

AUSZUG aus dem Schlussbericht zum

BMBF-Forschungsvorhaben Förderkennzeichen 033R086

Verbundvorhaben:

ATR

Aufschluss, Trennung und Rückgewinnung von ressourcenrelevanten Metallen aus Rückständen thermischer Prozesse mit innovativen Verfahren

Zuwendungsempfänger:	Kennzeichen:
	033R086
BAM – Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM)	A
TARTECH eco industries AG (TARTECH)	B
Fraunhofer UMSICHT – Institutsteil Sulzbach-Rosenberg (UMSICHT)	C
Helmholtz-Zentrum Geesthacht (HZG)	D
Stadtreinigung Hamburg (SRH)	E
Berliner Stadtreinigungsbetriebe (BSR)	F
SpiCon GmbH (SpiCon)	G
Universität Duisburg-Essen (UDE)	H
Ludwig-Maximilians Universität München (LMU)	J

Autor : Dr.-Ing. Olaf Holm

Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2012 - 30.06.2015

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter den o. g. Förderkennzeichen gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei dem Autor.

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	3
2	Einleitung.....	4
3	Vorgehensweise	6
3.1	Weitergehende Aufbereitung der Feinfraktion unter Berücksichtigung chemisch gebundener Metalle	7
3.2	Verwertung der Restmineralik und feiner Aluminiumfraktionen	7
3.3	Weitere Anwendungsgebiete der TARTECH-Technologie abseits von HMVA .	7
3.4	Bilanzierung, Quantifizierung und Bewertung	8
4	Ergebnisse und Diskussion.....	8
4.1	Weitergehende Aufbereitung der Feinfraktion unter Berücksichtigung chemisch gebundener Metalle	12
4.2	Verwertung der Restmineralik und feiner Aluminiumfraktionen	12
4.3	Weitere Anwendungsgebiete der TARTECH-Technologie abseits von HMVA	13
4.4	Bilanzierung, Quantifizierung und Bewertung	13
5	Quellen	16

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2:	Ansicht der Aufbereitungsanlage für Hausmüllverbrennungsraschen (HMVA) in Wiesbade	8
Abb. 3:	Im Rahmen des Projektes (weiter-)entwickelte TAR-Prozessoren (Hochgeschwindigkeits-Rotations-Beschleuniger) zum Prallaufschluss von HMVA: Alpha-Linie und Beta-Linie	9
Abb. 4:	Zusammensetzung der NE-Metallfraktionen aus der Alpha-Linie	10
Abb. 5:	Kupfer-Konzentration im Feststoff der mineralischen Fraktionen	10
Abb. 6:	Silber-Konzentration im Feststoff der mineralischen Fraktionen	11
Abb. 7:	Verfahrensfließschema der Beta-Linie zur Aufbereitung von HMVA-Fraktionen < 2 mm.....	11
Abb. 8:	Ergebnisse der Wirkungskategorie Treibhauspotenzial für die Aufbereitung unterschiedlicher HMVA-Chargen in der Alpha-Linie	14
Abb. 9:	Auswirkung auf die Wirkungskategorien Treibhauspotential und Eutrophierungspotenzial bei einer weitergehenden Behandlung von HMVA in der Beta-Linie.....	14
Abb. 10:	Zusammensetzung der Gutschriften des Szenarios EAG-Asche (Aufbereitung Alpha- und Beta-Linie versus Deponierung):	15

1 Zusammenfassung

Ziel des Vorhabens war die Steigerung der Rückgewinnung von Metallen aus Aschen und Schlacken, insbesondere aus Hausmüllverbrennungsaschen (HMVA), durch Aufschluss aus den mineralischen Verbunden. Durch das innovative Prallzerkleinerungsverfahren des Projektpartners TARTECH eco industries AG sollten Verunreinigungen an den Metallen vollständig abgeschlagen werden. Für die großtechnische Demonstration dieses Verfahrens wurden durch die Projektpartner Stadtreinigung Hamburg (SRH) und Berliner Stadtreinigung (BSR) unterschiedliche Chargen HMVA, insgesamt ca. 5.000 Mg, zur Verfügung gestellt. Das zerkleinerte und von Eisen- und Nichteisen-Metallen entfrachtete Material mit vorwiegend oxidisch gebundenen Metallen wurde für weitere Verfahren verwendet. Zur Rückgewinnung von Kupfer wurden an der Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM) Verfahren zur Flotation und Dichtesortierung und bei der Spicon GmbH Verfahren zur enzymatischen Extraktion erforscht. An der Ludwig-Maximilians Universität (LMU) wurde die hydrothermale Extraktion von Blei und Zink sowie deren Rückfällung untersucht.

Mit Blick auf die weitgehende Verwertung separierter Stoffströme wurde zum Einen untersucht, ob die mineralische Fraktion nach einer derartigen Behandlung noch zur Verwertung bei der Deponiesanierung einsetzbar ist. Zum Anderen wurde eine aus HMVA gewonnene Aluminiumfraktionen (< 3 mm) beim Projektpartner Helmholtz-Zentrum für Material- und Küstenforschung GmbH (HZG) zur Synthese von Wasserstoffspeichermaterialien eingesetzt.

Mit Blick auf einen möglichen Technologietransfer für das innovative Prallzerkleinerungsverfahren wurden seitens des Projektpartners Universität Duisburg-Essen (UDE) geeignete Schlacken aus der Stahl-, Edelstahl- und NE-Metallindustrie ermittelt. Zudem wurden beim Projektpartner Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT Reststoffe aus WEEE-Recyclingprozessen verbrannt und in Teilen der großtechnisch umgesetzten Anlage aufbereitet.

Die Arbeiten im Rahmen des Verbundprojekts haben gezeigt, dass mit innovativen Technologien die NE-Rückgewinnungsquoten aus HMVA gegenüber Anlagen, die nach dem Stand der Technik arbeiten, deutlich erhöht werden können. Vor allem die Metalle Aluminium, Kupfer sowie Legierungselemente aus Messing konnten vermehrt zurückgewonnen werden. Die Anreicherung von weiteren wertvollen Metallen in separierten Stoffströmen aus der Fraktion < 2 mm wurde im Rahmen des Projektes nicht systematisch untersucht, wurde jedoch durch die Abnehmer der gewonnenen Konzentrate bestätigt. Der Anteil dieser Fraktion < 2 mm wird zwar bereits in der Alpha-Linie deutlich erhöht, eine Verwertung im Deponiebau auf der Deponie Schöneicher Plan ist jedoch weiterhin möglich.

