

# Ableitung von Kriterien zur Beurteilung einer hochwertigen Verwertung von metallhaltigen mineralischen Abfällen

Jürgen Giegrich \*) Siegfried Kalmbach \*\*) Horst Fehrenbach \*)

\*) IFEU – Institut Heidelberg GmbH

\*\*) Umweltbundesamt Dessau

## Definition of criteria for the assessment of high quality recovery of mineral waste containing metals

### Abstract

In Germany a large number of industrial waste types is generated which contains considerable concentrations of valuable metals. On the contrary the extraction and refinement of metals from primary resources is related to partially high environmental impacts. Therefore in the context of a sustainable use of resources the metals in waste should be recovered with environmentally adequate treatment technologies. A priority for the recovery of metals had been established for waste with a certain metal content within the federal regulation on using waste as construction material in mines and landfills. An ongoing research project addressing these aspects is presented here with some intermediate findings. The research project will provide an overview of existing recovery options for metals from types of mineral waste. It will assess the environmental performance of recovery options in comparison to the environmental impacts caused by the production of the same metals from primary resources. Subsequently these assessments will allow defining criteria for prioritizing the metal recovery using the metal contents of the mineral waste.

### Zusammenfassung

In Deutschland wird eine große Anzahl und Menge an Industrieabfällen erzeugt, die noch beträchtliche Konzentrationen an wertvollen Metallen enthalten. Gleichzeitig werden Metalle mit teilweise hohen Auswirkungen auf die Umwelt aus Primärrohstoffen gewonnen. Daher sollten im Rahmen einer nachhaltigen Nutzung von Ressourcen die Metalle aus Abfällen mit umweltseitig akzeptablen Behandlungsverfahren zurückgewonnen werden. Der Rückgewinnung von Metallen wurde in der *Versatzverordnung* und der *Verwertungsverordnung für Deponien* Vorrang eingeräumt, sobald ein bestimmter Metallgehalt überschritten wird. Ein laufendes Forschungsvorhaben, das diese Aspekte aufgreift, wird hier mit ersten Zwischenergebnissen vorgestellt. Das Vorhaben wird einen Überblick über Verwertungsverfahren zur Metallrückgewinnung aus verschiedenen Abfallarten liefern. Darüber hinaus wird es Aussagen treffen über die Umweltauswirkungen der Verwertungsoptionen im Vergleich zu der Herstellung der gleichen Metalle aus Primärrohstoffen. Schließlich werden die Untersuchungen dazu genutzt werden können, die Kriterien in Form von Metallgehalten in den Abfällen zu überprüfen, ab denen eine Wiedergewinnung Priorität haben sollte.

### Keywords

Mineralische Abfälle, Metallrecycling, Versatzverordnung, ökologische Bewertung, Metallgehalte von Abfällen

# 1 Einleitung

„Eine der Art und Beschaffenheit entsprechende hochwertige Verwertung eines Abfalls ist anzustreben.“ Diese in § 5 Abs.2 des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes enthaltene Grundpflicht hat insbesondere bei der Verwendung von Abfällen zum Bergversatz zu Diskussionen geführt. Dabei werden Abfälle (ggf. zusammen mit anderen Materialien) unter Nutzung ihrer bauphysikalischen Eigenschaften zu bergtechnischen oder bergsicherheitlichen Zwecken unter Tage verwendet. Falls nun diese Versatzmaterialien andere verwertbare Inhaltsstoffe besitzen oder für andere Anwendungen zur Verfügung stehen können, sind Konfliktfälle möglich.

Die Versatzverordnung (VersatzV) vom 24. Juli 2002 hat hier Regelungen getroffen, die den Vorrang der Rückgewinnung von Metallen unter bestimmten Rahmenbedingungen aufgreift. Für die Metalle Zink, Blei, Kupfer, Zinn, Chrom, Nickel und Eisen wurden bestimmte Konzentrationen in Abfällen festgelegt, ab denen eine Verwertung im Bergversatz nicht stattfinden darf. Einschränkend gilt weiter, dass die Gewinnung der Metalle aus den Abfällen technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar sowie unter Einhaltung der Anforderungen an die Zulässigkeit einer solchen Verwertung durchführbar ist. Mit der Deponieverwertungsverordnung (DepVerwV) vom 25. Juli 2005 wurden die Regelungen aus der Versatzverordnung auch auf die Verwertung von Abfällen auf obertägigen Deponien erweitert.

Im industriellen Bereich fällt eine Vielzahl von Abfällen an, die Wertmetalle enthalten und die zurückgewonnen werden können. Zurzeit entscheiden insbesondere die stark schwankenden Weltmarktpreise für Metalle darüber, ob sich eine Verwertung für die Metallfraktion „lohnt“. Im Sinne eines nachhaltigen Ressourcenschutzes sollte jedoch auch ermittelt werden, wann eine „hochwertige Verwertung“ der Metalle in solchen metallhaltigen mineralischen Abfällen umweltseitig geboten ist.

