

# Hochwertige Verwertung metallhaltiger mineralischer Abfälle - Beurteilungsmethoden für die Ableitung zulässiger Metallgehalte -

Siegfried Kalmbach

Umweltbundesamt, Dessau

## 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 research project addressing these aspects is presented here with some findings.

### Zusammenfassung

In Deutschland fallen große Mengen von Industrieabfällen an, die noch wertvolle Metalle enthalten. Gleichzeitig werden Metalle mit teilweise hohen Auswirkungen auf die Umwelt aus Primärrohstoffen gewonnen. Im Rahmen einer nachhaltigen Ressourcennutzung bzw. Schonung der natürlichen Ressourcen ist deshalb eine hochwertige Verwertung von metallhaltigen Abfällen mit umweltseitig akzeptablen Aufbereitungsverfahren anzustreben. Der Rückgewinnung von Metallen wurde in der *Versatzverordnung* und der *Deponieverwertungsverordnung* Vorrang eingeräumt, sobald ein bestimmter Metallgehalt im Abfall überschritten wird. Die Ergebnisse eines Forschungsvorhabens, das diese Aspekte aufgreift, werden vorgestellt.

### Keywords

Mineralische Abfälle, Metallgehalte von Abfällen, Metallrecycling, Versatzverordnung, Deponieverwertungsverordnung, Ressourcenschutz, Umwelteinwirkungen, Ökobilanzen, kumulierter Energieaufwand, Bergversatz

## 1 Einleitung und rechtlicher Hintergrund

Nach den Grundpflichten der Kreislaufwirtschaft hat gemäß § 5 Abs. 2 des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes (KrW-/AbfG) die Verwertung von Abfällen Vorrang vor deren Beseitigung. Dabei ist „eine der Art und Beschaffenheit des Abfalls entsprechende hochwertige Verwertung anzustreben“. Somit ist also auch noch innerhalb der „Verwertung“ eine Differenzierung in mehr oder weniger hochwertige Verwertungen vorzunehmen.

Die Diskussion um diese Grundpflichten hat sich insbesondere bei der Verwendung von Abfällen zum Versatz unter Tage entwickelt. Beim Bergversatz werden Abfälle (oftmals zusammen mit anderen Materialien) unter Nutzung ihrer bauphysikalischen Eigenschaften zu bergtechnischen oder bergsicherheitlichen Zwecken unter Tage verwendet. Falls nun diese Versatzmaterialien andere wertgebende Inhaltsstoffe besitzen oder für andere Anwendungen zur Verfügung stehen können, sind Konfliktfälle möglich. Untersuchungen haben gezeigt, dass es auch Fälle gibt, in denen eine weniger hochwertige Verwertung oder gar eine Beseitigung einer hochwertigen Verwertung vorzuziehen ist.

Losgelöst von den stark schwankenden Weltmarktpreisen für Metalle, die letztlich nur ökonomisch darüber entscheiden, ob sich eine Verwertung der Metallfraktion im Abfall „lohnt“, muss im Sinne des Ressourcenschutzes darüber entschieden werden, wann eine „hochwertige Verwertung“ solcher metallhaltigen Abfälle geboten ist.

Die „Verordnung über den Versatz von Abfällen unter Tage“ (Versatzverordnung- VersatzV) von 2002 hat hier erste Regelungen getroffen, die den Vorrang der Rückgewinnung von Metallen unter bestimmten Rahmenbedingungen aufgreift. Für die sieben Metalle Zink, Blei, Kupfer, Zinn, Chrom, Nickel und Eisen sind in der VersatzV Konzentrationen in Abfällen festgelegt, ab denen keine Verwertung im Bergversatz mehr stattfinden darf. Einschränkend gilt allerdings, 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 „Verordnung über die Verwertung von Abfällen auf Deponien (Deponieverwertungsverordnung- DepVerwV) von 2005 wurden die Regelungen aus der VersatzV auch auf die Verwertung von Abfällen auf oberirdische Deponien übertragen.

Die in diesen Verordnungen festgelegten Metallgehalte orientieren sich dabei an den Metallgehalten in den Primärerzen, die für die Herstellung dieser Metalle verwendet werden. Damit ist quasi in erster Näherung sichergestellt, dass bei gleichen Technologien und Umweltstandards die metallurgische Aufarbeitung von Primärerzen mit der Aufbereitung von metallhaltigen Abfällen vergleichbar ist.

