

Umweltforschungsplan
des Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz und Reaktorsicherheit

Aufgabenschwerpunkt

(FKZ 3713 33 333)

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

Endbericht

von

Günter Dehoust¹⁾

Peter Küppers¹⁾

Markus Blepp¹⁾

Wolfgang Jenseit¹⁾

Vanessa Cook¹⁾ (engl. Übers.)

Prof. Dr.-Ing. Daniel Goldmann²⁾

Boris Breitenstein²⁾

¹⁾ Öko-Institut e.V.

Postfach 17 71

79017 Freiburg

²⁾ Technische Universität Clausthal

Institut für Aufbereitung, Deponietechnik und Geomechanik (IFAD)

Walther-Nernst-Str. 9

38678 Clausthal-Zellerfeld

IM AUFTRAG
DES UMWELTBUNDESAMTES

November 2015

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 Zuträglichkeit insbesondere auch hinsichtlich der Beseitigung und Verwertung auf Deponien zum heutigen Zeitpunkt Untersuchungsgegenstand sind.

Summary

The efficient and careful use of natural resources is a central goal of environmental policy. For this reason, an explicit legal provision was added to the German Waste Management Act (KrWG) in order to prohibit the landfilling of waste containing certain metals under KrWG § 43 para. 1 no. 3. As a result, the metals contained in waste are to be excluded from the substance cycle to a lesser extent than previously. In addition, the need to conserve natural resources is to be taken into account to a greater degree. To establish whether this need is required by law to a currently technically feasible and economically reasonable degree, it is necessary to review the subsidiary regulatory framework.

The German Ordinance on Underground Waste Stowage (VersatzV) contains in, Appendix 1, maximum concentration levels for zinc, lead, copper, tin, chromium, nickel and iron. It is not permitted for waste that exceeds these concentration limits to be used for the production of backfill material or directly as backfill, unless the recovery of the metals contained therein is not technically possible and not economically reasonable. The German Landfill Ordinance (DepV) also includes these concentration limits in the context of waste recycling in landfills (§ 14 para. 2 no. 2).

These maximum concentration levels have already been reviewed and confirmed once in 2007. However, the review focused on their environmental impacts only. In the present study a new review is conducted, taking a practice-oriented approach which focuses on the technical feasibility and the economic effectiveness – particularly in view of disposal and recovery at landfills – at the current time.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	10
Tabellenverzeichnis.....	11
1 Einleitung und Ziel.....	15
1.1 Einleitung	15
1.2 Ziele	15
2 Vorgehen	16
3 Auswahl der Metalle.....	17
3.1 Antimon.....	18
3.2 Kobalt.....	19
3.3 Stahlveredler – Molybdän / Mangan / Vanadium / Niob	19
3.3.1 Molybdän.....	19
3.3.2 Mangan.....	19
3.3.3 Vanadium.....	20
3.3.4 Niob.....	20
3.4 Tantal	20
3.5 Wolfram.....	21
4 Vorauswahl der Abfälle für die Befragung.....	22
4.1 Ermittlung der Massen und Metallgehalte.....	22
4.2 Auswahl	23
5 Recyclingverfahren	29
5.1 Übersicht.....	29
5.2 DK Prozess	34
5.3 Wälzverfahren im Drehrohrofen.....	35
5.4 Sekundärhütten Berzelius.....	36
5.5 Varta Recycling GmbH.....	36
5.6 Verfahren im Bereich der Verzinkung	37
5.6.1 Elektroreduktionsverfahren	37
5.6.2 Plasmaverfahren.....	37
5.6.3 Metallhütte von Umicore	38
5.7 Nickelhütte Aue	38
5.8 Sekundärkupferhütte in Lünen Aurubis	40
5.9 Drehherd-Direktreduktionsverfahren.....	40
5.10 Weitere Verfahren und Anlagen.....	41

6	Auswertung der eingeholten Informationen	43
6.1	Recycler.....	44
6.1.1	Wälzverfahren	44
6.1.2	DK-Prozess	46
6.1.3	Bleihütten	47
6.1.4	Elektroreduktionsverfahren	48
6.1.5	Plasmaverfahren.....	49
6.1.6	Nickelhütten.....	49
6.1.7	Kupferhütten.....	50
6.1.8	Mechanische Verfahren.....	51
6.2	Betreiber von Versatzbergwerken und Deponien	51
6.3	Vergleich derzeitige Grenzwerte und Annahmebegrenzungen	52
6.3.1	Eisen	52
6.3.2	Zink	52
6.3.3	Nickel	52
6.3.4	Molybdän.....	52
6.4	Hinweise bezüglich der Senkung bestehender und der Festlegung neuer Grenzwertkonzentrationen	53
6.5	Abgleich der Analysedaten aus der Abfrage mit denen aus ABANDA.....	53
7	Auswahl der Abfallarten, die für die Aufbereitungsversuche und Analysen in Frage kommen.....	54
7.1	Vorgehensweise	54
7.2	Ranking der Abfallarten mit den höchsten Frachten je Metall.....	54
7.2.1	Blei (Pb).....	55
7.2.2	Chrom (Cr).....	56
7.2.3	Eisen (Fe).....	57
7.2.4	Kupfer (Cu)	59
7.2.5	Nickel (Ni).....	60
7.2.6	Zink (Zn)	61
7.2.7	Zinn (Sn).....	62
7.2.8	Antimon (Sb)	63
7.2.9	Kobalt (Co).....	64
7.2.10	Mangan (Mn).....	65
7.2.11	Molybdän (Mo).....	66
7.2.12	Niob (Nb)	67

7.2.13 Tantal (Ta).....	67
7.2.14 Vanadium (V).....	67
7.2.15 Wolfram (W).....	68
7.3 Kurze Beschreibung der ausgewählten Abfallarten.....	68
7.3.1 AVV-Nr. 06 03 15* „Metalloxide <i>aus anorganisch-chemischen Prozessen</i> , die Schwermetalle enthalten“	69
7.3.2 AVV-Nr. 10 01 01 „Rost- und Kesselasche, Schlacke und Kesselstaub <i>aus Kraftwerken und sonstigen Prozessen außer Abfallverbrennung</i> mit Ausnahme von Kesselstaub, der unter 10 01 04 (Ölfeuerung) fällt“	70
7.3.3 AVV-Nr. 10 02 02 „unbearbeitete Schlacke <i>aus der Eisen- und Stahlindustrie</i> “	72
7.3.4 AVV-Nr. 10 04 01* „Schlacken (Erst- und Zweitschmelze) <i>aus der thermischen Bleimetallurgie</i> “	74
7.3.5 AVV-Nr. 10 05 01 „Schlacken (Erst- und Zweitschmelze) <i>aus der thermischen Zinkmetallurgie</i> “	75
7.3.6 AVV-Nr. 10 06 01 „Schlacken (Erst- und Zweitschmelze) <i>aus der thermischen Kupfermetallurgie</i> “	76
7.3.7 AVV-Nr. 10 09 10 „Filterstaub <i>vom Gießen von Eisen und Stahl</i> mit Ausnahme desjenigen, der unter 10 09 09* fällt“	77
7.3.8 AVV-Nr. 11 01 08* „Phosphatierschlämme“	80
7.3.9 AVV-Nr. 11 01 09* „Schlämme und Filterkuchen <i>aus der chemischen Oberflächenbearbeitung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen, die gefährliche Stoffe enthalten</i> “	82
7.3.10 AVV-Nr. 11 02 02* „Schlämme <i>aus der Zink-Hydrometallurgie</i> (einschließlich Jarosit, Goethit)“	84
7.3.11 AVV-Nr. 12 01 14* „Bearbeitungsschlämme <i>aus Prozessen der mechanischen Formgebung sowie der physikalischen und mechanischen Oberflächenbearbeitung von Metallen und Kunststoffen, die gefährliche Stoffe enthalten</i> “	85
7.3.12 AVV-Nr. 19 01 13* „Filterstaub, der gefährliche Stoffe enthält“	88
7.3.13 AVV-Nr. 19 02 05* „Schlämme <i>aus der physikalisch-chemischen Behandlung von Abfällen, die gefährliche Stoffe enthalten</i> “	89
7.3.14 AVV-Nr. 19 10 04 „Schredderleichtfraktion und Staub <i>aus dem Schreddern von metallhaltigen Abfällen</i> mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 10 03* fallen“	92
8 Untersuchungen der ausgewählten Abfallarten.....	96
8.1 Analytik.....	97
8.1.1 AVV-Nr. 10 02 02, „Unbearbeitete Schlacke <i>aus der Eisen- und Stahlindustrie</i> “	97
8.1.2 AVV-Nr. 10 04 01, „Schlacken (Erst- und Zweitschmelze) <i>aus der thermischen Bleimetallurgie</i> “	99

8.1.3	AVV-Nr. 10 05 01, „Schlacken (Erst- und Zweitschmelze) aus der thermischen Zinkmetallurgie“	101
8.1.4	AVV-Nr. 11 02 02, <i>Schlämme aus der Hydrometallurgie von Zink</i>	103
8.1.5	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).....	104
8.1.6	AVV-Nr. 11 01 09*, „Schlämme und Filterkuchen aus der chemischen Oberflächenbearbeitung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen, die gefährliche Stoffe enthalten“ (Abfall 2 – Filterkuchen)	106
8.1.7	AVV-Nr. 19 01 13*, „Filterstaub der gefährliche Stoffe enthält“	108
8.2	Vergleich der Analyseergebnisse mit den bestehenden Grenzwerten	109
8.3	Vergleich der Analyseergebnisse mit der Abbauwürdigkeit von Erzen	110
8.4	Betrachtung der bisher nicht reglementierten Metalle.....	111
8.5	Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse	112
8.6	Zusammenfassung der Entsorgungssituationen bei den analysierten Abfällen	113
9	Neue Aufbereitungsstrategien	114
9.1	Entwicklung neuer Aufbereitungstechnologien.....	114
9.2	Elektrodynamische Fragmentierung.....	115
9.3	BIOLEACHING	115
9.4	Sortiervverfahren.....	116
9.5	Fazit	117
10	Vorschlag für die Umsetzung der Untersuchungsergebnisse in ein Regelungskonzept.....	118
10.1	Grenzwertregelungen	118
10.1.1	Anpassung der Grenzwerte.....	118
10.1.2	Ausweitung der Regelung auf Abfälle, die auf Deponien beseitigt werden	121
10.1.3	Festlegung einer Positivliste.....	123
10.2	Regelung von Ausnahmen	123
10.3	Ergänzende Maßnahmen zur Steigerung des Recyclings.....	124
11	Ausblick.....	126
12	Quellenverzeichnis.....	127

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1:	Verbrauch und Import von relevanten Metallen [Angerer et al. 2009]	17
Abbildung 3-2:	Ökonomische Bedeutung und Versorgungsrisiko von 41 Materialien [EU 2013]	18
Abbildung 5-1:	Prozessflussbild Nickelhütte GmbH [Quelle: Nickelhütte GmbH]	39
Abbildung 7-1:	Schematische Darstellung des Entstehungsprozesses von Abfällen vom Gießen von Eisen und Stahl (ABAG xy nach IP@ 2014)	79
Abbildung 7-2:	Schematische Darstellung des Entstehungsprozesses von Schlämmen und Filterkuchen <i>aus der chemischen Oberflächenbearbeitung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen</i> (ABAG-itm 2007 zitiert nach IP@ 2014)	83
Abbildung 7-3:	Schematische Darstellung des Entstehungsprozesses von Schlämmen aus der Metallverarbeitung (ABAG-itm 2007, zitiert nach IP@ 2014)	87
Abbildung 7-4:	Schematische Darstellung des Entstehungsprozesses von Schlämmen aus der physikalisch-chemischen Behandlung von Abfällen (IP@ 2014)	91
Abbildung 7-5:	Schematische Darstellung des Entstehungsprozesses von Schredderleichtfraktion (SLF) und Staub <i>aus dem Schreddern von metallhaltigen Abfällen</i>	94
Abbildung 8-1:	Kristalline Hauptphasen des Abfalls AVV-Nr. 100202, „Unbearbeitete Schlacke aus der Eisen- und Stahlindustrie“	98
Abbildung 8-2:	Kristalline Hauptphasen des Abfalls AVV-Nr. 100401, „Schlacken (Erst- und Zweitschmelze) aus der thermischen Bleimetallurgie“	100
Abbildung 8-3:	kristalline Hauptphasen des Abfalls AVV-Nr. 100501, „Schlacken (Erst- und Zweitschmelze) aus der thermischen Zinkmetallurgie“	102
Abbildung 8-4:	Kristalline Hauptphasen des Abfalls AVV-Nr. 110202, Schlämme aus der Hydrometallurgie von Zink	103
Abbildung 8-5:	Kristalline Hauptphasen des Abfalls AVV-Nr. 110109*, „Schlämme und Filterkuchen aus der chemischen Oberflächenbearbeitung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen, die gefährliche Stoffe enthalten“ (Abfall 1 - Schlamm)	105
Abbildung 8-6:	Kristalline Hauptphasen des Abfalls AVV-Nr. 110109*, „Schlämme und Filterkuchen aus der chemischen Oberflächenbearbeitung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen, die gefährliche Stoffe enthalten“ (Abfall 2 – Filterkuchen)	107
Abbildung 8-7:	Kristalline Hauptphasen des Abfalls 190113*, „Filterstaub der gefährliche Stoffe enthält“	108

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1:	Aktuelle Preise der in die Vorauswahl aufgenommenen Metalle	18
Tabelle 4-1:	Grenzwertkonzentrationen und für die Abfrage verwendete Konzentrationen der geregelten Metalle	23
Tabelle 4-2:	Für die Abfrage verwendete Konzentrationen der nicht geregelten Metalle	23
Tabelle 4-3:	Für die Abfrage von Analysedaten ausgewählte Abfallarten	24
Tabelle 5-1:	Recyclingprozesse für die Aufbereitung von metallhaltigen Abfällen [vgl. auch Öko-Institut 2007 und IFEU 2007]	30
Tabelle 6-1:	Beschränkungen für Metallgehalte beim Wälzverfahren	44
Tabelle 6-2:	Annahmekriterien für den DK-Prozess	46
Tabelle 7-1:	Ranking der Abfallarten mit den höchsten Bleifrachten	56
Tabelle 7-2:	Ranking der Abfallarten mit den höchsten Chromfrachten	57
Tabelle 7-3:	Ranking der Abfallarten mit den höchsten Eisenfrachten	58
Tabelle 7-4:	Ranking der Abfallarten mit den höchsten Kupferfrachten	59
Tabelle 7-5:	Ranking der Abfallarten mit den höchsten Nickelfrachten	60
Tabelle 7-6:	Ranking der Abfallarten mit den höchsten Zinkfrachten	62
Tabelle 7-7:	Ranking der Abfallarten mit den höchsten Zinnfrachten	63
Tabelle 7-8:	Ranking der Abfallarten mit den höchsten Antimonfrachten	64
Tabelle 7-9:	Ranking der Abfallarten mit den höchsten Cobaltfrachten	65
Tabelle 7-10:	Ranking der Abfallarten mit den höchsten Manganfrachten	66
Tabelle 7-11:	Ranking der Abfallarten mit den höchsten Molybdänfrachten	67
Tabelle 7-12:	Ranking der Abfallarten mit den höchsten Vanadiumfrachten	68
Tabelle 7-13:	Ranking der Abfallarten mit den höchsten Wolframfrachten	68
Tabelle 7-14:	Zusammenfassung der Ergebnisse für AVV-Nr. 06 03 15* „Metalloxide <i>aus anorganisch-chemischen Prozessen</i> , die Schwermetalle enthalten“	70
Tabelle 7-15:	Zusammenfassung der Ergebnisse für AVV-Nr. 10 01 01 „Rost- und Kesselasche, Schlacke und Kesselstaub <i>aus Kraftwerken und sonstigen Prozessen außer Abfallverbrennung</i> mit Ausnahme von Kesselstaub, der unter 10 01 04 fällt“	72
Tabelle 7-16:	Zusammenfassung der Ergebnisse für AVV-Nr. 10 02 02 „unbearbeitete Schlacke <i>aus der Eisen- und Stahlindustrie</i> “	73
Tabelle 7-17:	Charakteristische Zusammensetzung von Elektroofenschlacke im Vergleich zu Hochofen- und LD-Schlacke sowie sonstige Schlacken	74
Tabelle 7-18:	Zusammenfassung der Ergebnisse für AVV-Nr. 10 04 01* „Schlacken (Erst- und Zweitschmelze) <i>aus der thermischen Bleimetallurgie</i> “	75