Zur Beurteilung einer hochwertigen und umweltverträglichen Verwertung sind zum einen die Aufbereitungs- und Verwertungsverfahren der Abfälle selbst von Bedeutung, vor allem die Art und Weise, wie umweltfreundlich und energiesparend die Verfahren arbeiten, um die Metalle zurück zu gewinnen. Zum anderen sind die Aufbereitungsverfahren für Abfälle den Prozessen gegenüberzustellen, mit denen die Primärrohstoffe in Form der Erze aufbereitet und die Metalle schließlich gewonnen werden. Die Metallgewinnung gerade im außereuropäischen Raum ist oft mit großen Umweltbelastungen verbunden.

Der Beurteilung einer hochwertigen Verwertung metallhaltiger mineralischer Abfälle soll nun ein Forschungsvorhaben des Umweltbundesamtes (FKZ 202 35 310) dienen. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens ist auch eine Übersicht über die existierenden Aufbereitungsverfahren zu erstellen, die für die metallhaltigen mineralischen Abfälle zur

Verfügung stehen. Im Zentrum der Untersuchung sind die Umweltbelastungen zu ermitteln, die von der Aufbereitung der Abfälle ausgehen. Einen nicht unerheblichen Aufwand stellt weiterhin die Gegenüberstellung der Prozesse dar, die von der Gewinnung, Aufbereitung und Herstellung der entsprechenden Primärmaterialien ausgehen. Mit der Kenntnis über die Umweltbelastung der Prozesse kann schließlich eine Beurteilung vorgenommen werden mit der dann allgemeingültige Kriterien entwickelt werden.

Ziel des Vorhabens ist es, für die in der Versatzverordnung geregelten Metalle eine Hilfestellung im Vollzug zu erhalten, beziehungsweise Hinweise auf eine Weiterentwicklung der Versatzverordnung zu geben. Über die ersten Arbeiten soll im Weiteren berichtet werden.

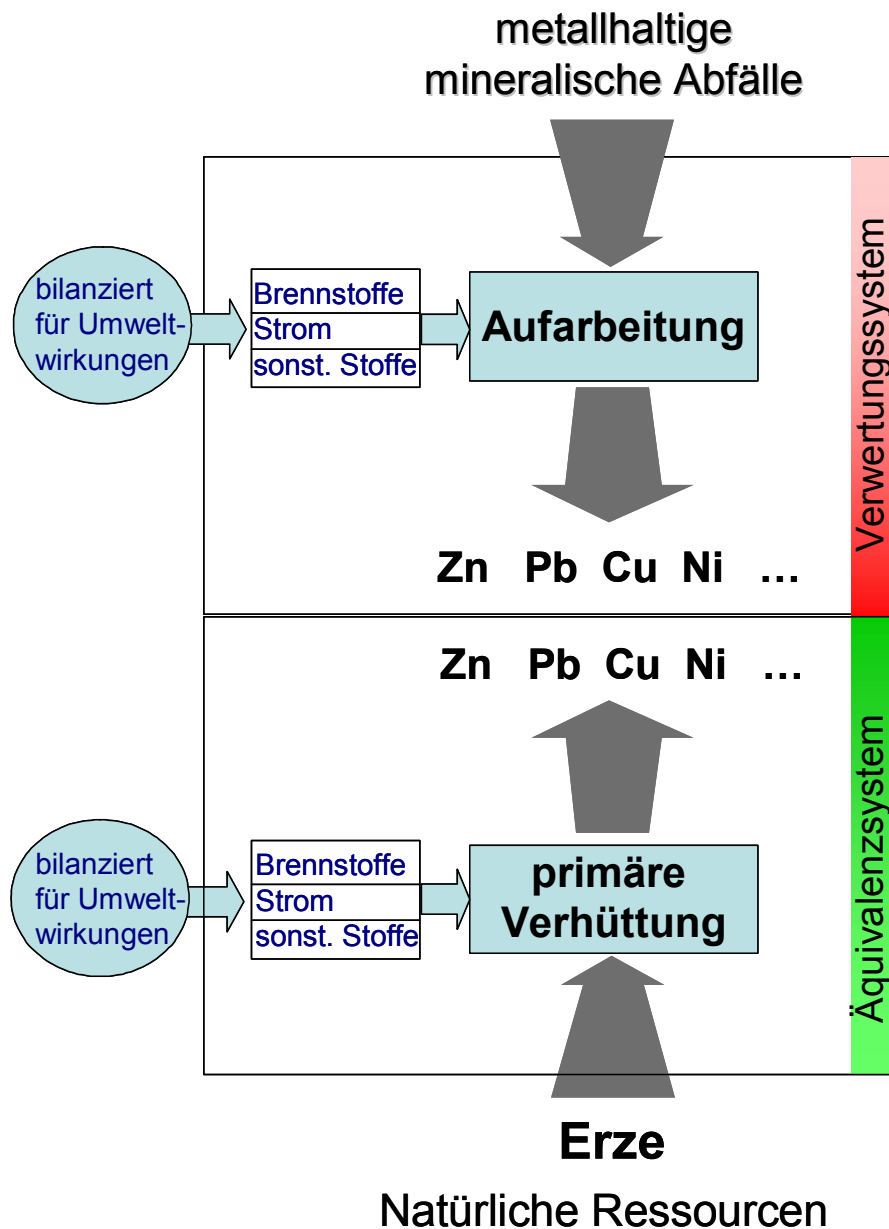
## **2 Methodische Grundlagen und Herangehensweise**

