

TEXTE

75/2016

Überprüfung der Grenzwerte von Metallen in Abfällen, bei deren Überschreitung eine Verwertung mit Metallrückgewinnung der einfachen Abfallverwertung im Versatz oder auf Deponien vorgeht

Kurzfassung

TEXTE 75/2016

Umweltforschungsplan des
Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Forschungskennzahl 3713 33 333
UBA-FB 002345/KURZ

Überprüfung der Grenzwerte von Metallen in Abfällen, bei deren Überschreitung eine Verwertung mit Metallrückgewinnung der einfachen Abfallverwertung im Versatz oder auf Deponien vorgeht

Kurzfassung

von

Günter Dehoust, Peter Küppers, Markus Blepp, Wolfgang Jenseit
Öko-Institut e.V., Freiburg

Daniel Goldmann, Boris Breitenstein
Technische Universität Clausthal, Clausthal-Zellerfeld

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber:

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
info@umweltbundesamt.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

Durchführung der Studie:

Öko-Institut e.V.
Office Berlin
Schicklerstrasse 5-7
10179 Berlin

Abschlussdatum:

November 2015

Redaktion:

Fachgebiet III 2.4 Abfalltechnik
Bernd Engelmann

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, November 2016

Das diesem Bericht zu Grunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit unter der Forschungskennzahl 3713 33 333 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	4
1.1	Auswahl der Metalle	4
1.2	Auswahl der Abfälle für die Befragung	4
1.3	Recyclingverfahren.....	5
1.3.1	DK-Prozess	6
1.3.2	Wälzverfahren im Drehrohfen	7
1.3.3	Verfahren zum Bleirecycling	7
1.3.4	Elektroreduktionsverfahren	8
1.3.5	Plasmaverfahren.....	8
1.3.6	Nickelhütten.....	8
1.3.7	Kupferhütten.....	9
1.3.8	Drehherd-Direktreduktionsverfahren	9
1.4	Vergleich derzeitige Grenzwerte und Annahmebegrenzungen sowie Senkung bestehender und Festlegung neuer Grenzwertkonzentrationen	9
1.5	Eigene Aufbereitungsversuche und Analysen	11
1.6	Entwicklung neuer Aufbereitungstechnologien.....	13
1.6.1	Elektrodynamische Fragmentierung.....	13
1.6.2	BIOLEACHING	14
1.6.3	Sortierverfahren.....	14
1.6.4	Fazit.....	15
1.7	Vorschlag für die Umsetzung der Untersuchungsergebnisse in ein Regelungskonzept	15
1.7.1	Anpassung der Grenzwerte.....	15
1.7.2	Ausweitung der Regelung auf Abfälle, die auf Deponien beseitigt werden	16
1.7.3	Festlegung einer Positivliste.....	17
1.7.4	Regelung von Ausnahmen.....	17
1.8	Ergänzende Maßnahmen zur Steigerung des Recyclings.....	19
2	Literatur	21

1 Zusammenfassung

Der effiziente und schonende Umgang mit den natürlichen Ressourcen ist ein zentrales umweltpolitisches Ziel. Aus diesem Grund wurde eine ausdrückliche Ermächtigungsgrundlage in das Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) aufgenommen, um durch Rechtsverordnung nach § 43 Abs. 1 Nr. 3 die Deponierung von Abfällen, die bestimmte Metallgehalte aufweisen, ausschließen zu können. Damit sollen die in Abfällen enthaltenen Metalle in geringerem Umfang als bisher dem Stoffkreislauf entzogen werden. Außerdem soll damit dem Erfordernis, die natürlichen Ressourcen zu schonen, verstärkt Rechnung getragen werden. Um zu erkennen, ob dies im derzeit technisch möglichen und wirtschaftlich zumutbaren Umfang rechtlich vorgeschrieben ist, gilt es, das untergesetzliche Regelwerk daraufhin zu überprüfen.

Die Versatzverordnung enthält in Anlage 1 Konzentrationsgrenzwerte für die Metalle Zink, Blei, Kupfer, Zinn, Chrom, Nickel und Eisen. Abfälle, die diese Grenzwerte erreichen, dürfen weder zur Herstellung von Versatzmaterial noch unmittelbar als Versatzmaterial eingesetzt werden, es sei denn, die Rückgewinnung der enthaltenen Metalle ist technisch nicht möglich und wirtschaftlich unzumutbar. Die Deponieverordnung nimmt auf diese Grenzwerte bzgl. der Abfallverwertung auf Deponien ebenfalls Bezug (§ 14 Abs. 2 Nr. 2).

Im Jahr 2007 wurden die Grenzwerte bereits einmal überprüft und bestätigt. Die Überprüfung erfolgte aber nur hinsichtlich ihrer Umweltauswirkungen. In der vorliegenden Studie findet eine erneute Überprüfung statt. Sie beruht auf einem praxisnahen Ansatz, in dem die technische Machbarkeit und die wirtschaftliche Zutraglichkeit insbesondere auch hinsichtlich der Beseitigung und Verwertung auf Deponien zum heutigen Zeitpunkt Untersuchungsgegenstand sind.

1.1 Auswahl der Metalle

Im ersten Schritt wurden neben den bereits geregelten Metallen Blei, Chrom, Eisen, Kupfer, Nickel, Zink und Zinn weitere acht Metalle (Antimon, Kobalt, Mangan, Molybdän, Niob, Tantal, Vanadium, Wolfram) vorgeschlagen, für die eine Festsetzung von Recyclinggrenzwerten im Rahmen dieser Studie untersucht werden sollte. Die Auswahl orientierte sich an dem Wert der einzelnen Metalle, der Abhängigkeit von Importen, der Versorgungssicherheit und der Bedeutung als Rohstoff für die Industrie.

1.2 Auswahl der Abfälle für die Befragung

Zur Auswahl der Abfallarten, von denen bei den Betreibern von Versatzbergwerken und Deponien Analysendaten abgefragt werden sollten, wurden zunächst die Abfallarten und Massen ermittelt und zusammengestellt, die in den Jahren 2011 und 2010 auf Deponien verbracht, im Deponiebau verwendet oder in Bergwerken versetzt wurden.

Für die Ermittlung der Analysedaten der bereits geregelten Metalle (Pb, Cu, Ni, Fe, Cr, Zn, Sn) aus der Abfallanalysendatenbank ABANDA des Landes Nordrhein-Westfalen wurden Untergrenzen festgelegt. Die Festlegung erfolgte erst einmal anhand der derzeit gültigen Grenzwertkonzentrationen, indem 10 % dieser Werte zugrunde gelegt wurden. Nach unten abgewichen wurde davon, wenn Erze mit geringeren Konzentrationen als abbauwürdig angesehen werden oder mehrere Konzentrationsmittelwerte in ABANDA geringfügig darunter lagen. Anschließend wurden die Mittelwerte aus ABANDA abgefragt und zusammengestellt.

Für die Ermittlung der Analysedaten der weiteren Metalle (Sb, Co, Mn, Mo, Nb, Ta, V, W) wurden die Untergrenzen zunächst sehr niedrig gewählt (100 mg/kg bzw. 1.000 mg/kg), da diese Metalle oftmals nicht alleine vorkommen und abgebaut werden, sondern in Kombination mit anderen Metallen, so dass keine separate Abbauwürdigkeit ermittelt werden konnte. Anschließend wurden auch hier die Mittelwerte aus ABANDA abgefragt und zusammengestellt.

Für die endgültige Auswahl Abfallarten, wurden in einem ersten Schritt diejenigen ermittelt, von denen in einem Jahr (2010 oder 2011) mehr als 10.000 Mg versetzt, auf Deponien verbracht und/oder im Deponiebau verwendet wurden und bei denen bei mindestens einem der geregelten Metalle der Mittelwert größer war als die festgelegte Untergrenze. Im zweiten Schritt wurden diejenigen Abfallarten aus der Auswahl herausgenommen, bei denen nur der Gehalt eines geregelten Metalls die festgelegte Untergrenze geringfügig überschritt, sowie die Abfallarten der AVV-Nr. 17 „Bau- und Abbruchabfälle (einschließlich Aushub von verunreinigten Standorten)“, da hier davon ausgegangen wurde, dass die Metallgehalte die festgelegten Untergrenzen zwar gelegentlich überschreiten können, aber in unterschiedlichen Bindungsformen vorliegen und daher keine Aussagen über die Wirtschaftlichkeit des Recyclings einer bestimmten Abfallart getroffen werden können. Im dritten Schritt wurden aus den Abfallarten, von denen in einem Jahr (2010 oder 2011) 10.000 Mg oder weniger versetzt, auf Deponien verbracht und/oder im Deponiebau verwendet wurden, anhand folgender Überlegungen ausgewählt:

- Gehalts-Untergrenzen bei den geregelten Metallen deutlich überschritten,
- Gehalts-Untergrenzen bei den weiteren Metallen überschritten,
- eine Abfallart lässt aufgrund ihrer Herkunft (z. B. Metallindustrie) oder ihrer Art (z. B. gebrauchte Katalysatoren) vermuten, dass höhere Metallgehalte enthalten sein können.