VersatzV und DepVerwV nennen zwar Grenzkonzentrationen für bestimmte Metalle, konkretisieren aber nicht näher die „hochwertige Verwertung des Abfalls“, so dass diese Regelungen bislang in der Praxis nur bedingt Anwendung finden. Das Umweltbundesamt hat deshalb im Rahmen eines Forschungsvorhabens „Kriterien zur Beurteilung einer hochwertigen Verwertung metallhaltiger mineralischer Abfälle“ entwickeln lassen. Insbesondere zwei Aspekte waren hierbei zu berücksichtigen:

Zum einen sind zur Beurteilung einer hochwertigen und umweltverträglichen Verwertung 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 andern sind die Aufbereitungsverfahren für Abfälle den Prozessen gegenüberzustellen, mit denen die Primärrohstoffe in Form der Erze aufbereitet und die Metalle schließlich gewonnen werden. Dabei zeigt sich, dass gerade im außereuropäischen Raum die Metallgewinnung oft mit großen Umweltbelastungen verbunden ist.

Die Untersuchungen beziehen sich hauptsächlich auf die in der Versatzverordnung genannten Metalle, nämlich Zink, Blei, Kupfer, Zinn, Chrom, Nickel und Eisen. Die Versatzverordnung bestimmt, dass diese Metalle, die bei bestimmten Grenzwertkonzentrationen (angegeben in g/kg Feststoffgehalt, siehe Tab. 1), die sich an den Metallgehalten in Primärerzen orientieren, unter bestimmten Randbedingungen nicht mehr als Versatzmaterial oder als Zusatz zu einem Versatzmaterial verwendet werden dürfen, sondern stofflich aufzubereiten sind.

**Tabelle 1** Grenzwertmetallgehalte der Versatzverordnung

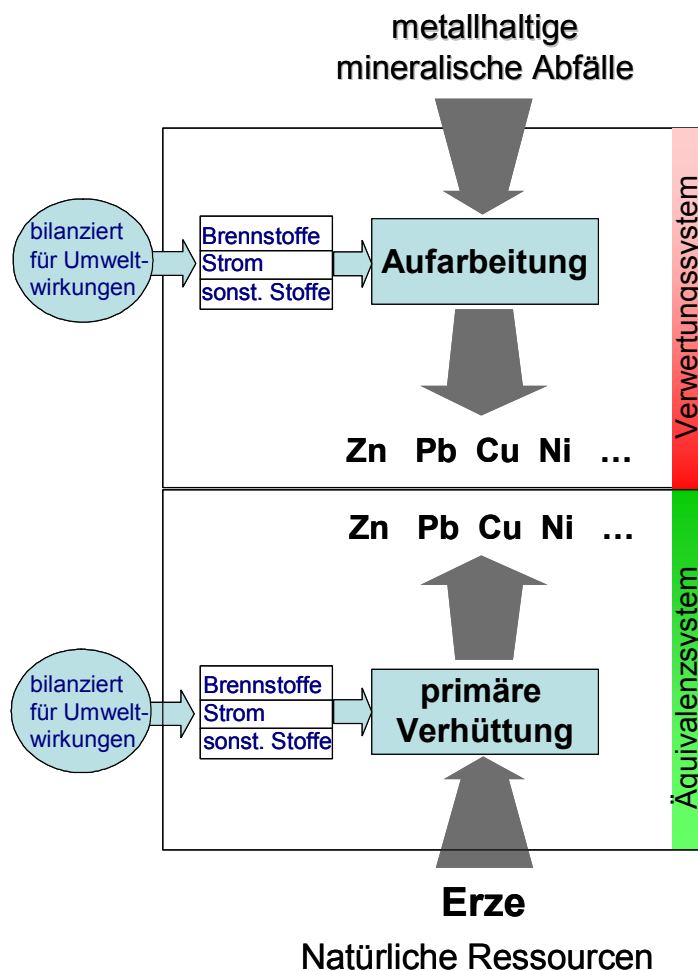
	Grenzwertkonzentration für Metalle im Abfall in g/kg	Grenzwertkonzentration für Metalle im Abfall in Prozent
Zink	≥ 100	≥ 10 %
Blei	≥ 100	≥ 10 %
Kupfer	≥ 10	≥ 1 %
Zinn	≥ 15	≥ 1,5 %
Chrom	≥ 150	≥ 15 %
Nickel	≥ 25	≥ 2,5 %
Eisen	≥ 500	≥ 50 %