Bei der Verwertung metallhaltiger mineralischer Abfälle handelt es sich um ein System, das von der Erfassung der Abfälle über die Aufbereitung, die Bereitstellung von Hilfsstoffen und Energie bis hin zum eigentlichen Herstellungsprozess des Sekundärmaterials reicht. Ebenso reicht die Herstellung des substituierten Primärrohstoffs von den Abbauprodukten in den Minen bis zu der metallurgischen Herstellung des jeweiligen Metalls.

In beiden Fällen sind also nicht nur einzelne Anlagen zu berücksichtigen, sondern ganze Systeme. Bei der umweltseitigen Beurteilung von Systemen existiert als Instrumentarium die ökobilanzielle Analyse, die speziell dafür entwickelt wurde. Die Nutzung der Ökobilanz wurde bereits vielfach für Fragestellungen der Abfallwirtschaft angewendet.

Ein erster Schritt bei solch einer ökobilanziellen Betrachtung ist die Festlegung der Systemgrenzen und damit der zu untersuchenden Systeme. Gegenübergestellt werden dabei das eigentliche Verwertungssystem und das jeweils substituierte Äquivalenzsystem (siehe Abb.1).

Die Ökobilanz abfallwirtschaftlicher Systeme wird in einer festen Abfolge von Schritten bearbeitet. Dies beginnt nach der Zielformulierung mit dem Sammeln und Aufbereiten der Daten des untersuchten Systems. Dazu muss das gewünschte System zuerst beschrieben und modelliert werden. Dann müssen die benötigten Daten erhoben werden, um daraus die Input-Output-Ströme für das System selbst oder bestimmter Untersysteme zu berechnen.



**Abbildung 1** Methodische Grundlage

Die in der so genannten Sachbilanz ermittelten Daten und Informationen sind mit Umweltwirkungen verbunden. Für die Überführung der Emissionsdaten in Umweltwirkungen müssen zunächst die zu betrachtenden Umweltwirkungskategorien (z.B. Treibhauseffekt) festgelegt werden. Anschließend wird die Zuordnung von Einzelparametern zu den jeweiligen Umweltwirkungskategorien vorgenommen. Im nächsten Schritt wird dann der Beitrag der einzelnen Parameter zu den ausgewählten Umweltwirkungskategorien ermittelt.

Die nachfolgende Tab. 1 zeigt eine Zusammenstellung der Umweltwirkungskategorien mit den jeweiligen Parametern aus der Bilanzierung:

**Tabelle 1** Umweltwirkungskategorien

Naturraum-beanspruchung	Ressourcen-beanspruchung	Treibhauseffekt	Fotooxidantien-bildung	Eutrophierung <sup>1)</sup> + Sauerstoffzehrung	Versauerung	Humantoxizität <sup>3)</sup>	Ökotoxische Wirkung <sup>4)</sup>
Fläche	Erdöl	CO <sub>2</sub> fossil	NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	As <sup>2)</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
	Erdgas	CH <sub>4</sub>	CH <sub>4</sub>	NH <sub>3</sub>	NH <sub>3</sub>	BaP <sup>2)</sup>	Cr
	Braunkohle	N <sub>2</sub> O	NMVOG	CSB	SO <sub>2</sub>	Cd <sup>2)</sup>	Zn
	Steinkohle		Benzol	N-ges.	H <sub>2</sub> S	Cr <sup>2,6)</sup>	
	Metallerz		Toluol	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	HCl	Dioxin <sup>2)</sup>	
		Xylol	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	HF	Ni <sup>2)</sup>		
				P-ges.	PM 10		

1) Bei NO<sub>x</sub> (als NO<sub>2</sub>) und NH<sub>3</sub> Eutrophierungspotenzial in Luft, sonst in Wasser

2) Parameter werden in Form von Arsen-Äq. zum Krebsrisikopotenzial aggregiert

3) alle Stoffe als luftseitige Emissionen

4) alle Stoffe als Schadstoffeintrag in Wasser

5) nicht fossiles C, welches dauerhaft aus der Atmosphäre fern gehalten wird, wird als C-Senke (umgerechnet als CO<sub>2</sub> ausgewiesen)

6) als Chrom VI

In einer Auswertung werden die in der Bilanzierung und Wirkungsabschätzung ermittelten Umweltwirkungen zu einem Gesamturteil zusammengeführt. Dieses Gesamturteil kann aus den Einzelergebnissen mit Hilfe von Gewichtungen oder einer verbalargumentativen Abwägung hergestellt werden. Durchaus möglich ist aber auch die Herangehensweise, einen einzelnen Parameter - wie etwa den kumulierten Primärenergieaufwand - als Repräsentant der gesamten Umweltwirkungen zu verwenden. Dazu muss aber zunächst seine Eignung in dem speziellen Fall geprüft werden.