Zum Schluss wurden die anhand der angelegten Kriterien und Überlegungen nicht ausgewählten Abfallarten daraufhin überprüft, ob Gründe vorliegen, die für eine Aufnahme in die Auswahlliste sprechen. Gründe für die Auswahl waren

- versetzte, auf Deponien abgelagerte oder im Deponiebau verwendete Massen sehr hoch oder hoch und
- gleichzeitiges Fehlen von Analysen oder Analysenzahl für Entscheidung zu gering, aber höhere Metallgehalte aufgrund der Herkunft (z. B. Metallindustrie) oder der Art (z. B. Metalloxide) wahrscheinlich, oder
- gleichzeitiges Überschreiten der Untergrenze bei mindestens einem der weiteren Metalle.

Das Gesamtergebnis ist in der Tabelle 4-3 der Langfassung dieses Endberichts dargestellt.

1.3 Recyclingverfahren

Zunächst wurden die derzeit in Deutschland und angrenzenden Nachbarländern betriebenen Verfahren zur Metallaufbereitung recherchiert und beschrieben.

In einem zweiten Schritt wurden mittels Fragebogen und/oder in Gesprächen (Telefonaten) mit den Betreibern der Anlagen Informationen zum Anlageninput (Art, Menge und Zusammensetzung der Abfälle) und den Annahmeanforderungen an Abfälle abgefragt, die für

eine Aufbereitung erfüllt sein müssen (Metallgehalte, störende Verunreinigungen, chemische Bindungsformen u. ä.). Die Ergebnisse für einige bedeutende Verfahren sind im Folgenden kurz dargestellt.

1.3.1 DK-Prozess

Beim DK-Prozess werden insbesondere eisenhaltige Abfälle weiter verarbeitet; z. B. Filterstäube und Schlämme aus Gasreinigungen, Gichtgasstäube und -schlämme, grober Walzenzunder und Walzenzunderschlamm sowie eisenhaltige Reststoffe aus der chemischen Industrie und der Nichteisenmetallindustrie. Hergestellt werden Gießereirohisen (Verwendung in Gießereien), Hochofenschlacke (Verwendung als Baustoff), Gichtgas (Verwendung als Brennstoff), Zinkoxidkonzentrat mit über 60 % Zink (Einsatz in Metallhütten) und geringe Mengen Rohblei.

Für Gichtgasschlämme gibt es nach derzeitigem Kenntnisstand kein anderes metallurgisches Verfahren, das größere Mengen wiederverwertet.

Der Gehalt an Eisen sollte möglichst um die 30 % und größer sein. Nebenbei können diese Abfälle auch Gehalte an Zink und Blei enthalten. Reststoffe mit Zinkgehalten unter 10 % können verwertet werden. Die Annahmekriterien zeigt Tabelle 1-1.

Tabelle 1-1: Annahmekriterien für den DK-Prozess

Element	möglicher Gehalt [% TS]	optimaler Gehalt [% TS]
Fe	0 - 100	40 - 100
C	0 - 90	0 - 10
SiO ₂	0 - 100	0 - 20 oder 70 - 100
CaO	0 - 30	0 - 20
MgO	0 - 35	0 - 5
Al ₂ O ₃	0 - 25	0 - 5
P	0 - 30	0 - 0,1 oder 3 - 30*
Cr	0 - 0,5	0 - 0,1
Cu	0 - 2	0 - 0,5
Ti	0 - 3	0 - 0,3
Mn	0 - 12	0 - 1
As, Sb	0 - 0,10	0 - 0,010
Ni	0 - 4	0 - 0,1
Mo, V	0 - 1,5	0 - 0,1
Na ₂ O + K ₂ O	0 - 3	0 - 1,5
Zn	0 - 15	0 - 3
Pb	0 - 5	0 - 0,5
Cl	0 - 5	0 - 0,5
F	0 - 4	0 - 0,1
S	0 - 5	0 - 0,5
Hg	< 0,0001	< 0,0001
Cd	0 - 0,10	0 - 0,10
Tl	0 - 0,035	0 - 0,035

Element	möglicher Gehalt [% TS]	optimaler Gehalt [% TS]
Cr (VI)	nicht nachweisbar	nicht nachweisbar
Öl/Fett	0 – 6	0 – 1

* bei P >3 % sollten Cr/Cu niedrig liegen

1.3.2 Wälzverfahren im Drehrohrofen

Das Wälzverfahren wird als Prozess zur Zinkanreicherung von zinkhaltigen Reststoffen, insbesondere Stahlwerksstäuben, aber auch zahlreichen anderen Abfallarten angewandt. Erzeugt wird ein Wälzoxid mit 58 – 65 % Zinkanteil und 2 – 6 % Bleianteil, das als Sekundärrohstoff in Zinkhütten (v. a. in der Zinkelektrolyse) eingesetzt wird.

Das Verfahren eignet sich vor allem für zinkhaltige Reststoffe mit Zinkgehalten über 20 %, angenommen werden aber auch Abfälle mit Zinkgehalten ab 5 %. Nachteilig ist, dass die Eisenfraktion nicht rückgewonnen wird. Das Wälzoxid enthält neben hohen Anteilen von Zink auch das Blei, das im Anlageninput enthalten war. In der Zinkherstellung wird dieses in der Elektrolytreinigung abgeschieden und als Bleikonzentrat der Bleiherstellung zugeführt.

Die Befragung ergab, dass die erforderlichen Zinkgehalte, ab denen Abfälle angenommen werden, unterschiedlich sind: $\geq 5\%$ bzw. $\geq 10\%$. Auch der Gehalt anderer Metalle, die in den Abfällen enthalten sein dürfen, schwankt bei den verschiedenen Abfallarten zum Teil deutlich (siehe Tabelle 1-2). Darüber hinaus wurden Beschränkungen für Chlor, Fluor, Schwefel, PCDD/PCDF und organische Stoffe genannt.

Tabelle 1-2: Beschränkungen für Metallgehalte beim Wälzverfahren

Metall	Beschränkung
Blei	Keine bis $\leq 10\%$
Kupfer	Keine bis $\leq 2\%$
Nickel*	$\leq 12\%$ bis $\leq 2\%$
Chrom	$\leq 12\%$ bis $\leq 2\%$
Kobalt	Keine bis $\leq 1\%$
Cadmium	$\leq 1\%$ bis $\leq 0,1\%$
Arsen	$\leq 0,1\%$ bis $< 0,06\%$
Quecksilber	$\leq 0,02\%$ bis $\leq 0,01\%$

* Bei atemgängigen pulverförmigen Nickelverbinden (Nickelmonoxid, Nickeldioxid, Nickelsulfid, Trinickeldisulfid, Dinickeltrioxid) gab es außerdem die Beschränkung auf $< 0,1\%$

1.3.3 Verfahren zum Bleirecycling

In Sekundärbleihütten, die nach dem KTO-Verfahren arbeiten, werden verbrauchte Bleiakumulatoren, Altblei, bleihaltige Rückstände und Strahlsände sowie kaschierte Bleifolien und Bildschirmglas recycelt. Dabei entstehen Werkblei oder Mischzinn sowie Schlacke, zum Teil auch Bleilegierungen.

Andere Sekundärbleihütten erzeugen Blei aus Konzentraten und Rückständen nach dem QSL-Verfahren. Gegenüber dem herkömmlichen Verfahren der Bleierzeugung werden in diesem

kontinuierlich arbeitenden Verfahren die getrennten Verfahrensschritte Rösten und Reduktion im QSL-Reaktor zusammenfasst. Gleichzeitig bietet es die Möglichkeit, neben den Konzentraten problematische Bleirückstände wie Sulfide, Sulfate und Silikate zu verarbeiten [IFEU 2007].