Die Ergebnisse der ökobilanziellen Betrachtungen zeigten, dass die Aufbereitung metallhaltiger HMVA grundsätzlich ökologische, soziale bzw. sozioökonomische

Vorteile erbringt. Bereits die Aufbereitung von HMVA nach dem Stand der Technik ergibt demnach eine deutlich Gutschrift für die zurückgewonnenen Metalle, die unter Berücksichtigung der dabei erzeugten Emissionen im Saldo zu einer Einsparung führt. Die Bilanzierung der Versuche im Rahmen des Projektes unterstreichen, dass das Ausmaß der Entlastung für Umwelt und Gesellschaft vor allem von den Metallgehalten der behandelten HMVA abhängt. Dabei lassen sich die ökologischen Vorteile auf die Schonung primärer Rohstoffe zurückführen. Insbesondere die hochwertige Aufbereitung unbehandelter HMVA mit hohen Gehalten an Eisen, Kupfer und Aluminium ist mit ökologischen Vorteilen verbunden. Im Weiteren zeigten die Untersuchungen, dass der verfahrenstechnische Mehraufwand zur Erschließung des Rohstoffpotenzials von HMVA in der Korngrößenfraktion < 2 mm in Form der Beta-Linie nicht eindeutig als positiv oder negativ bewertet werden kann.

2 Einleitung

Siedlungs- und Gewerbeabfälle, welche in die thermische Abfallbehandlung gelangen, enthalten das vollständige Spektrum anthropogen genutzter Stoffe und Materialien. Durch eine getrennte Sammlung und Behandlung werden zwar erhebliche Mengen an Wertstoffen vor dem Verbrennungsprozess abgeschöpft und in den Wirtschaftskreislauf zurückgeführt. Dennoch gelangen volkswirtschaftlich relevante Mengen von Metallen in den Restabfall und somit in die thermische Abfallbehandlung. Diese Metalle werden bisher nur teilweise nach dem Verbrennungsprozess zurückgewonnen.

Bei Verbrennungsprozessen entstehen verschiedene feste und gasförmige Rückstände. Flugaschen und andere Rückstände aus der Rauchgasreinigung werden meist untertage entsorgt. Die größte Rückstandsfraktion bildet die HMVA. Unter HMVA wird im Allgemeinen der Verbrennungsrückstand verstanden, der bei der Feuerung nicht über die Abluft, sondern i. d. R. durch ein Rost nach unten aus dem Verbrennungsraum ausgetragen wird. Vielfach wird daher auch der Begriff Rostasche verwendet. Aus 1.000 kg Siedlungsabfall entstehen etwa 250 kg HMVA. Da in Deutschland jährlich etwa 20 Mio. Mg Siedlungsabfälle verbrannt werden, fallen folglich rund 5 Mio. Mg HMVA an. HMVA enthält weit weniger Problem- und Störstoffe als die Flugaschen und die Rückstände aus der Rauchgasreinigung, enthält zudem Metalle in elementarer Form und hat sehr gute bautechnische Eigenschaften. Aber auch sie kann nicht ohne weiteres als Ersatzbaustoff genutzt werden.

Frische HMVA ist ein inhomogenes Stoffgemisch mit metallischen und mineralischen Anteilen sowie sogenannten Durchläufermaterialien, wie Steine, Glas, Keramik und einem kleinen Anteil Restorganik. Der Metallanteil beträgt etwa 10%, wobei ein Großteil auf magnetische Eisenmetalle (Fe-Metalle) entfällt. Ein kleinerer, nichtmagnetischer Anteil (NE-Metalle) besteht vornehmlich aus den Metallen Aluminium und Kupfer sowie Legierungen wie Messing und Edelstahl. Über 80% der HMVA ist mineralisches Material, das etwa in gleichen Teilen aus

Asche und Schlacke, also glasigen oder kristallinen Schmelzprodukten, besteht. Daher werden sie häufig auch als HMV-Schlacken bezeichnet.

HMVA wird in Deutschland fast ausschließlich nass, z.B. über ein Wasserbad, aus der Müllverbrennungsanlage (MVA) ausgetragen. Der mineralische Anteil besteht in der Hauptsache aus den Oxiden von Silizium, Aluminium sowie den Oxiden und Carbonaten der Erdalkalimetalle Calcium und Magnesium. Der Gehalt an Erdalkalioxiden prägt das chemische Verhalten von HMVA im Kontakt mit Wasser. Calcium- und Magnesiumoxid werden von Wasser zu den entsprechenden Hydroxiden gelöst. Es stellt sich ein pH-Wert von über 12 ein. Diese hohen pH-Werte führen zur Oxidation unedler Metalle. Aluminium setzt dabei Wasserstoff frei. Zudem gehen abhängig vom pH-Wert unterschiedliche Schwermetalle in Lösung und können ausgewaschen werden.

Aus diesen Gründen wird in technischen Regelwerken zur stofflichen Verwertung von mineralischen Reststoffen gefordert, dass HMVA aufbereitet und abgelagert werden müssen, bevor sie einer Verwertung zugeführt werden. Konkretisiert wird die Ablagerung z.B. in den Technischen Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau, wonach die Ablagerung nass zu erfolgen hat und mindestens drei Monate umfassen soll. Da fast ein Drittel der HMVA im Straßenbau eingesetzt werden, hat sich dieser Prozessschritt als Stand der Technik etabliert.

Ziel der Lagerung ist es, Alterungsprozesse im Vorfeld der Verwertung ablaufen zu lassen. Die resultierende chemische und physikalische Stabilisierung der HMVA sichert unter anderem deren Raumbeständigkeit und damit die Stabilität oder Beschaffenheit der Bauwerke. So wird beispielsweise bei den resultierenden pH-Werten kein Wasserstoff mehr aus der Oxidation von Aluminium freigesetzt, der hohe Drücke und schließlich Risse in Bauwerken verursachen könnte. Zudem werden Schadstoffe teilweise immobilisiert bzw. deren Auswaschung gemindert. Durch Prozesse wie Carbonatisierung, Hydratbildung und Oxidation werden aber nicht nur Schadstoffe, sondern auch wertvolle Rohstoffe (vor allem Metalle) beeinflusst. Im Wesentlichen entstehen auf nahezu allen Partikeloberflächen mineralische Verkrustungen, die teilweise zusammenwachsen, die HMVA insgesamt verfestigen und so die Metallrückgewinnung erschweren.

