Schlackenaufbereitung sorgt dafür, dass die verbleibende, und deponierte, Restschlacke von Metallen abgereichert ist. Dadurch werden auf lange Sicht weniger Metalle aus der Deponie in die Umwelt ausgewaschen und letztlich auch das notwendige Deponievolumen reduziert.

Um gemeinsam bessere Kenntnisse über die verschiedenen Einflussgrössen bei der Metallrückgewinnung zu erlangen, hat die Zürcher Abfallverwertungs AG (ZAV AG) im Auftrag der fünf KVA-Betreiber, zusammen mit dem Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) das Potential der NE-Metallrückgewinnung aus Kehrichtschlacke möglichst repräsentativ untersucht. Dabei sollte insbesondere auch der Einfluss der unterschiedlichen Austragsarten (Nass- und Trockenaustrag) von Kehrichtschlacke aus dem Verbrennungsprozess auf die Metallrückgewinnung geklärt werden. Das sogenannte «Schlackenprojekt» wurde durch das Ingenieurbüro Stefan Skutan, St. Andrä-Wördern (A) durchgeführt und ausführlich dokumentiert (vgl. Bericht vom 23. Juni 2023).

Aufgabenstellung

Die 5 Zürcher KVA haben zusammen mit dem AWEL und der ZAV AG beschlossen, in diesem Projekt folgende Fragen zu beantworten:

- 1) Wie hoch ist der Gehalt an NE-Metallen in den Rohschlacken der 5 Zürcher KVAs und welches Rückgewinnungspotential ergibt sich daraus?
- 2) Gehen im Nass-Entschlacker signifikante Mengen Metall verloren, die nicht zurückgewonnen werden können?
- 3) Wie hoch sind die Rest-NE-Metallgehalte in den aufbereiteten Schlacken nach verschiedenen Metallrückgewinnungsverfahren?

Gehalt an metallischen NE-Metallen in den Rohschlacken, Probenahme und Aufbereitung

Die metallischen NE-Metallgehalte in der Rohschlacke stellen das maximal mögliche Potential für die Metallrückgewinnung dar. Zudem können mit den Gehalten der Rohschlacke unter Berücksichtigung des spezifischen Schlackenanteils auch die NE-Metallgehalte des Abfallinputs berechnet werden

Die Probenahme und Probenaufbereitung von Rohschlackenproben aus KVA ist aufgrund der Heterogenität und den Korngrößen der Schlacken eine grosse Herausforderung. Bei der Probeaufbereitung von Nassschlacke muss zudem darauf geachtet werden, dass die NE-Metallgehalte in der Rohschlacke nicht durch Korrosionsverluste verfälscht werden: Beim Nassaustrag geht die Schlacke nach der Verbrennung durch ein Wasserbad, in dem physikalische und chemische Reaktionen mit der Kehrrechtschlacke und den Metallinhalten stattfinden können, während beim Trockenausstrag die Schlacke trocken aus dem Ofen kommt und an der Luft abgekühlt wird.

Unter Einbezug der Expertise des Fachexperten Stefan Skutan wurden gemeinsam mit den Projektpartnern vergleichbare Probenahme-, Aufbereitungs- und Analysemethoden sowohl für Nassschlacken als auch für Trockenschlacken entwickelt und in zwei Probenahmekampagnen ausführlich getestet:

- Die Nassschlacke wird unmittelbar nach dem Austrag, ausgeführt als Stösselentschlacker, schubweise beprobt, gebrochen, nass gesiebt, geteilt und sofort getrocknet, um weitere allfällige Korrosionsverluste zu verhindern (Abbildung 2 Mitte und rechtes Bild).
- Die Trockenschlacke wird über Plattenbänder kontinuierlich ausgetragen und in definierten Inkrementen ab Band beprobt, gebrochen, gesiebt und geteilt (Abbildung 2 linkes Bild).