Tabelle 7-19:	Zusammenfassung der Ergebnisse für AVV-Nr. 10 05 01 „Schlacken (Erst- und Zweitschmelze) <i>aus der thermischen Zinkmetallurgie</i> “	76
Tabelle 7-20:	Zusammenfassung der Ergebnisse für AVV-Nr. 10 06 01 „Schlacken (Erst- und Zweitschmelze) aus der thermischen Kupfermetallurgie“	77
Tabelle 7-21:	Zusammenfassung der Ergebnisse für AVV-Nr. 10 09 10 „Filterstaub <i>vom Gießen von Eisen und Stahl</i> mit Ausnahme desjenigen, der unter 10 09 09* fällt“	78
Tabelle 7-22:	Charakteristische Zusammensetzung von Abfällen vom Gießen von Eisen und Stahl (IP@ 2014)	80
Tabelle 7-23:	Zusammenfassung der Ergebnisse für AVV-Nr. 11 01 08* „Phosphatierschlämme“	81
Tabelle 7-24:	Zusammenfassung der Ergebnisse für AVV-Nr. 11 01 09* „Schlämme und Filterkuchen <i>aus der chemischen Oberflächenbearbeitung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen</i> , die gefährliche Stoffe enthalten“	82
Tabelle 7-25:	Charakteristische Zusammensetzung von Schlämmen und Filterkuchen <i>aus der chemischen Oberflächenbearbeitung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen</i> (IP@ 2014)	84
Tabelle 7-26:	Zusammenfassung der Ergebnisse für AVV-Nr. 11 02 02* „Schlämme aus der Zink-Hydrometallurgie (einschließlich Jarosit, Goethit)“	85
Tabelle 7-27:	Zusammenfassung der Ergebnisse für AVV-Nr. 12 01 14* „Bearbeitungsschlämme <i>aus Prozessen der mechanischen Formgebung sowie der physikalischen und mechanischen Oberflächenbearbeitung von Metallen und Kunststoffen</i> , die gefährliche Stoffe enthalten“	86
Tabelle 7-28:	Charakteristische Zusammensetzung von Bearbeitungsschlämmen <i>aus Prozessen der mechanischen Formgebung sowie der physikalischen und mechanischen Oberflächenbearbeitung von Metallen und Kunststoffen</i>	88
Tabelle 7-29:	Zusammenfassung der Ergebnisse für AVV-Nr. 19 01 13* „Filterstaub, der gefährliche Stoffe enthält“	89
Tabelle 7-30:	Zusammenfassung der Ergebnisse für AVV-Nr. 19 02 05* „Schlämme aus der physikalisch-chemischen Behandlung von Abfällen, die gefährliche Stoffe enthalten“	90
Tabelle 7-31:	Charakteristische Zusammensetzung von Schlämmen aus der physikalisch-chemischen Behandlung von Abfällen (IP@ 2014)	92
Tabelle 7-32:	Zusammenfassung der Ergebnisse für AVV-Nr. 19 10 04 „Schredderleichtfraktion und Staub <i>aus dem Schreddern von metallhaltigen Abfällen</i> mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 10 03* fallen“	93

Tabelle 7-33:	Charakteristische Zusammensetzung der Schredderleichtfraktion und des Staubes <i>aus dem Schreddern von metallhaltigen Abfällen</i>	95
Tabelle 8-1:	Übersicht der für die Untersuchungen ausgewählten Abfälle	96
Tabelle 8-2:	Metallgehalte des Abfalls AVV-Nr. 10 02 02, „Unbearbeitete Schlacke aus der Eisen- und Stahlindustrie“	97
Tabelle 8-3:	Metallgehalte des Abfalls AVV-Nr. 100202, „Unbearbeitete Schlacke aus der Eisen- und Stahlindustrie“	98
Tabelle 8-4:	Metallgehalte des Abfalls AVV-Nr. 100401, „Schlacken (Erst- und Zweitschmelze) aus der thermischen Bleimetallurgie“	100
Tabelle 8-5:	Metallgehalte des Abfalls AVV-Nr. 10 05 01, „Schlacken (Erst- und Zweitschmelze) aus der thermischen Zinkmetallurgie“	101
Tabelle 8-6:	Metallgehalte des Abfalls AVV-Nr. 11 02 02, Schlämme aus der Hydrometallurgie von Zink.....	103
Tabelle 8-7:	Metallgehalte des Abfalls 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).....	105
Tabelle 8-8:	Metallgehalte des Abfalls AVV-Nr. 11 01 09*, „Schlämme und Filterkuchen aus der chemischen Oberflächenbearbeitung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen, die gefährliche Stoffe enthalten“ (Abfall 2 – Filterkuchen).....	106
Tabelle 8-9:	Metallgehalte des Abfalls 19 01 13*, „Filterstaub der gefährliche Stoffe enthält“	108
Tabelle 8-10:	Gegenüberstellung der analysierten Metallgehalte mit den bestehenden Grenzwerten	110
Tabelle 8-11:	Gegenüberstellung der analysierten Metallgehalte mit der Abbauwürdigkeit von Erzen (Untergrenze).....	111
Tabelle 8-12:	Übersicht der Metallgehalte der nicht reglementierten Metalle	112
Tabelle 10-1:	Gegenüberstellung der derzeitigen und der vorgeschlagenen Grenzwertkonzentrationen (die geänderten Werte sind fett gedruckt)	119
Tabelle 10-2:	Potenziale an Metallfrachten für ein Recycling in Abhängigkeit der Grenzwertkonzentrationen unter Berücksichtigung der Durchschnittswerte der Datensätze aus ABANDA.....	120
Tabelle 10-3:	Potenziale an Metallfrachten für ein Recycling in Abhängigkeit der Grenzwertkonzentrationen unter Berücksichtigung der Durchschnittswerte der Datensätze aus ABANDA und der Daten aus der Fragenbogenaktion	121
Tabelle 10-4:	Metallfrachten aus Abfällen zur Ablagerung auf Deponien und deren prozentualer Anteil aus den ermittelten Gesamtfrachten (Potenzial der ausgewählten Abfälle) für die bisher geregelten Metalle	122

Tabelle 10-5:	Metallfrachten aus Abfällen zur Ablagerung auf Deponien und deren prozentualer Anteil aus den ermittelten Gesamtfrachten (Potenzial der ausgewählten Abfälle) für die bisher noch nicht geregelten Metalle	122
---------------	--	-----

1 Einleitung und Ziel

1.1 Einleitung

Die Bundesrepublik Deutschland unternimmt große Anstrengungen, den Schutz natürlicher Ressourcen zu optimieren. Der effiziente und schonende Umgang mit den natürlichen Ressourcen ist ein zentrales umweltpolitisches Ziel. Neben dem Schutz der Artenvielfalt, der Umweltmedien Wasser, Boden und Luft sowie der Fläche gehört hierzu auch die Schonung von Rohstoffquellen. Der Bundestag hat daher bei der Verabschiedung des Gesetzes zur Neuordnung des Kreislaufwirtschafts- und Abfallrechts die Entschließung 17/7505 (neu) angenommen, nach der die „Abfallwirtschaft wesentlich stärker in eine Ressourcen schonende Materialwirtschaft eingebunden“ werden soll. Der Abfallwirtschaft komme „eine immer stärkere Bedeutung als Lieferant von Rohstoffen zu“. Darüber hinaus wurde im Bundesratsverfahren eine ausdrückliche Ermächtigungsgrundlage in das Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) aufgenommen, um durch Rechtsverordnung nach § 43 Abs. 1 Nr. 3 die Deponierung von Abfällen, die bestimmte wertvolle 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 hierzu 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. Eine erneute Überprüfung soll daher auf einem praxisnahen Ansatz beruhen, in dem die technische Machbarkeit und die wirtschaftliche Zuträglichkeit insbesondere auch hinsichtlich der Beseitigung und Verwertung auf Deponien zum heutigen Zeitpunkt Untersuchungsgegenstand sind.

1.2 Ziele

Das Ziel des Forschungsvorhabens ist die Beantwortung folgender Fragen:

- Können die Grenzwerte für die Metallgehalte in der Versatzverordnung herabgesetzt werden, und wenn ja, auf welche Werte?
- Sollen für weitere Metalle Grenzwerte eingeführt werden, und wenn ja, in welcher Höhe und für welche Metalle?
- Sollen für die Verwertung von Abfällen auf Deponien weiterhin die gleichen Grenzwerte gelten wie für die Verwertung als Versatzmaterial, und wenn nein, welche Grenzwerte sollten eingeführt werden?
- Sollen entsprechende Grenzwerte auch für Abfälle vorgegeben werden, die auf Deponien abgelagert werden?

2 Vorgehen

Zur Beantwortung der aufgeworfenen Fragen wurde wie folgt vorgegangen:

- die Bestimmung der relevanten Abfallarten (Relevanz aufgrund der anfallenden Menge und/oder hoher Metallgehalte) mit höheren Gehalten an Zink, Blei, Kupfer, Zinn, Chrom, Nickel und Eisen, die im Bergversatz verwendet werden und Herleitung der Metallgehalte,
- die begründete Auswahl weiterer Metalle, z. B. aufgrund von Häufigkeit des Vorkommens, Nachfrage und Rückgewinnbarkeit, sowie die Bestimmung der relevanten Abfallarten, in denen diese vorkommen, Recherche der Metallgehalte, soweit notwendig durch Analysen,
- die Auswahl von sieben mengenmäßig relevanten mineralischen Abfallarten, die an Deponien angeliefert werden und die aufgrund ihrer Herkunft höhere Gehalte an Zink, Blei, Kupfer, Zinn, Chrom, Nickel und Eisen vermuten lassen, sowie Recherche der Mengen und der Metallgehalte, soweit notwendig durch Analysen,
- die Darlegung der Auftretens-/Bindungsformen der Metalle in den oben bestimmten Abfallarten,
- die Ermittlung der Aufbereitungsverfahren zur Aufkonzentration der Metalle und der metallurgischen Gewinnungsverfahren,
- für die vorher benannten Abfallarten die Bestimmung (Bergversatz) bzw. die Schätzung (Deponie) der heute technisch möglichen und der aufgrund der wirtschaftlichen Zumutbarkeit tatsächlichen Metallrückgewinnungsanteile und –mengen,

3 Auswahl der Metalle

Neben den bereits geregelten Metallen Blei, Chrom, Eisen, Kupfer, Nickel, Zink und Zinn werden zunächst weitere acht Metalle vorgeschlagen, für die eine Festsetzung von Recyclinggrenzwerten im Rahmen dieser Studie untersucht werden soll:

- Antimon,
- Kobalt,
- Mangan,
- Molybdän,
- Niob,
- Tantal,
- Vanadium und
- Wolfram.

Im Verlaufe der Studie werden daraus die drei bis vier am ehesten zur Festsetzung von Grenzwerten geeigneten Metalle ausgewählt, die im Rahmen von Analysen detaillierter betrachtet werden.

Die vorläufige Auswahl der weiteren Metalle orientiert sich an

- dem Wert der einzelnen Metalle,
- der Abhängigkeit von Importen,
- der Versorgungssicherheit und
- der Bedeutung als Rohstoff für die Industrie.

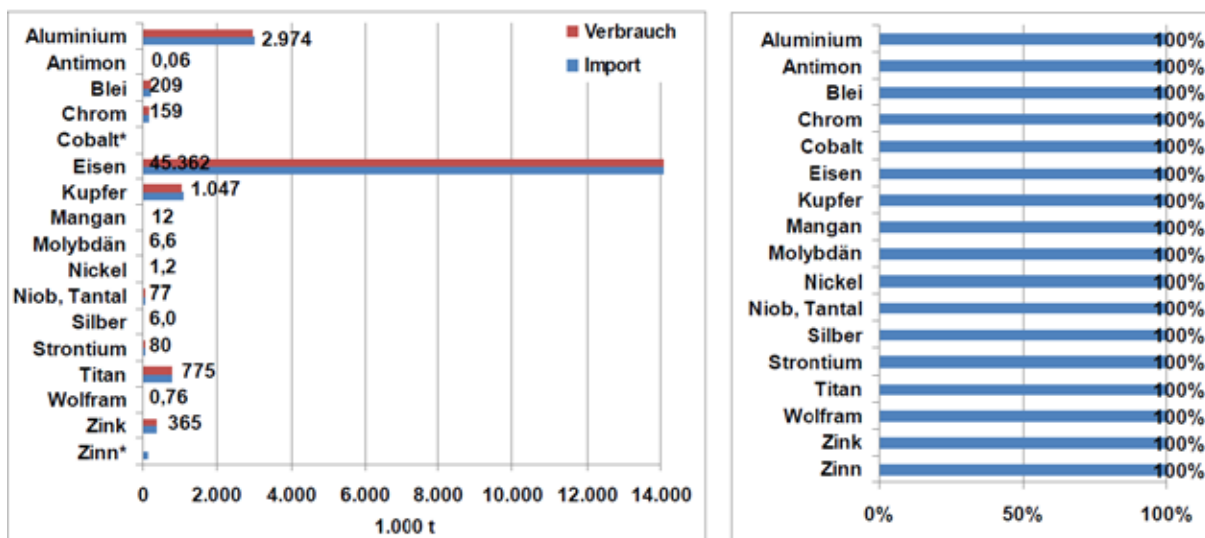


Abbildung 3-1: Verbrauch und Import von relevanten Metallen [Angerer et al. 2009]

Wie Abbildung 3-1 in der rechten Grafik zeigt, werden alle Elemente, die in die vorläufige Auswahl aufgenommen wurden, zu 100 % für die deutsche Wirtschaft importiert. In Abbildung 3-2 wurden die ausgewählten Metalle rot markiert. Die Grafik zeigt gut, dass diese alle in der Versorgungssicherheit als eher kritisch bis sehr kritisch eingestuft werden und eine hohe wirtschaftliche Bedeutung haben.