Beim Schachtofenprozess wird Werkblei aus Bleiakumulatoren, aus Rückständen der Akkumulatorenfertigung und sonstigen bleihaltigen Abfällen zurückgewonnen. Hergestellt werden Hartbleilegierungen (Blei-Antimon- und Blei-Calcium- Legierungen) und Weichblei. Außerdem werden Bleioxide (Bartonstaub/Batterieoxid und Bleimennige) durch Oxidation von Fein- und Weichblei produziert.

1.3.4 Elektroreduktionsverfahren

Mit dem Elektroreduktionsverfahren werden Stahlwerkstäube, Walzzunder sowie sonstige chrom- und nickelhaltige Reststoffe recycelt, insbesondere auch Stäube aus der Edelstahlherstellung. Output des Prozesses sind die Staubfraktion mit hohen Gehalten an Zink- und Bleioxid und eine Metallfraktion mit hohen Gehalten an Eisen, Chrom, Nickel und Molybdän, die in der Edelstahlherstellung wieder verwendet [Öko-Institut 2007].

Um die Produktionskosten zu decken, sind insbesondere die Gehalte an Nickel und Molybdän bedeutsam. Die Befragung ergab, dass Abfälle mit einem Ni- bzw. Mo-Gehalt von 1 % eingesetzt werden können (technisch machbar). Dieser Gehalt ist aber nicht kostendeckend. Bei hohen Börsennotierungen können Ni- bzw. Mo-Gehalte ab 2 % kostendeckend sein. Zu beachten ist auch, dass eine angemessene Menge Eisen als Metallsammler im Abfall enthalten sein sollte, da ansonsten unverhältnismäßig viel Schlacke produziert wird und damit die anfallende Abfallmenge pro Tonne erzeugter Legierung steigen würde.

1.3.5 Plasmaverfahren

Das Plasmaverfahren basiert zwar auf einer anderen Technologie als das Elektroreduktionsverfahren, weist aber hinsichtlich des Inputs und Outputs Ähnlichkeiten auf. Angenommen werden dürfen Krätzen, Zunder und andere Abfälle aus der Eisen- und Stahlherstellung, wobei diese Aufzählung Abfälle in Form von Asche, Rückstand, Schlacke, Abschaum, Staub, Schlamm und Kuchen umfasst. Ebenfalls angenommen werden bestimmte Abfälle aus industriellen Abgasreinigungsanlagen. Zurückgewonnen werden zu über 80 % Chrom, Nickel, Molybdän und Eisen zur Wiederverwendung in der Edelstahlfertigung. Das Recyclingmetall wird entweder in Form von Granalien bzw. größeren Blöcken wieder zurück in den Markt gebracht. Zink und Blei werden als Stäube abgeschieden und können ebenfalls recycelt werden.

Um die Produktionskosten zu decken, sind wie beim Elektroreduktionsverfahren insbesondere die Gehalte an Nickel und Molybdän bedeutsam. Auch hinsichtlich der Kostendeckung und des Eisengehalts im Abfall ergab die Befragung das Gleiche wie beim Elektroreduktionsverfahren.

1.3.6 Nickelhütten

In einer Nickelhütte werden Ni-, Cu-, Co-, Zn-, W-, Mo-, V- und Pb-haltige Katalysatoren, Stäube, Schlämme, Salze, Säuren und Lösungen sowie weitere Reststoffe recycelt. Sie verfügt über eine Vielzahl von pyro-hydrometallurgischen Verbundanlagen, u. a. über Röstöfen, einen Schmelzofen und eine Elektrolyse. End- oder Zwischenprodukte sind u. a.:

Edelmetallkonzentrate, NE-Metall- Konzentrate (v.a. Ni, Co, Mo und V), Kupfersulfat, Nickelsulfat, Kobaltsulfat, verschiedene Legierungen und Reinmetalle.

Die Befragung ergab, dass Nickel grundsätzlich aus Rückständen wiedergewonnen werden kann, die einen Ni-Gehalt von mindestens 0,5 % i.O. aufweisen. Ab einem Ni-Gehalt von ca. 5 % i.O. und ohne Störelemente wie beispielsweise Zink oder Chrom ist Kostendeckung durch das Material selbst erreicht. Ansonsten muss der Abfallerzeuger zuzahlen. Außerdem sollten die Abfälle frei von Cadmium, Arsen, Quecksilber, Antimon und PCB sein. Der Blei-Gehalt ist abhängig von den Gehalten an Nickel, Kobalt bzw. Kupfer. Der Cyanidgehalt sollte unter 1 % liegen, wobei Lösungen cyanidfrei sein müssen. Der mögliche Fluorgehalt wird auf Nachfrage mitgeteilt.

1.3.7 Kupferhütten

In Sekundärkupferhütten wird eine Vielzahl von Abfällen wie Elektroschrott, schwermetallhaltige Salze, Stäube und Schlämme zur Metallgewinnung oder als Schlackebildner angenommen, aber auch Sekundärrohstoffe mit niedrigen Kupferanteilen. Erzeugt wird Rohkupfer mit einem durchschnittlichen Kupfergehalt von 95 % sowie eine Zinn-Blei-Legierung. Nickelsulfat und Edelmetalle werden nach der Elektrolyse abgetrennt und aufbereitet.

1.3.8 Drehherd-Direktreduktionsverfahren

Ziel des sogenannten Inmetco-Verfahren ist die Gewinnung von Eisenschwamm¹ und einer angereicherten NE-Metallfraktion durch Direktreduktion von hochmetallhaltigen Reststoffen der Eisen- und Stahlindustrie. Seit einiger Zeit liegt der Schwerpunkt auf der Verwertung nickelhaltiger Batterien.

Hauptmotiv bei der Entwicklung dieser Verfahren war die Substitution des bei der klassischen Eisen- und Stahlproduktion erforderlichen Kokes durch kostengünstigere Reduktionsmittel und Energieträger. Der Eisenschwamm als Produkt des Prozesses kann an verschiedenen Stellen (Blasstahlwerk, Elektrolichtbogenofen) eingesetzt werden. So bietet das Inmetco-Verfahren die Möglichkeit einer einheitlichen Entsorgung und Verwertung einer Reihe eisenhaltiger Reststoffe aus integrierten Hüttenwerken, die ansonsten aufgrund ihrer Beschaffenheit und/oder ihrer hohen Gehalte an Zink, Blei, Alkalien oder Öl nur nach gesonderter Konditionierung oder teilweise gar nicht in die Hüttenwerksprozesse zurückgeführt werden können.

1.4 Vergleich derzeitige Grenzwerte und Annahmeregrenzungen sowie Senkung bestehender und Festlegung neuer Grenzwertkonzentrationen

Angaben zu den Annahmeregrenzungen für die Metallgehalte bei den verschiedenen Recyclingverfahren lagen nur für wenige Metalle vor. Grund hierfür ist, dass Mindestgehalte

¹ Als Eisenschwamm wird das feste Produkt von Verfahren bezeichnet, bei denen hoch metallhaltige (insb. Eisen), überwiegend oxidische Einsatzmaterialien unter Einsatz von Kohle, Erdgas oder Erdöl reduziert werden [VDEL 1989].

nur für das Hauptelement angegeben werden, nicht aber für die gleichzeitig zurückgewonnenen Nebenelemente. Die Angaben bei den Nebenelementen stellen überdies i.d.R. mögliche Höchstgehalte dar.

Für Eisen beträgt die derzeitige Grenzwertkonzentration 50 % bzw. 500.000 mg/kg. Beim DK-Prozess können Abfälle mit einem Fe-Gehalt angenommen werden, der größer als 0 % ist. Als optimal werden Fe-Gehalte von > 40 % genannt.

Für Zink beträgt die derzeitige Grenzwertkonzentration 10 % bzw. 100.000 mg/kg. Für das Wälzverfahren liegen hinsichtlich der Annahmegrenzen zwei Angaben vor. Beim einen Verfahren beträgt der Annahmegrenzwert 5 %, beim anderen 10 %.

Für Nickel beträgt die derzeitige Grenzwertkonzentration 2,5 % bzw. 25.000 mg/kg. Beim Elektroreduktionsverfahren und beim Plasmaverfahren können Abfälle mit Ni-Gehalten ab 1 % verarbeitet werden. Kostendeckend wird es aber – anhängig von der Börsennotierung – erst ab einem Ni-Gehalt von > 2 %. In der betrachteten Nickelhütte kann Nickel aus Abfällen mit Ni-Gehalten $\geq 0,5$ % i.O. wiedergewonnen werden. Kostendeckend wird es aber erst bei Ni-Gehalten von etwa 5 % i.O.