Durch diese Probenahme- und Aufbereitungsmethoden ist nun ein direkter Vergleich des Metallgehalts von trockenen und nassen Schlacken ausreichend genau möglich, denn:

- allfällige Korrosionsverluste der Metalle durch Lagerung der Kehrrechtschlacke werden damit reduziert
- die Herauslösung von NE-Metallen aus ihre Schlackenmatrix ist bei beiden Austragsarten auch für feinste Metallkörnungen ohne zusätzliche Verfahrensschritte möglich
- bezüglich Formen und Strukturen sind an den herausgelösten NE-Metallteilen keine Unterschiede erkennbar

Die Erkenntnisse aus den Versuchen bilden, neben erstmals repräsentativen Daten zu den Metallpotentialen in Rohschlacken, auch eine Basis für das zukünftige Schlackenmonitoring.



Abbildung 2: Probenahme und Aufbereitung von Rohschlacke

Vergleich und Wahl der Analysemethoden für NE-Metalle

Im Rahmen des Schlackenprojekts konnten für die Bestimmung von repräsentativen NE-Metallpotentialen genug grosse, robuste Rohschlackenproben gewonnen, aufbereitet und mit verschiedenen Analyseverfahren auf den metallischen NE-Metallgehalt untersucht und verglichen werden. Um die erforderlichen grossen Probenmengen zu bewältigen, wurden alle rohen Proben zuerst mit einer Vibrowalze (oder Rüttelplatte) zerkleinert und über ein 16 mm Wurfgitter abgeseibt. Die dabei erhaltenen Metallfraktionen >16 mm wurden magnetsortiert und noch zusätzlich NE-Metall und VA-Stahl nach optischen und magnetischen Kriterien getrennt. Auf die Probenfraktionen <16 mm wurden 3 unterschiedliche Analysemethoden angewendet, die wie folgt charakterisiert werden:

a) Bei der «BAFU-Methode» gemäss der BAFU-Vollzugshilfe «Messmethoden im Abfall- und Altlastenbereich» (Methode F-23) aus dem Jahr 2017, werden die NE-Metalle im Korngrössenbereich 2-16 mm nach selektiver Zerkleinerung aus einer ca. 30-50 kg schweren Schlackenprobe herausgeseibt und durch Magnetsortierung von den Fe-Metallen getrennt. Die Proben werden dabei so oft über den Backenbrecher gegeben, bis die ausgesiebte Fraktion visuell als reine Metallfraktion erscheint. Schlackenkörner und NE-Metalle grösser 16 mm und kleiner 2 mm werden verworfen und nicht berücksichtigt.

Zu den Nachteilen dieser Methode zählen einerseits die kleine Probenmenge andererseits gehen je nach Anlage mehr oder weniger Metalle durch die Bearbeitung in der Anlage und bei der Analyse mit dem Backenbrecher infolge der Korngrössenbeschränkung (<2mm und >16mm) verloren. Bei dieser Analysemethode werden auch die Gehalte an VA-Stählen als NE-Metalle erfasst. Vorteile der BAFU-Methode sind die wirtschaftliche und einfache Durchführbarkeit, sowie die Vergleichbarkeit infolge schweizweit festgelegter Standardisierung.

b) Die «Bachema-Methode» stellt eine Erweiterung der BAFU-Methode dar und wurde vom Labor Bachema AG in Schlieren entwickelt. Im Gegensatz zur BAFU-Methode berücksichtigt sie alle NE-Metalle grösser als 1 mm, also zusätzlich die Fraktionen 1 bis 2 mm und > 16 mm. Es werden dazu wie bei der «BAFU-Methode» auch nur relativ kleine Probenmengen von ca. 30-50 kg untersucht. Die Proben werden ebenfalls durch selektive Zerkleinerung der Schlacke im Backenbrecher, Aussieben der Metalle und Magnetsortierung analysiert.