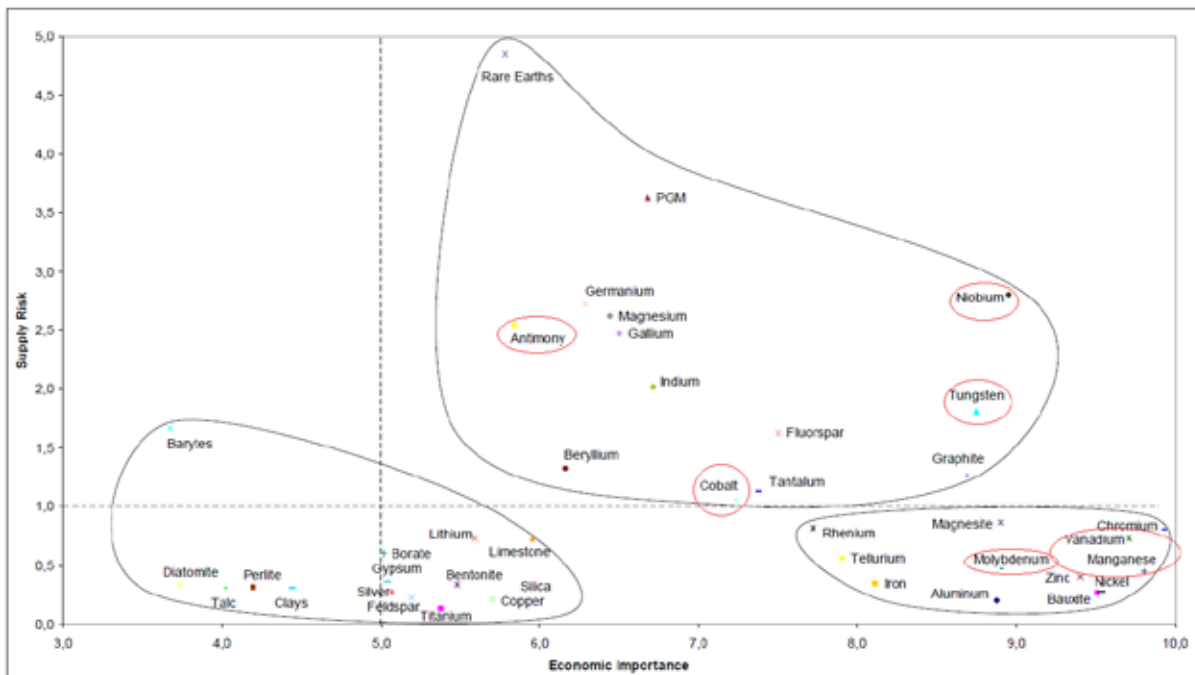


Abbildung 3-2: Ökonomische Bedeutung und Versorgungsrisiko von 41 Materialien [EU 2013]

Tabelle 3-1: Aktuelle Preise der in die Vorauswahl aufgenommenen Metalle

Stoff	Preis in €/kg (Stand November 2013)
Antimon	7,06
Kobalt	19,13
Mangan	1,69
Molybdän (Oxid)	15,62
Niob	(kein Preis abrufbar)
Tantal	390,01
Vanadium	18,03
Wolfram	34,21

3.1 Antimon

Der Verbrauch von Antimon in Deutschland ist zwischen 2004 und 2008 um über 30 % auf 13.000 – 15.000 Mg/a gestiegen. Antimon wird vorwiegend als Additiv bzw. Mittler (Synergist) halogenhaltiger Flamschutzmittel in Kunststoffen und zur Härtung von Bleikomponenten in Starterbatterien eingesetzt. In Deutschland ist insbesondere die kunststoffverarbeitende Industrie abhängig von einer gesicherten Antimonversorgung aus dem Ausland. Besonders hoch ist das Länderrisiko für die globale Produktion wegen der starken Konzentration auf die VR China. Die Konsolidierung des Antimonsektors in der VR China (Schließung illegaler Minen, Verbesserung des Umweltschutzes) begrenzt derzeit und in naher Zukunft das auf dem Weltmarkt verfügbare Angebot. Es besteht daher kurz- bis mittelfristig dringender Handlungsbedarf, um eine weitere Versorgung mit Antimon sicherzustellen. Es ist davon auszugehen, dass die Produktionsketten mit den Anwendungen Flamschutzmittel (insbesondere für Kunststoffe) und Antimonblei für Starterbatterien sehr sensibel auf Versorgungsstörungen reagieren [EU 2013, Angerer et al. 2009, Babies et al. 2010, Schmidt 2013].

3.2 Kobalt

Seine Verwendung als wichtiges Legierungselement, die Verwendung in Kobaltverbindungen und unterschiedlichsten Anwendungen macht Kobalt zu einem strategisch wichtigen Metall [EU 2013].

Die Abhängigkeit von Importen für Erze und Konzentrate ist gegeben. Dabei ist die Demokratische Republik (DR) Kongo der größte Exporteur von Kobalterzen, bzw. Kombinationserzen, die Kobalt enthalten. Kobalt wird überwiegend aus Kupfer- und Nickelerzen gewonnen. Die genaue Gewinnungsart ist von der Zusammensetzung des Ausgangserzes abhängig.

Die Versorgungskritikalität für Kobalt wird als hoch eingestuft. Des Weiteren ist eine Substitution nur in Teilen möglich [Angerer et al. 2009].

Ein Recycling findet in integrierten Prozessen schon teilweise statt, kann aber nur einen geringen Beitrag zur Versorgung leisten [EU 2013, Babies et al. 2010].

3.3 Stahlveredler – Molybdän / Mangan / Vanadium / Niob

Erze von Stahlveredlern werden in Deutschland nicht gewonnen. Da nur wenige Firmen auf dem Sektor Stahlveredlung tätig sind, werden Daten über die Produktion der Ferrolegierungswerke und anderer Hütten vertraulich behandelt. In geringen Mengen werden nur noch Ferromangan sowie Spezialsorten von Ferrochrom und Ferrosilizium im Elektroofen gewonnen. Der Bedarf an Ferrolegierungen für die bedeutende Edelstahlindustrie wurde 2010 fast vollständig durch Importe abgedeckt. Gegenüber 2009 sind die Importe um nahezu 30 % gestiegen.

Weltweit werden Recycling-Anlagen für Ferrolegierung und Edelstahlschrott betrieben, auch in Deutschland wird die Wiedergewinnung von Stahlveredlungsmetallen, vor allem aus Katalysatoren, betrieben [EU 2013, Angerer et al. 2009, Babies et al. 2010].

3.3.1 Molybdän

Die Nachfrage nach Molybdän wird hauptsächlich durch Importe von Erzen und Konzentraten sowie von Ferromolybdän gedeckt.

Deutschland ist neben China, den USA und Japan einer der größten Verbraucher von Molybdän.

Molybdän wird je zur Hälfte aus Molybdänerzen und als Nebenprodukt der Verhüttung von Kupfererzen gewonnen. Die Substitutionsmöglichkeiten für Molybdän sind gering, während das Recyclingpotenzial nicht ausgereizt ist. Der Rückfluss von Altschrott ins Stahlrecycling ist zwar erheblich, die gezielte Nutzung der Molybdän-spezifischen Eigenschaften ist jedoch nur selten das Ziel des Recyclings [EU 2013, Angerer et al. 2009, Babies et al. 2010].

3.3.2 Mangan

Für Mangan stieg die Wachstumsrate für die Bergwerksförderung um das Drei- bis Vierfache gegenüber dem langjährigen Trend (2011). Ähnlich wie die Erze der sonstigen Stahlveredler, werden auch die für Mangan nicht in Deutschland gewonnen. Die Nachfrage wurde 2011, wie auch in den Jahren zuvor, mit Ausnahme geringer Mengen von Ferromangan und manganhaltigem Schrott vollständig durch Importe gedeckt. Neben kleineren Mengen Manganerz und Metall wurden größtenteils manganhaltige Ferrolegierungen eingeführt. Weiterhin dienen Manganoxide und Manganmetall als Vorstoffe.

Die Steigerung der Einfuhren betrug im Vergleich zum Vorjahr 11,4 %. Wichtigste Lieferländer für Legierungen waren Südafrika, Norwegen, Spanien, Frankreich und Indien. Dabei werden die Importabhängigkeit und die wirtschaftliche Bedeutung als kritisch eingestuft [EU 2013].

Da nur wenige Firmen auf dem Sektor Stahlveredlung tätig sind, werden Daten über die Produktion der Ferrolegierungswerke und anderer Hütten vertraulich behandelt.

Die Wiedergewinnung erfolgt hauptsächlich im Kreislauf der Stahlindustrie und wird daher statistisch nicht erfasst [Babies et al. 2011].

3.3.3 Vanadium

Vorstoffe von Vanadium wurden hauptsächlich in Form von Ferrolegierungen (2010: 5.035 t) importiert. Wichtige Lieferländer waren Österreich, Südafrika und die Tschechische Republik [Babies et al. 2010]. In den Ländern der EU wird Vanadium nur aus vanadiumhaltigen Kraftwerksaschen gewonnen. Als Sekundärmaterial kommen vor allem gebrauchte Katalysatoren und in geringem Umfang auch Schrott aus Werkzeugstählen in Betracht [Babies et al. 2011].

3.3.4 Niob

Niob kommt vorwiegend als Legierungselement für Stahl zum Einsatz. Die entsprechenden Stähle werden großteils für Pipelines, den Automobilbau und als Konstruktionswerkstoff verwendet. Die Versorgung mit Niob hängt sehr stark von wenigen Minen in Brasilien ab. Niobkonzentrate werden nur direkt gehandelt und daher sind am Markt keine Preise abzufragen.

Allerdings gibt es für die Verbesserung der Niob-Versorgung nur wenige Möglichkeiten.

Die Materialeffizienz durch Substitution und Recycling kann nur unter weitreichenden Annahmen einen nennenswerten Beitrag zur Verringerung der Nachfrage nach primärem Niob beitragen: Weder ist ein gleichwertiges Substitut für Niob in leichten, hochfesten Stählen in Sicht, noch ist ein Altproduktrecycling angesichts der geringen Konzentrationen im Stahlschrott (weniger als 1 %) und anderer wertgebender Legierungsbestandteile (z. B. Chrom, Nickel) derzeit wirtschaftlich darstellbar [EU 2013, Angerer et al. 2009, Babies et al. 2010].

3.4 Tantal

Ca. 60 % der weltweiten Tantalproduktion (ca. 1.400 Mg/a) wird für die Herstellung von Hochleistungselektrolytkondensatoren verwendet, die insbesondere in Anwendungen eingesetzt werden, bei denen große Kapazitäten mit kleiner Bauform gefordert sind. Beispiele hierfür sind miniaturisierte Stromversorgungen sowie Schaltregler hoher Leistungsdichte, wie sie unter anderem auf PC-Motherboards, in Mobiltelefonen und Laptops zu finden sind.

Weiterhin wird es vor allem als Legierungselement in Superlegierungen sowie aufgrund seiner hohen Beständigkeit für verschiedene Anwendungen in der chemischen Industrie verwendet. Deutschland importiert derzeit 100 % seines Primärtantalbedarfs (ca. 11 % der Weltjahresproduktion). Für die kommenden Jahre wird mit einem erheblichen Anstieg der Tantalnachfrage gerechnet [Graedel 2011, Wiberg/Holleman 2007]. Zudem ist eine Substitution in den meisten Fällen bisher nicht möglich.

Trotz seines hohen Preises (ca. 530 US\$/kg (>99,8 %), Stand: Mai 2013) ist die Recyclingrate von Tantal insgesamt gering. Recycling im nennenswerten Umfang findet derzeit nur im Bereich der post-production-Abfälle (Produktionsausschuss der Kondensatorherstellung, Späne, die bei der Bearbeitung von Legierungen anfallen etc.) statt. Im Bereich der post-consumer-Abfälle wird die Recyclingquote derzeit auf unter 1 % geschätzt [Graedel 2011].

3.5 Wolfram

Die Nachfrage nach Wolfram wird mit Ausnahme geringer Mengen von Sekundärmaterial durch Importe gedeckt. Bei den importierten Vorstoffen handelt es sich um Erze und Konzentrate, vor allem aber um Wolframate, Ferrowolfram und Schrott [Angerer et al. 2009, Babies et al. 2010].

Deutschland hat mit seiner metallverarbeitenden Industrie und dem Bausektor wichtige Branchen, die mit den speziellen Eigenschaften von Wolfram (Wolframcarbid-Schneidwerkzeuge) ihre Wettbewerbsfähigkeit sichern und verbessern [Angerer et al. 2009, Babies et al. 2010].

Das Recycling von Wolfram-haltigem Altschrott aus der Investitionsgüterindustrie ist weit verbreitet, aber sehr aufwendig und damit teuer.

4 Vorauswahl der Abfälle für die Befragung

Bei der Auswahl der Abfallarten, von denen bei den Betreibern von Versatzbergwerken und Deponien Analysendaten abgefragt werden sollen, wurde wie in den folgenden Unterkapiteln beschrieben, vorgegangen. Dabei wurden neben den im Deponiebau verwendeten (Verwertung) Abfallmassen auch die berücksichtigt, die auf Deponien beseitigt werden. Es erscheint nicht sinnvoll, bei den Abfallarten, die auf Deponien gelangen, bezüglich der für ein Recycling geeigneten Metallgehalte zwischen Beseitigung und Verwertung zu unterscheiden. Zudem ist ein Ziel der Studie zu prüfen, ob in den Abfällen, die auf Deponien abgelagert werden, relevante Metallfrachten enthalten sind.

In diesem Zusammenhang ist auch darauf hinzuweisen, dass wahrscheinlich sehr große Abfallmassen mit hohen Metallgehalten auf betriebseigenen Deponien oder in übertägigen Abbaustätten abgelagert werden. Zu einem großen Teil handelt es sich dabei um die gleichen Abfallarten, die auch in Bergwerken versetzt, auf Deponien abgelagert oder im Deponiebau verwendet werden. Eine Betrachtung dieser Abfälle ist aber nicht Bestandteil dieses Projekts.

4.1 Ermittlung der Massen und Metallgehalte

Als erstes wurden 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 [Statistisches Bundesamt 2013, S. 36 ff., 49 ff., 137'] [Statistisches Bundesamt 2012, S. 32 ff., 45 f., 133 f.]. Siehe hierzu Tabelle 1.1 im Anhang.

Für die Ermittlung der Analysedaten der bereits geregelten Metalle (Pb, Cu, Ni, Fe, Cr, Zn, Sn) aus der Abfallanalysendatenbank ABANDA des Landes Nordrhein-Westfalen [Nordrhein-Westfalen 2013] wurden Untergrenzen festgelegt. Die Festlegung erfolgte erst einmal anhand der derzeit gültigen Grenzwertkonzentrationen, indem – wie in der Ausschreibung genannt – 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 (siehe Tabelle 4-1). Anschließend wurden die Mittelwerte aus ABANDA abgefragt und zusammengestellt (siehe Tabelle 2.1 im Anhang).

Tabelle 4-1: Grenzwertkonzentrationen und für die Abfrage verwendete Konzentrationen der geregelten Metalle

Metall	derzeitige Grenzwertkonzentration	10 % der derzeitigen Grenzwertkonzentration	Abbauwürdigkeit Erz	Festgelegte Untergrenze für die Abfrage (Mittelwert)
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Pb	≥ 100.000	≥ 10.000	40.000 - 60.000	10.000
Cr	≥ 150.000	≥ 15.000	35.000 - 60.000	15.000
Fe	≥ 500.000	≥ 50.000	350.000 - 450.000	45.000
Cu	≥ 10.000	≥ 1.000	4.000 - 6.000	1.000
Ni	≥ 25.000	≥ 2.500	4.000 - 6.000	2.500
Zn	≥ 100.000	≥ 10.000	ca. 50.000	9.000
Sn	≥ 15.000	≥ 1.500	500.000 und kleiner	1.000

Für die Ermittlung der Analysedaten weiterer Metalle wurden Antimon, Kobalt, Mangan, Molybdän, Niob, Tantal, Vanadium und Wolfram ausgewählt und zwar anhand der Kriterien „wirtschaftlich besonders relevant“ und „zukünftige Versorgung mit (hohen) Risiken behaftet“ (siehe Kapitel 3). Im Verlaufe des Projekts wird außerdem geprüft, wie hoch das zu erwartende Vorkommen in den auf Deponien verbrachten, im Deponiebau verwendeten oder in Bergwerken versetzten Abfällen ist. Die Untergrenzen wurden zunächst sehr niedrig gewählt, da diese Metalle nicht alleine vorkommen und abgebaut werden, sondern in Kombination mit anderen Metallen, so dass keine separate Abbauwürdigkeit ermittelt werden kann (siehe Tabelle 4-2). Anschließend wurden die Mittelwerte aus ABANDA abgefragt und zusammengestellt (siehe Tabelle 3.1 im Anhang).