Es ist nun durchaus möglich, dass bestimmte Abfälle mit niedrigeren Metallgehalten als in der Versatzverordnung festgelegt, umweltseitige Vorteile der Metallrückgewinnung im Vergleich zum Primärrohstoff aufweisen. Diese Abfälle und die jeweiligen Metallgehalte werden auch betrachtet. Darüber hinaus gibt es noch eine Reihe weiterer Metalle, die ebenso werthaltige Bestandteile von Abfällen sein können und die ebenso Berücksichtigung in der Versatzverordnung finden könnten. In den Schlussfolgerungen wird auch auf diese Metalle eingegangen.

Ziel ist es, für die bereits in der Versatzverordnung geregelten Metalle zu untersuchen, ob die bestehenden Grenzkonzentrationen im Sinne des Umwelt- und Ressourcenschutzes sinnvoll gewählt sind und ob die Verordnung bezüglich neu aufzunehmender Metalle oder der Berücksichtigung relevanter Randbedingungen ergänzt werden sollte.

## 2 Methodische 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. Die umweltseitige Beurteilung erfolgt mit dem Instrumentarium der ökobilanziellen Analysen, die bereits vielfach für Fragestellungen der Abfallwirtschaft angewandt wurden. Der erste Schritt einer ökobilanziellen Betrachtung ist die Festlegung der Systemgrenzen. Gegenübergestellt werden dabei das eigentliche Verwertungssystem und das jeweils substituierte Äquivalenzsystem (siehe Abb. 1).



**Abbildung 1** Schematische Darstellung der ökobilanziellen Vergleichssysteme

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.

Die in der sog. 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.

Diese sonst übliche Vorgehensweise bei der Auswertung einer Ökobilanz in der Abfallwirtschaft war für die Ermittlung von Grenzwertkonzentrationen aber nicht zielführend, da diese nur jeweils mit einer Umweltwirkungskategorie bestimmt werden kann. Um zu vermeiden, dass nicht mehrere Grenzkonzentrationen berechnet werden, sind deshalb alle Umweltauswirkungen in einer einzigen Größe auszudrücken. Es wird deshalb eine Größe benötigt, bei der die Gesamtheit der Umweltbeeinträchtigungen von Verwertungsverfahren und substituiertem Primärprozess Auskunft darüber gibt, ab welchem Metallgehalt im Abfall der Metallrückgewinnung Vorrang einzuräumen ist.

Mit verschiedenen Methoden wurde bisher versucht, die verschiedenen Umweltbelastungen zu einem einzigen Bewertungsindex zu integrieren. Alle Vorschläge weisen mehr oder weniger große Nachteile auf. In einem noch laufenden Vorhaben des Umweltbundesamtes (Indikatoren/Kennzahlen für den Rohstoffverbrauch im Rahmen der Nachhaltigkeitsdiskussion- FKZ 205 93 368) werden solche Ansätze vorgestellt und diskutiert. Obwohl bisher keine abschließende Vorgehensweise festgelegt wurde, sind jedoch drei Ansätze in die engere Auswahl genommen worden, die für eine zusammenfassende ökologische Bewertung geeignet sein könnten. Diese Ansätze sollen im Rahmen dieser Untersuchung für die Schlussbewertung ebenfalls angewandt werden.

Die Ansätze sind im Einzelnen:

### **Der kumulierte Rohstoffaufwand - KRA**

Der kumulierte Rohstoffaufwand (KRA) wird dadurch erzeugt, dass alle Rohstoffaufwendungen entlang der Gewinnungsphase eines Rohstoffes - ausgedrückt in Tonnen Rohstoffmenge pro Tonne gewonnenem Wertstoff - aufaddiert werden. Bei Metallen wird das jeweilige Erz als Ausgangsmaterial berücksichtigt und alle mineralischen und energetischen Rohstoffe ebenso als Ausgangsmaterial dazugerechnet. Bei einem Wertstoff in einer Abfallmatrix (Metall in mineralischem Abfall) muss der ursprüngliche Abfall als Ausgangspunkt der Berechnung herangezogen werden. Die dahinterstehende Annahme ist, dass die Summe aller verwendeten Rohstoffe die Umweltauswirkungen repräsentieren, die während der Gewinnung und Herstellung eines Rohstoffes auftre-

ten. Im Allgemeinen bestätigen die Untersuchungen diese Annahme, wobei es jedoch bei einzelnen Materialien zu deutlichen Abweichungen in der Korrelation mit einigen Umweltwirkungen kommen kann.