Zur Steigerung der Rückgewinnung von Metallen aus HMVA wurden in der Projektlaufzeit bei den Aufbereitern von HMVA in Deutschland große Anstrengungen unternommen. So wurden z.B. immer mehr Sieblinien mit kleineren Kornbandbreiten eingesetzt, um die Effizienz von Sortierverfahren, vor allem die der Wirbelstromscheidung, zu steigern. Um die Metalle diesen und anderen Prozessschritten zugänglich zu machen, wurden die Aufbereitungsverfahren auf unterschiedliche Art und Weise umgestellt. Vielfach sollen, wie bei dem Projektpartner TARTECH, Metalle mittels mechanischer Beanspruchung von den mineralischen Anhaftungen befreit werden. Ein anderer Weg ist die möglichst schnelle Aufbereitung nach der Verbrennung, um der Bildung von mineralischen Anhaftungen und der Verfestigung der HMVA zuvorzukommen. Laut einer Befragung deutscher Aufbereiter von HMVA aus dem Jahr 2014 werden nach dem Stand der Technik

derzeit im Durchschnitt 7,7% Fe-Metalle mit 5 Magnetscheidern und 1,3% NE-Metalle mit 5 Wirbelstromscheidern zurückgewonnen [1].

Durch die Implementierung oben genannter zusätzlicher Prozessschritte zur Verbesserung der Metallausbeute bei der Aufbereitung von HMVA erhöht sich der Feinanteil der verbliebenen mineralischen Fraktionen zum Teil erheblich. Bereits ohne diese Aufbereitungsschritte besteht HMVA zu rund 25% aus Körnern unter 4 mm. Der Anteil der Fraktion < 0,25 mm hat immer noch rund 10%. In Anlagen, die nach dem Stand der Technik operieren, wird der Feinkornanteil im Allgemeinen nicht zur Metallrückgewinnung aufbereitet. Im Laufe der Projektzeit hat sich die durchschnittliche Untergrenze der NE-Metallrückgewinnung von etwa 4 auf 2 mm verringert [1]. Allerdings zielen alle in der Praxis realisierten Verfahren lediglich auf die Rückgewinnung gediegener Metalle ab. In der Feinfraktion von HMVA befinden sich allerdings auch relevante Anteile Metalle in chemisch gebundener Form. Die Verfahren im Verbundprojekt ATR adressieren sowohl die ungenutzten Potenziale der Rückgewinnung chemisch gebundener Metalle als auch die der Rückgewinnung gediegener Metalle aus der Feinfraktion < 2 mm.

3 Vorgehensweise

Ziel des Vorhabens war die Steigerung der Rückgewinnung von Metallen aus Aschen und Schlacken durch Aufschluss aus den mineralischen Verbunden. Durch ein innovatives Prallzerkleinerungsverfahren des Projektpartners TARTECH sollten die Verunreinigungen an den metallischen Anteilen praktisch vollständig abgeschlagen werden. Diese Technologie wurde im Rahmen des Projektes so verfeinert und angepasst, dass auf diese Weise Partikel > 2 mm in einer großtechnisch operierenden Anlage (Alpha-Linie, Durchsatzleistung ca. 100 Mg/h) aufbereitet werden können. Für die Fraktion 0-2 mm wurde zudem eine weitergehende, mehrstufige Aufbereitungsanlage entwickelt und errichtet (Beta-Linie, bis zu 8 Mg/h).

Für die Leistungsbeschreibung dieser Anlagenteile wurde im Rahmen des Projektes HMVA aus mehreren Hamburger MVA zu verschiedenen Jahreszeiten jeweils direkt nach der Verbrennung geliefert, gealtert und später aufbereitet. Teilweise waren diese Chargen bereits mit vorhandener Technik vorbehandelt, also teilbearbeitet. So sollten Wechselwirkungen zwischen Maßnahmen der Getrennthaltung von Abfall, der HMVA-Aufbereitung und der Wiederfindungsrate von strategischen Metallen für HMVA aus Hamburg ermittelt werden. Stellvertretend für Aschen aus Monodeponien wurde untersucht, ob von der BSR seit 2009 auf der Deponie Schöneicher Plan eingelagerte HMVA ausgebaut und die darin noch enthaltenen Metalle mit der innovativen Technik der TARTECH-Anlage separiert werden können.

3.1 Weitergehende Aufbereitung der Feinfraktion unter Berücksichtigung chemisch gebundener Metalle

Das zerkleinerte und von Fe- und NE-Metallen entfrachtete Material mit vorwiegend oxidisch gebundenen Metallen sollte für weitere Prozessschritte verwendet werden. Durch Flotation und Dichtesortierung gewonnene Kupferkonzentrate könnten als Rohstoff für die Kupfermetallurgie eingesetzt werden. Entsprechende Verfahrensansätze wurden bei der BAM entwickelt und getestet. Andere gebundene Metalle wie Zink und Blei aus der Feinstfraktion könnten hydrothermal extrahiert, als Carbonate wieder ausgefällt und der Verhüttung zugeführt werden (Arbeiten an der LMU). Durch SpiCon wurde zudem die biogene Extraktion von Kupfer und später Zink durch Ganzzellverfahren untersucht. Dafür wurden Mikroorganismen eingesetzt, die speziell dafür geeignete Enzyme bilden können. So sollte unter Berücksichtigung der Anlagenentwicklung bei TARTECH ein mehrstufiges Aufschluss-, Trennungs- und Rückgewinnungsverfahren entstehen, um die in HMVA enthaltenen Wertmetalle weitestgehend nutzbar zu machen.

3.2 Verwertung der Restmineralik und feiner Aluminiumfraktionen

Mit Blick auf die Verwertung separierter Stoffströme wurde zum Einen untersucht, ob die mineralische Fraktion nach einer derartigen Behandlung noch zur Verwertung bei der Deponiesanierung einsetzbar ist. Fraglich waren hier die verbliebene Gasdurchlässigkeit und die Einhaltung hiesiger Zuordnungswerte. Zum Anderen ist bekannt, dass sich Aluminium in Korngrößen < 3 mm nicht für eine direkte Verwertung durch Einschmelzen eignet (zu hoher Anteil an Al_2O_3). Daher wurde beim Projektpartner HZG die Synthese von Wasserstoffspeichermaterialien mit Aluminiumfraktionen aus o.g. Verfahren im Labormaßstab untersucht und die Möglichkeit der Synthese von Wasserstoff anhand einer Literaturrecherche überprüft.

3.3 Weitere Anwendungsgebiete der TARTECH-Technologie abseits von HMVA

Schlacken aus der Metallurgie enthalten ebenfalls Einschlüsse elementarer Metalle in Form kleinster Tröpfchen, die nicht mit klassischen mechanischen Trennverfahren vom mineralischen Anteil getrennt werden können. Projektpartner UDE ermittelte daher geeignete Schlacken aus der Stahl-, Edelstahl- und NE-Metallindustrie, die sich für eine Prallzerkleinerung mit der TARTECH-Technologie anbieten. Insbesondere Schlacken aus der Edelstahl- und NE-Metallindustrie enthalten wertvolle Metalle wie z.B. Nickel und Kupfer.