Für Molybdän existiert derzeit kein Grenzwert. Beim Elektroreduktionsverfahren und beim Plasmaverfahren können Abfälle mit Mo-Gehalten ab 1 % verarbeitet werden. Kostendeckend wird es aber – anhängig von der Börsennotierung – erst ab einem Mo-Gehalt von > 2 %.

Aus den Angaben der Recyclingbetriebe, insbesondere bezüglich der Annahmekriterien ergeben sich für Zink, Eisen und Nickel Hinweise auf Recyclingmöglichkeiten bei Konzentrationen unterhalb der bisher vorgegebenen Grenzwerte.

Die derzeit gültige Grenzwertkonzentration für Zink von ≥ 100 g/kg kann demnach auf ≥ 50 g/kg halbiert werden. Darüber, ob Zink aus Abfällen mit geringeren Gehalten derzeit technisch zurückgewonnen werden kann, liegen keine Hinweise vor.

Auch die derzeit gültige Grenzwertkonzentration für Eisen von ≥ 500 g/kg kann zumindest auf ≥ 400 g/kg gesenkt werden, da es ein Unternehmen gibt, das eine Konzentration ab diesem Wert bereits als optimal bezeichnet. Ohne Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit könnte die Grenzwertkonzentration auch weiter gesenkt werden, da das gleiche Unternehmen die Annahme von Abfällen mit geringeren Gehalten nicht ausschließt.

Technisch ist es derzeit mit zwei Verfahren möglich, Nickel aus Abfällen mit Gehalten > 1 % zurückzugewinnen, so dass die Grenzwertkonzentration aus rein technischer Sicht von derzeit ≥ 25 g/kg auf ≥ 10 g/kg gesenkt werden könnte. Ob eine weitere Senkung möglich ist, kann nicht gesagt werden, da sich die Gehaltsangabe von $\geq 0,5$ % beim dritten Verfahren auf die Originalsubstanz bezieht. Bei Schlacken beispielsweise aus der Metallurgie könnte dies möglich sein, da die Wassergehalte nahe Null liegen.

Für den Gehalt an Molybdän wurde bisher keine Grenzwertkonzentration festgelegt. Mit zwei Verfahren ist es derzeit möglich, Molybdän aus Abfällen mit Gehalten ≥ 1 % zurückzugewinnen, so dass rein technisch gesehen eine Grenzwertkonzentration von ≥ 10 g/kg festgelegt werden könnte.

Die oben gemachten Aussagen beziehen sich nur auf die Gehalte der Metalle, die mit dem jeweiligen Verfahren primär zurückgewonnen werden. Die technisch mögliche

Metallrückgewinnung hängt aber nicht nur von den Konzentrationen dieser Metalle ab, sondern auch von den Konzentrationen der Metalle, die als Nebenprodukte zurückgewonnen werden, sowie von den Gehalten weiterer im jeweiligen Abfall enthaltenen Elemente und Stoffe. Da sowohl die möglichen Gehalte der Metalle, die als Nebenprodukte zurückgewonnen werden, als auch die möglichen Gehalte der übrigen im jeweiligen Abfall enthaltenen Elemente und Stoffe von Verfahren zu Verfahren unterschiedlich sind, wird es in jedem Fall eine Einzelfallentscheidung bleiben, ob eine Abfallcharge zur Metallrückgewinnung angenommen wird oder nicht.

1.5 Eigene Aufbereitungsversuche und Analysen

Im Rahmen des Projektes konnten durch intensive Literaturrecherche und die ausgegebenen Fragebögen weitreichende Informationen zu unterschiedlichen Abfällen zusammengetragen werden. Dabei wurde der Fokus auf die Sammlung von belastbaren Daten gelegt, die es erlauben, Schlüsse auf die jeweiligen Metallkonzentrationen in den einzelnen Abfällen zu ziehen. Des Weiteren wurde im ersten Ansatz versucht, aus der Herkunft der Abfälle und der enthaltenen Metallkonzentration zu kombinieren, in welcher Verbindungsform die Metalle in den einzelnen Abfällen vorliegen, soweit die Verbindungsform nicht durch die Namensgebung des Abfallschlüssels vorgegeben war.

Als weiteres Kriterium bei der Auswahl der weiter zu untersuchenden Abfälle wurde die besondere Gefährlichkeit von den Abfällen berücksichtigt, diese kann z. B. durch Quecksilber und Cadmium, hohe Chlorgehalte und starke Dioxin, Furan, PCB und PAK etc. gegeben sein. Offensichtliche Belastungen mit solchen Gefahrstoffen haben dann im Rahmen dieser ersten Vorauswahl teilweise dazu geführt, dass diese Abfälle für weitere Behandlungen ausgeschlossen wurden, da eine weitere Behandlung wahrscheinlich massive Probleme im Recyclingprozess und Umweltgefährdungen mit sich bringen würde.

Die Abfallarten AVV 19 01 11* „Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken, die gefährliche Stoffe enthalten“ und 19 01 12 „Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 01 11 fallen“, jeweils Abfälle aus der Verbrennung von Abfällen, wurden ausgeschlossen, da sie gerade in einem parallelen UFOPLAN-Forschungsprojekt intensiv untersucht werden. Abfallarten, die aus der Vermischung und Immobilisierung von Abfällen stammen, dienen allenfalls als Anlass, die Betreiber der Misch- und Konditionierungsanlagen nach den Ausgangsabfällen zu befragen, die hohe Metallgehalte aufweisen. Es ist aber wahrscheinlich nicht sinnvoll, die Produkte aus Vermischung und Konditionierung zur Gewinnung von recycelbaren Metallen zu nutzen.

Um anschließend die Abfallarten zu identifizieren, die für eine Abtrennung von recycelbaren Metallen interessant erschienen, wurden dann je Metall die Abfallarten mit den höchsten Frachten gerankt. Außerdem wurde berechnet, welcher Anteil der ermittelten Metallfrachten aus den Abfällen zur Ablagerung auf Deponien stammt.

Nachgeschaltet wurde durch intensive Kommunikation mit assoziierten Partnern aus dem Projektkreis, welche ihre Unterstützung zugesagt hatten, ein Abgleich mit schon zum Recycling eingesetzten Materialien und Abfallschlüsselnummern durchgeführt und ein erster Beweis dafür gebracht, dass die ausgewählten Abfälle auch geeigneten Recyclingprozessen zugeführt werden könnten.

Unter Berücksichtigung der o.g. Aspekte wurden nun die Abfallarten ausgewählt, für die mit vertretbarem Aufwand die höchsten nutzbaren Frachten vermutet werden konnten.

Von den so ausgewählten Abfallarten wurden je nach Verfügbarkeit, in Abstimmung mit dem UBA, die geeignetsten sechs Abfallproben für die Untersuchungen und Analysen ausgewählt. Dabei wurde versucht, für möglichst jedes Metall einen Abfall auszuwählen, um ein Dominieren eines bestimmten Metalls zu verhindern. Des Weiteren wurde der zu erwartenden Heterogenität eines Abfalls begegnet, indem von einer ausgewählten Abfallart zwei Proben unterschiedlicher Abfallerzeuger untersucht wurden. Nach intensiven Abstimmungen mit einzelnen Abfallerzeugern wurden insgesamt 7 repräsentative Proben folgender Abfälle, kategorisiert nach AVV-Nr., zur Verfügung gestellt und untersucht:

- AVV-Nr. 10 02 02: Unbearbeitete Schlacke aus der Eisen- und Stahlindustrie
- AVV-Nr. 10 04 01: Schlacken (Erst- und Zweitschmelze) aus der thermischen Bleimetallurgie
- AVV-Nr. 10 05 01: Schlacken (Erst- und Zweitschmelze) aus der thermischen Zinkmetallurgie
- AVV-Nr. 11 02 02: Schlämme aus der Hydrometallurgie von Zink
- AVV-Nr. 11 01 09*: Schlämme und Filterkuchen aus der chemischen Oberflächenbearbeitung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen, die gefährliche Stoffe enthalten (Abfall 1: Schlamm, Abfall 2: Filterkuchen)
- AVV-Nr. 19 01 13*: Filterstaub der gefährliche Stoffe enthält

Nach einer ersten Bestimmung der Abfallcharakteristika (Korngröße, Restfeuchte, allgemeiner Zustand der Proben) wurden die Metallgehalte und die kristallinen Hautphasen der Abfälle analytisch bestimmt.