### **Der kumulierte Primärenergieaufwand - KEA**

Analog dem kumulierten Rohstoffaufwand (KRA) werden beim kumulierten Energieaufwand (KEA) nun nicht die Rohstoffe entlang der Gewinnungs- und Herstellungsphase aufaddiert, sondern die Energieaufwendungen. Sie werden in Energiegrößen z.B. als GJ pro Tonne gewonnenes Metall ausgedrückt. Das gilt für die Primärrohstoffe ebenso wie für die Sekundärrohstoffe, die aus Abfällen zurück gewonnen werden können. Der KEA soll dabei genauso wie der KRA die Umweltauswirkungen repräsentieren, die entlang der Gewinnungs- und Herstellungsschritte sowohl des Primär- als auch des Sekundärmaterials entstehen. Auch hier lassen die durchgeführten Korrelationen darauf schließen, dass in erster Näherung eine solche Übereinstimmung festzustellen ist. Für einzelne Materialien bzw. auch Umweltwirkungskategorien trifft dies jedoch nicht immer zu.

### **Die Umwelteinwirkungsbelastungen - UEBEL**

Im Rahmen des oben genannten Forschungsvorhabens des UBA wurde eine Bewertungsmethode entwickelt, die versucht, verschiedene Umweltbelastungen miteinander zu verknüpfen und zu einer zusammenfassenden Bewertungszahl zu gelangen, die diese Belastungen ausdrückt. Eine solche Methode ist immer mit normativen Schritten verbunden und kann nicht vollständig wissenschaftlich objektiv abgeleitet werden. Dementsprechend umstritten sind solche Bewertungsansätze. Bei der hier angewendeten Methode wurde zunächst als Ausgangspunkt eine Belastungseinheit definiert, die folgendermaßen lautet:

#### **1 Umwelteinwirkungsbelastung (abgekürzt: 1 UEBEL)**

Diese Beurteilungseinheit ist das Maß der jeweiligen Belastung, bei der der langfristige und nachhaltige Schutz des jeweiligen Schutzgutes gerade noch gewährleistet ist.

Der Ansatz steht in Einklang mit dem im Umweltbundesamt vertretenen Prinzip der „Leitplanken für eine nachhaltige Entwicklung“. Dabei sind für jedes Umweltschutzgut die Grenzen, also „Leitplanken“, zu benennen, bei der die Tragfähigkeit der Umwelt nicht mehr gewährleistet ist.

Als Beispiel soll die Klimaerwärmung herangezogen werden: Leitplanke laut Umweltbarometer des UBA ist, dass bei einer Emission von nicht mehr als 250 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalent pro Jahr als Anteil Deutschlands an den weltweiten Anstrengungen sich die Erdatmosphäre um nicht mehr als 2° Celsius erwärmen darf. Damit entspricht dieser Wert von 250 Mio t CO<sub>2</sub>-Äquivalent pro Jahr genau einer Umwelteinwirkungsbelastung

Abfallforschungstage 2008 [www.wasteconsult.de](http://www.wasteconsult.de)

(1 UEBEL). Per Dreisatz lassen sich die Umweltbelastungen von einzelnen Prozessen oder ganzen Prozessketten in der Einheit UEBEL ausdrücken und miteinander vergleichen.

Neben Klima konnten für die weiteren Schutzgüter Luft, Wasser und Boden (im Sinne von Flächenverbrauch) aus den Arbeiten des Umweltbundesamtes (Umweltbarometer, DUX, Kernindikatorensystem) solche Leitplanken abgeleitet werden. Die Schutzgüter und die dafür herangezogenen Parameter wurden in enger Anlehnung an die Arbeiten zum Umweltbarometer und DUX (Deutscher Umweltindex) des UBA ausgewählt. Sie wurden gleichgewichtig (normative Festlegung) zur Ermittlung des Umweltbelastungswertes UEBEL herangezogen.