Beim Projektpartner UMSICHT wurden zudem Verbrennungsversuche mit Resten aus Recyclingverfahren für Elektro- und Elektronikaltgeräten (EAG bzw. WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment)) durchgeführt und in der Beta-Linie aufbereitet. Diese Untersuchungen sollten als Grundlage für die Bewertung einer Mitverbrennung oder Monoverbrennung von Elektrokleingeräten im Hausmüll dienen.

3.4 Bilanzierung, Quantifizierung und Bewertung

Sämtliche Projektschritte und -ergebnisse werden von einer übergeordneten Nachhaltigkeitsbetrachtung bewertet. Von besonderer Bedeutung ist dabei das Ressourceneffizienzpotenzial, welches sowohl für die im Projekt aufzubauenden Anlagen als auch für verschiedene Szenarien der Marktentwicklung dargestellt wird. Darüber hinaus werden nach der Methodik der Multikriterienanalyse weitere ökologische, ökonomische und soziale Kriterien in die Bewertung einbezogen. Hierzu werden verschiedene Indikatoren genutzt, welche die Auswirkungen auf die Nachhaltigkeitsaspekte hinreichend charakterisieren. Als ökologische Indikatoren bieten sich beispielsweise Treibhauspotenzial (GWP in CO₂-Äquivalenten) und Energieverbrauch an.

4 Ergebnisse und Diskussion

Die Technologieerprobung wurde in einer neu errichteten Anlage in Wiesbaden durchgeführt. Die dort errichtete TARTECH-Anlage (vgl. Abb. 1) besteht im Wesentlichen aus zwei Anlagenteilen (Alpha- und Beta-Linie). Die Alpha-Linie wurde entwickelt, um aus Rückständen thermischer Prozesse Metalle > 2 mm zurückzugewinnen. Die innovative Beta-Linie ergänzt diesen Ansatz für die Aufbereitung von Rückständen < 2 mm und ermöglicht zudem die Anreicherung von in diesen Korngrößen vorhandenen strategischen Metallen.

Im Verbundprojekt wurde in der Alpha-Linie erstmals mit einer Ausbaustufe des sogenannten TAR-Prozessors (Hochgeschwindigkeits-Rotations-Beschleuniger, vgl. Abb. 2) gearbeitet. Mit dieser Ausbaustufe konnten die Aufprallgeschwindigkeiten in der Rotorkammer von zuvor max. 300 km/h auf über 650 km/h gesteigert werden.



Abb. 1: Ansicht der Aufbereitungsanlage für Hausmüllverbrennungsrückstände (HMVA) in Wiesbaden: Alpha-Linie im Hintergrund, Beta-Linie (weiß) im Vordergrund.



Abb. 2: Im Rahmen des Projektes (weiter-)entwickelte TAR-Prozessoren (Hochgeschwindigkeits-Rotations-Beschleuniger) zum Prallaufschluss von HMVA: Alpha-Linie (links) und Beta-Linie (rechts).

Die SRH stellte für die Untersuchungen ca. 4.300 Mg HMVA in sieben verschiedenen Qualitäten zur Verfügung. Aus 3.480 Mg frischer HMVA unterschiedlicher Chargen wurden insgesamt 62,64 Mg NE-Metalle zurückgewonnen. Dabei sind die VA-Metalle (Chrom-Nickel-Stähle) nicht berücksichtigt. Der Verschmutzungsgrad lag bei max. 15%. Eine typische Zusammensetzung der drei NE-Metallfraktionen (grob, mittel, fein) zeigt Abb. 3.

Kupfer wird vor allem in der Kornfraktion von 2-5 mm gefunden. Der Anteil an Fremdbestandteilen (in der Abbildung als Rest bezeichnet) ist in der Grobfraktion meist am geringsten.

Unter der Berücksichtigung dieses sogenannten Schuttabzugs und der VA-Metalle ergibt sich eine Rückgewinnungsquote von 1,80% für die reinen NE Metalle. Zudem wurden bereits in SRH-Anlagen fertig aufbereitete HMVA Chargen nachbehandelt. Aus 349 Mg HMVA der MVA Borsigstraße konnten noch 1,24% und aus 506 Mg HMVA der MVA Rugenberger Damm noch 1,27% reine NE-Metalle zurückgewonnen werden. Auch aus der ebenfalls bereits konventionell aufbereiteten und bereits abgelagerten HMVA (534 Mg) der BSR konnten relevante Mengen NE-Metalle (0,95%) separiert werden. Aufgrund o. g. Verfestigungsreaktionen konnten die enthaltenen Metalle jedoch nicht mit dem gleichen Reinheitsgrad abgeschieden werden, wie aus HMVA, die nach üblicher Lagerungszeit aufbereitet wurde.

Die Beta-Linie verbrauchte dabei eine Energie von von 2,2 kWh/Mg, was größenordnungsmäßig im Bereich anderer HMVA-Aufbereitungsanlagen in Deutschland liegt [2]. Damit ergibt sich eine Verdopplung des Energieverbrauchs bei der Implementierung einer derartigen Anlagenerweiterung.

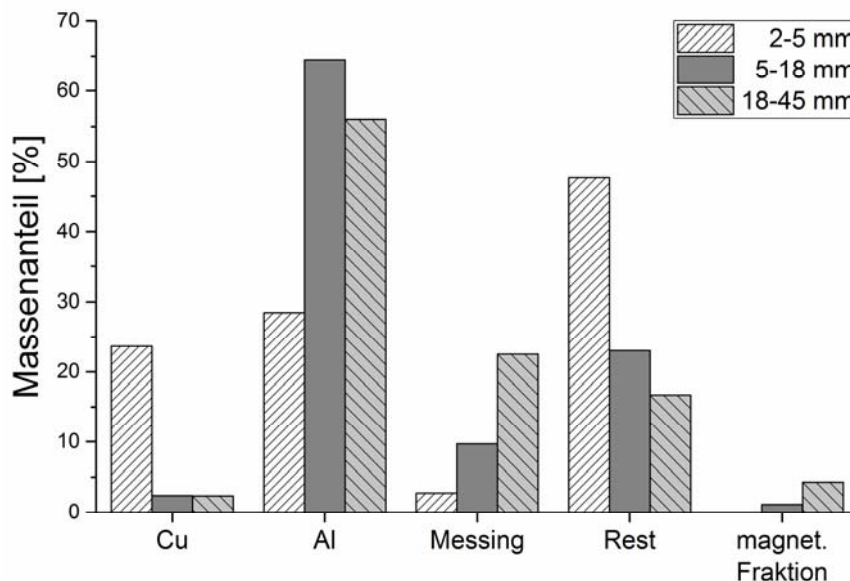


Abb. 3. Zusammensetzung der NE-Metallfraktionen aus der Alpha-Linie; HMVA aus der MVA Stelling Moor (Charge I)

In den mineralischen Fraktionen wurden Bestimmungen von Kupfer und Silber vorgenommen. Die Ergebnisse sind in den Abb. 4 und Abb. 5 dargestellt. Die Werte für Kupfer liegen zwischen 2.000 und 4.000 mg/kg mit Extremwerten von 10.000-16.000 mg/kg. Silber liegt zwischen meist zwischen 2 und 8 mg/kg, einige um 10 mg/kg, wenige zwischen 20 und 30 mg/kg.