Dabei ergab sich, dass die gemessenen Metallgehalte deckungsgleich mit den Werten der Abfallerzeuger sind. Insgesamt konnten vier Überschreitungen der Grenzwerte festgestellt werden, die jedoch begründete Ausnahmen darstellten. Trotz der Überschreitungen der Grenzwerte scheint eine weitere Behandlung der Abfälle zur Rückgewinnung bestimmter Metalle momentan nicht sinnvoll, da entweder die für ein Recycling zur Verfügung stehenden Mengen zu gering sind oder prozessbedingt ein weiteres Recycling nicht möglich ist.

Ähnliches ergab die Gegenüberstellung der gemessenen Metallgehalte mit der unteren Abbauwürdigkeit von Erzen. Zwar konnte siebenmal eine Konzentration der Metalle festgestellt werden, welche im Bereich der jeweiligen Abbauwürdigkeit eines Erzes lag, eine Rückgewinnung der Metalle wird jedoch analog zu den Grenzwerten entweder mengen- oder prozessbedingt verhindert.

Für die weiteren gemessenen, aber bisher nicht reglementierten Metalle konnten keine relevanten Anreicherungen und Verbindungsformen festgestellt werden, welche vorteilhaft für eine Rückgewinnung wären. Die Rückgewinnung der enthaltenen weiteren Metalle würde sich folglich verfahrenstechnisch aufwendig gestalten, bzw. müsste noch entwickelt werden, da keine passenden Verfahren zur Rückgewinnung vorhanden sind. Bestenfalls befinden sich diese in einer frühen Phase der Entwicklung.

Für alle untersuchten Abfälle bestehen integrierte Entsorgungs- bzw. Verwertungswege, welche als zuverlässig für die Zukunft angesehen werden können. Aus Sicht der Abfallerzeuger wäre eine Rückgewinnung oder eine verbesserte Rückgewinnung der enthaltenen Metalle dennoch wünschenswert.

1.6 Entwicklung neuer Aufbereitungstechnologien

Bei den Technologien zur Verwertung von Sonder- und Technologiemetallen besteht noch erheblicher Entwicklungsbedarf. Produktionsrückstände werden zwar bereits zu großen Teilen recycelt, eine Rückgewinnung von wirtschaftsstrategischen Metallen wie Antimon, Tantal oder den sogenannten Stahlveredlern aus Konsumabfällen findet aber praktisch nicht statt. Gerade in großen Massenströmen stellen selbst geringe Gehalte bestimmter Wertstoffe erhebliche Potenziale dar. Erste Verfahren zur Rückgewinnung von Sondermetallen aus Konsumabfällen sind in der Entwicklung. Die Rückgewinnung von Wertmetallen aus Schlacken von Abfallverbrennungsanlagen, Hüttenwerken und anderen thermischen Prozessen gerade aus solchen Abfallströmen, die nicht separat erfassbar oder ausreichend sortierbar sind, bilden das Pendant bzw. die Ergänzung für eine hocheffiziente Rückgewinnung der wirtschaftsstrategischen Rohstoffe.

In vielen Bereichen der Produktions- und Nutzungsketten sowie dem nachgeschalteten Recycling wird intensive Forschungs- und Entwicklungsarbeit betrieben, um die Wertschöpfungen zu verbessern oder überhaupt erst zu ermöglichen. Exemplarisch sind an dieser Stelle die Fördermaßnahmen r^{hoch} -Innovationen (hoch=2,3,4,+impuls) des BMBF zu nennen.

Folglich sollten die gewonnenen Erkenntnisse, neu entwickelte Strategien, Verfahren und Prozesse möglichst schnell umgesetzt und integriert werden, damit die Ausschleusung von Rohstoffen aus dem Wirtschaftskreislauf gebremst und bestenfalls beendet wird. Denn nur mit innovativen Effizienztechnologien ist es möglich der deutschen Wirtschaft entscheidende Wettbewerbsvorteile zu verschaffen, sowie Ressourcen intelligenter und effizienter zu nutzen. Exemplarisch werden im Folgenden drei Neuentwicklungen genannt werden, die das Potenzial aufweisen, eine Verbesserung der Versorgungslage herbeizuführen. Dabei wird jeweils ein Beispiel für Aufschlussverfahren, Aufkonzentrationsverfahren und Verfahrensneuentwicklung zur mechanischen Aufbereitung gegeben, da nur durch die Verkettung der Technologien ein hochwertiges Recycling der behandelten Wertstoffe möglich wird.

1.6.1 Elektrodynamische Fragmentierung

Durch die in den letzten Jahren zunehmende Ressourcenknappheit von Rohstoffen gewinnt das Recycling von Verbundwerkstoffen immer mehr an Bedeutung. Mit der elektrodynamischen Fragmentierung [FHG 2015] ist es möglich verschiedenste Verbundmaterialien (z. B. Altbeton, Müllverbrennungsschlacke, kohlefaserverstärkte Kunststoffe) wieder selektiv aufzutrennen und zurückzugewinnen. Diese Technologie wird bereits großtechnisch eingesetzt, z. B. zur Zerkleinerung von hochreinem Silizium für die Silizium-Wafer-Industrie bzw. Solarzellen-Industrie oder zum Herauslösen von Lithium-Mineralien aus der umgebenden Gesteinsmatrix. Der Vorteil des Verfahrens liegt in der staub- sowie kontaminationsfreien Zerkleinerung, da im Vergleich zu einer mechanischen Aufbereitung kein Abrieb entsteht.

1.6.2 BIOLEACHING

Aus dem unkontrollierten Kupferleaching aus aufgeschütteten Halden hat sich in den vergangenen 20 Jahren ein biotechnologisch fundierter Biomining-Zweig entwickelt, das sogenannte Bioleaching [Dott 2013, Wellmer 1999, Olson 2003]. Mit einer Beteiligung von bis zu 25 % ist Bioleaching ein starker wirtschaftlicher Faktor für die Kupfergewinnung in Chile, Canada und den USA geworden. Die technische Anwendung des Prozesses ist die Überführung von unlöslichen Kupfer-, Zink- und Uranerzen in wasserlösliche Metallsulfate, die nach Drainage durch Einengen und Fällung dem Prozess wieder entzogen werden. Die Weiterentwicklung des kommerziellen Bioleachingverfahrens hat in den letzten Jahren große Fortschritte gemacht. Die Vorteile des Bioleachings gegenüber konventioneller Metallgewinnung sind z. B. die Laugung bei niedrigen Temperaturen und atmosphärischem Druck sowie der Entfall von teuren Chemikalien durch die biogene Produktion von Schwefelsäure.

Die theoretische Grundlage des Bioleachings ist die Verwertung anorganischer Elektronendonatoren, in der Hauptsache reduzierte Schwefelverbindungen bis hin zu elementarem Schwefel, die durch schwefeloxidierende Bakterien zur Energiegewinnung herangezogen werden [Silverman 1959]. Bei den Bakterien handelt es sich um Acidithiobacillus-Arten, eine Gruppe gramnegativer, aerober, chemolithotropher Bakterien, die fähig sind, unter Produktion von Schwefelsäure reduzierte schwerlösliche Metallsulfide zu oxidieren und damit die Metalle in Lösung zu bringen. Durch die biogen produzierte Schwefelsäure geht auch Phosphor in Lösung und liegt als Phosphatanion vor. Das Leaching-Potenzial von Acidithiobacillus beruht auf zwei Reaktionen: Der Thiosulfat Mechanismus und der Polysulfid Mechanismus [Hollender 2002]. Beide Reaktionen führen zu einer Freisetzung, d.h. in Lösung bringen, der in der Asche chemisch fixierten Schwermetalle.

1.6.3 Sortierverfahren

Ein im Rahmen der Studie [TU Clausthal 2015] untersuchtes Metall ist Tantal. Ca. 60 % der weltweiten Tantalproduktion wird für die Herstellung von Hochleistungselektrolytkondensatoren verwendet, insbesondere wenn große Kapazitäten mit kleiner Bauform gefordert sind.

Trotz seines hohen Preises von ca. 400 US\$/kg (bei Reinheitsgrad: 99,8 %) ist die Recyclingrate von Tantal insgesamt gering. Recycling im nennenswerten Umfang findet derzeit nur im Bereich der Produktionsabfälle statt. Jedoch ist es durch intelligente Verschaltung von Demontagestufen, intensiver Vorsortierung und feinjustierter mechanischer Aufbereitungstechnologie möglich, die in den Abfällen enthaltenen Tantalfrachten zurückzugewinnen. Es konnte eine Verfahrensrouten erarbeitet werden, welche Tantalkonzentrate über neue mechanische Aufbereitungsverfahren in Kombination mit einer thermischen Vorbehandlung erzeugt. Mit dem Verfahren ist es gelungen aus 1,5 t Laptops ein Konzentrat mit 21 % Tantal bei einer Ausbeute von ca. 50 % zu erzeugen, obwohl die einzelnen Prozessschritte noch nicht optimal aufeinander abgestimmt sind, wodurch es in mehreren Prozessstufen zu vermeidbaren Tantalverlusten kommt.