Es bleibt zu erwähnen, dass ein Konstrukt wie der UEBEL- Indikator mit Unzulänglichkeiten und Nachteilen verbunden ist. So erfordert die Vorgehensweise eine Auswahl an Schutzgütern und Umweltwirkungen, für die wiederum im einzelnen Umweltqualitätsziele vorhanden sein müssen und diese Ziele auch „messbar“ gemacht werden können. Beides ist nur mit Einschränkungen gegeben.

Für Umweltschutzgüter, wie z.B. der Schutz der menschlichen Gesundheit durch Umweltauswirkungen und Schutz der Artenvielfalt, sind durch die enge Anlehnung an den Umweltbarometer keine Umsetzungsvorschläge in das UEBEL- Konzept mit eingegangen. Sie könnten ergänzt werden, was allerdings bestimmter Übereinkünfte hinsichtlich ihrer Umsetzung bedarf.

Weiterhin sind auch bereits für die umgesetzten Schutzgüter keine in ihrer Logik übereinstimmenden Umweltqualitätsziele vorhanden. Falls etwa Ziele mit unterschiedlichem Anspruch formuliert wurden, so schlägt sich dies in der Gewichtung innerhalb des UEBEL- Konzepts nieder. Oder Ziele, die für Deutschland gelten, werden auf Produktionsprozesse im Ausland übertragen. Dieses ist zu rechtfertigen, da Aktivitäten im Inland mit denen gleichzusetzen sind, die im Ausland stattfinden und für die Deutschland Verantwortung trägt. Dennoch sind diese Annahmen zu hinterfragen.

Letzteres z.B. ist von Bedeutung für die Bewertung der „Fläche“. So wurde in diesem Vorhabens das Umweltziel „Verringerung der Flächenumwandlung zu Siedlungs- und Verkehrszwecken in Deutschland“ (Reduzierung von ca. 100 ha Flächenumwandlung pro Tag auf 30 ha pro Tag im Jahr 2020) gleichgesetzt mit der Flächeninanspruchnahme durch Metallerzabbau in aller Welt. Es liegt auf der Hand, dass ein ehrgeiziges Ziel für die Flächenumwandlung in Deutschland damit auf Flächennutzungen in teilweise abgelegenen Gebieten trifft und diese Umwelteinwirkung damit sehr hoch gewichtet wird. Um den Einfluss dieser Annahme zu beschreiben, wurde in den Untersuchungsergebnissen der UEBEL- Indikator mit und ohne die Flächenbelegung ausgewiesen.

Ein aggregierter Indikator, wie es der UEBEL- Indikator darstellt, basiert auf jeden Fall auf politischen und wissenschaftlichen Übereinkünften und Konventionen. Mit der möglichst nahen Verwendung des Umweltbarometers wurde auf bereits getroffene Übereinkünfte zurückgegriffen. Dennoch sind die Ergebnisse, die damit erzielt wurden, vor dem Hintergrund dieser Konventionen zu sehen.

### **Anwendung dieser Ansätze**

Zur Zielsetzung dieses Vorhabens, Ableitung von Grenzkonzentrationen von Metallen zur stofflichen Verwertung, werden die drei Vorschläge mit der Ein-Index-Bewertung für ihre Anwendung nun überprüft. Die Vorgehensweise geht davon aus, dass nicht die Fragestellung zu beantworten ist, ob bei einem gegebenen Metallgehalt Verwertung oder Versatz besser ist, sondern dass eine Grenzkonzentration zu ermitteln ist.

Aus einer ersten Überlegung heraus lässt sich bereits feststellen, dass die Verwendung des kumulierten Rohstoffaufwandes keine neuen Erkenntnisse bringt. Dominiert wird der KRA vom Metallgehalt im Erz beziehungsweise in der Abfallmatrix. Damit besitzen logischerweise ein Primärerz und ein mineralischer Abfall mit demselben Metallgehalt auch denselben kumulierten Rohstoffaufwand. Die Verwendung des KRA führt demnach zu der gleichen Aussage, die bereits heute den Werten der Versatzverordnung zu Grunde liegt. Es unterscheiden sich lediglich die Massen der verwendeten Energieträger. Doch diese sind besser in Primärenergieäquivalenten mit Hilfe des kumulierten Energieaufwandes auszudrücken. Die Verwendung des KEA als Näherungswert für Umweltauswirkungen ist deshalb ein zielführender Ansatz.