Tabelle 4-2: Für die Abfrage verwendete Konzentrationen der nicht geregelten Metalle

Metall	Festgelegte Untergrenze für die Abfrage (Mittelwert)
	mg/kg
Sb	1.000
Co	1.000
Mn	1.000
Mo	1.000
Nb	100
Ta	100
V	1.000
W	1.000

4.2 Auswahl

Für die Auswahl derjenigen Abfallarten, deren Analysedaten bei den Betreibern von Versatzbergwerken und Deponien abgefragt werden sollen, 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 ist 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 werden kann, 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 Tabelle 4-3 dargestellt.

Tabelle 4-3: Für die Abfrage von Analysedaten ausgewählte Abfallarten

AVV-Nr.	Abfallbezeichnung	Grund für Abfrage
6	Abfälle aus anorganisch-chemischen Prozessen	
06 03	Abfälle aus HZVA von Salzen, Salzlösungen und Metalloxiden	
06 03 13*	feste Salze und Lösungen, die Schwermetalle enthalten	Gehalte Cu, Ni, Fe, Zn, Sn über Untergrenzen
06 03 15*	Metalloxide, die Schwermetalle enthalten	Gehalte Cu, Ni, Fe, Cr, Zn, Sb, Co, Mn, Mo, V, W über Untergrenzen
06 03 16	Metalloxide, mit Ausnahme derjenigen, die unter 06 03 15* fallen	M > 50.000 Mg/a, aber keine Analysedaten in ABANDA
06 04	Metallhaltige Abfälle mit Ausnahme derjenigen, die unter 06 03 fallen	
06 04 05*	Abfälle, die andere Schwermetalle enthalten	Masse > 25.000 Mg/a und Gehalte Cu, Ni, Fe, Cr, Zn, Mn, W über Untergrenzen
06 05	Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung	
06 05 02*	Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten	Masse > 25.000 Mg/a und Gehalte Cu, Ni, Fe, Zn, Mn über Untergrenzen

AVV-Nr.	Abfallbezeichnung	Grund für Abfrage
06 05 03	Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung mit Ausnahme derjenigen, die unter 06 05 02 fallen	Masse > 25.000 Mg/a und Gehalte Ni, Zn über Untergrenzen
10	Abfälle aus thermischen Prozessen	
10 01	Abfälle aus Kraftwerken und anderen Verbrennungsprozessen (außer 19)	
10 01 01	Rost- u. Kesselasche, Schlacken u. Kesselstaub mit Ausnahme von Kesselstaub der unter 10 01 04 (Ölfeuerung) fällt	Masse > 4 Mio. Mg/a, Mn über Untergrenze
10 01 15	Rost- u. Kesselasche, Schlacken u. Kesselstaub aus der Abfallmitverbrennung mit Ausnahme derjenigen, die unter 10 01 14 fallen	Masse 90.000 Mg/a, Mn deutlich über Untergrenze
10 01 16*	Filterstäube aus der Abfallmitverbrennung, die gefährliche Stoffe enthalten	Masse > 10.000 Mg/a und Gehalt Mn über Untergrenzen
10 01 18*	Abfälle aus der Abgasbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten	Gehalte Ni, V über Untergrenzen
10 02	Abfälle aus der Eisen- und Stahlindustrie	
10 02 02	unbearbeitete Schlacke	Masse > 25.000 Mg/a und Gehalte Cu, Fe, Zn, Mn über Untergrenzen
10 02 07*	feste Abfälle aus der Abgasbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten	Masse > 10.000 Mg/a und Gehalte Pb, Cu, Ni, Fe, Zn, Mn über Untergrenzen
10 02 08	Abfälle aus der Abgasbehandlung mit Ausnahme derjenigen, die unter 10 02 07 fallen	Masse > 25.000 Mg/a und Gehalte Cu, Ni, Fe, Zn, Mn über Untergrenzen
10 02 13*	Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten	Masse > 25.000 Mg/a und Gehalte Fe, Zn, Sn, Mn über Untergrenzen
10 02 14	Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung mit Ausnahme derjenigen, die unter 10 02 13 fallen	Masse > 25.000 Mg/a und Gehalt Zn über Untergrenzen
10 04	Abfälle aus der thermischen Bleimetallurgie	
10 04 01*	Schlacken (Erst- und Zweitschmelze)	Masse > 25.000 Mg/a und Gehalte Pb, Cu, Zn über Untergrenzen
10 05	Abfälle aus der thermischen Zinkmetallurgie	
10 05 01	Schlacken (Erst- und Zweitschmelze)	Masse > 10.000 Mg/a und Gehalte Cu, Zn, Co über Untergrenzen
10 06	Abfälle aus der thermischen Kupfermetallurgie	
10 06 01	Schlacken (Erst- und Zweitschmelze)	Gehalte Cu, Zn über Untergrenzen
10 06 06*	feste Abfälle aus der Abgasbehandlung	Für fast alle Metalle keine Analysedaten in ABANDA.
10 08	Abfälle aus sonstiger thermischer Nichteisenmetallurgie	
10 08 04	Teilchen und Staub	Keine oder nur Daten von einer Analyse in ABANDA. Zn über Untergrenzen
10 08 15*	Filterstaub, der gefährliche Stoffe enthält	Daten nur von 1-5 Analysen in ABANDA. Cu, Ni, Cr, Zn, Sn, Sb, Co, Mo über Untergrenzen
10 09	Abfälle vom Gießen von Eisen und Stahl	
10 09 06	Gießformen und -sande vor dem Gießen mit Ausnahme derjenigen, die unter 10 09 05 fallen	Masse > 25.000 Mg/a und Gehalte Cu, Fe über Untergrenzen
10 09 09*	Filterstaub, der gefährliche Stoffe enthält	Höhere Gehalte an Pb, Cu, Zn
10 09 10	Filterstaub mit Ausnahme desjenigen, der unter 10 09 09 fällt	Masse > 25.000 Mg/a und Gehalt Zn über Untergrenze

AVV-Nr.	Abfallbezeichnung	Grund für Abfrage
10 10	Abfälle vom Gießen von Nichteisenmetallen	
10 10 03	Ofenschlacke	Masse > 25.000 Mg/a, aber keine bzw. Daten nur von einer Analyse in ABANDA
10 11	Abfälle aus der Herstellung von Glas und Glaserzeugnissen	
10 11 11*	Glasabfall in kleinen Teilchen und Glasstaub, die Schwermetalle enthalten (z. B. Elektronenstrahlröhren)	Daten nur von 3 Analysen in ABANDA. Pb, Zn über Untergrenzen
10 12	Abfälle aus der Herstellung von Keramikerzeugnissen und keramischen Baustoffen wie Ziegeln, Fliesen, Steinzeug	
10 12 11*	Glasurabfälle, die Schwermetalle enthalten	Daten nur von 3 Analysen in ABANDA. Pb, Ni, Zn über Untergrenzen
11	Abfälle aus der chemischen Oberflächenbearbeitung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen; Nichteisen-Hydrometallurgie	
11 01	Abfälle aus der chemischen Oberflächenbearbeitung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen (z. B. Galvanik, Verzinkung, Beizen, Ätzen, Phosphatieren, alkalisches Entfetten und Anodisieren)	
11 01 08*	Phosphatierschlämme	Höhere Gehalte an Ni, Fe, Zn, Mn
11 01 09*	Schlämme und Filterkuchen, die gefährliche Stoffe enthalten	Masse > 10.000 Mg/a und Gehalte Cu, Ni, Fe, Cr, Zn, Sn, Mn über Untergrenzen
11 02	Abfälle aus Prozessen der Nichteisen-Hydrometallurgie	
11 02 02*	Schlämme aus der Zink-Hydrometallurgie (einschließlich Jarosit, Goethit)	Masse > 25.000 Mg/a und Gehalte Cu, Fe, Zn, Mn über Untergrenzen
12	Abfälle aus Prozessen der mechanischen Formgebung sowie der physikalischen und mechanischen Oberflächenbearbeitung von Metallen und Kunststoffen	
12 01	Abfälle aus Prozessen der mechanischen Formgebung sowie der physikalischen und mechanischen Oberflächenbearbeitung von Metallen und Kunststoffen	
12 01 04	NE-Metallstaub und -teilchen	Daten nur von 1-2 Analysen in ABANDA. Ni, Co, V über Untergrenzen
12 01 14*	Bearbeitungsschlämme, die gefährliche Stoffe enthalten	Gehalte Cu, Ni, Fe, Cr, Zn, Sn, Co, Mn über Untergrenzen
12 01 15	Bearbeitungsschlämme mit Ausnahme derjenigen, die unter 12 01 14 fallen	Bis auf eine Fe-Analyse keine Analysedaten in ABANDA. Diese extrem hoch
12 01 16*	Strahlmittelabfälle, die gefährliche Stoffe enthalten	Masse > 10.000 Mg/a und Gehalte Fe, Mo über Untergrenzen
16	Abfälle, die nicht anderswo im Verzeichnis aufgeführt sind	
16 08	Gebrauchte Katalysatoren	
16 08 02*	gebrauchte Katalysatoren, die gefährliche Übergangsmetalle oder deren Verbindungen enthalten	Gehalte an Cu, Ni, Zn, Co, Mn, Mo, V, W über Untergrenzen
16 08 03	gebrauchte Katalysatoren, die Übergangsmetalle oder deren Verbindungen enthalten, a. n. g.	Daten nur von 2-6 Analysen in ABANDA. Cu, Ni, V über Untergrenzen
16 08 07*	gebrauchte Katalysatoren, die durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind	Daten nur von 2-5 Analysen in ABANDA. Ni, Co über Untergrenzen
16 11	Gebrauchte Auskleidungen und feuerfeste Materialien	

AVV-Nr.	Abfallbezeichnung	Grund für Abfrage
16 11 03*	andere Auskleidungen und feuerfeste Materialien aus metallurgischen Prozessen, die gefährliche Stoffe enthalten	Gehalte Cu, Sn über Untergrenzen
16 11 05*	Auskleidungen und feuerfeste Materialien aus nichtmetallurgischen Prozessen, die gefährliche Stoffe enthalten	Masse > 10.000 Mg/a und Gehalte Fe, Sb, Mn über Untergrenzen
19	Abfälle aus Abfallbehandlungsanlagen, öffentlichen Abwasserbehandlungsanlagen sowie der Aufbereitung von Wasser für den menschlichen Gebrauch und Wasser für industrielle Zwecke	
19 01	Abfälle aus der Verbrennung oder Pyrolyse von Abfällen	
19 01 05*	Filterkuchen aus der Abgasbehandlung	Masse > 25.000 Mg/a und Gehalte Zn, Mn über Untergrenzen
19 01 11*	Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken, die gefährliche Stoffe enthalten	Masse > 25.000 Mg/a und Gehalte Cu, Zn über Untergrenzen
19 01 12	Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 01 11 fallen	Masse > 25.000 Mg/a und Gehalte Cu, Fe, Mn über Untergrenzen
19 01 13*	Filterstaub, der gefährliche Stoffe enthält	Masse > 25.000 Mg/a und Gehalte Cu, Zn, Mn über Untergrenzen
19 01 15*	Kesselstaub, der gefährliche Stoffe enthält	Masse > 25.000 Mg/a und Gehalte Zn, Mn über Untergrenzen
19 02	Abfälle aus der physikalisch-chemischen Behandlung von Abfällen (einschließlich Dechromatisierung, Cyanidentfernung, Neutralisation)	
19 02 04*	vorgemischte Abfälle, die wenigstens einen gefährlichen Abfall enthalten	Masse > 25.000 Mg/a und Gehalte Cu, Zn, Sb, Mn über Untergrenzen
19 02 05*	Schlämme aus der physikalisch-chemischen Behandlung, die gefährliche Stoffe enthalten	Masse > 25.000 Mg/a und Gehalte Cu, Ni, Fe, Zn, Mn über Untergrenzen
19 02 06	Schlämme aus der physikalisch-chemischen Behandlung mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 02 05 fallen	Masse > 25.000 Mg/a und Gehalte Cu, Ni, Cr, Zn, Sb, V über Untergrenzen
19 02 11*	sonstige Abfälle, die gefährliche Stoffe enthalten	Masse > 10.000 Mg/a und Gehalte Cu, Zn über Untergrenzen
19 03	Stabilisierte und verfestigte Abfälle	
19 03 05	stabilisierte Abfälle mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 03 04 fallen	Masse > 25.000 Mg/a und Gehalte Cu, Zn über Untergrenzen
19 03 06*	als gefährlich eingestufte verfestigte Abfälle	Masse > 25.000 Mg/a und Gehalte Pb, Zn über Untergrenzen
19 03 07	verfestigte Abfälle mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 03 06 fallen	Masse > 25.000 Mg/a, aber nur Daten von 2-3 Analysen in ABANDA. Cu über Untergrenze
19 08	Abfälle aus Abwasserbehandlungsanlagen a. n. g.	
19 08 13*	Schlämme, die gefährliche Stoffe aus einer anderen Behandlung von industriellem Abwasser enthalten	Masse > 25.000 Mg/a und Gehalte Cu, Ni, Fe, Co, Mn über Untergrenzen
19 08 14	Schlämme aus einer anderen Behandlung von industriellem Abwasser mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 08 13 fallen	Masse > 25.000 Mg/a und Gehalte Cu, Fe, Sn über Untergrenzen
19 10	Abfälle aus dem Schreddern von metallhaltigen Abfällen	
19 10 04	Schredderleichtfraktion und Staub mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 10 03 fallen	Masse > 10.000 Mg/a und Gehalte Cu, Zn über Untergrenzen
19 12	Abfälle aus der mechanischen Behandlung von Abfällen (z. B. Sortieren, Zerkleinern, Verdichten, Pelletieren) a. n. g.	
19 12 11*	Sonstige Abfälle (einschließlich Materialmischungen) aus der mechanischen Behandlung von Abfällen, die gefährliche Stoffe	Masse > 25.000 Mg/a und Gehalte Cu, Zn über Untergrenzen

AVV-Nr.	Abfallbezeichnung	Grund für Abfrage
	enthalten	
19 12 12	Sonstige Abfälle (einschließlich Materialmischungen) aus der mechanischen Behandlung von Abfällen mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 12 11 fallen	Masse > 25.000 Mg/a und Gehalte Cu, Zn, Mn über Untergrenzen

Unter Zugrundelegung der höchsten Gesamtmassen der ausgewählten Abfallarten, die in einem Jahr (2011 oder 2010) versetzt, auf Deponien verbracht und im Deponiebau verwendet wurden, sind in Tabelle 4.1 im Anhang die dadurch verloren gegangenen Massen der einzelnen Metalle zusammengestellt. Dabei handelt es sich um sehr grobe Angaben, die mit großen Unsicherheiten behaftet sind, da keine Verknüpfung der jeweiligen Metallkonzentration mit der zugehörigen Masse vorliegt, sondern nur die Gesamtmasse der Abfallart mit dem jeweiligen Mittelwert der enthaltenen Metallkonzentration multipliziert werden konnte. Selbst wenn es sich um gesicherte Angaben handeln würde, könnten diese nur Anhaltspunkte für eine weitere Priorisierung der zu betrachtenden Abfallarten liefern. Denn für die Relevanz einer Abfallart ist zwar die verlorene Masse der enthaltenen Metalle von besonderer Bedeutung. Für die Wirtschaftlichkeit von Recyclingverfahren sind aber vor allem die Höhen der enthaltenen Metallkonzentrationen relevant. Mit einer Abfallart, von der beispielsweise mehr als eine Million Megagramm versetzt, auf Deponien verbracht oder im Deponiebau verwendet werden, gehen natürlich – auch bei „geringen“ Metallkonzentrationen - hohe Gesamtmassen einzelner Metalle verloren, was aber nicht heißt, dass das Recycling dieser Abfallart unter den derzeit herrschenden Bedingungen wirtschaftlich tragbar wäre. Hingegen kann das Recycling der in einer Abfallart enthaltenen Metalle durchaus wirtschaftlich sein, auch wenn von dieser Abfallart deutlich geringere Massen versetzt, auf Deponien verbracht oder im Deponiebau verwendet werden, wenn die enthaltenen Metallkonzentrationen entsprechend hoch sind.