Auf jeden Fall werden schließlich mit der Gesamtheit der Umweltbeeinträchtigungen von Verwertungsverfahren und substituiertem Primärprozess Kriterien in Form von Metallgehalten in den Abfällen ermittelt, die bei einer Bewertung der Metallrückgewinnung Vorrang einräumen können.

### 3 Im Vorhaben untersuchte Metalle und typische Abfälle

Die Versatzverordnung nennt sieben Metalle, die bei bestimmten Grenzwertkonzentrationen (angegeben in g/kg Feststoffgehalt) unter bestimmten Randbedingungen nicht mehr als Versatzmaterial oder als Zusatz zu einem Versatzmaterial verwendet werden dürfen (siehe Tab. 2).

Die Metallgehalte, ab denen zwingend eine stoffliche Aufbereitung nach der Versatzverordnung vorgeschrieben ist, sind in g/kg bzw. in Prozent:

**Tabelle 2** Metallgehalte der Versatzverordnung

	Grenzwertkonzentration für Metalle im Abfall	Grenzwertkonzentration für Metalle im Abfall
	in g/kg	in Prozent
Zink	≥ 100	≥ 10 %
Blei	≥ 100	≥ 10 %
Kupfer	≥ 10	≥ 1 %
Zinn	≥ 15	≥ 1,5 %
Chrom	≥ 150	≥ 15 %
Nickel	≥ 25	≥ 2,5 %
Eisen	≥ 500	≥ 50 %

Diese Metallgehalte orientieren sich an den Metallgehalten in Primärerzen, die für die Herstellung dieser Metalle verwendet werden. Durch diese Herangehensweise ist quasi garantiert, dass bei gleichen Technologien und Umweltstandards die metallurgische Aufarbeitung von Abfällen und Erzen vergleichbar sind. Das mag zwar im Einzelnen je nach Matrix des Abfalls oder Erzes oder je nach Umweltstandard der Herstellung in einzelnen Ländern im Vergleich mit einer Aufbereitung in Deutschland nicht übereinstimmen, jedoch kann es als vernünftige erste Näherung angenommen werden.

Es ist nun durchaus möglich, dass bestimmte Abfälle mit niedrigeren Metallgehalten als in der Versatzverordnung festgelegt (s.o.), umweltseitige Vorteile der Metallrückgewinnung im Vergleich zum Primärrohstoff aufweisen. Diese Abfälle und die jeweiligen Metallgehalte sollen ebenfalls in dem Forschungsvorhaben identifiziert werden.

Folgende Herangehensweise wurde gewählt: Zuerst sind die Abfälle zu benennen, die in eine Konkurrenzsituation zwischen Verwertung der metallischen Bestandteilen und der Verwertung im Versatz kommen können. Das betrifft zum Beispiel Schlacken aus der Metallschmelze.

Betroffen davon sind z.B. die Abfälle aus der Gruppe 10 der Abfallverzeichnisverordnung (AVV) vom 10. Dezember 2001: „Abfälle aus thermischen Prozessen“, die von den Abfallschlüsseln 10 02 bis 10 10 die entsprechenden Abfallschlüssel für Schlacken, Filterstäube und sonstigen Reststoffe der Eisen- und Nichteisenmetallaufbereitung umfasst.

In Tab. 3 sind zur Verdeutlichung der Mengenrelevanz einige Abfälle mit ihren entsprechenden Mengen für die Jahre 2001 und 2003 nach Angaben des Statistischen Bundesamtes aufgeführt. Erschwert wird die Abschätzung der Relevanz der Abfallmengen durch die 2002 erfolgte Umschlüsselung der Abfallarten. Für beide Jahre werden verfügbare Mengeninformatoren auf Basis der 6er Schlüssel dargestellt:

**Tabelle 3** Mengenrelevanz nach Abfallschlüsseln

Abfallbezeichnung		2001	2003
besonders überwachungsbedürftig		in Tonnen	in Tonnen
10 03 04	Schlacken aus der Aluminiummetallurgie	18.600	
10 04 01	Schlacken aus der Bleimetallurgie	1.500	
10 05 01	Schlacken aus der Zinkmetallurgie		133.626
nicht besonders überwachungsbedürftig			
10 07 01	Schlacken aus der Edelmetallurgie	900	698
10 08	Abfälle aus sonstiger NE-Metallurgie	4.300	
10 02 02	unverarbeitete Schlacke aus Eisenindustrie	3.709.000	764.083
10 09 03 bzw. 10 09 08	Abfälle vom Gießen von Eisen und Stahl (Ofenschlacke)	158.038	903.400
10 10 03 bzw. 10 10 08	Abfälle vom Gießen von Nichteisenmetallen (Ofenschlacke)	1.278	94.080

Für diese Abfälle werden z.Zt. noch die typischen Metallgehalte recherchiert und gehen dann in die weitere Untersuchung ein.