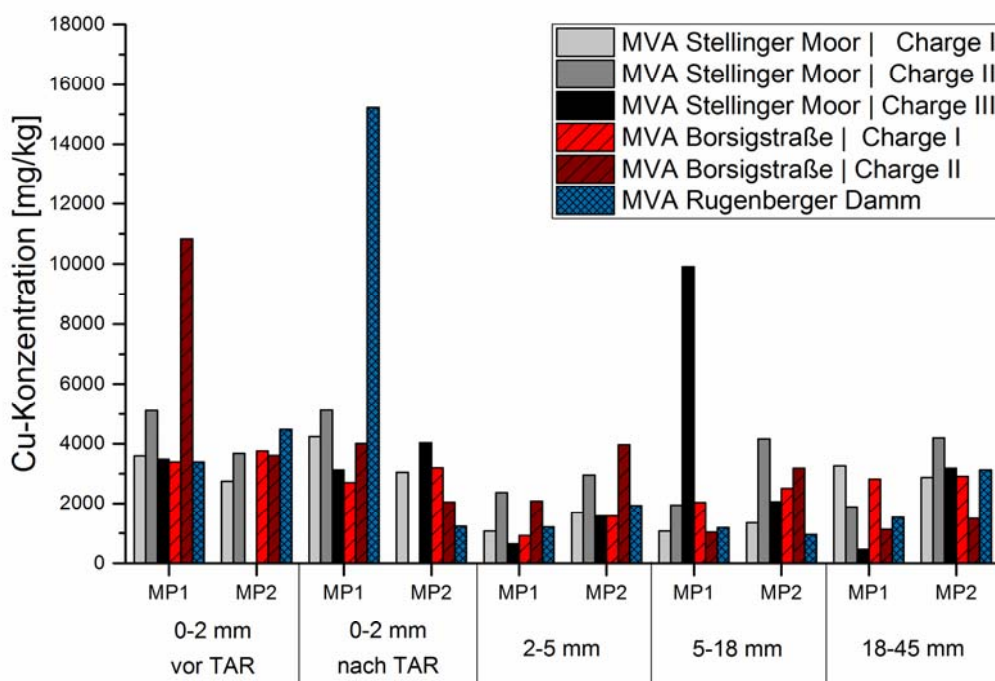


Abb. 4. Kupfer-Konzentration im Feststoff der mineralischen Fraktionen (MP: Mischprobe)

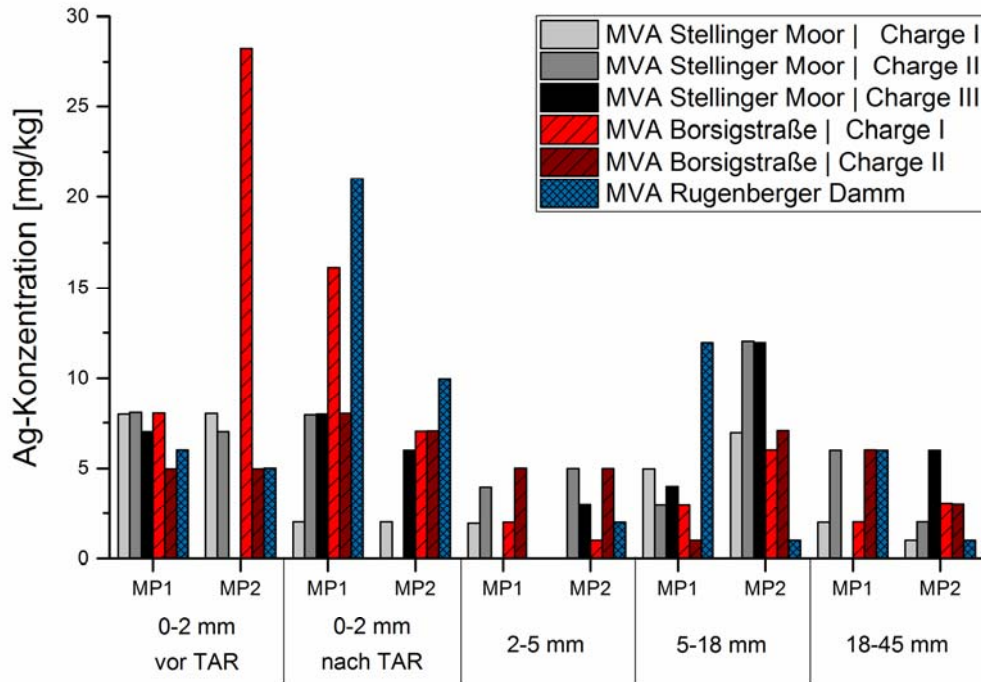


Abb. 5. Silber-Konzentration im Feststoff der mineralischen Fraktionen (MP: Mischprobe)