5 Recyclingverfahren

5.1 Übersicht

Die Beschreibung der Verfahren zur Aufkonzentration und/oder Abtrennung sowie die Möglichkeiten der mechanischen Aufbereitung von Altmetallen erfolgt in den folgenden Unterkapiteln.

Zunächst wurden die derzeit in Deutschland und angrenzenden Nachbarländern betriebenen Verfahren zur Metallaufbereitung recherchiert und beschrieben [vgl. auch Öko-Institut 2007 und IFEU 2007].

In einem zweiten Schritt wurden in Gesprächen (Telefonaten) mit den Betreibern der Anlagen Informationen zu dem Anlageninput (Art, Menge und Zusammensetzung der Abfälle) und den Voraussetzungen an Abfälle abgefragt, die für eine Aufbereitung erfüllt sein müssen (Metallgehalte, störende Verunreinigungen, chemische Bindungsformen u. ä.).

Tabelle 5-1 zeigt eine Übersicht der Anlagen.

Tabelle 5-1: Recyclingprozesse für die Aufbereitung von metallhaltigen Abfällen [vgl. auch Öko-Institut 2007 und IFEU 2007]

Name	Prozess	Aktiv	Standort	Bemerkung
DK Recycling und Roheisen GmbH	DK-Prozess	Ja	Duisburg Hochfeld	http://www.dk-duisburg.de/de/prozess/prozess.html Rückführung von etwa jährlich 500.000 Mg eisenhaltiger Reststoffe in Form von hauptsächlich Gießereiroheisen und Nebenprodukten.
Citron AG	Oxyreducer - Prozess	Nein	Le Havre	Insolvenz 2011, weitere Nutzung der Methode unbekannt. Dieses Verfahren wird im Folgenden nicht weiter betrachtet. Zudem stehen in Deutschland andere etablierte metallurgische Verfahren zur Verfügung
Befesa Steel & Galvanization (Befesa S&G)				Das Industrieabfallmanagement von Befesa ist in drei Geschäftsbereiche eingeteilt: Integraler Umweltservice für die Industrie; Recycling von Aluminiumabfällen und Recycling von Stahl- und Galvanisierungsabfällen. In diesen letzteren Bereich wurden die ehemaligen Verfahren von der B.U.S. Steel Services GmbH integriert. In 2011 wurden insgesamt 649.352 Mg Abfall bearbeitet, von denen 83,8 % (544.460 t) auf Staubabfälle aus der gewöhnlichen Stahlproduktion entfallen, eine Steigerung von 12,7 % gegenüber 2010, wodurch der Verbrauch von etwa 222.000 Mg Zink verhindert werden konnte und dem Produktionskreislauf fast 122.122 Mg wieder zugeführt wurden. Außerdem wurden 88.658 Mg von Stäuben aus der Produktion von rostfreiem Stahl verarbeitet (entspricht 3,5 % Zunahme gegenüber), unter Erhalt des Eisen- und Metallanteils mit hohem Wirtschaftswert wie Nickel und Chrom. http://www.befesa-steel.com/web/de/empresa/presentacion/localizacion/index.html
Befesa Zinc S.A.U.	Wälzverfahren	Ja	Befesa Zinc Aser	http://www.befesa-steel.com/web/de/servicios/tecnologia/horno_rotatorio/index.html
		Ja	Befesa Zinc Duisburg	http://www.befesa-steel.com/web/de/servicios/tecnologia/horno_rotatorio/index.html
		Ja	Befesa Zinc Freiberg	http://www.befesa-steel.com/web/de/servicios/tecnologia/horno_rotatorio/index.html
	Elektroreduktionsverfahren	Ja	Befesa Valera	Ehemals B.U.S. Steel Services GmbH, gehören seit 2007 Befesa Steel Services GmbH; 100 % von B.U.S. Steel Services GmbH aufgekauft http://www.befesa.com/web/en/prensa/historico_de_noticias/2007/20071122.html Edelstahlwerkstäube, Walzenzunder sowie sonstige chrom- und nickelhaltigen Abfälle

Name	Prozess	Aktiv	Standort	Bemerkung
	Plasmaverfahren	Ja	Befesa Scandust (Landskrona-Schweden)	Ehemals B.U.S. Steel Services GmbH, gehören seit 2007 Befesa Steel Services GmbH; 100 % von B.U.S. Steel Services GmbH aufgekauft http://www.befesa-steel.com/web/de/servicios/tecnologia/plasma/index.html Edelstahlwerkstäube, Walzenzunder sowie sonstige chrom- und nickelhaltigen Reststoffe
	Verfahren im Bereich der Verzinkung	Ja		Asche, Zinkrückstände aus der Feuerverzinkung, Zinkschrott oder andere Abfälle mit einem hohen metallischen Zinkgehalt http://www.befesa-steel.com/web/de/servicios/tecnologia/area_galvanizacion/index.html
PRIMUS	Wälzverfahren	?	Luxemburg	Nicht mehr auffindbar! Wird nicht näher betrachtet, da alternativ das Wälzverfahren in Deutschland an drei Standorten betrieben wird.
Umicore	integrierter Edelmetallhütte in Hoboken	Ja	Hoboken bei Antwerpen (Belgien)	Insbesondere auf Edelmetalle spezialisiert. Kontakt zu Umicore hergestellt, um abzuklären, inwieweit dort auch metallhaltige Abfälle recycelt werden können.
Berzelius Metall GmbH	Sekundärbleihütten Berzelius	Ja	Stolberg, Braubach	http://www.berzelius.de/berzelius/bsb/?navid=3
	Sekundärbleihütte mit integrierter Sonderabfallverbrennungsanlage	Ja	MRU Freiberg	http://www.berzelius.de/berzelius/mru/?navid=4
Nickelhütte Aue		Ja	Aue	Recycling von Abfällen aus der Oberflächentechnik und Metallverarbeitung (Schlämme / Filterkuchen, Stäuben, Aschen Salzen Säuren und Lösungen) mit vorwiegend folgenden Metallgehalte: Nickel; Kobalt; Kupfer; Zink; Vanadium; Molybdän; Wolfram. http://www.nickelhuetten-aue.de
Aurubis		Ja		Aurubis verarbeitet jährlich etwa 650.000 Mg Recyclingrohstoffe unter anderem: Blankdrahtschrotte, edelmetallhaltige Kupferschrotte, Kupfergranulate, NE-Metallshredder, Kupfer- und Aluminium-Kabelschrotte, Kupfer-Blei-Granulat, Zinn-/Bleihaltige Recyclingrohstoffe, Bleischrotte, Kupfer-Eisen-Material, Kupferhaltige Rückstände (Schlacken, Krätze, Aschen, Stäube, sonstige Schlämme), Metallhydroxid-Schlämme, Gießereisande, Katalysatoren Materialien aus der Entsorgungsindustrie http://www.aurubis.com/de/geschaeftsfelder/rohstoffe/recycling/metallrecycling/ Neben Hamburg und Lünen werden weiterhin an den Standorten in Olen und Pirdop Kupferschrotte eingesetzt.
	Metall-Recycling Hamburg (ehemals Norddeutsche Affinerie AG (Kupfer))	Ja	Hamburg	

Name	Prozess	Aktiv	Standort	Bemerkung
	Sekundärkupferhütte Aurubis (ehemals Hüttenwerke Kayser)	Ja	Lünen	http://www.aurubis.com/de/verantwortung/umweltschutz/standorte/luenen/
Harz-Metall GmbH Goslar (Zink) und NORZINCO GmbH - Harzer Zinkoxide	Wälzverfahren	Ja	Goslar	Gehört nun zur Recyclex Group zinkhaltige Einsatzstoffe http://www.recyclex-germany.com/
Siegfried Jacob Metallwerke GmbH		Ja	Ennepetal	Recycling von Abfällen aus der Oberflächentechnik und Metallverarbeitung (Schlämmen / Filterkuchen, Stäuben, Aschen Salzen Säuren und Lösungen) mit vorwiegend folgenden Metallgehalte: Nickel; Kobalt; Kupfer; Zink; Vanadium; Molybdän; Wolfram
Weser Metall GmbH		Ja	Nordenham	Recyclex Group Blei und Zink Einsatzstoffe u.a. Asche
Norzinco GmbH	New Jersey-Verfahren	Ja	Goslar	Einsatzstoffe: Feinzink, Altzink, Umschmelzzink Mindestkonzentrationen: mit 1. Nebenelement: → Cadmiumgehalt ≤ 300 g/t mit 2. Nebenelement: → keine nuklearen Verunreinigungen Endprodukte: Zinkoxid, Zinkstaub http://www.recyclex-germany.com/de/norzinco/verfahren.html
SRP Saarländische Rohprodukte GmbH		Ja	Homburg	Eingangsprодукte: • Altschrotte und -metalle aus privater, gewerblicher und öffentlicher Sammlung, • Altschrotte und -metalle aus Demontage und Abbruchmaßnahmen, • Neuschrotte und -metalle aus Produktion sowie • Neuschrotte und -metalle aus Be- und Verarbeitungsprozessen Aufnahmekapazität: • 500.000 t/a Stahlschrott • 35.000 t/a Buntmetalle http://www.srp-online.com/hmd.html
Thyssen-Krupp	OXYCUP –Roheisenerzeugung nach dem Zero-Waste-Prinzip	Nein		Verfahren, mit der sich Eisen aus Reststoffen zurückgewinnen lässt. Bisher wurde keine Firma recherchiert, die dieses Verfahren betreibt.
DESTIMET Green Ser-	EcoScan-Verfahren	Ja	Bitterfeld-Wolfen	Anlage zur Behandlung von mit organischen Verbindungen verunreinigten Metallen, Metallspänen, Walzzunder und Bohrschlämmen zum Zweck der Rückgewinnung von Metallen,

Name	Prozess	Aktiv	Standort	Bemerkung
vices GmbH				Metallverbindungen und Ölen http://www.destimet.com/index.html#&panel1-2

Die Rückgewinnung von Metallen aus komplexen Reststoffen ist eine zentrale Herausforderung von zukünftigen Reststoff- und Materialflussstrategien. Das Recycling von Metallen aus metallischen Schrotten wird allerdings schon seit Jahrhunderten betrieben, da sich Metalle leicht schmelzen lassen bzw. die Fremdstoffe verschlackt werden können. Reststoffe mit mittlerem bis niedrigem Metallgehalt (oder Metalloxiden) stellen allerdings bedeutend höhere Herausforderungen dar.

Wie in den nachfolgenden Unterabschnitten ausgeführt, stellt sich die heutige Situation bzgl. der Aufbereitungsverfahren zur Aufkonzentration der verschiedenen Metalle, die im Rahmen dieser Untersuchung als relevant für die vier Produktgruppen identifiziert wurden, sehr unterschiedlich dar. Das Gleiche gilt für metallurgische Gewinnungsverfahren sowie metallurgische Aufbereitungskapazitäten in Deutschland und im nahen Ausland. Dies wird durch Untersuchungen des Öko-Instituts in dem Projekt [UNEP 2009] bestätigt.

Allerdings lassen sich in den letzten 2 - 3 Jahren Veränderungen erkennen und weitere Fortschritte sind zu erwarten (siehe im Detail hierzu in den folgenden Unterabschnitten).

Die Recherchen zeigen, dass derzeit in Deutschland gegenüber den Literaturstudien und Informationen aus 2007 scheinbar kaum neue Metallaufbereitungsanlagen in Betrieb sind.

5.2 DK Prozess

Die DK Recycling und Roheisen (DK), Duisburg betreibt ein Hüttenwerk, in dem besonders eisenhaltige Abfälle weiter verarbeitet werden* und etwa jährlich 500.000 Mg Metalle rückgeführt werden. Der Gehalt an Eisen sollte möglichst um die 30 % und größer sein.

Folgende Reststoffe werden im DK-Verfahren eingesetzt

- Filterstäube und Schlämme aus Gasreinigungen,
- Gichtgasstäube und -schlämme,
- Abbrände,
- Grober Walzenzunder und Walzenzunderschlamm und
- Eisenhaltige Reststoffe aus der chemischen Industrie und der Nichteisenmetallindustrie.

Nebenbei können diese Abfälle auch Gehalte an Zink und Blei enthalten. Reststoffe mit Zinkgehalten unter 10 % können verwertet werden.

Das DK-Verfahren, das im Vergleich zum herkömmlichen Hochofenprozess in der Prozessführung den eingesetzten Sekundärrohstoffen angepasst wird, besteht aus sechs Prozessstufen:

- Mischen der eisenhaltigen Abfälle mit Koksruß zur Sintermischung,
- Agglomerieren der Mischung,
- Reduktionsschmelzen des Sinters mit Kalk und Koks (Hochofen zu Roheisen),
- Legierungseinstellung des Roheisen im Induktionsofen,
- Gichtgasentstaubung¹,

¹ Das gereinigte Gichtgas wird im eigenen Kraftwerk verstromt und für das Vorwärmen der in den Hochofen eingeblasenen Luft verwendet.

- Reinigung in Trocken- und Nassreinigungsstufen.

Neben der Roheisenerzeugung ist die Zinkgewinnung von großer Bedeutung. Die hohen Zinkeinträge aus den Rohstoffen werden mit dem Abgas ausgetragen und in den Gichtgasschlammern abgeschieden. Es werden damit Zinkkonzentrate mit einem Zinkgehalt von 65 – 68 % hergestellt. Diese werden als Sekundärrohstoffe in der Verhüttung eingesetzt. Für Gichtgasschlämme stellt das Verfahren eine Alternative zur sonst üblichen Ablagerung dar. Folgende Produkte werden erzeugt:

- Gießereiroheisen (Verwendung in Gießereien),
- Hochofenschlacke (Verwendung als Baustoff),
- Gichtgas (Verwendung als Brennstoff),
- Zinkoxidkonzentrat mit über 60 % Zink (Einsatz in Metallhütten),
- geringe Mengen Rohblei.

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

5.3 Wälzverfahren im Drehrohrofen

Das Wälzverfahren wird als Prozess zur Zinkanreicherung von zinkhaltigen Reststoffen, insbesondere Stahlwerksstäuben, 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 [Öko-Institut 2007].

In Deutschland werden drei Anlagen betrieben, in denen überwiegend Stahlwerksstäube aufbereitet werden (Befesa Zinc Duisburg GmbH in Duisburg, Befesa Zinc GmbH in Freiberg und Harz-Metall GmbH, Goslar). Die beiden Anlagen der Befesa Zinc besitzen zusammen eine Kapazität von 310.000 Mg/a. Eine weitere Anlage wird in Fouquières-lès-Lens (Frankreich) von Recytech SA betrieben. Dort werden 45.000 Mg Wälzoxid im Jahr hergestellt.

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 Eisensfraktion 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.

Das Kernstück der Anlage ist der Drehrohr-Ofen, in dem die Rohstoffe mit Koks und Zuschlägen bei Temperaturen bis zu 1.200°C aufgeheizt werden. Die Zink-, Blei- und Schwermetalloxide werden reduziert, verdampfen und werden in den nachfolgenden Prozessschritten aus dem Gasstrom abgeschieden und aufbereitet. Als Produkt entsteht ein Granulat mit einem hohen Anteil an Zinkoxid. Häufig findet auch eine Laugung statt, um den Chlorgehalt im Wälzoxid zu senken und den Zinkgehalt zu erhöhen (65 – 68 %). Bei den beiden Prozessen in Duisburg und Freiberg erreicht man eine höhere Zinkausbeute, bei gleichzeitiger Reduktion des Energieverbrauchs mittels des SDHL-Verfahrens (Nutzung der Energie aus der Oxidation des elementaren Eisens in der Schlacke). Die Schlacke wird u. a. als Deponiebaustoff genutzt.