## 4 Verfahren zur Aufbereitung metallhaltiger Abfälle

Als weiterer Arbeitsschritt werden für die genannten Metalle die heute eingesetzten Aufbereitungs- und Verwertungsverfahren zusammengestellt. Bei der Zusammenstellung werden Informationen zum erzeugten Produkt, zur Metallgewinnungseffizienz, zum Energieeinsatz und zu möglichen Emissionen recherchiert. Diese Informationen sind für die Bewertung der Verwertungsverfahren im Vergleich mit der Metallgewinnung aus Primärrohstoffen notwendig.

Einige Firmen, die sich der Metallverwertung u.a. aus mineralischen Abfällen widmen (ohne Anspruch auf Vollständigkeit), seien hier genannt: Berzelius Metall GmbH, B.U.S. Steel Services GmbH, H.C.Stark GmbH, Nickelhütte Aue GmbH, Norddeutsche Affinerie AG, Umicore Precious Metals Refining, Thyssen Krupp AG, Ruhr-Zink GmbH, etc.

Einige Verfahren verschiedener Anbieter für drei der sieben in der Versatzverordnung geregelten Metalle, die Verwendung finden, nämlich Zink, Blei und Nickel, sind hier kurz mit öffentlich verfügbaren Informationen aufgeführt. Sie stellen zum jetzigen Zeitpunkt noch keine Präferenz oder Auswahl der betrachteten Recyclingoptionen dar.

### 4.1 Zinkaufbereitung

Zink wird zum Beispiel mit Hilfe des so genannten Wälzrohrverfahrens zurückgewonnen<sup>1</sup>. Dabei werden die angelieferten Stäube, Schlämme, Filterkuchen oder sonstigen zinkhaltigen Reststoffen zunächst entweder in geschlossenen Siloanlagen oder in eingehausten Boxen zwischengelagert. Diese Vorstoffe werden in einem ersten Schritt mit Wasser und dem Reduktionsmittel zu Pellets verarbeitet, um so die Reaktionsfähigkeit der zu verarbeitenden Stoffe zu erhöhen und eine homogene Ofenbeschickung zu gewährleisten. Die Pellets werden entweder direkt oder über eine Zwischenlagerung dem Drehrohrföfen zugeführt. Bei Temperaturen von bis zu 1.200 °C wird insbesondere Zink verdampft. Dieses reagiert in der Gasphase des Ofens zu Zinkoxid, das mit sonstigen flüchtigen Bestandteilen in den Filteranlagen des Ofens als Zinkkonzentrat gewonnen wird. Dieses wird schließlich an die Zinkindustrie vermarktet (siehe Abb. 2).