Im Kanton Zürich wird der NE-Metallgehalt in den Rohschlacken aller KVA seit mehreren Jahren laufend mit dieser Methode erhoben («Schlackenmonitoring»). Dadurch konnte die Bachema-Methode über die letzten Jahre, und nun und auch im Rahmen dieses Schlackenprojekts, kontinuierlich verbessert werden.

c) Die «ZAR-Methode» ist eine von der Stiftung ZAR entwickelte Methode. Sie arbeitet mit einem eigens dafür konstruierten Wirbelstromabscheider in Technikum-Grösse. Untersucht werden können grosse Probenmengen von ca. 200-500 kg. Der berücksichtigte Korngrössenbereich für die NE-Metallbestimmung umfasst 0,2-16 mm. Genau gleich wie das üblicherweise in der grosstechnischen Schlackenaufbereitung der Fall ist, werden ausschliesslich NE-Metalle abgeschieden, welche mittels Wirbelstromverfahren abtrennbar sind. Die Metallgehaltsbestimmung erfolgt durch Separierung in mehreren Durchläufen mit dem Wirbelstromabscheider aus der vorklassierten Schlacke. Vorteil der ZAR-Methode ist, dass mit grossen Probenmengen unter definierten Bedingungen NE-Metallgehalte reproduzierbarer bestimmt werden können. Durch die maschinelle Bearbeitung entfällt im Vergleich zur BAFU- oder Bachema-Methode die visuelle Beurteilung der Metallfraktion, ob der Schlackenanteil darin bereits niedrig genug ist, oder die Probe weiter gebrochen werden muss. Die Methode ist ideal, um die industriell, mit Wirbelstromverfahren «gewinnbaren NE-Metalle» zu bestimmen. Es werden jedoch keine VA-Stähle, eingeschlossene (versinterte) NE-Metalle, oder in Grösse, Form und Gewicht für dieses Verfahren ungünstige Partikel erfasst. Wie im industriellen Verfahren müssen magnetische Schlackenanteile vorgängig abgeschieden werden und werden deshalb nicht analysiert, bzw. können durch die Bachema-Methode, im Nachgang an die ZAR-Methode, bestimmt werden.

d) Die Kombination aus ZAR-Methode und Bachema-Methode.
Wenn man den Gesamtgehalt aller vorliegenden NE-Metalle möglichst genau ermitteln möchte, dann ist eine Bestimmung in drei Stufen erforderlich. In der ersten Stufe werden die Metalle >16 mm bestimmt, indem die Schlacke auf <16 mm gebrochen wird und die Metalle >16 mm ausgesiebt und sortiert werden. In der zweiten Stufe werden die Metalle <16 mm in den vorzerkleinerten Proben bestimmt, entweder mit der ZAR-Methode (0,2-1 mm und 1-16 mm) oder der Bachema-Methode (1-16 mm). Die umfassendsten Resultate werden erhalten, wenn nach der ZAR-Analyse in einer dritten Stufe die Rückstände nochmals nach Bachema-Methode gemessen werden («Rückstandsanalyse»). Zusätzlich kann in der dritten Stufe der metallische Aluminiumanteil in sämtlichen Probenrückständen der beiden in Serie durchgeführten Analysen mittels der Wasserstoffmethode bestimmt werden. In diesem Schlackenprojekt wurde diese Methodenkombination zur Gesamt-NE-Potentialbestimmung angewandt (gute Näherung für den NE-Metallgesamtgehalt). Die Kombination aus erster Stufe (NE-Metalle >16 mm) und ZAR-Analyse wird als «Basisanalyse» bezeichnet (Tabelle 1 und Abbildung 4), das entspricht etwa jenem NE-Metallanteil, der mit Wirbelstromabscheidung maximal abgetrennt werden kann, wenn die Schlacke auf <16 mm aufgebrochen wird. In den Zeiträumen der Probenahmekampagnen wurden jeweils auch Untersuchungen mit separater Probenahme gemäss dem Schlackenmonitoring durchgeführt. Diese kommen mit einer sehr vereinfachten Probenahme aus und verwenden allein die Bachema-Methode zur Messung.

Ein Vergleich der Analysenmethoden zeigt, dass alle Analysenmethoden unterschiedliche Restriktionen und blinde Flecken haben. Trotz ihrer komplett unterschiedlichen Ansätze

führen sie, über alle Korngrössenbereiche > 1 mm betrachtet, zu ähnlichen Resultaten (Abbildung 3). Je nach Fragestellung eignen sich die unterschiedlichen Analysenmethoden aber mehr oder weniger gut.