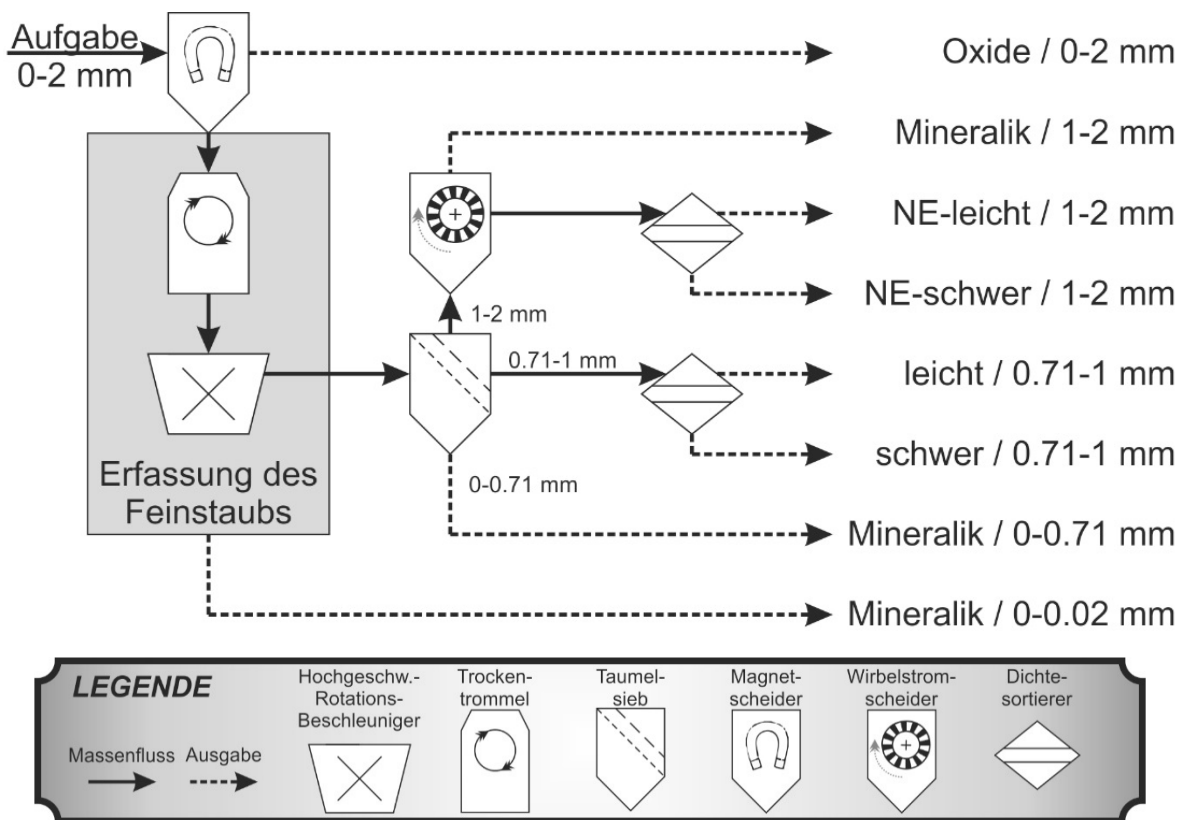


Abb. 6: Verfahrensfliessschema der Beta-Linie zur Aufbereitung von HMVA-Fractionen < 2 mm

Mit der innovativen Beta-Linie wurden im Rahmen des Verbundvorhabens 4.487 Mg HMVA aufbereitet. Die Aufbereitung erfolgte je nach Witterung in unterschiedlichen Chargen. Aus dem Input-Stoffstrom 0-2 mm HMVA wurden zwischen 1,58% und 1,70% NE-Metalle zurückgewonnen. Der Anteil dieser Input-Fraktion 0-2 mm aus der Aufbereitung in der Alpha-Linie schwankte zwischen 48,0% und 50,5%. Unter Berücksichtigung der Schuttabzüge konnten somit insgesamt (Alpha- und Beta-Linie) im Mittel 2,61% reine NE-Metalle aus der HMVA der SRH zurückgewonnen werden. Das entspricht gegenüber dem Stand der Technik (s.o.) einer Verdopplung der Ausbeute an NE-Metallen.

4.1 Weitergehende Aufbereitung der Feinfraktion unter Berücksichtigung chemisch gebundener Metalle

Ein im Vorfeld bekanntes Problem bei der Flotation von HMVA ist, dass die Metalle und Metallverbindungen nicht frei vorliegen. Doch auch künstlich zugegebene Kupfer-Komponenten ließen sich nicht zurückflotieren. Dass die Chemikalien grundsätzlich geeignet waren, konnte in den Versuchen mit einer Hallimond-Röhre gezeigt werden, doch die Milieubedingungen, die durch die Suspension von HMVA in der Trübe entstehen, sind derart ungünstig, dass weitergehende Untersuchungen nicht zielführend waren. Die komplexen Eigenschaften von HMVA führten auch dazu, dass die Abhängigkeiten der hydrothermalen Extraktion von Blei und Zink unter unterschiedlichen pH-Wert-Bedingungen und unter Verwendung verschiedener Säuren mittels Modellierungen nur eingeschränkt erklärbar sind. Anhand der Dichtesortierung mittels Zentrifugalsortierer hingegen konnte Kupfer gut aufkonzentriert werden. Besonders die Teilfraktion 0 - 710 µm aus der Beta-Linie (s. Abb. 6) erwies sich als gutes Ausgangsmaterial für die Zentrifugalsortierung. Bei Anreicherungsfaktoren zwischen 25 und 90 konnten aus dieser Fraktion unter verschiedenen Milieubedingungen jeweils rund 40% des enthaltenen Kupfers in das Konzentrat überführt werden. Die biogene, enzymatisch kontrollierte Extraktion von Metallen (vor allem von Kupfer) aus HMVA wurde unter Laborbedingungen erfolgreich durchgeführt.

4.2 Verwertung der Restmineralik und feiner Aluminiumfraktionen

Die chemische Untersuchung der Eluate der verbliebenen mineralischen Fraktion nach der Aufbereitung in der Alpha-Linie ergab, dass die Zuordnungswerte der Deponieverordnung eingehalten wurden. Ausgehend von der Kornsummenkurve (ermittelt nach DIN 18 123) ist eine Verwertung dieser mineralischen Fraktion in der gasgängigen Trag- und Ausgleichsschicht der Deponie Schöneicher Plan möglich.

Die Oberflächen der Partikel der aus HMVA separierten Aluminiumfraktion waren mit einer Oxidschicht überzogen, die vornehmlich aus Silizium und Kalzium enthielt. Dieses Aluminium wurde mit Natriumhydrid (NaH) unter einem Wasserstoffdruck von 100 bar gemahlen. Aus der Druck- und Temperaturentwicklung konnte die Bildung von Natriumalanat (NaAlH_4) abgeleitet und mittels Röntgen-

diffraktometrie-Messungen bestätigt werden. Weiterhin wurde mittels dynamischer Differenzkalorimetrie gezeigt, dass die Probe zuerst zu Na_3AlH_6 und erst später weiter zu NaAlH_4 reagierte. Die Synthese von Wasserstoff aus einer entsprechenden Aluminiumfraktion ist laut Literaturrecherche chemisch möglich.

4.3 Weitere Anwendungsgebiete der TARTECH-Technologie abseits von HMVA

Die Bestimmung des Metallinhaltes der untersuchten metallurgischen Schlacken wurde durch zerkleinernde Verfahren erreicht. Der Metallanteil der untersuchten Schlacken betrug ca. 25%. Untersuchungen mit dem Rasterelektronenmikroskop ergaben, dass die Metallpartikel weitestgehend der Zusammensetzung der Schmelze entsprechen, aus der sie stammen. Zurückgewonnene Metalle könnten somit ohne die Gefahr von Kreuzkontamination durch unerwünschte Legierungselemente in Schmelzen ähnlicher Zusammensetzung recycelt werden.