5.4 Sekundärhütten Berzelius

Die Berzelius-Gruppe mit Hauptsitz im rheinischen Braubach ist eines der größten Bleirecycling-Unternehmen weltweit. In einer Sekundärbleihütte, die nach dem KTO-Verfahren arbeitet, werden verbrauchte Bleiakkumulatoren, Altblei, bleihaltige Rückstände und Strahlsände sowie kaschierte Bleifolien und Bildschirmglas recycelt. Diese werden mittels Verhüttung bei ca. 1.200°C in sog. Kurztrommelöfen eingeschmolzen. Es entsteht Werkblei oder Mischzinn sowie Schlacke. Als letzter Bearbeitungsschritt erfolgt die pyrometallurgische oder elektrolytische Refination des gewonnenen Bleis. Dieses wird wiederum zum Teil für Bleilegierungen aufbereitet.

Am zweiten Standort Stolberg wird aus Konzentraten und Rückständen nach dem QSL-Verfahren² Blei erzeugt, das aus primären aber auch sekundären Quellen stammen kann.

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]. Die Sekundärbleihütte in Freiberg hat zudem durch ihre integrierte Sonderabfallverbrennungsanlage für gefährliche Abfälle ein Alleinstellungsmerkmal in Deutschland. Neben nicht recycelbaren Kunststoffen aus der Akkuschrötaufbereitung werden hier schadstoffreiche Abfälle energetisch verwertet [Öko-Institut 2007].

5.5 Varta Recycling GmbH

Die VARTA Recycling GmbH in Krautscheid (Westerwald) betreibt eine Bleirecycling-Anlage. Sie wurde im Jahr 2002 von Johnson Controls übernommen. Im Schachtofen wird Werkblei aus Bleiakkumulatoren, aus Rückständen der Akkumulatorenfertigung und sonstigen bleihaltigen Abfällen³ zurückgewonnen. Hergestellt werden: Hartbleilegierungen (Blei-Antimon- und Blei-Calcium-Legierungen) und Weichblei: insgesamt rund 40 000 Tonnen pro Jahr; Bleioxide (Bartonsstaub/Batterieoxid und Bleimennige) werden durch Oxidation von Fein- und Weichblei produziert: etwa 21 000 Tonnen pro Jahr.

Die sogenannte Beschickung – Batterieschrott plus Zusatzstoffe – wandert im Schachtofen mit steigender Temperatur langsam nach unten. Dabei vollzieht sich in mehreren Stufen der Verhüttungsprozess. In einer Reihe chemisch-physikalischer Vorgänge wird das enthaltene Blei von den übrigen Stoffen getrennt.

Etwa 95 % der Schlacke, die im Schachtofen entsteht, wird als sogenannte Retourschlacke wieder in den Verhüttungsprozess zurückgegeben. Die überschüssige Schlacke ist nicht wasserlöslich und kann wegen ihrer guten bauphysikalischen Eigenschaften für spezielle Tiefbauzwecke eingesetzt werden. Nach Angaben von Johnson Controls wird die überschüssige Schlacke mittlerweile deponiert, da der Einsatz als Baumaterial nicht mehr erlaubt sei [Ortner 2014].

² QSL-Verfahren, benannt nach seinen Erfindern Paul E. Queneau, Reinhard Schuhman und Lurgi AG.

³ Nach Angaben von Johnson Controls ist die Hütte als Anlage zur Produktion von Blei aus Batterien genehmigt, aber nicht als Anlage zur (Mit-)Verbrennung von Abfällen. Daher können externe sonstige bleihaltige Abfälle nicht recycelt werden [Ortner 2014].

Der bleihaltige Filterstaub wird durch eine extern durchgeführte, hydrometallurgische Vorbehandlung in Bleikarbonat überführt, das wieder als Rohstoff in den Schachtofenprozess eingeführt wird.

5.6 Verfahren im Bereich der Verzinkung

Unter dem Dach von Befesa werden auch Reststoffe aufbereitet, welche beim Verzinkungsprozess anfallen, wie Asche, Zinkrückstände aus der Feuerverzinkung, Zinkschrott oder andere Abfälle mit einem hohen metallischen Zinkgehalt.

Die Aschen und Oberschlacken werden einer Mahlung und Siebung zugeführt, um die metallischen von den nicht-metallischen Bestandteilen zu trennen.

Die metallreiche Fraktion aus der Mahlung und Siebung sowie der Zinkschrott werden im Drehofen geschmolzen, um weitere Unreinheiten aus dem Zink zu entfernen und somit Sekundärzink zu gewinnen.

Die beim Feuerverzinken entstehenden metallischen Zinkrückstände werden im indirekten Verfahren zu Zinkoxid verarbeitet. Zunächst werden sie im Drehofen geschmolzen und anschließend in Destillationsöfen überführt, in denen das Zink in einer Brennkammer zu Zinkoxid oxidiert wird.

5.6.1 Elektroreduktionsverfahren

Befesa betreibt in Gravelines/Frankreich eine Anlage zum Recycling von Stahlwerkstäuben, Walzzunder sowie sonstigen chrom- und nickelhaltigen Reststoffen. Insbesondere recycelt diese Anlage auch Stäube aus der Edelstahlherstellung. Das Verfahren gehörte ehemals der B.U.S. Steel Services GmbH und gehört seit 2007 der Befesa.

Kernstück der Anlage ist der Lichtbogenofen, dem die pelletierten Reststoffe gemeinsam mit Koks und Schlackebildnern zugeführt werden. 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].

5.6.2 Plasmaverfahren

Das Plasmaverfahren basiert zwar auf einer anderen Technologie als das Elektroreduktionsverfahren, weist aber hinsichtlich des Inputs⁴ und Outputs Ähnlichkeiten auf.

Zur Vorbereitung wird der Staub in Silos zwischengelagert und analysiert. Der Staub wird mit Wasser und Schlackebildnern gemischt und indirekt vorgetrocknet. Das so vorbereitete Material wird über drei Plasmageneratoren in den Ofen injiziert und geschmolzen.

Aufgrund der sehr hohen Temperaturen von bis zu 5.000°C können zu über 80 % Chrom, Nickel, Molybdän und Eisen zur Wiederverwendung in der Edelfertigung zurückgewonnen werden. Das abgestochene Recyclingmetall wird entweder in Form von Granalien bzw. größeren Blöcken wieder zurück in den Markt gebracht. Zink und Blei werden als Stäube abgeschie-

⁴ Edelfertwerkstäube, Walzenzunder sowie sonstige chrom- und nickelhaltigen Reststoffe

den und können ebenfalls recycelt werden. Die Schlacke wird z. B. im Straßen- und Wegebau eingesetzt.

In Schweden betreibt die Befesa eine Anlage nach dem Plasma-Verfahren zur Behandlung von Stahlwerksstäuben, v. a. aus der Edelstahlherstellung, Walzzunder sowie sonstigen chrom- und nickelhaltigen Reststoffen.

5.6.3 Metallhütte von Umicore

In 2011 hat Umicore (www.preciousmetals.umicore.com) am Standort Hoboken bei Antwerpen eine pyrometallurgische Anlage mit einer Inputkapazität von 7.000 Mg/a Lithium-Ionenbatterien und Nickelmetallhydrid Batterien in Betrieb genommen. Diese Anlage wird mit gemischtem Input von Kobalt- und nickelhaltigen Batterien gespeist. Eingesetzt werden zurzeit vor allem Batterien von Notebooks, Mobiltelefonen und Powertools. Die Anlage ist jedoch auch für die Verarbeitung von Batteriezellen aus dem Automobilbereich vorgesehen.

Aus dem Schmelzprozess wird bei hohen Temperaturen als Hauptprodukt eine kobalt-/nickel-/kupferreiche Legierung erhalten. Als wesentliches Nebenprodukt wird eine Schlacke produziert, die in der Baustoffindustrie (Zuschlagstoff für Zementproduktion) eingesetzt wird. Die aus dem Prozess gewonnene Legierung wird in einer bestehenden Kobalt/Nickel-Refininganlage im belgischen Olen von Verunreinigungen wie Eisen- und Mangan befreit. Als Hauptprodukte entstehen reine Nickel- und Kobaltsalze (z. B. Sulfate), die erneut für die Produktion von Kathodenmaterial für Batterien eingesetzt werden. Als wichtiges Nebenprodukt des Prozesses fällt sogenannter Kupferzement an, der in Antwerpen zu reinem Kupfer weiterverarbeitet wird.

Im Rahmen dieser Untersuchung wird die Metallhütte von Umicore am Standort Hoboken voraussichtlich nicht näher betrachtet, da das Hauptziel der Anlage die Erzeugung von Edelmetallen (v. a. Gold, Silber, Platin, Palladium, Rhodium) ist. Wenn man die Scheidekapazitäten in Relation zu den Rohstoffpreisen setzt, stellt man fest, dass mit den für dieses Projekt relevanten Stoffen wie Kupfer, Nickel und Blei weniger als 10 % der Wertschöpfung erzielt werden kann. Damit ist die Anlage von Umicore für die hier betrachteten Abfälle, die über keine relevanten Anteile an Edelmetallen verfügen, nicht von Bedeutung.

Interessant wäre die Anlage lediglich für die gebrauchten Katalysatoren (AVV-Nr. 16 08 02*, 16 08 05* und 16 08 07*). Diese stellen jedoch eine äußerst heterogene Gruppe mit einer Gesamtmenge von nur rund 8.000 Mg dar, so dass eine Betrachtung im Rahmen dieses Projekts nicht zielführend ist.

5.7 Nickelhütte Aue

Die Nickelhütte Aue (www.nickelhuetten-aue.de) recycelt Ni-, Cu-, Co-, Zn-, W-, Mo-, V- und Pb-haltige Katalysatoren, Stäube, Schlämme, Salze, Säuren und Lösungen sowie weitere Reststoffe. Die Nickelhütte Aue bezieht neben anfallenden Abfällen in Deutschland auch Sekundärrohstoffe aus dem Ausland.

Sie verfügt über eine Vielzahl von pyro-hydrometallurgischen Verbundanlagen, u. a. über Röstöfen, einen Schmelzofen und eine Elektrolyse. Je nach Stoffeigenschaften durchlaufen die eingesetzten Reststoffe eine oder mehrere dieser Prozessstufen. Neben der Sekundärstoffaufbereitung umfasst die Nickelhütte Aue auch die Produktion von Nickel-, Kupfer- und Cobaltchemikalien und verschiedene Legierungen (z. B. Rotguss-, Messing- und Bronzelegierungen). Rohstoffe hierfür sind u. a. die aufbereiteten Abfälle und Sekundärrohstoffe [Öko-Institut 2007].

End- oder Zwischenprodukte sind u. a.: Edelmetallkonzentrate, NE-Metall-Konzentrate (v.a. Ni, Co, Mo und V), Kupfersulfat, Nickelsulfat, Kobaltsulfat, verschiedene Legierungen und Reinelemente.

Nickel kann sowohl pyrometallurgisch als auch hydrometallurgisch aufbereitet werden. In der Pyrometallurgie werden vor allem Galvanikschlämme, Katalysatoren, Schleifschlämme und Stäube zu metallhaltigen Konzentraten aufbereitet, die dann intern oder extern weiter behandelt werden [Öko-Institut 2007]. Der pyrometallurgische Prozess erzeugt überdies Wärme, welche den Eigenbedarf der Nickelhütte selbst deckt und noch an andere Unternehmen in Aue abgeben werden kann.

In der Hydrometallurgie werden aus Katalysatoren, Nickelrohsulfaten, Schleifschlamm und Galvanikschlamm Nickel- und Kobaltchemikalien hergestellt, die wiederum in die Katalysator- oder Galvanikindustrie abgegeben werden [Öko-Institut 2007].

Die folgende Abbildung zeigt den Prozess der Nickelhütte in Aue.

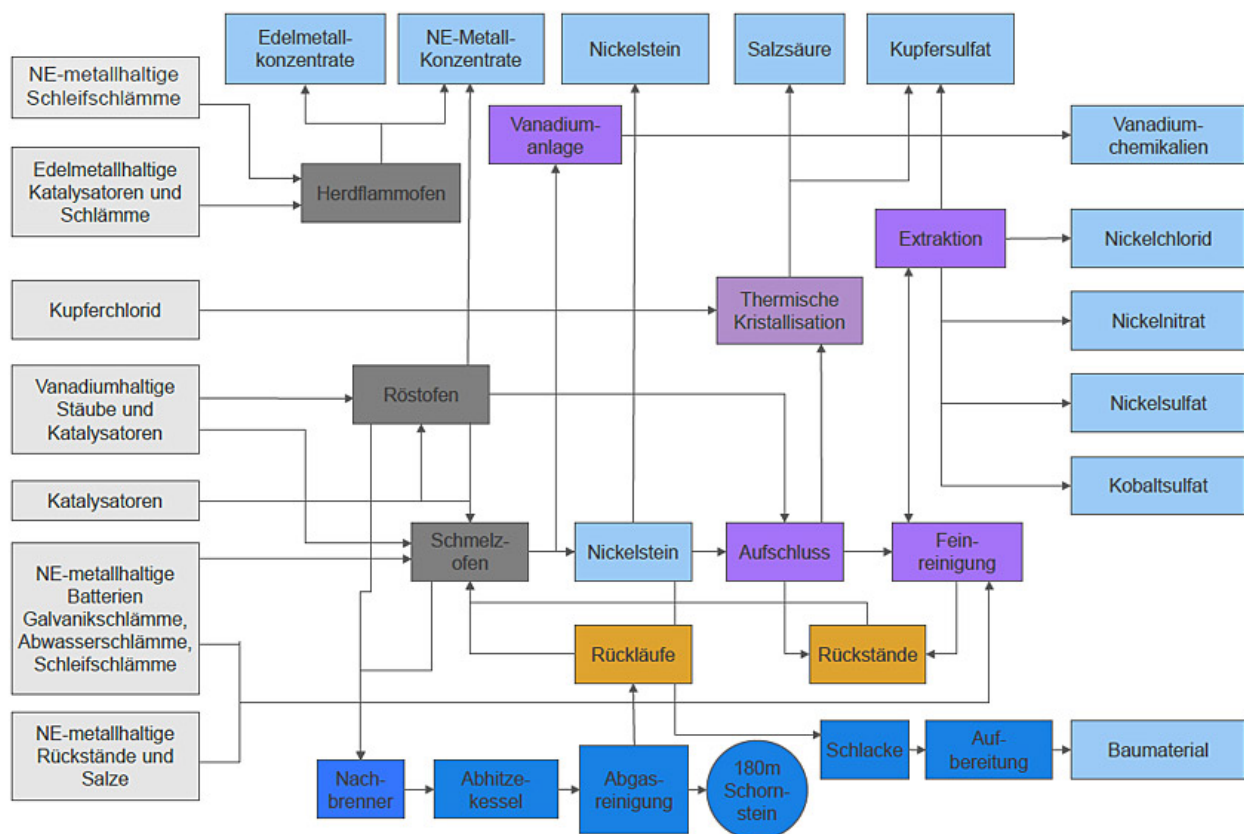


Abbildung 5-1: Prozessflussbild Nickelhütte GmbH [Quelle: Nickelhütte GmbH]

Die Nickelhütte Aue gehört zu der Unternehmensgruppe Siegfried Jacob Metallwerke (SJM).

5.8 Sekundärkupferhütte in Lünen Aurubis

Der deutsche Kupferkonzern Aurubis (www.aurubis.com) hat in 2011 am Standort Lünen in Nordrhein-Westfalen seine gesamte Recyclingkapazität wegen der stark wachsenden Mengen von Elektronikschrott deutlich erhöht. Der Durchsatz im bestehenden KRS-Badschmelzofen⁵ in Lünen kletterte von 275.000 auf 350.000 Mg pro Jahr (EUWID 2011). Die Anlage nimmt eine Vielzahl von Abfällen wie Elektroschrott, schwermetallhaltige Salze, Stäube und Schlämme zur Metallgewinnung oder als Schlackebildner, aber auch Sekundärrohstoffe mit niedrigen Kupferanteilen an.