---

<sup>1</sup> B.U.S Steel Services GmbH; Ruhr-Zink GmbH



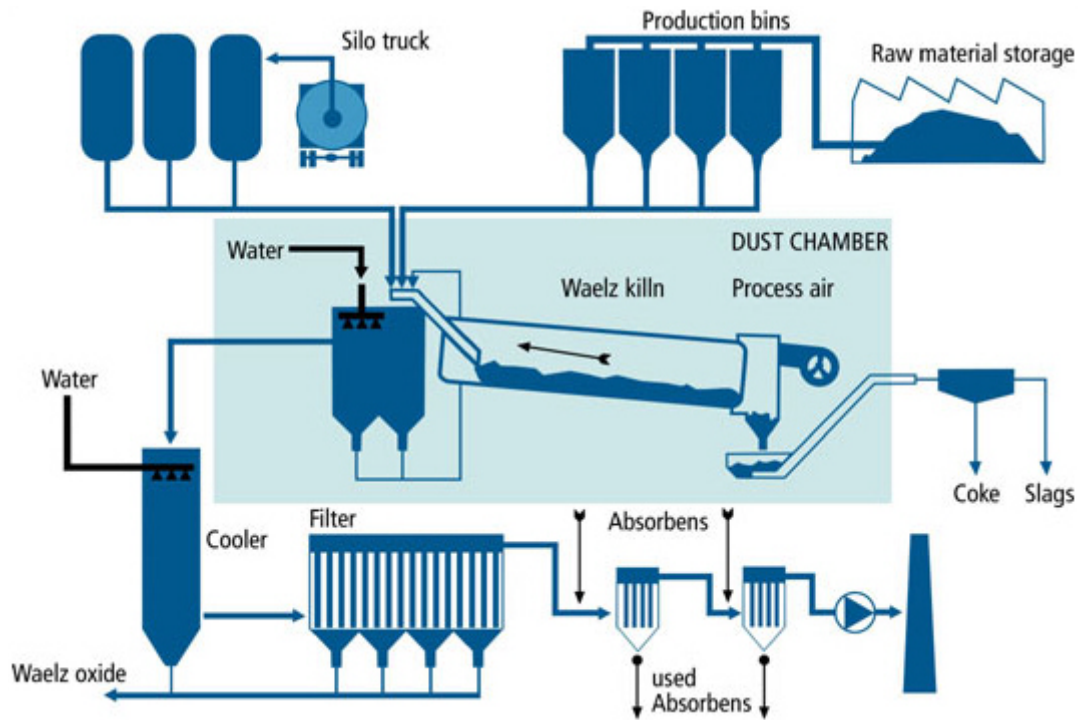


Abbildung 2 Zinkaufbereitung

## 4.2 Bleiaufbereitung

Ein Verfahren zur Bleiaufbereitung ist z.B. das sog. QSL-Verfahren<sup>2</sup> (siehe Abb. 3), ein kontinuierlich arbeitendes Verfahren, bei dem in einem liegenden Reaktor die bleihaltigen Materialien eingeschmolzen und Werkblei sowie eine absetzbare Schlacke gewonnen werden. Konzentrate und Zuschlagstoffe, rezirkulierter Flugstaub sowie - falls erforderlich - geringer Kohlezusatz werden gemischt und zu Pellets verarbeitet.

Die Aufgabe der Mischung ist es, das Material einigermaßen gleichförmig und staubfrei dem Reaktor aufzugeben. Die Mischung wird über Aufgabetrichter dem Reaktor zugeführt und fällt in das geschmolzene Schlackenbad. Der QSL-Reaktor besteht aus einem leicht geneigten, ausgemauerten Reaktor, der um 90 Grad gedreht werden kann. In der ersten Zone des Reaktors wird technischer Sauerstoff durch bodenblasende, gasgekühlte Düsen in das flüssige Bad geblasen, wobei die im Rohmaterial enthaltenen Sulfide oxidiert werden und Schwefeldioxid und verunreinigtes Blei entstehen.

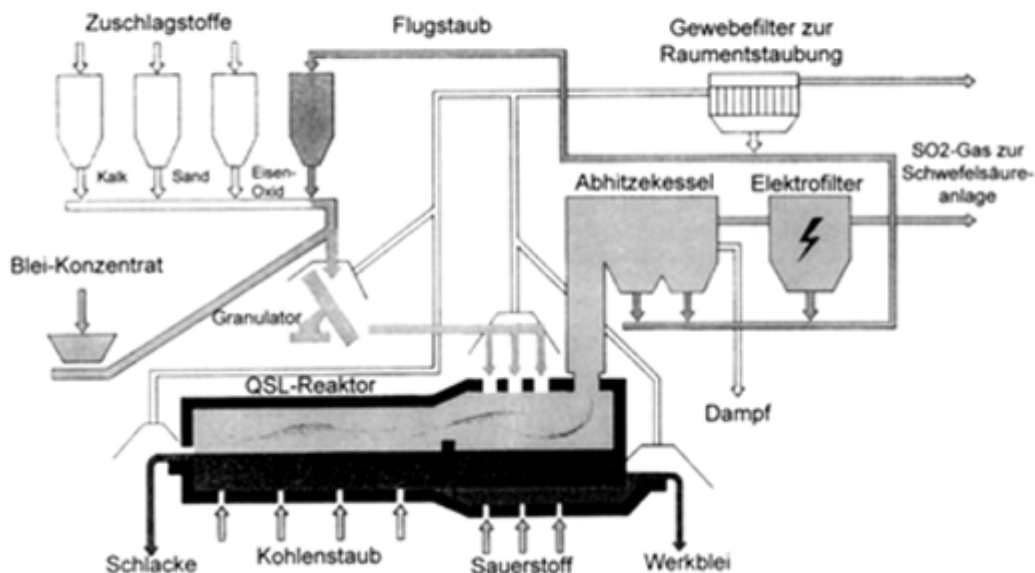
Die bleihaltige Schlacke läuft durch ein Wehr in die Reduktionszone, in der durch ebenfalls bodenblasende Düsen Kohlenstaub unter Zusatz von Luft oder Sauerstoff eingeblasen wird. Der Kohlenstaub reduziert das in der Schlacke enthaltene Bleioxid zu metallischem Blei, das sich mit dem Primärblei der Oxidationszone vereinigt und gemeinsam kontinuierlich aus dem Reaktor in einen Kessel abfließt. Die reduzierte Schlacke

<sup>2</sup> BSB Recycling GmbH, Tochter der BERZELIUS Metall GmbH

mit einem niedrigen Bleigehalt läuft am anderen Ende des Reaktors über und wird entweder granuliert oder kann in einem weiteren Verarbeitungsschritt einer Entzinkung zugeführt werden.