Durch die Versuche mit verschiedenen Verbrennungsanlagen konnte nachgewiesen werden, dass EAG-Behandlungsrückstände als Monobrennstoff thermisch behandelbar sind. In Kleinversuchen wurde zudem gezeigt, dass die Zugabe von Holzpellets bis zu einem Anteil von 50% dazu beiträgt, die Emissionswerte zu verringern und den Anteil sowie die Härte von Agglomeraten in den Aschen zu steigern. Die Aschen wurden in einer Kugelmühle gemahlen und anschließend klassiert. Danach fanden sich ca. 70% des Kupfers (ermittelt mit EDX-Elementaranalysen) in den Fraktionen $> 250 \mu\text{m}$, die einen Massenanteil von unter 25% ausmachten. Schmelzversuche bestätigten die hohen Gehalte an Metallen in den Fraktionen $> 250 \mu\text{m}$. Somit kann durch Mahlen und anschließendes Klassieren bereits eine gute Abtrennung von Metallen und Mineralik erreicht werden.

4.4 Bilanzierung, Quantifizierung und Bewertung

Die Ergebnisse der ökobilanziellen Betrachtungen zeigten, dass die Aufbereitung metallhaltiger HMVA grundsätzlich ökologische, soziale bzw. sozioökonomische Vorteile erbringt. Bereits die Aufbereitung durchschnittlich zusammengesetzter HMVA nach dem Stand der Technik ergibt in allen betrachteten Wirkungskategorien deutliche Gutschriften für die zurückgewonnenen Metalle. Beispielhaft ist in Abb. 7 das Ergebnis für die Wirkungskategorie Treibhauspotenzial dargestellt.

Die Effekte der erzeugten Emissionen fallen in allen Wirkungskategorien deutlich niedriger aus als die Gutschriften für die Metalle. Die derzeit betriebenen HMVA-Aufbereitungsanlagen weisen allerdings sehr unterschiedliche Konfigurationen auf, so dass eine Definition des Stands der Technik nur schwer möglich ist. Auch die Beschaffenheit der HMVA kann aufgrund unterschiedlicher Zusammensetzung der verbrannten Abfälle sowohl saisonal als auch regional schwanken (vgl. Kap. I.4).

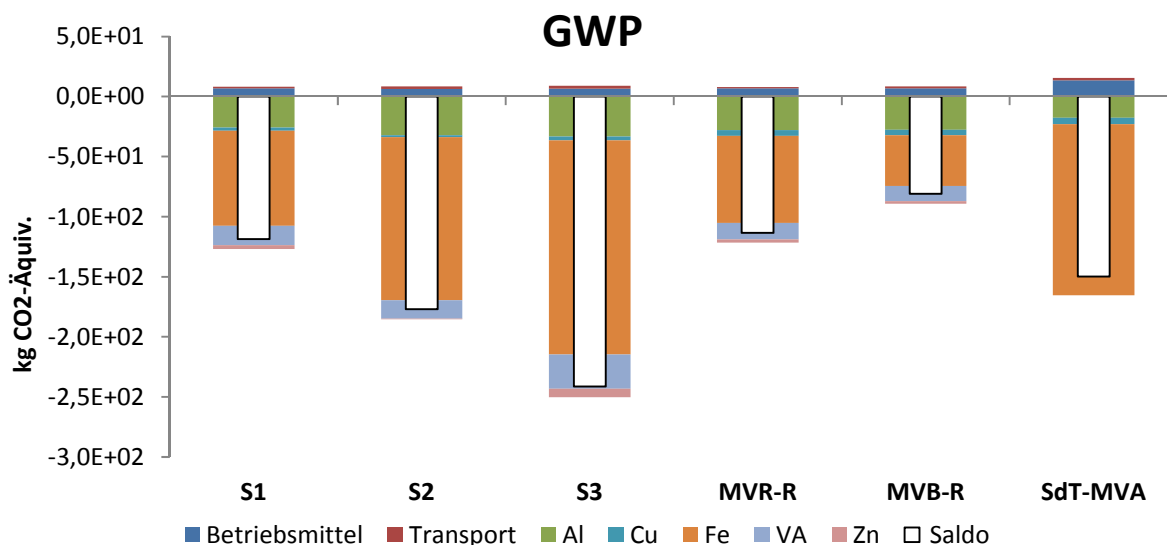


Abb. 7: Ergebnisse der Wirkungskategorie Treibhauspotenzial (GWP) für die Aufbereitung unterschiedlicher HMVA-Chargen in der Alpha-Linie und der beispielhaften Anlage nach dem Stand der Technik (SdT).
 S1, S2, S3 = Chargen I, II, III aus der MVA Stelling Moor
 MVR-R = Charge aus der MVA Rugenberger Damm
 MVB-R = Charge I aus der MVA Borsigstraße

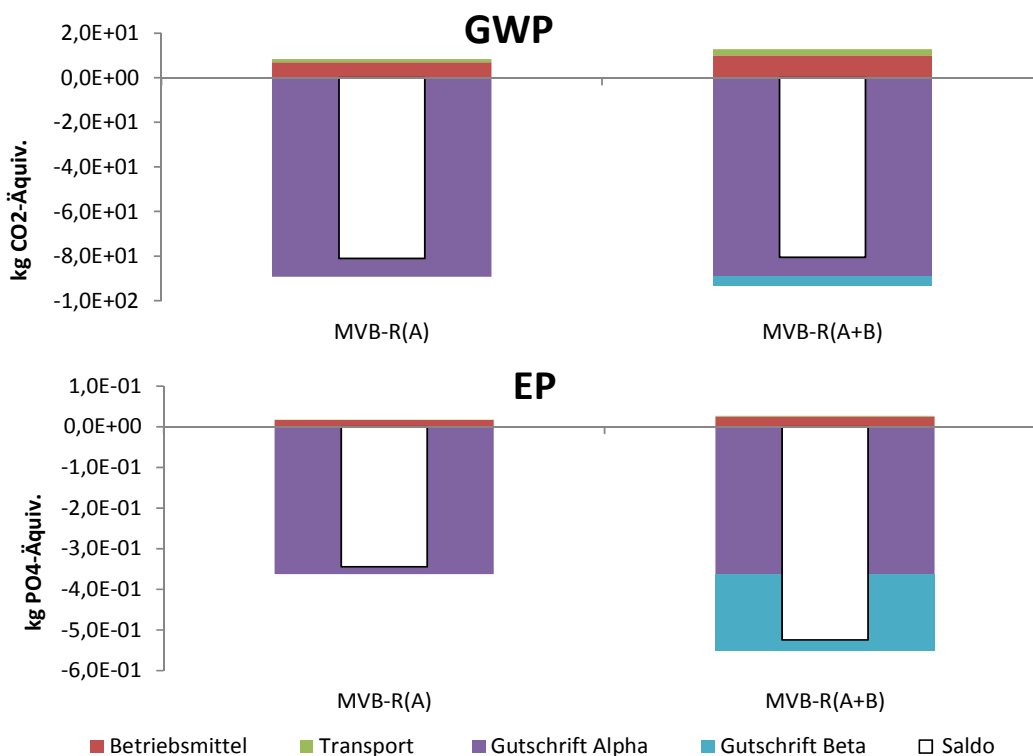


Abb. 8: Auswirkung auf die Wirkungskategorien Treibhauspotential (GWP, oben) und Eutrophierungspotenzial (EP, unten) bei einer weitergehenden Behandlung von HMVA in der Beta-Linie (Alpha + Beta-Linie (A+B)) gegenüber der ausschließlichen Behandlung in der Alpha-Linie (A).