Unter reduzierenden Bedingungen und hohen Temperaturen wird Rohkupfer mit einem durchschnittlichen Kupfergehalt von 95 % erzeugt. Zinn und Blei werden im Prozess als Oxid abgeschieden und im unmittelbar angeschlossenen Mischzinnofen zu einer Zinn-Blei-Legierung verarbeitet. Das Rohkupfer wird dann im Anodenofen raffiniert und anschließend einer Elektrolyse unterworfen [Öko-Institut 2007]. Nickelsulfat und Edelmetalle werden nach der Elektrolyse abgetrennt und aufbereitet.

Weitere Kapazitäten für das Recycling von Elektronikschrott befinden sich im Werk Hamburg von Aurubis.

5.9 Drehherd-Direktreduktionsverfahren

Die International Metals Reclamation Company, Inc. (Inmetco), eine Tochter des INCO-Konzerns, betreibt in Ellwood City, USA, das sogenannte **Inmetco-Verfahren** [UBA 2012].

Ziel dieses Verfahrens ist die Gewinnung von Eisenschwamm⁶ und einer angereicherten NE-Metallfraktion durch Direktreduktion von hochmetallhaltigen Reststoffen der Eisen- und Stahlindustrie (seit einiger Zeit Schwerpunkt auf die 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.

Das Verfahrensprinzip besteht darin, verschiedene Hüttenwerksreststoffe mit festen Reduktionsmitteln zu Pellets zu agglomerieren und anschließend in einem Drehherdofen zu Eisenschwamm zu reduzieren.

Der Eisenschwamm als Produkt des Prozesses kann an verschiedenen Stellen (Blasstahlwerk, Elektrolichtbogenofen) eingesetzt werden. Zur Anwendung kam das Verfahren zunächst in den USA bei der Verwertung von Reststoffen aus der Edelstahlindustrie (Cr/Ni).

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.

⁵ (KRS Kayser Recycling System)

⁶ Als Eisenschwamm wird das feste Produkt von Verfahren bezeichnet, bei denen hoch metallhaltige (insbesondere Eisen), überwiegend oxidische Einsatzmaterialien unter Einsatz von Kohle, Erdgas oder Erdöl reduziert werden [VDEL 1989].

5.10 Weitere Verfahren und Anlagen

- **VALDI-Prozess** der Firma Valdi, besteht aus einem Gemeinschaftsunternehmen von AFE Metal und TREDI. Es wurde 1997 zur Verwertung komplexer metallhaltiger Kuppelprodukte und Abfälle wie Stäube, Oxide, Hydroxide, Schlämme, Katalysatoren und nicht zuletzt Batterien gegründet.
- Die **Norzinco GmbH**⁷ gehört zur Recylex-Gruppe und setzt für die Erzeugung von Zinkoxid und Zinkstaub das New Jersey-Verfahren ein. Die Einsatzstoffe für das thermische Verfahren sind zinkhaltige Vorstoffe, wie z. B. Feinzink, aber auch Sekundärvorstoffe wie Altzink oder Umschmelzzink. Die eingesetzten Reststoffe müssen frei von jeglichen nuklearen Verunreinigungen sowie frei von jeglicher ionisierender Strahlung sein. Zudem darf der Cadmiumgehalt 300 g/t (300 ppm) nicht überschreiten.
- Die **Siegfried Jacob Metallwerke GmbH** (www.jacobmetall.de) verarbeitet in Ennepetal im Sauerland seit vielen Jahren NE-metallhaltige Schrotte und Rückstände in hydrometallurgische und pyrometallurgische Verfahren. Weiterhin konzentriert sich Jacob auf die Rückgewinnung von Rohstoffen aus Schrotten und Rückständen aus Nickel und Nickellegierungen, Edelstählen, Superlegierungen. Zudem werden NE-metallhaltige Abfälle in Form von Schlämmen, Lösungen und anderen Rückständen aufbereitet.
- Die **Gerhard Lang GmbH & Co.KG** ist spezialisiert auf die Herstellung großer Mengen an hochqualitativen Sekundärrohstoffen. Unter anderem besteht noch eine Anlage zur Konditionierung von legierungsmetallhaltigen Schlämmen und Stäuben mit hohen Anteilen von Molybdän, Cobalt, Wolfram, Nickel, Chrom und Titan mit einer Kapazität von rund 3.200 t.
- **H.C. Starck** konzentriert sich auf das Recycling von Technologiemetallen von Wolfram, Molybdän, Tantal, Niob und Rhenium.
- **Lars WALCH GmbH & Co. KG**⁸
- **Wolfram Bergbau und Hütten AG**⁹, mit zwei Standorten in Österreich (Mittersill - Bergbau und Aufbereitung sowie St. Martin – Hütte) konzentriert sich primär auf die Möglichkeiten zum Recycling wolframhaltiger Sekundärrohstoffe. Als Eingangsstoffe gelangen u. a. Rücklaufmaterial aus Schleifbearbeitung (mit Mindestkonzentrationen > 40 %), Pulverrücklauf und Pressbruch (mit Mindestkonzentrationen > 70 %), wolframhaltige Späne, Drähte, Bleche, Stücke mit min. 1 mm Dicke und einer Mindestkonzentration von 85 % inkl. einem Kupfergehalt < 2,5 % zum Einsatz. Hergestellt werden Wolframoxid-, Wolframmetall- und Wolframcarbidpulver für die pulvermetallurgische Industrie.
- **WHS Sondermetalle**¹⁰ mit Sitz in Grünsfeld recycelt Schrotte aus Sondermetallen, wie z. B.: Tantal, Niob, Molybdän, Wolfram, Rhenium und Edelmetalle, sowie Blechschrott, Drahtschrott, Stangenendstücke, Späne, Pulver, Target-Schrott, defekte Bauteile oder sonstige Schrottformen.

⁷ <http://www.recylex-germany.com/de/norzinco/home.html>

⁸ <http://www.walch-recycling.de/de>

⁹ http://www.wolfram.at/wolfram_at/wDeutsch/

¹⁰ <http://www.whs-sondermetalle.de/Metallrecycling.html>

- Die **Saarländische Rohprodukte GmbH** (SRP)¹¹ mit Sitz in Homburg konzentriert sich auf eisenhaltige Schrotte (Stahlschrott, Stahlspäne, Buntmetalle). Deren Aufnahmekapazitäten liegen jährlich bei ca. 500.000 t Stahlschrott und 35.000 t Buntmetallen.
- Die **VALCARD RECYCLING SAS**¹² konzentriert sich neben der Verwertung von Elektronikschrott auch auf die Rückgewinnung und Verwertung von Tantal.
- Die **Plansee-Gruppe**¹³ am Standort Reutte bereitet Nebenprodukte der Fertigung und vom Kunden retournierte Altprodukte auf eigenen Recyclinganlagen chemisch und thermisch-mechanisch auf. Besonders wird auf das Recycling von Wolfram gesetzt. Für das Recycling wird vor allem gesinterter Hartschrott aus Wolframkarbid, Weichschrotte wie Pulver und Schleifschlämme sowie weitere Sekundärrohstoffe verarbeitet, die einen Wolframanteil von mind. 60 % aufweisen. Auch Legierungen und andere Werkstoffe wie Kobalt, Nickel oder Tantal können recycelt werden.
- Die **Buss & Buss Spezialmetalle GmbH**¹⁴ mit Sitz in Sagard konzentriert sich auf das Recycling und den Handel von Tantal, Niob, Rhenium, Hafnium, Gallium, Indium und Germanium.
- In Skandinavien verfügt der schwedische Bergbau- und Metallkonzern **Boliden** (www.boliden.com) ebenfalls über Kupferhütten, die Sekundärkupfer und Edelmetalle aus Elektronikschrotten gewinnen.
- Die **DESTIMET Green Services GmbH** betreibt in Bitterfeld-Wolfen eine Anlage nach dem EcoScan-Verfahren. Dabei handelt es sich um eine Vakuumdestillation, in der mit organischen Verbindungen verunreinigte Metalle, Metallspäne, Walzzunder und Bohrschlämme eingesetzt werden können. Zurückgewonnen werden Metalle, Metallverbindungen und Öle. In der Anlage können derzeit 20.000 Mg Abfälle pro Jahr verarbeitet werden.

¹¹ <http://www.srp-online.com/hmd.html>

¹² <http://www.valcard-recycling.com/ALL/2.html>

¹³ <http://www.plansee.com/de/Unternehmen-Nachhaltigkeit-Recycling-550.htm>

¹⁴ <http://www.buss-spezialmetalle.de/Unternehmen-Buss.html>

6 Auswertung der eingeholten Informationen

In einer Fragebogenaktion wurde versucht, die allgemeine Situation im Bereich Versatz, Ablagerung sowie Recycling von Abfällen, die noch Metallanteile in relevanten Mengen enthalten, bei den betroffenen Akteuren zu erfragen. Ein besonderes Anliegen war zusätzlich zu den Fragebögen die Bitte um Zusendung von Analysendaten zu den oben ausgewählten Abfallarten. Hierzu wurden jeweils angepasste Fragebögen zusammen mit einem Anschreiben und einem Begleitschreiben des Bundesumweltministeriums (siehe Anhang 5 und 6) an die Betreiber von Recyclinganlagen für Metalle, Deponien und Versatzbergwerken sowie Landesumweltministerien (Bayern, NRW, Niedersachsen) versandt und um die Bereitstellung von Analysendaten gebeten. Der Versand der Fragebögen an die Recycler erfolgte überwiegend über die Wirtschaftsvereinigung Metalle e.V. Eine Liste der angeschriebenen Beteiligten mit der Angabe der Rückläufe zeigt Anhang 7. Nach der Auswertung der Fragebögen wurden insbesondere mit den Recycling-Unternehmen weitere Gespräche geführt und zusätzliche Informationen eingeholt.

Die Ergebnisse der erfolgten Rückläufe sowie der weiteren Gespräche und Informationen werden im Folgenden dargestellt. Die zur Verfügung gestellten Analysedaten werden bei der weiteren Auswertung genutzt.

Aus den Antworten der Landesumweltministerien bzw. -umweltämter ergaben sich keine auswertbaren Erkenntnisse zu Metallgehalten in Abfällen oder Recyclingkapazitäten. Es wurde lediglich angeregt, die Fragen zu Grenzwerten für Metalle in Bezug auf die Metallrückgewinnung in einer „Metallrückgewinnungsverordnung“ zu regeln, da es nicht sinnvoll sei, Grenzwerte für alle Abfallarten in gleicher Höhe festzulegen, sondern abfallartenspezifisch und gegebenenfalls unter Berücksichtigung weiterer Bedingungen. Wegen der Komplexität der Materie trage eher eine separate Verordnung zur Übersicht bei als eine umfassende Ergänzung in der Deponie- oder Versatzverordnung.

Ein Unternehmen hat seine Vorbehalte hinsichtlich der Teilnahme ausführlich begründet. Es schreibt:

„Aus unserer Erfahrung heraus ist es nicht möglich, für einen Abfall einen Inhalt an Wertstoff anzugeben, der als Grenzwert zwischen stofflicher Verwertung auf der einen Seite und anderen Entsorgungsverfahren (sonstige Verwertung oder Beseitigung) auf der anderen Seite herangezogen werden kann. Vielmehr ist die Entscheidung, ob ein Abfall wirtschaftlich wiedergewonnen werden kann, von einer Vielzahl an Rahmenbedingungen abhängig:

- Verbindungsform des Wertstoffes im Abfall,
- Begleitelemente im Abfall mit Verweis auf die mögliche Aufkonzentration im Rückstand aus dem Recyclingprozess, beispielsweise Arsen (As) oder auch Radioaktivität,
- Verhältnis zwischen Wertstoff und enthaltenen Begleitelementen wie Schwermetalle, die eine wirtschaftliche stoffliche Verwertung erschweren,
- physische Form des Abfalls,
- Wassergehalt (besonders bei Schlämmen und Filterkuchen),
- aktuelle Wertstoffnotierungen,
- Wechselkurs (bei weltweitem Bezug),

- Dargebot an Rohstoffen insgesamt unter Berücksichtigung der spezifischen Produktionskosten bei Einsatz der unterschiedlichen Sekundärrohstoffe.

Deshalb sehen wir es auch grundsätzlich als problematisch an, auf Basis prozentualer Wertstoffkonzentrationen in Abfällen eine unter dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit stoffliche Verwertung abzuleiten. O.g. Rahmenbedingungen müssen Berücksichtigung finden, vielfach handelt es sich in Bezug auf den Abfall um Einzelfallentscheidungen. Weiterhin ist es in der Folge daher auch nicht möglich, auf Basis prozentualer Wertstoffgehalte in Abfällen die Grenzwerte für die sonstige Verwertung im Bergversatz bzw. Beseitigung (Deponierung) anpassen zu wollen (siehe Schreiben vom BMU vom 11.11.2013 zum Thema). Das ist aus unserer Sicht aufgrund der Vielzahl an Einflussgrößen sowie vor dem Hintergrund der Deponienutzung als Schadstoffsenske (Schadstoffaufkonzentration in Recyclingprozessen) als kritisch zu bewerten.

[...] Für uns sind Produktionsrückstände wertvolle Rohstoffe, deshalb haben wir großes Interesse an derartigen Materialien. Auf der anderen Seite muss eine gesetzeskonforme Entsorgung nicht mehr weiter zu verwertender Rückstände aus den Prozessen aufrecht gehalten werden.“

6.1 Recycler

6.1.1 Wälzverfahren

Anhand der Angaben zu zwei Anlagen der Befesa Zinc zeigte sich, 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 6-1). Darüber hinaus wurden Beschränkungen für Chlor, Fluor, Schwefel, PCDD/PCDF und organische Stoffe genannt.

Tabelle 6-1: 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 $< 0,1\%$

In den Anlagen dürfen insgesamt 111 verschiedene Abfallarten angenommen werden. Die Anzahl ist je nach Anlage unterschiedlich. Von den für die weitere Untersuchung ausgewählten Abfallarten dürfen die folgenden angenommen werden:

- 06 03 15*: Metalloxide, die Schwermetalle enthalten (aus anorganisch-chemischen Prozessen)

- 10 01 01: Rost- und Kesselasche, Schlacke und Kesselstaub mit Ausnahme von Kesselstaub, der unter 10 01 04 fällt (aus Kraftwerken und anderen Verbrennungsanlagen außer Abfallverbrennung)
- 10 02 02: unbearbeitete Schlacke (aus der Eisen- und Stahlindustrie)
- 10 04 01*: Schlacken (Erst- und Zweitschmelze) (aus der thermischen Bleimetallurgie)
- 10 05 01: Schlacken (Erst- und Zweitschmelze) (aus der thermischen Zinkmetallurgie)
- 10 06 01: Schlacken (Erst- und Zweitschmelze) (aus der thermischen Kupfermetallurgie)
- 10 09 10: Filterstaub mit Ausnahme desjenigen, der unter 10 09 09* fällt (vom Gießen von Eisen und Stahl)
- 11 01 08*: Phosphatierschlämme
- 11 01 09*: Schlämme und Filterkuchen, die gefährliche Stoffe enthalten (aus der chemischen Oberflächenbearbeitung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen)
- 11 02 02*: Schlämme aus der Zink-Hydrometallurgie (einschließlich Jarosit, Goethit)
- 12 01 14*: Bearbeitungsschlämme, die gefährliche Stoffe enthalten (aus Prozessen der mechanischen Formgebung sowie der physikalischen und mechanischen Oberflächenbearbeitung von Metallen und Kunststoffen)
- 19 02 05*: Schlämme aus der physikalisch-chemischen Behandlung, die gefährliche Stoffe enthalten (aus der Abfallbehandlung)

Die Annahme ist abhängig von der jeweiligen Genehmigung und der Wirtschaftlichkeit. Zur Frage, ob Abfallarten bzw. Abfälle, die wirtschaftlich rückgewinnbare Metallanteile enthalten, an ihren Anlagen vorbei in den Bergversatz oder auf Deponien gelangen, wurden keine Angaben gemacht.