Das SO<sub>2</sub>-haltige Abgas tritt bei einer Temperatur von etwa 1100 °C in der Oxidationszone aus, wird in einem senkrecht führenden Schacht auf eine Temperatur unter 700 °C gekühlt und passiert anschließend einen Abhitzekeessel sowie einen nachgeschalteten Elektrofilter. Die hier anfallenden Stäube werden dem Verfahren wieder zugeführt. Nach dem Elektrofilter hat das Gas noch eine Temperatur von 320 - 350°C und einen Staubgehalt von < 100 mg/Nm<sup>3</sup>. In einem nachgeschalteten Verdampfungskühler wird das Gas nochmalig einem Waschprozess unterzogen und auf 70 °C abgekühlt. Danach durchläuft das Gas eine zweistufige Nass-Gas-Reinigung und wird weiter abgekühlt auf 30 - 35 °C, wobei es bis auf einen Reststaubgehalt von < 1 mg/Nm<sup>3</sup> gereinigt wird. Die Quecksilber-Entfernungsanlage in Betrieb, welche nach dem Boliden-Norzink-Verfahren flüchtiges Hg aus der Gasphase durch eine umlaufende HgCl<sub>2</sub>-Lösung herauswäscht. Das so gereinigte SO<sub>2</sub>-haltige Gas durchläuft die Doppelkontakanlage und verlässt die Anlage mit einem Rest-SO<sub>2</sub>-Gehalt von < 200 ppm/Nm<sup>3</sup>. Die dabei produzierte 96,5%-ige Schwefelsäure hat hohe Qualität mit einem Rest-Hg-Gehalt von < 0,5 ppm.

## Gewinnung von Blei QSL-Verfahren



Quelle: Biebertung e.V.

Abbildung 3 Bleiaufbereitung

### 4.3 Nickelaufbereitung

Nickel kann sowohl pyrometallurgisch als auch hydrometallurgisch aufbereitet werden<sup>3</sup>. Die pyrometallurgische Aufbereitung konzentriert sich in dem dargestellten Fall (siehe Abb. 4) hauptsächlich auf das Metall Nickel, während bei der hydrometallurgischen Verarbeitung auch Kobalt zurückgewonnen werden kann.

Bei der pyrometallurgischen Aufbereitung kommen Galvanikschlämme, Katalysatoren, Schleifschlämme und nickelhaltige Stäube zum Einsatz. Sie werden in einem Reaktor erhitzt, so dass sich Metall und Schlacken entsprechend auftrennen. In einem Abstich werden die Fraktionen voneinander getrennt.

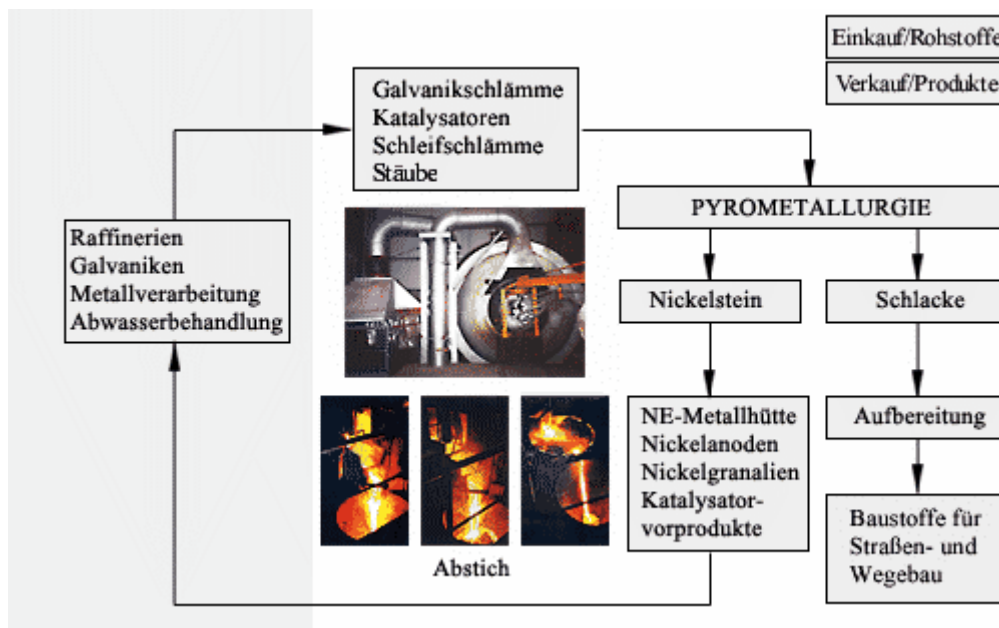


Abbildung 4 Nickelaufbereitung

## 5 Erste Aussagen (Zwischenergebnisse)

Auf Grund noch fehlender bzw. noch nicht vollständig ausgewerteter Daten und Informationen ist es zu dem jetzigen Zeitpunkt des Forschungsvorhabens noch problematisch, verlässliche Aussagen vorzulegen. Dennoch sollen hier einige orientierende Hinweise gegeben werden.

So kann man – ohne in die im zweiten Kapitel dargestellten Parameter oder Wirkungskategorien einzutreten – Hinweise aus dem Energieaufwand ermitteln, der zu den Aufbereitungsverfahren und zur Herstellung der Metalle aus Primärrohstoffen zur Verfügung steht. Das mag nicht in allen Fällen ausreichend sein, da die Primärmetallverhüttung in anderen Ländern mit erheblichen Emissionen verbunden ist. Gerade in Schwel-

<sup>3</sup> Nickelhütte Aue GmbH

len- oder Entwicklungsländern muss davon ausgegangen werden, dass nur geringe oder unzureichende Maßnahmen zur Reduktion von Emissionen ergriffen wurden. Die Einordnung der nicht in Deutschland verursachten Emissionen stellt jedoch eine Problematik für sich dar, die in dem Vorhaben auch betrachtet wird.