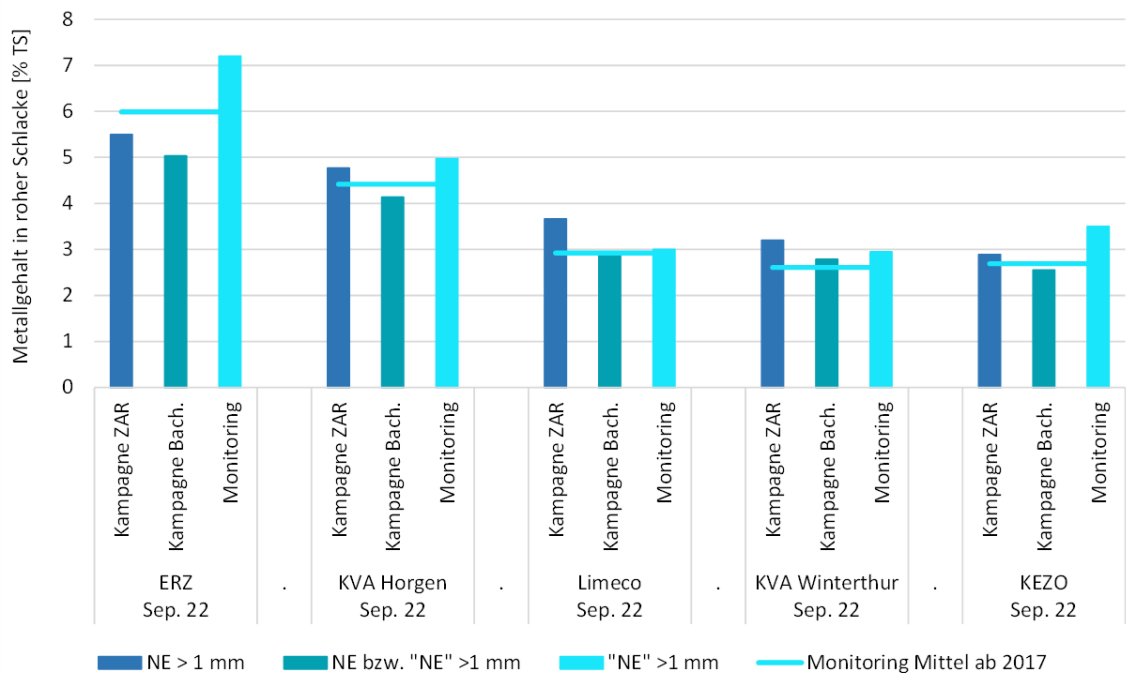


Abbildung 3: Vergleich der Messresultate für die Metallkörnung >1 mm aus der Kampagne September 2022 mit den Schlackenmonitoring-Ergebnissen vom September 22, bzw. dem Mittelwert seit 2017. Für die Kampagne ist einmal der Wert aus der ZAR-Analyse angegeben (für Körnung 1-16 mm ohne «Rückstandsanalyse») und einmal die Analysenvariante, die für die Korngrössenklasse 1-16 mm die Bachema-Methode nutzte («NE» inkl. VA-Stahl).

Resultate: NE-Metallgehalte in Rohschlacken

In zwei Messkampagnen im November 2021 und September 2022 wurden die NE-Metallgehalte in repräsentativen Mischproben von Rohschlacken aller fünf Zürcher KVA gemessen. Die Probenahmen dauerten jeweils 3 Wochen und bestanden im Jahr 2021 aus 5x2 Proben à 30-50 Inkrementen à je 4'000-9'000 kg Rohschlacke. Im Jahr 2022 wurde eine kleinere Kampagne gefahren mit rund 10 Inkrementen pro Anlage und Probenmengen von 500-1000 kg. Die Proben wurden gebrochen, bei 16 mm gesiebt und in analysenfähige Chargen geteilt. Anschliessend wurden die Proben mit den 3 verschiedenen Analysenmethoden (Bachema-, ZAR- und BAFU-Methode) auf NE-Metallgehalte untersucht. Mit den Ergebnissen konnte eine gute und belastbare Genauigkeit erreicht werden (Tabelle 1).