Die Bilanzierung der TARTECH-Versuchskampagnen unterstreicht, dass das Ausmaß der Entlastung für Umwelt und Gesellschaft vor allem vom Metallgehalt der behandelten HMVA abhängt (s. Abb. 7). Dabei lassen sich die ökologischen Vorteile auf die Schonung primärer Rohstoffe zurückführen. Insbesondere die hochwertige Aufbereitung unbehandelter HMVA mit hohen Gehalten an Eisen, Kupfer und Aluminium ist mit ökologischen Vorteilen verbunden. Im Weiteren zeigten die Untersuchungen, dass die Erschließung des Rohstoffpotenzials von HMVA in der Korngrößenfraktion < 2 mm durch den verfahrenstechnischen Mehraufwand in Form der der Beta-Linie nicht eindeutig als positiv oder negativ bewertet werden kann. In den meisten Wirkungskategorien fallen die Gutschriften höher aus als die mit dem zusätzlichen Aufwand verbundenen Emissionen (z.B. bei dem Eutrophierungspotenzial, s. Abb. 8). Bei zwei der Wirkungskategorien (u.a. dem Treibhauspotenzial, s. Abb. 8) sind die Umweltwirkungen bei dieser Betrachtung ausgeglichen.

Für bereits vorbehandelte, z.T. von Metallen entfrachtete HMVA gilt, dass die Aufbereitung bei niedrigen Metallgehalten mit Hilfe des TARTECH-Verfahrens ökologisch sinnvoller ist als die Verbringung bzw. der Verbleib auf der Deponie. Allerdings sind die Gutschriften für die Einsparung von Primärrohstoffen erwartungsgemäß deutlich geringer als bei unbehandelter HMVA.

Aus ökologischer Sicht ergeben sich deutliche Vorteile aus einer Rückgewinnung von Metallen aus Aschen der thermischen Behandlung von EAG-Behandlungsrückständen. Daher würde es sich empfehlen, EAG-Abfälle künftig als Monochargen in thermischen Behandlungsanlagen einzusetzen, um damit die Konzentrationen relevanter Metalle in den resultierenden Aschen zu erhöhen. Die enthaltenen Metalle haben dabei allerdings sehr unterschiedliche Auswirkungen in den verschiedenen Wirkungskategorien, wie der folgenden Abb. 9 zu entnehmen ist.

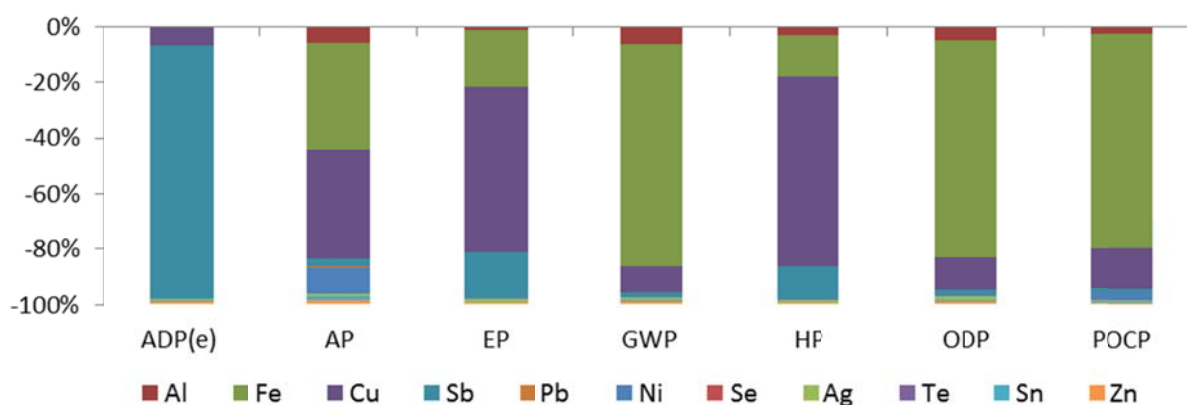


Abb. 9: Zusammensetzung der Gutschriften des Szenarios EAG-Asche (Aufbereitung Alpha- und Beta-Linie versus Deponierung):
 ADP = Abiotic Depletion Potential;
 AP = Versauerungspotenzial;
 EP = Eutrophierungspotenzial;
 GWP = Treibhauspotenzial
 HP = Humantoxizitätspotenzial
 ODP = Ozonabbau­potenzial
 POCP = Photochemisches Oxidationspotenzial

Für die „Gesellschaftliche Akzeptanz“ ist vor allem die Art der ausgebrachten Metalle entscheidend. Die Akzeptanz eines Metalls und dessen Einsatz in Produkten hängen beispielsweise mit den Bedingungen beim Abbau der Erze zusammen. Da durch die Rückgewinnung von Metallen aus HMVA der Abbau von Primärmetallen teilweise substituiert werden kann, sind vor allem jene Metalle relevant, die bei sozialen Standards und Umweltstandards eine geringe gesellschaftliche Akzeptanz aufweisen. Den Ergebnissen zufolge ist dieser Umstand vor allem bei Blei, Eisen, Zinn und Aluminium gegeben.

5 Quellen

- [1] Kuchta, K. und Enzner, V. (2015): Metallrückgewinnung aus Rostaschen aus Abfallverbrennungsanlagen - Bewertung der Ressourceneffizienz. EdDE - Entsorgungsgemeinschaft der Deutschen Entsorgungswirtschaft e.V, EdDE-Dokumentation 17
- [2] Gleis, M. und Simon, F.G. (2016): Novellierung des BVT-Merkblattes Abfallverbrennung – Sachstand, Entwicklungstendenzen und neue Verfahren zur Aufbereitung von Rostaschen und Filterstäuben –, in: Thomé-Kozmiensky, K.J. (Hrg.), Mineralische Nebenprodukte und Abfälle 3 - Aschen, Schlacken, Stäube und Baurestmassen, Bd. 3, S. 163-172, TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky: Neuruppin