Da zu dem jetzigen Zeitpunkt noch keine abgesicherten Aussagen zu den in Deutschland betriebenen Metallaufbereitungsverfahren gemacht werden können, soll deshalb hier zunächst eine Übersicht (siehe Tab. 4) über Energieverbrauch und einige Emissionen aufgeführt werden, die nach ersten eigenen Abschätzungen bei der Verhüttung der Primärrohstoffe zu Metallen entstehen.

**Tabelle 4** Erste orientierende Zahlen zu Energieaufwand und Umweltbelastungen der Primärmaterialgewinnung

	<b>KEA-gesamt</b>	<b>Treibhauseffekt</b>	<b>Versauerungspotenzial</b>	<b>Schwermetalle<sup>4</sup> Summe (8 SM)</b>
<b>Metall</b>	in GJ/t	in t CO <sub>2</sub> -Äq/t	in kg SO <sub>2</sub> -Äq/t	in kg/t
<b>Chrom</b>	65	k.A.	100	840
<b>Eisen</b>	17	0,9	4	5,2
<b>Kupfer</b>	46	1,7	122	1.900
<b>Nickel</b>	365	24	1445	890
<b>Zink</b>	70	6,5	24	13

Anhand dieser wenigen Zahlen zu den Umwelteigenschaften der Metallherstellung ist ersichtlich, wie unterschiedlich sich Energieaufwand und Emissionen bei der Herstellung von 1 Tonne des jeweiligen Metalls darstellt. Diese Werte, die noch validiert werden müssen, werden die Richtschnur sein, welcher Aufwand bei der Aufbereitung von ebenfalls 1 Tonne Metall aus den metallischen mineralischen Abfällen akzeptabel erscheint. Aus diesen Orientierungswerten lässt sich dann auf den Metallgehalt in den Abfällen zurückschließen, die mit einem jeweiligen Verfahren sinnvoll noch zu Metallen aufbereitet werden können.

<sup>4</sup> Arsen, Chrom, Cadmium, Kupfer, Quecksilber, Nickel, Blei, Zink

## 6 Literaturhinweise

Gesetz zu Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz – KrW-/AbfG) vom 27. September 1994 (BGBl. I S. 2705), zuletzt geändert am 12. Juni 2005 (BGBl. I S. 1666)

Verordnung über den Versatz von Abfällen unter Tage (Versatzverordnung-VersatzV) vom 24. Juli 2002 (BGBl. I S. 2833), geändert am 12. August 2004 (BGBl. I S. 2190)

Verordnung über die Verwertung von Abfällen auf Deponien über Tage (Deponieverwertungsverordnung- DepVerwV) vom 25 Juli 2005 (BGBl. I S. 2252)

Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnis-Verordnung – AVV) vom 10. Dezember 2001 (BGBl. I S. 3379) zuletzt geändert am 24. Juli 2002 (BGBl. I S. 2833)

Erarbeitung einer Methode zur Bewertung von Verwertungsoptionen. Im Auftrag des Umwelt- und Verkehrsministeriums des Landes Baden-Württemberg unter Koordination der ABAG-itm GmbH, Stuttgart-Fellbach, Heidelberg 2002

Ökologische Bilanzen in der Abfallwirtschaft. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, veröffentlicht als UBA-Texte 10/99, Heidelberg / Berlin 1999

Öffentlich zugängliche Informationen (über Internet oder sonstiges Informationsmaterial) der Firmen Berzelius Metall GmbH, B.U.S. Steel Services GmbH, H.C.Stark GmbH, Nickelhütte Aue GmbH, Norddeutsche Affinerie AG, Umicore Precious Metals Refining, Thyssen Krupp AG, Ruhr-Zink GmbH

### **Anschrift der Verfasser**

Dipl.-Phys. Jürgen Giegrich  
IFEU Institut  
Wilckenstr. 3  
69120 Heidelberg  
Tel.: +49 (0) 6221 4767 -21  
Email [juergen.giegrich@ifeu.de](mailto:juergen.giegrich@ifeu.de)  
Website [www.ifeu.org](http://www.ifeu.org)

Dipl.-Ing. Siegfried Kalmbach  
Umweltbundesamt  
Fachgebiet III 3.2 – Sonderabfallentsorgung  
Postfach 1406  
06813 Dessau  
Tel.: +49 (0) 340 2103-3637  
Email: [siegfried.kalmbach@uba.de](mailto:siegfried.kalmbach@uba.de)  
Website [www.uba.de](http://www.uba.de)

Dipl.-Biol. Horst Fehrenbach  
IFEU Institut  
Wilckenstr. 3  
69120 Heidelberg  
Tel.: +49 (0) 6221 4767 -16  
Email [horst.fehrenbach@ifeu.de](mailto:horst.fehrenbach@ifeu.de)  
Website [www.ifeu.org](http://www.ifeu.org)