Eine Rückrechnung der für den November 2021 gemessenen NE-Metallgehalte in der Kehrriechtschlacke auf die verbrannte Abfallmenge zeigt, dass die Schwankungen im NE-Metallgehalt hauptsächlich vom Verhältnis des verbrannten Abfalls- zur produzierten

Schlackenmenge abhängig sind (Tabelle 2). Das heisst, Anlagen, welche pro Tonne Abfallinput viel Schlacke produzieren, haben tendenziell tiefere NE-Metallgehalte in der Schlacke.

Zur Hauptsache ist demnach die Art und Zusammensetzung des verwerteten Abfalls für das aus Rohschlacke rückgewinnbare Metallpotential massgebend. Der Einfluss des Schlackenaustrages (nass/trocken) auf das rückgewinnbare Metallpotential konnte nicht festgestellt werden.

Tabelle 1: Mittelwerte (MW), Standardabweichungen (STABW) und relative Standardabweichungen in Prozent (rsd %) für die in der Probenahmekampagne Nov. 2021 gemessenen NE-Metallgehalte der rohen Schlacken. Werte in % NE-Metall in Trockensubstanz roher Schlacke, Basisanalyse = Kombination aus klassischer Analyse für das NE-Metall >16mm und der Wirbelstromabscheidung für das NE-Metall 0,2-16 mm

	ERZ			KVA Horgen			Limeco			KVA Winterthur			KEZO		
	MW	STABW	rsd %	MW	STABW	rsd %	MW	STABW	rsd %	MW	STABW	rsd %	MW	STABW	rsd %
NE >1 mm, Basisanalyse	4,57	0,07	1,6 %	3,78	0,31	8,3 %	3,72	0,28	7,6 %	3,23	0,07	2,2 %	2,66	0,15	5,7 %
NE >0,2 mm, Basisanalyse	4,81	0,01	0,3 %	4,00	0,30	7,4 %	3,83	0,29	7,5 %	3,34	0,07	2,1 %	2,78	0,14	4,9 %
NE "Gesamtgehalt" *	5,48	0,14	2,6 %	4,95	0,15	3,0 %	4,55	0,27	5,9 %	3,95	0,02	0,4 %	3,55	0,10	2,8 %

Tabelle 2: Rückrechnung der NE-Metallgehalte der Schlacken auf die der verbrannten Abfälle. Werte in % NE-Metall der verbrannten Abfälle (feucht).

	ERZ			KVA Horgen			Limeco			KVA Winterthur			KEZO		
	Nov. 21	Sep. 22	rsd %	Nov. 21	Sep. 22	rsd %	Nov. 21	Sep. 22	rsd %	Nov. 21	Sep. 22	rsd %	Nov. 21	Sep. 22	rsd %
RÜCKRECHNUNG AUF NE-METALLGEHALTE DER VERBRANNTEN ABFÄLLE [% NE-Metall bezogen auf Abfall feucht wie angeliefert]															
NE >1 mm, Basisanalyse	0,73	0,83	9 %	0,56	0,69	15 %	0,76	0,69	7 %	0,74	0,73	1 %	0,57	0,51	8 %
NE >0,2 mm, Basisanalyse	0,77	0,88	9 %	0,59	0,72	14 %	0,78	n.b.	---	0,77	n.b.	---	0,59	0,53	8 %
NE "Gesamtgehalt"	0,88	0,98	8 %	0,73	0,83	9 %	0,93	0,85	6 %	0,91	0,89	1 %	0,76	0,65	11 %

Durch die Kombination von Analysemethoden wurden auch die totalen NE-Metallgehalte bestimmt (max. Potential, Abbildung 4). Dabei ergab sich in der Reihenfolge der Anlagen eine unveränderte Abfolge. Im Vergleich mit den vorhandenen langjährigen Schlacken-Monitoringdaten ergaben sich eine leicht andere Reihenfolge der Anlagen und tendenziell höhere Werte, bei den Nassschlacken bis zu +35 %.