1.6.4 Fazit

Die aufgezeigten neuen Ansätze machen deutlich, dass mit zukünftigen Verfahren auch ein Recycling von bisher nicht erschlossenen Abfall-Ressourcen ermöglicht werden könnte. Hierzu muss neben der weiteren technischen Entwicklung aber auch der Informationsfluss zwischen Abfallerzeugern und potenziellen Recyclern entwickelt werden, um einen Markt zu etablieren, in dem Angebot und Nachfrage gestärkt werden.

Aus den bisherigen Überlegungen scheinen insbesondere Abfälle aus kleineren Betrieben der Oberflächenbearbeitung für ein Recycling geeignet zu sein. Die Abfälle sind potenziell wertstoffhaltig und beinhalten mehrere Metalle. Die Anzahl der Betriebe ist vergleichsweise groß, der Anfall je Betrieb jedoch klein.

Um einem weiteren Ausschleusen von Wertmetallen aus dem Wirtschaftskreislauf entgegenzuwirken bzw. deren Wiedereinschleusung zu erleichtern oder erst zu ermöglichen, sind die im Umsetzungsvorschlag beschriebenen Maßnahmen notwendig bzw. hilfreich.

1.7 Vorschlag für die Umsetzung der Untersuchungsergebnisse in ein Regelungskonzept

Um ein weitergehendes Recycling zu erreichen wird folgendes Vorgehen empfohlen:

1. Grenzwertregelungen:
 - a) Anpassung der Grenzwerte bei Zink, Eisen und Nickel sowie Ergänzung der geregelten Metalle um Molybdän,
 - b) Anwendung der Regelung auch für Abfälle zur Beseitigung auf Deponien,
 - c) Festlegung einer Positivliste für Abfälle, für die die Prüfung der Recyclingfähigkeit von Metallen durchzuführen ist.
2. Festlegung eines Verfahrens für Ausnahmen bei der Überschreitung der Grenzwerte zur Zulassung von:
 - a) Zwischenlager bzw. Monodeponien,
 - b) Verwertung im Bergeversatz oder auf Deponien bzw. Ablagerung auf Deponien.
3. Ergänzende Maßnahmen.

1.7.1 Anpassung der Grenzwerte

Es wird empfohlen, die heute geltenden Regeln zum Vorrang der Rückgewinnung von Metallen in der Versatzverordnung (§ 3 in Verbindung mit Anlage 1), auf die sich die Deponieverordnung hinsichtlich der Abfälle zur Verwertung bezieht, für Zink, Eisen und Nickel anzupassen und um einen Wert für Molybdän zu erweitern. Daraus ergeben sich die in der folgenden Tabelle beschriebenen konkreten Änderungen in Bezug auf die Festsetzung der Metallgehalte.

Tabelle 1-3: Gegenüberstellung der derzeitigen und der vorgeschlagenen Grenzwertkonzentrationen

Metall	derzeitige Grenzwertkonzentration	vorgeschlagene Grenzwertkonzentration	Differenz bzw. Neuaufnahme
	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Fe	≥ 500.000	≥ 400.000	- 100.000
Ni	≥ 25.000	≥ 10.000	- 15.000
Zn	≥ 100.000	≥ 50.000	- 50.000
Mo	-	≥ 10.000	10.000

Die Grenzwerte sind nicht als unabdingliche Verhinderung der Verbringung von Abfällen zu verstehen, bei denen einzelne dieser Werte überschritten werden. Das wäre auch nicht sinnvoll, da neben den tatsächlichen Metallgehalten eine Reihe weiterer Faktoren darüber entscheiden, ob ein Recycling technisch möglich oder wirtschaftlich mit vertretbarem Aufwand durchführbar ist. Gehalte über den Grenzwerten weisen aber auf ein prinzipiell bestehendes Ressourcenpotenzial hin, bei dem eine Prüfung angesagt ist. Auf dem Abschlussworkshop zu diesem Projekt herrschte bei den Teilnehmern aus der Praxis dagegen die Meinung vor, dass es keinen Grund gäbe, die Werte abzusenken und dass hierdurch der Aufwand für die Abfallentsorgung in den Betrieben unnötig ansteigen werde. Im Zusammenhang mit der Einführung der Positivliste und Regelung von Ausnahmen (s. u.) wird sich der Aufwand für Analysen und Logistik nach Ansicht der Gutachter nicht wesentlich ändern.

1.7.2 Ausweitung der Regelung auf Abfälle, die auf Deponien beseitigt werden

Die Auswertung hat insgesamt einen hohen Anteil der potenziell für das Recycling verfügbaren Metallfrachten in den Abfällen zur Ablagerung auf Deponien erbracht.

Es zeigte sich, dass die ermittelten Metallfrachten bei den geregelten Abfällen ausnahmslos zu über 50 % in Abfällen enthalten sind, die deponiert werden. Bei Chrom, Nickel und Zinn lag der Anteil bei 90 % bis 100 % (siehe Tabelle 1-4). Insbesondere die Abfälle, deren Metallgehalte die heutigen Grenzwerte überschreiten, werden bevorzugt auf Deponien beseitigt. Bei den nicht geregelten Abfällen muss beachtet werden, dass die Anzahl der untersuchten Proben zum Teil keine belastbaren Aussagen zulassen. Es deutet sich jedoch ein ähnlich hoher Anteil der deponierten Metallfrachten an. Deshalb wird empfohlen, die Grenzwertregelung auch auf die Abfälle zur Deponierung auszuweiten.

Beim Abschlussworkshop wurde seitens der Vertreter der Länder vor der Ausweitung gewarnt, da sich die Abwicklung der Verfahren zur Deponierung stark verzögern könnte und dadurch im Einzelfall Abfallchargen nicht rechtzeitig einer Entsorgung zugeführt werden könnten. Die Vertreter der Versatzbergwerke wiesen darauf hin, dass die nicht Regelung bei Abfällen zur Beseitigung eine Wettbewerbsverzerrung darstellt, mit der die Beseitigung gegenüber der Verwertung begünstigt wird.

Prinzipiell wäre auch eine Ausweitung der Regelung auf weitere Abfallbehandlungsanlagen wie CPB, Stabilisierung und mechanische Behandlung sinnvoll, soweit diese nicht ohnehin das Recycling zum Ziel haben. Es war nicht Aufgabe dieser Studie, dies zu prüfen. Es ergaben sich aber Hinweise, dass eine gezielte Prüfung dieses Sachverhalts empfehlenswert ist.

Tabelle 1-4: Metallfrachten aus Abfällen zur Ablagerung auf Deponien und deren prozentualer Anteil aus den ermittelten Gesamtfrachten (Potenzial der ausgewählten Abfälle)

Metall	%	Mg/a
Blei	73	4.300
Chrom	100	36.000
Eisen	73	343.500
Kupfer	58	28.300
Nickel	92	7.000
Zink	61	139.000
Zinn	98	900
Antimon	19	180
Kobalt	90	4.500
Mangan	78	34.900
Molybdän	93	230
Vanadium	93	2.300
Wolfram	100	1.300

1.7.3 Festlegung einer Positivliste

Um den Analysenaufwand zu begrenzen, sollte die Prüfpflicht auf die Abfälle beschränkt werden, die potenziell hohe Metallgehalte aufweisen. Beispielsweise könnten hierfür Positivlisten erarbeitet und in regelmäßigen Abständen überarbeitet werden. Dabei sollten auch die Abfälle berücksichtigt werden, die heute schon recycelt werden und deshalb derzeit nicht in den Statistiken zu Verwertung im Bergversatz und in Deponien bzw. zur Beseitigung in Deponien auftauchen.

Die Erstellung einer Positivliste hätte außerdem den Vorteil, dass bestimmte Abfälle trotz hoher Potenziale gezielt ausgenommen bzw. direkt mit einer Ausnahmeregel versehen werden könnten. Dies sind beispielsweise Abfälle, die bereits einen gezielten Recyclingprozess zur Rückgewinnung von Metallen durchlaufen haben oder ggf. solche, die auf Monodeponien, rückholbar abgelagert werden sollen, weil für sie in absehbarer Zeit zu erwarten ist, dass sich die technischen und/oder wirtschaftlichen Rahmenbedingungen ändern.