Ebenso erscheint die Anwendung der Umwelteinwirkungsbelastungen (UEBEL) als ein möglicher Weg, Umweltwirkungen in einer aggregierten Form zu verwenden, da die verschiedenen Umweltaspekte zusammengefasst vorliegen. Aufgrund der bereits erwähnten Relevanz der Einbeziehung beeinflusster Flächen und der Schwierigkeiten bei der Formulierung des Qualitätsziels „Fläche“ werden die Ergebnisse mit und ohne Einbeziehung von „Fläche“ dargestellt.

Obwohl zur Steigerung der Transparenz einer abschließenden Aussage zu Grenzkonzentrationen mehrere Auswertungen vorliegen, soll letztendlich die Bewertung nur an Hand des vollständigen UEBEL- Indikators erfolgen.

## **3 Schlussfolgerungen**

### **3.1 Empfehlungen zur methodische Vorgehensweise**

Eine fundierten Umweltbeurteilung setzt die Notwendigkeit einer umfassenden Datenbeschaffung voraus. Die Angaben wie Energieeinsatz, Stoffströme der Verfahrens-



schritte, Emissionen von Schadstoffen in Wasser und Luft, Flächenbedarf der Aktivitäten etc., konnten einerseits mit Hilfe der verfügbaren Literatur, aber vor allem nur mit der Hilfsbereitschaft von Anlagenbetreibern angegangen werden.

Eine wesentliche methodische Schwierigkeit bei der Bearbeitung der Aufgabenstellung lag auch darin, ein Maß für die Umweltbelastungen zu finden. Umweltbelastungen setzen sich aus vielen negativen Einzelwirkungen zusammen. Jedoch ist für die Bestimmung eines Grenzmittelwertes ein einheitliches Maß vonnöten. Da es hierzu vielfältige Ansätze gibt, wurden zwei ausgewählt und verwendet:

- der „kumulierte Primärenergieaufwand (KEA)“ als repräsentativer Wert für energiebezogene Umweltwirkungen,
- die Methode der „Umwelteinwirkungsbelastungen – UEBEL“, die ausgerichtet an den für Deutschland geltenden Umweltziele für die Schutzgüter Klima, Luft, Wasser und Fläche, mögliche Umweltwirkungen auf definierte, aber normativ geprägte Weise zusammenfasst. Aufgrund der Bedeutung und der schwierigen Formulierung des Schutzziele wurden die Auswertungen mit und ohne Fläche vorgenommen.

### **3.2 Empfehlung zur Regelung der Grenzkonzentrationen**

Trotz der genannten Schwierigkeiten bei der Bearbeitung bieten die Berechnungen wichtige Orientierungen, die es erlauben, die Grenzmittelkonzentrationen entsprechend der Aufgabenstellung zumindest orientierend anzugeben.

Die Werte der Versatzverordnung werden im Wesentlichen bestätigt.

Neben den bereits in der VersatzV geregelten Metallen könnte diese Liste noch um nachstehende Metalle erweitert werden:

Aluminium, Mangan, Molybdän, Silber, Platin, Palladium, Rhodium und Indium.

Eine Rückgewinnung insbesondere von edlen Metallen findet bereits statt. Dabei regelt der Marktpreis der Metalle weitgehend die Verwertungsbemühungen.

Da jedoch der Marktpreis - gerade bei den hohen Rohstoffpreisen - eindeutige Signale zur Verwertung der Metalle sendet, scheint es nicht notwendig, weitere Metalle in der VersatzV bzw. DepVerwV zu regeln.

### **3.3 Empfehlungen bezogen auf die Anlagen**

Eine wichtige Erkenntnis des Vorhabens ist, dass es relativ wenige Unternehmen gibt, die darauf spezialisiert sind, metallhaltige mineralische Abfälle aufzubereiten. Nur für vier der sieben in der VersatzV und DepVerwV geregelten Metalle wurden überhaupt

öffentlich zugängliche Recyclinganlagen angetroffen. Oft gibt es genau ein Unternehmen, das auf ein Hauptmetall konzentriert ist. Lediglich bei Zink konnte eine gewisse Konkurrenzsituation festgestellt werden. Für Eisenrückgewinnung aus einer mineralischen Matrix gibt es ein unternehmensinternes Verfahren, das hier nicht berücksichtigt werden konnte. Die Konkurrenzsituation besteht hier eigentlich eher gegenüber anderen Verwertungs- und Beseitigungsverfahren.