Aufgrund der kleineren Probenmengen sind die Schwankungen im bisherigen Schlackenmonitoring gross. In Zukunft soll die Datenqualität durch ein angepasstes Monitoring verbessert werden.

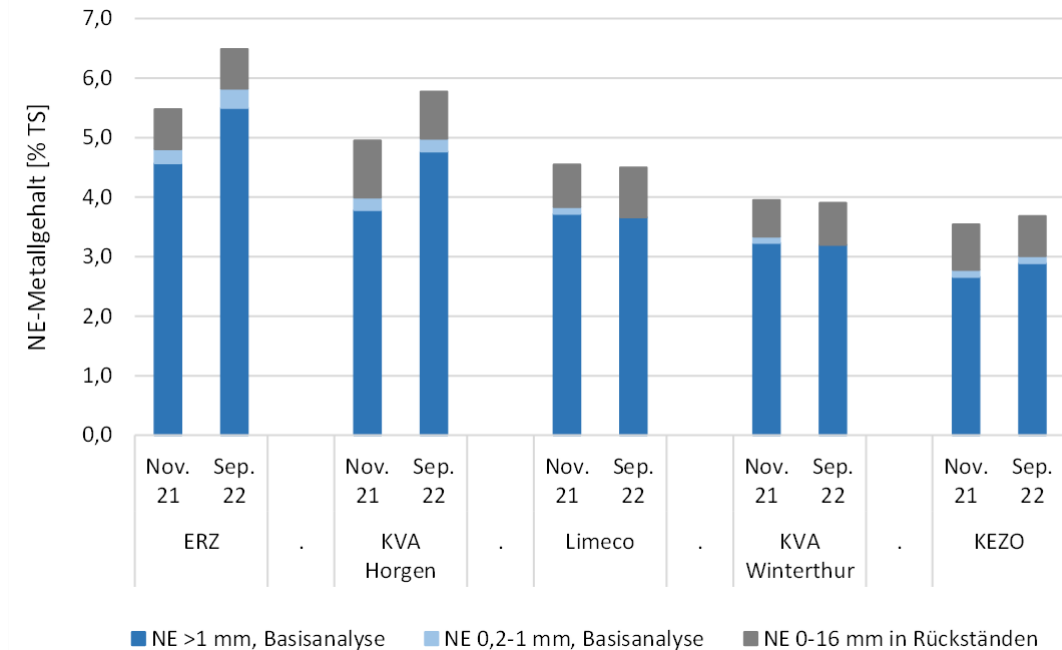


Abbildung 4: NE-Metallgesamtgehalte (Näherung) in roher Schlacke in den 5 Zürcher KVAs, Kampagnen Nov. 21 und Sep. 22 (Anmerkung: keine Bestimmung von NE 0,2-1 mm bei Limeco und KVA Winterthur im September 2022).

Verlust an NE-Metallen im Nassentschlacker

Im Hinblick auf die Vergleichbarkeit der entnommenen Nass- und Trockenschlackenproben für Metallpotentialbestimmung in der Rohschlacke wurde auch der mögliche Korrosionsverlust von Aluminium im Nassentschlacker durch eine besondere Versuchsanordnung abgeschätzt. Aluminium ist das einzige relevante NE-Metall, welches unter den Bedingungen wie sie im Nassentschlacker herrschen, oxidieren und somit für die Rückgewinnung verloren gehen kann.

Dazu wurde Alu-Granulat unterschiedlicher Körnungen mit den Wässern aus den Entschlackern von zwei verschiedenen KVAs gemischt und die Menge an gebildetem Wasserstoffgas gemessen. Die gebildete Gasmenge ist direkt proportional zur oxidierten Metallmenge, womit sich die Masse an oxidiertem Aluminium-Metall berechnen lässt. Die Versuchsansätze wurden teilweise mit Sand- oder Schlackenzusatz, sowie teilweise mit Simulation der sich wechselnden Bedingungen während des Austrags angesetzt.