1.7.4 Regelung von Ausnahmen

Da die Metallgehalte alleine nicht ausreichend sind, um zu klären, ob ein Recycling technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar ist, ist absehbar, dass auch zukünftig Abfälle im Bergversatz oder auf Deponien zu verwerten oder zu beseitigen sind, die die genannten Grenzwertkonzentrationen für Metalle überschreiten. Dem Abfallerzeuger muss deshalb die Möglichkeit gegeben werden, bei Überschreitung der Metallgehalte zu begründen, warum der Abfall trotzdem nicht für das Metallrecycling geeignet ist.

Es erscheint deshalb sinnvoll, die Fragen zur Regelung der Ausnahmen in einer eigenen Vorschrift festzuhalten, als Hilfe für den Abfallerzeuger bei der Begründung der Ausnahme und für die Vollzugsbehörde zu deren Prüfung. Die Ausnahmeregelung sollte in einer Art

Katalog abfallartenspezifisch und unter Berücksichtigung weiterer Bedingungen, insbesondere bezogen auf

- Massenanteil des Abfallstroms, Gehalte und Inhalte der potenziellen Wert- bzw. Schadstoffe,
- Bedeutung des Ressourcenpotenzials, bestimmt durch Inhalt (Masse) im Abfallstrom zur Rohstoffproduktion (global/ggf. regional wenn entsprechende Grundstoffbetriebe vorhanden) und Konzentration (Vergleich zu Gehalten in Primärrohstoffen oder bereits verwerteten Abfallströmen ähnlicher Art),
- Bindungsarten der Wertstoffe/Schadstoffe im Abfall und Elutionspotenzial,
- Verhältnis zwischen Wertstoffen und enthaltenen Begleitelementen, die eine wirtschaftliche stoffliche Verwertung erschweren,
- physische Form des Abfalls (trocken, pastös, kompakt, staubförmig etc.) und resultierende Anforderungen/Aufwendungen für die Behandlung einschließlich Wassergehalt (besonders bei Schlämmen und Filterkuchen),
- aktuelle Wertstoffnotierungen der Zielmetalle, längerfristige Preisentwicklungen, Wechselkurse (bei weltweitem Bezug) und strategische Knappheitskriterien (Zuordnung zu wirtschaftsstrategischen Rohstoffen),
- Berücksichtigung der vorlaufenden Prozesstiefe und des Reifegrades der entsprechenden Prozesse (einfache Verfahren oder BAT etc.)

erfolgen.

Aufgrund der Komplexität der Materie und sich ändernder Rahmenbedingungen wäre eine Regelung im Sinne einer Technischen Anleitung oder eines LAGA-Merkblattes, welches eine regelmäßige Überarbeitung erlaubt, ohne durch neue Gesetzgebungsverfahren gehen zu müssen ggf. zielführender, als eine umfassende Ergänzung in der Deponie- oder Versatzverordnung. Die Beurteilung müsste im Einzelfall durch Vollzugsbehörden erfolgen, könnte sich aber auf eine einheitliche Bewertungsmatrix stützen. Es sollte dabei ein systematischer Abgleich der vielfältigen Rahmenbedingungen ermöglicht werden. Wichtig erscheint dabei eine Differenzierung in

- Abfälle, die im Normalfall einer weiteren Verwertung zuzuführen sind,
- Abfälle, die rückholbar auf einer Monodeponie ab- bzw. zwischengelagert werden sollen, die voraussichtlich später verwertet werden können, für die heute jedoch eine Verwertung technisch noch nicht möglich oder wirtschaftlich nicht zumutbar ist² sowie
- Abfälle, die abschließend aus dem Wirtschaftskreislauf auszuschleusen sind (Funktion der Schadstoffsinke).

² Im Abschlussworkshop wurde auf rechtliche Probleme einer Vorgabe zur Monodeponie bzw. Zwischenlagerung hingewiesen, für den Fall, dass die Alternative eine Verwertung, z.B. im Bergversatz wäre. Demzufolge wären zur Umsetzung dieses Vorschlags neben der genaueren Festlegung der betroffenen Abfälle ggf. auch noch die Schaffung notwendiger Voraussetzungen aus juristischer Sicht erforderlich.

Für entsprechende Regelungen sollten die Entwicklungen der geplanten Zero-Waste-Richtlinie der EU beachtet und ggf. durch geeignete Beiträge beeinflusst werden.

1.8 Ergänzende Maßnahmen zur Steigerung des Recyclings

Einen hilfreichen Ansatz kann eine Differenzierung der betroffenen Abfälle nach ihrer Herkunft bieten.

Rückstände, die bei effizienten Produktions- und Recyclingprozessen entstehen, werden in der Regel nach dem Stand der Technik behandelt und die Unternehmen besitzen dabei eine hohe eigene Motivation, die enthaltenen Wertstoffe maximal zurückzugewinnen und die Rückgewinnungsprozesse stetig zu verbessern. Zudem werden in den genutzten Prozessen oftmals Materialien eingesetzt, welche schon viele vorgeschaltete Behandlungsprozesse mit dem Ziel einer Metallrückgewinnung durchlaufen haben. Sind diese Prozesse als BAT oder BAT-nah im Hinblick auf Rückgewinnung bzw. Abreicherung der Zielmetalle einzustufen, sind kurzfristig wirkende weitergehende Anforderungen nicht erforderlich.

Anders kann sich die Situation bei Produktionsrückständen und Teilströmen einer Abfallbehandlung gestalten, bei der die Zielmetalle nicht im Fokus der Behandlungsprozesse standen. Für Erzeuger solcher Abfälle ist die Entsorgungssicherheit für die entstehenden Abfälle von besonderer Relevanz und die Rückgewinnung der Metalle aus dem erzeugten Abfall meistens gar nicht Teil des eigentlichen Geschäftsfeldes. Oft sind zudem die Mengen der entstehenden Abfälle gering und es besteht daher nur eine eingeschränkte Möglichkeit, solche „Kleinstmengen“ in geeignete weiterführende Recyclingprozesse einzuschleusen. Im Gegensatz zu den Rückständen aus den effizienten Produktions- und Recyclingprozessen, bei denen eine Rückgewinnung eher durch verfahrenstechnische Hürden begrenzt wird, zeigt sich an dieser Stelle häufiger eine Organisations-, Informations- und Kommunikationslücke zwischen Abfallerzeuger und geeigneten Verwertern.

Zur Verbesserung der Organisations-, Informations- und Kommunikationssituation wäre die Schaffung einer zentralen Datenbank mit Annahmekriterien (Mindestmengen und -gehalte, Bindungsformen, physischen Abfalleigenschaften etc.) von Recyclern sinnvoll, damit bei einer Überschreitung von Grenzwerten ein erster Abgleich von Wertstoffgehalten im Abfall und Annahmekriterien für den Abfallerzeuger ermöglicht und die Anzahl von Ausnahmeregelungen reduziert wird. Dies müsste ggf. über die derzeit bereits vorhandenen zugänglichen Informationen aus Abfallbörsen und -datenbanken hinausgehen. Es sollte geprüft werden, ob hierfür ein geschützter Datenraum geschaffen werden kann, mit der grundsätzlichen Frage, wer hierauf Zugriff haben soll. Dies ist im Bereich der Vollzugsbehörden zu diskutieren.

Um dort, wo technische Lösungen noch fehlen, eine Verbesserung der verfahrenstechnischen Problematik zu erreichen, sollten Anreize geschaffen werden die Recyclingprozesse weiter zu verbessern und teilweise existierende vorentwickelte Verfahren zur Verbesserung der Metallrückgewinnung, welche bisher aufgrund wirtschaftlicher Zwänge nicht realisiert wurden, zu integrieren. Grundsätzlich bieten sich hier unterstützende Informationen zu relevanten Fragestellungen in Richtung der beteiligten Organisationen und Firmen an, die durch öffentliche Fördermittel, Forschungsprojekte und innovative Pilotanlagen gefördert werden.

Bis zur Entwicklung und Integration von verbesserten Prozessen, sollte bei einer Überschreitung der Grenzwerte und Entscheidung, das Rohstoffpotenzial für die Zukunft

zugänglich zu halten, eine getrennte und rückholbare Lagerung auf Deponien erfolgen, die ein Einbringen der Abfälle von heute als Rohstoffe von morgen in die modernen Prozesse möglich macht. Eine Monodeponierung, wie sie dazu heute in vielen Fällen schon angewendet wird, bietet sich an dieser Stelle als sinnvoll und erprobt an.