Die Verfahren zur Aufbreitung sind meist sehr spezifisch und wurden oft individuell in einem bestimmten Zusammenhang und für bestimmte Abfälle entwickelt und sind deshalb nicht ohne weiteres auf andere Situationen übertragbar.

Die Unternehmen suchen selbstverständlich die Abfälle mit den höchsten Metallgehalten aus. Bei den beschränkten Kapazitäten der Anlagen scheint es aber keine Konkurrenzsituation zur Verwertung gering metallhaltiger Abfälle (im Grenzbereich VersatzV) in Untertagedeponien oder auf oberirdischen Deponien zu geben. Alle angetroffenen Verwertungsanlagen arbeiten mit Metallgehalten weit oberhalb der Grenzwerte der VersatzV. Der Metallpreis, aber auch der Energiepreis, regeln sehr wirksam den Verwertungsweg.

Daraus ergibt sich die Empfehlung, dass bei dem untersuchten Thema der Marktpreis als wirksamer Mechanismus anerkannt werden sollte, der die Metallverwertung steuert. Dies gilt insbesondere bei den momentan weiter steigenden Preisen des Primärmetalls am Markt. Allerdings könnten bei fallenden Marktpreisen die Grenzkonzentrationen einen wichtigen Mechanismus darstellen, um dann die Belange Ressourcenschutzes einzufordern. Daher sollten die Grenzkonzentrationen im Anhang 1 der Versatzverordnung und der Deponieverwertungsverordnung nicht gestrichen werden.

### **3.4 Methodische Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen**

Bei der Beantwortung der Fragestellung ist insbesondere ein Bewertungsproblem zu lösen, wenn eine Grenzkonzentration für eine metallische Verwertung bestimmt werden soll. So hat sich gezeigt, dass die Berücksichtigung der Flächenbeanspruchung einen großen Einfluss auf das Ergebnis hat. Die energiebezogene Bewertung und die rein emissionsbezogene Bewertung liegen in den Beispielen dagegen nahe beieinander.

Weiterhin hat sich gezeigt, dass bei der Analyse der Verwertungssysteme eigentlich allein die Umweltleistung der Aufbereitungsverfahren und die Energiebereitstellung dominieren. Einsatzstoffe, Transporte und andere Schritte sind demgegenüber meist vernachlässigbar. Entgegen der sonst üblichen Vorgehensweise - Analyse eines gesamten Systems - kann in solchen Fällen eine Beschränkung auf die zentralen Anlagendaten erfolgen.

Als Empfehlung lässt sich aussprechen, dass die gewählte Vorgehensweise bei der Ermittlung einer hochwertigen Verwertung sinnvoll eingesetzt werden kann. Es ist jedoch wie bei allen Umweltbewertungsmethoden notwendig, sich an politisch-gesellschaftlich gewonnenen Umweltqualitätszielen zu orientieren. Diese können aus einem größeren Zusammenhang gewonnen werden und für solche speziellen Fragestellungen wie hier eingesetzt werden. Außerdem wird empfohlen, nach Überprüfung des Gesamtsystems festzustellen, ob noch Vereinfachungen vorgenommen werden können (z.B. Reduktion des Gesamtsystems auf wesentliche Systembestandteile).

## 4 Literatur

- KrW-/AbfG 2007 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 19. Juli 2007 (BGBl. I S. 1462)
- DepVerwV 2005 Verordnung über die Verwertung von Abfällen auf Deponien über Tage (Deponieverwertungsverordnung- DepVerwV) vom 25 Juli 2005 (BGBl. I S. 2252)
- IFEU 2007 Forschungsbericht „Kriterien zur Beurteilung einer hochwertigen Verwertung metallhaltiger mineralischer Abfälle“ (FKZ 202 35 310), Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu) Heidelberg, Dezember 2007, im Auftrag des Umweltbundesamtes

### **Anschrift des Verfassers**

Prof. Dipl.-Ing. Siegfried Kalmbach  
Umweltbundesamt  
Wörlitzer Platz 1  
D-06813 Dessau  
Telefon +49 340 2103 3637  
Email [siegfried.kalmbach@uba.de](mailto:siegfried.kalmbach@uba.de)  
Website: [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)