Es zeigten sich auch innerhalb derselben KVA und innerhalb weniger Stunden sehr große Unterschiede in der Korrosivität der Entschlackewässer: während bei einigen Ansätzen beinahe keine Korrosion gemessen wurde, entwickelten einzelne Ansätze überdurchschnittlich starke Korrosion. Die dazu fördernden und/oder hemmenden Einflussgrößen konnten im Rahmen dieser Arbeit nicht schlüssig geklärt werden.

Resultate

Aus den Messungen mit Simulation der Entschlackerpassage ergibt sich für die Dauer im Nassentschlacker ein möglicher Bereich von 1-10 % Verlust vom Alu-Metall in der hauptsächlich geprüften Korngrössenklasse 1-2 mm. Über alle Korngrössenklassen heisst das, dass während des Austrags der Schlacke im Nassentschlacker eine Minderung der gesamten NE-Metallgehalte durch Korrosion in der Grössenordnung von 0,02 bis in Ausnahmefällen max. 0,1 %-Punkten resultieren kann. Auch der grösste Aluminiumverlust im Nassentschlacker liegt im Bereich der Messungenaugigkeit der NE-Bestimmungsmethoden und ist für das Metallpotential von untergeordneter Bedeutung. Aufgrund der grösseren spezifischen Oberflächen werden, die schwer rückgewinnbaren feinen und feinsten Alu-Partikel überdurchschnittlich stark oxidiert. Wird in der Aufbereitungskette nass ausgetragene Kehrichtschlacke zwischengelagert und umgeschlagen, so wird diese auf natürliche Weise durch Abbindeprozesse trocknen und carbonatisieren, wodurch die Korrosionsraten reduziert werden. Über eine längere Lagerdauer kann aber dennoch weitere Aluminium-Korrosion stattfinden. Die Untersuchung, ob dies allenfalls für die Metallrückgewinnung relevant ist, war nicht Bestandteil des Projekts.

Rest-NE-Metallgehalte in den aufbereiteten Schlacken nach verschiedenen Metallrückgewinnungsverfahren

Der Rest-NE-Metallgehalt in den abgelagerten aufbereiteten Schlacken ist aus zweierlei Hinsicht eine zentrale Zielgrösse: erstens sind diese Metalle trotz dem betriebenen Aufwand einer Rückgewinnung entgangen, zweitens bilden diese einen Teil des Schadstoffpotentials der deponierten Schlacke.

Damit auch hierzu vertiefte und vergleichbare Aussagen gemacht werden können, haben sich die Projektpartner für gemeinsame Beprobungen und Analysen der Restschlacken aus den folgenden Anlagen geeinigt:

- a) der Anlage von Gebr. Lienhard, Standort Deponie Riet, Winterthur: Nassschlacke aus Winterthur (Lagerdauer bis zu einem Jahr)
- b) der Anlage der DHZ AG, Standort: Deponie Häuli, Lufingen: Nassschlacke aus Limeco (Lagerdauer 1-3 Wochen)
- c) der Anlage der ZAV Recycling AG, Standort: Areal KEZO, Hinwil: Trockenschlacke aus ERZ Zürich, Hinwil und Horgen (ohne ausserkantonale Zulieferanten)

Durch die Kombination von Analysenmethoden können mit der Wirbelstromtechnik rückgewinnbare NE-Metalle und in Schlackenkörner gebundene NE-Metalle unterschieden werden. Zusätzlich wurde in der Kornfraktion < 1mm metallisches Aluminium mit der Wasserstoff-Methode gemessen. Wie schon bei der Rohschlacke werden durch die Kombination mehrerer Analysenmethoden durchwegs höhere Gehalte gemessen. Die detaillierten Resultate werden in einem separaten Bericht dokumentiert.

Literatur

- Bestimmung der NE-Metallgehalte von KVA-Schlacken im Kanton Zürich, Methodenentwicklung und Messkampagnen im November 2021 und September 2022, Bericht Stefan Skutan vom 23. Juni 2023