Weitere Potenziale zur Steigerung der Recyclingmengen aus den genannten Abfällen können durch Prüfungen der Prozesse selbst und durch eine gezielte Getrennthaltung von Abfällen erreicht werden. Insofern wäre es wünschenswert die Bemühungen aus den 1990er Jahren zu Abfallvermeidung und -recycling im Rahmen der Umsetzung von § 5.1.3 BImSchG wieder aufzugreifen, zu vertiefen und mit den laufenden Programmen zur Ressourcenschonung zu verbinden.

Viele der betrachteten Abfälle stammen aus Abfallbehandlungsanlagen, in denen verschiedene Abfälle entgiftet und/oder für die weitere sichere Entsorgung, z. B. den Versatz oder die Deponierung, vorbereitet wurden. Dabei erfolgt eine Vermischung unterschiedlicher Abfälle, die während dieser Behandlung aus mehr und weniger metallhaltigen Abfällen gemischt wurden und z. T. auch nach dieser Vermischung noch erhebliche Metallgehalte aufweisen. Dazu gehören

- 19 02: Abfälle aus der CPB, über 700.000 Mg/a mit insgesamt über 60.000 Mg Metallen
- 19 03: Stabilisierte und verfestigte Abfälle, 1,3 Mio. Mg/a mit insgesamt über 18.000 Mg Metallen
- 19 12: Abfälle aus der mechanischen Behandlung von Abfällen, knapp 600.000 Mg/a mit insgesamt über 14.000 Mg Metallen

Deshalb wird eine Ausweitung der Regelung zum Vorrang der Rückgewinnung von Metallen insbesondere auf den Input in CPB- und ähnlichen Abfallbehandlungsanlagen empfohlen.

2 Literatur

- Angerer et al. 2009: Rohstoffe für Zukunftstechnologien, Einfluss des branchenspezifischen Rohstoffbedarfs in rohstoffintensiven Zukunftstechnologien auf die zukünftige Rohstoffnachfrage, Dr. Gerhard Angerer, Dr. Frank Marscheider-Weidemann, Arne Lüllmann, Lorenz Erdmann, Dr. Michael Scharp, Volker Handke, Max Marwedel; 15.05.2009; ISBN 978-3-8396-0014-6
- Babies et al. 2010: Deutschland Rohstoffsituation 2010, Hans-Georg Babies, Peter Buchholz, Doris Homberg-Heumann, Dieter Huy, Jürgen Messner, Wolfgang Neumann, Simone Röhling, Michael Schauer, Sandro Schmidt, Martin Schmitz, Hildegard Wilken; Dezember 2011; ISBN: 978-3-943566-00-0
- Babies et al. 2010: Deutschland Rohstoffsituation 2011, Hans-Georg Babies, Peter Buchholz, Doris Homberg-Heumann, Dieter Huy, Jolanta Kus, Jürgen Meßner, Wolfgang Neumann, Simone Röhling, Michael Schauer, Martin Schmitz, Hildegard Wilken; Dezember 2012; ISBN: 978-3-943566-03-1
- W.Dott; M. Dossin, B. Lewandowski, P. Schacht 2013; Bioleaching von Schwermetallen aus Aschen und Schlacken mit gleichzeitiger Rückgewinnung aus Phosphat, http://www.vivis.de/phocadownload/2013_ass/2013_ass_555_564_lewandowski.pdf
- Erdmann et al. 2011: Kritische Rohstoffe für Deutschland „Identifikation aus Sicht deutscher Unternehmen wirtschaftlich bedeutsamer mineralischer Rohstoffe, deren Versorgungslage sich mittel- bis langfristig als kritisch erweisen könnte“ Im Auftrag der KfW Bankengruppe Lorenz Erdmann Siegfried Behrendt Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT), Berlin Moira Feil adelphi, Berlin, September 2011
- EU 2006: Verordnung (EG) Nr. 1013/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates v. 14.06.2006 über die Verbringung von Abfällen, ABl. L 190/1 v. 12.07.2006
- EU 2013: Critical raw materials for the EU, The ad-hoc Working Group is a sub-group of the Raw Materials Supply Group and is chaired by the European Commission, 30.06.2010:
- EUWID 2011: KRS-Plus-Anlagen von Aurubis offiziell in Betrieb genommen, EUWID Recycling und Entsorgung, Ausgabe 28/2011 VOM 12.07.2011
- Fhg 2015: Fhg aktuelle Projekte; http://www.ibp.fraunhofer.de/content/dam/ibp/de/documents/Informationsmaterial/Abteilungen/BBH/Produktblaetter/IBP_087_PB_Bauchemie_Fragmentierung_03_web_de.pdf
- Graedel 2011: Recycling Rates of Metals - A Status Report, Graedel, T. E.: United Nations Environmental Programme, Paris 2011.
- Hollender, J.; Dreyer, U.; Kronberger, L.; Kämpfer, P.; Dott, W. 2002: Applied Microbiology and Biotechnology 58: 106-111, 2002
- IFEU 2007: „Ableitung von Kriterien zur Beurteilung einer hochwertigen Verwertung gefährlicher Abfälle“, UFOPLAN-Projekt, Heidelberg, Dessau
- IP@ 2014: Informationsportal Abfallbewertung (IP@), <http://www.abfallbewertung.org/repgen.php?report=ipa>, Abfrage 2014

- Nordrhein-Westfalen 2013: ABANDA – Die Abfallanalysendatenbank des Landes Nordrhein-Westfalen.
https://www.abfall-nrw.de/abanda/script/lua_db_portal.php?application=abanda&runmode=aida&initform=MK_Auswertemenue. Aufgerufen am 16.10.2013 (geregelte Metalle) und am 29.10.2013 (weitere Metalle).
- Öko-Institut 2007: „Methodenentwicklung für die ökologische Bewertung der Entsorgung gefährlicher Abfälle unter und über Tage und Anwendung auf ausgewählte Abfälle“, BMBF Forschungsvorhaben; Darmstadt
- Olson, G. J.; Brierley J. A.; Brierley, C. L. 2003: Bioleaching review part B. Applied Microbiology and Biotechnology 63: 249-257, 2003
- Ortner 2014: Ortner, Dorothee (Johnson Controls), E-Mail v. 09.09.2014
- Rommel, W. et al. 2011: Theoretisches und nutzbares Wertstoffpotenzial im Restabfall. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Goldmann, D. (Hrsg.): Recycling und Rohstoffe, Band 4. Neuruppin. TK-Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011, S. 113-126
- Schlumberger, S. Bühler, J. 2013: Metallrückgewinnung aus Filterstäuben der thermischen Abfallbehandlung nach dem FLUREC-Verfahren, Berliner Schlackenkonferenz, Berlin, 23.-24.09.2013, Veröffentlicht in: Aschen, Schlacken, Stäube aus Abfallverbrennung und Metallurgie, Hrsg. K.-J. Thome-Kozmiensky, TK-Verlag, S. 353-361
- Schmidt 2013: Rohstoffrisikobewertung – Antimon, Michael Schmidt; September 2013: ISBN: 978-3-943566-09-3
- Silverman, M.; Lundgren, D. 1959: Journal of Bacteriology 77: 642-647, 1959
- Statistisches Bundesamt 2012: Umwelt – Abfallentsorgung 2010, Fachserie 19 Reihe 1, Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt 2013: Umwelt – Abfallentsorgung 2011, Fachserie 19 Reihe 1, Wiesbaden.
- TU Clausthal 2015: aktuelle Projekte aus dem Lehrstuhl für Rohstoffaufbereitung und -recycling,
<http://www.ifa.tu-clausthal.de/lehrstuehle/lehrstuhl-fuer-rohstoffaufbereitung-und-recycling/forschung/aktuelle-projekte/tarec/>
- UBA 2012: Umweltbundesamt: Merkblatt über die Besten Verfügbare Techniken in der Eisen- und Stahlerzeugung nach der Industrie-Emissionen-Richtlinie 2010/75/EU März, Dessau
- VDEL 1989: Verein Deutscher Eisenhüttenleute: Stahlfibel; Verlag Stahleisen, Düsseldorf
- Wellmer, F. W.; Becker-Platten, J. D. 1999: Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1999
- Wiberg/Holleman 2007: Lehrbuch der Anorganischen Chemie, Wiberg, Nils, Wiberg, Egon und Holleman, Arnold Fr., 102. Auflage. Berlin : Walter de Gruyter, 2007. ISBN: 978-3110177701.