Von der Harz-Metall GmbH Goslar, die neben den beiden o.g. ebenfalls das Wälzverfahren betreibt, können von den für die weitere Untersuchung ausgewählten Abfallarten folgende angenommen werden:

- 10 04 01*: Schlacken (Erst- und Zweitschmelze) (aus der thermischen Bleimetallurgie)
- 10 05 01: Schlacken (Erst- und Zweitschmelze) (aus der thermischen Zinkmetallurgie)
- 10 09 10: Filterstaub mit Ausnahme desjenigen, der unter 10 09 09* fällt (vom Gießen von Eisen und Stahl)
- 11 01 08*: Phosphatierschlämme
- 11 01 09*: Schlämme und Filterkuchen, die gefährliche Stoffe enthalten (aus der chemischen Oberflächenbearbeitung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen)
- 11 02 02*: Schlämme aus der Zink-Hydrometallurgie (einschließlich Jarosit, Goethit)
- 12 01 14*: Bearbeitungsschlämme, die gefährliche Stoffe enthalten (aus Prozessen der mechanischen Formgebung sowie der physikalischen und mechanischen Oberflächenbearbeitung von Metallen und Kunststoffen)

- 19 01 13*: Filterstaub, der gefährliche Stoffe enthält (aus der Verbrennung und Pyrolyse von Abfällen)
- 19 02 05*: Schlämme aus der physikalisch-chemischen Behandlung, die gefährliche Stoffe enthalten (aus der Abfallbehandlung)

6.1.2 DK-Prozess

Von den für die weitere Untersuchung ausgewählten Abfallarten können von der DK Recycling und Roheisen GmbH in Duisburg die folgenden angenommen werden:

- 06 03 15*: Metalloxide, die Schwermetalle enthalten (aus anorganisch-chemischen Prozessen)
- 10 02 02: unbearbeitete Schlacke (aus der Eisen- und Stahlindustrie)
- 10 09 10: Filterstaub mit Ausnahme desjenigen, der unter 10 09 09* fällt (vom Gießen von Eisen und Stahl)
- 11 01 08*: Phosphatierschlämme
- 11 01 09*: Schlämme und Filterkuchen, die gefährliche Stoffe enthalten (aus der chemischen Oberflächenbearbeitung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen)
- 11 02 02*: Schlämme aus der Zink-Hydrometallurgie (einschließlich Jarosit, Goethit)
- 12 01 14*: Bearbeitungsschlämme, die gefährliche Stoffe enthalten (aus Prozessen der mechanischen Formgebung sowie der physikalischen und mechanischen Oberflächenbearbeitung von Metallen und Kunststoffen)
- 19 02 05*: Schlämme aus der physikalisch-chemischen Behandlung, die gefährliche Stoffe enthalten (aus der Abfallbehandlung)

Dabei sind die in Tabelle 6-2 aufgeführten Annahmekriterien zu beachten.

Tabelle 6-2: 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

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

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

6.1.3 Bleihütten

Die Sekundärbleihütte der BSB Recycling GmbH in Braubach kann von den für die weitere Untersuchung ausgewählten Abfallarten folgende zum Recycling von Blei und Zinn annehmen:

- 06 03 15*: Metalloxide, die Schwermetalle enthalten (aus anorganisch-chemischen Prozessen)
- 10 04 01*: Schlacken (Erst- und Zweitschmelze) (aus der thermischen Bleimetallurgie)
- 11 01 09*: Schlämme und Filterkuchen, die gefährliche Stoffe enthalten (aus der chemischen Oberflächenbearbeitung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen)
- 19 02 05*: Schlämme aus der physikalisch-chemischen Behandlung, die gefährliche Stoffe enthalten (aus der Abfallbehandlung)

Die Bleihütte der Berzelius Stolberg GmbH in Stolberg nimmt von den für die weitere Untersuchung ausgewählten Abfallarten die folgenden zum Metallrecycling an:

- 10 04 01*: Schlacken (Erst- und Zweitschmelze) (aus der thermischen Bleimetallurgie)
- 10 05 01: Schlacken (Erst- und Zweitschmelze) (aus der thermischen Zinkmetallurgie)
- 10 06 01: Schlacken (Erst- und Zweitschmelze) (aus der thermischen Kupfermetallurgie)
- 11 01 09*: Schlämme und Filterkuchen, die gefährliche Stoffe enthalten (aus der chemischen Oberflächenbearbeitung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen)
- 11 02 02*: Schlämme aus der Zink-Hydrometallurgie (einschließlich Jarosit, Goethit)
- 12 01 14*: Bearbeitungsschlämme, die gefährliche Stoffe enthalten (aus Prozessen der mechanischen Formgebung sowie der physikalischen und mechanischen Oberflächenbearbeitung von Metallen und Kunststoffen)
- 19 02 05*: Schlämme aus der physikalisch-chemischen Behandlung, die gefährliche Stoffe enthalten (aus der Abfallbehandlung)

Die Muldenhütten Recycling und Umwelttechnik GmbH betreibt in Freiberg eine Sekundärbleihütte mit integrierter Sonderabfallverbrennungsanlage. Für das Blei-Recycling in der Sekundärbleihütte können von den für die weitere Untersuchung ausgewählten Abfallarten folgende angenommen werden:

- 06 03 15*: Metalloxide, die Schwermetalle enthalten (aus anorganisch-chemischen Prozessen)
- 10 04 01*: Schlacken (Erst- und Zweitschmelze) (aus der thermischen Bleimetallurgie)
- 11 01 09*: Schlämme und Filterkuchen, die gefährliche Stoffe enthalten (aus der chemischen Oberflächenbearbeitung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen)
- 12 01 14*: Bearbeitungsschlämme, die gefährliche Stoffe enthalten (aus Prozessen der mechanischen Formgebung sowie der physikalischen und mechanischen Oberflächenbearbeitung von Metallen und Kunststoffen)

6.1.4 Elektroreduktionsverfahren

Die von Befesa Valera in Gravelines/Frankreich betriebene Anlage besitzt eine Anlagenkapazität von 120.000 t/a. Sie ist mittlerweile als Seveso-Anlage klassifiziert. Aus diesem Grund bestehen hinsichtlich der Schadstoffgehalte keine maßgeblichen Einschränkungen. Es muss aber darauf geachtet werden, dass die Abfallinhaltsstoffe die Einhaltung der Grenzwerte für Ableitungen in Luft und Wasser nicht gefährden können.

Die Abfallarten, die angenommen werden dürfen, sind nicht nach einzelnen Abfallarten aufgeschlüsselt, sondern es sind die folgenden Abfallgruppen genehmigt:

- 06 03: Abfälle aus HZVA von Salzen, Salzlösungen und Metalloxiden
- 06 04: Metallhaltige Abfälle mit Ausnahme derjenigen, die unter 06 03 fallen
- 10 02: Abfälle aus der Eisen- und Stahlindustrie
- 10 08: Abfälle aus sonstiger thermischer Nichteisenmetallurgie
- 10 09: Abfälle vom Gießen von Eisen und Stahl
- 10 10: Abfälle vom Gießen von Nichteisenmetallen
- 11 01: Abfälle aus der chemischen Oberflächenbearbeitung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen
- 12 01: Abfälle aus Prozessen der mechanischen Formgebung sowie der physikalischen und mechanischen Oberflächenbearbeitung von Metallen
- 16 06: Batterien und Akkumulatoren
- 16 08: Gebrauchte Katalysatoren
- 19 12: Abfälle aus der mechanischen Behandlung von Abfällen (z. B. Sortieren, Zerkleinern, Verdichten, Pelletieren) a. n. g.

Um die Produktionskosten zu decken, sind insbesondere die Gehalte an Nickel und Molybdän bedeutsam. Eingesetzt werden können Abfälle mit einem Ni- bzw. Mo-Gehalt von 1 % (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 ange-

messene 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. Zur Zeit werden aus einer Tonne Abfall – je nach Zusammensetzung – ca. 500 kg Legierung erzeugt und es fallen ca. 500 kg Schlacke an. Bei geringen Summen-Metallgehalten in den eingesetzten Abfällen kann sich das Verhältnis verschieben und dadurch die spezifischen Strom- und Reduktionsmittelverbräuche steigen.

6.1.5 Plasmaverfahren

Die von Befesa ScanDust in Landskrona/Schweden betriebene Anlage hat eine Genehmigung, um ca. 60.000 t/a an eisen- und metallhaltigen Abfällen zu verarbeiten. Die Genehmigung bezieht sich nicht explizit auf Abfallschlüsselnummern. Limitierend sind die Abfallinhaltsstoffe, die die Einhaltung der Grenzwerte für Ableitungen in Luft und Wasser gefährden können. Angenommen werden dürfen

- Krätzen, Zunder und andere Abfälle aus der Eisen- und Stahlherstellung (Code AA010 nach der EG-Verordnung 1013/2006 [EU 2006]), wobei diese Aufzählung Abfälle in Form von Asche, Rückstand, Schlacke, Krätze, Abschaum, Zunder, Staub, Schlamm und Kuchen umfasst, sofern diese anderweitig nicht ausdrücklich aufgeführt sind,
- Abfälle aus industriellen Abgasreinigungsanlagen, ausgenommen die in Liste B aufgeführten Abfälle (Code A4100 nach der EG-Verordnung 1013/2006 [EU 2006]).

Um die Produktionskosten zu decken, sind insbesondere die Gehalte an Nickel und Molybdän bedeutsam. Eingesetzt werden können Abfälle mit einem Ni- bzw. Mo-Gehalt von 1 % (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. Zur Zeit werden aus einer Tonne Abfall – je nach Zusammensetzung – ca. 500 kg Legierung erzeugt und es fallen ca. 500 kg Schlacke an. Bei geringen Summen-Metallgehalten in den eingesetzten Abfällen kann sich das Verhältnis verschieben und dadurch die spezifischen Strom- und Reduktionsmittelverbräuche steigen.

6.1.6 Nickelhütten

Von der Nickelhütte Aue können von den, für die weitere Untersuchung ausgewählten Abfallarten, folgende zur Verwertung im Schmelzbetrieb angenommen werden:

- 06 03 15*: Metalloxide, die Schwermetalle enthalten (aus anorganisch-chemischen Prozessen)
- 10 02 02: unbearbeitete Schlacke (aus der Eisen- und Stahlindustrie)
- 10 05 01: Schlacken (Erst- und Zweitschmelze) (aus der thermischen Zinkmetallurgie)
- 10 06 01: Schlacken (Erst- und Zweitschmelze) (aus der thermischen Kupfermetallurgie)
- 10 09 10: Filterstaub mit Ausnahme desjenigen, der unter 10 09 09* fällt (vom Gießen von Eisen und Stahl)
- 11 01 08*: Phosphatierschlämme

- 11 01 09*: Schlämme und Filterkuchen, die gefährliche Stoffe enthalten (aus der chemischen Oberflächenbearbeitung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen)
- 11 02 02*: Schlämme aus der Zink-Hydrometallurgie (einschließlich Jarosit, Goethit)
- 12 01 14*: Bearbeitungsschlämme, die gefährliche Stoffe enthalten (aus Prozessen der mechanischen Formgebung sowie der physikalischen und mechanischen Oberflächenbearbeitung von Metallen und Kunststoffen)
- 19 01 13*: Filterstaub, der gefährliche Stoffe enthält (aus der Verbrennung und Pyrolyse von Abfällen)
- 19 02 05*: Schlämme aus der physikalisch-chemischen Behandlung, die gefährliche Stoffe enthalten (aus der Abfallbehandlung)

Zusätzlich können die Abfallarten

- 06 03 15*: Metalloxide, die Schwermetalle enthalten (aus anorganisch-chemischen Prozessen) und
- 11 02 02*: Schlämme aus der Zink-Hydrometallurgie (einschließlich Jarosit, Goethit)

für die nasschemische Nickelgewinnung eingesetzt werden.

Grundsätzlich kann Nickel aus Rückständen wiedergewonnen werden, 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.

Die Abfälle sollten 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.

Die teilweise erforderliche Zuzahlung wird als Grund für die Deponierung von nickelhaltigen Schlämmen angesehen.

6.1.7 Kupferhütten

Von der Sekundärkupferhütte der Aurubis AG in Lünen (ehemals Hüttenwerke Kayser) können von den für die weitere Untersuchung ausgewählten Abfallarten folgende angenommen werden:

- 06 03 15*: Metalloxide, die Schwermetalle enthalten (aus anorganisch-chemischen Prozessen)
- 10 04 01*: Schlacken (Erst- und Zweitschmelze) (aus der thermischen Bleimetallurgie)
- 10 05 01: Schlacken (Erst- und Zweitschmelze) (aus der thermischen Zinkmetallurgie)
- 10 06 01: Schlacken (Erst- und Zweitschmelze) (aus der thermischen Kupfermetallurgie)
- 10 09 10: Filterstaub mit Ausnahme desjenigen, der unter 10 09 09* fällt (vom Gießen von Eisen und Stahl)
- 11 01 08*: Phosphatierschlämme

- 11 01 09*: Schlämme und Filterkuchen, die gefährliche Stoffe enthalten (aus der chemischen Oberflächenbearbeitung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen)
- 11 02 02*: Schlämme aus der Zink-Hydrometallurgie (einschließlich Jarosit, Goethit)
- 12 01 14*: Bearbeitungsschlämme, die gefährliche Stoffe enthalten (aus Prozessen der mechanischen Formgebung sowie der physikalischen und mechanischen Oberflächenbearbeitung von Metallen und Kunststoffen)
- 19 02 05*: Schlämme aus der physikalisch-chemischen Behandlung, die gefährliche Stoffe enthalten (aus der Abfallbehandlung)

6.1.8 Mechanische Verfahren

Das Unternehmen, das mechanische Verfahren (Siebung, Wirbelstromabscheidung, Elektro- und Permanentmagnete) zur Metallrückgewinnung anwendet, nimmt vorwiegend Abfälle aus thermischen Prozessen an und stellt daraus Untertage- und Deponiebaustoffe her. Die in Müllverbrennungssaschen enthaltenen elementaren Eisen- und Nichteisenmetalle werden mit diesen Methoden zu ca. 92 % zurückgewonnen. An der Weiterentwicklung dieser Methoden und einer damit verbundenen Erhöhung der Metallrückgewinnung wird stetig gearbeitet. Spezielle Beschränkungen hinsichtlich des Gehalts von Metallen und anderen Stoffen gibt es nicht. Die Abfälle müssen lediglich für die Herstellung von Untertage- und Deponiebaustoffen geeignet sein. Abfallarten bzw. Abfälle, die wirtschaftlich rückgewinnbare Metallanteile enthalten, gehen nicht an dem Unternehmen vorbei.

6.2 Betreiber von Versatzbergwerken und Deponien

Bei Abfällen zum Versatz werden die Metallgehalte vor der behördlichen Zulassung durch unabhängige Fachstellen analysiert. Bei Metallgehalten über den derzeit gültigen Grenzwerten wird durch den Abfallerzeuger nachgewiesen, dass es derzeit technisch und wirtschaftlich nicht möglich ist, die in den betreffenden Abfall enthaltenen Metalle zurückzugewinnen. In Einzelfällen ist es schon vorgekommen, dass Abfälle aufgrund von Metallgehalten über den Grenzwerten von den Bergwerksbetreibern zurückgewiesen wurden. Verweigerungen der Zulassung eines Abfalls zum Versatz aufgrund von Metallgehalten über den Grenzwerten haben von Behörden bisher nicht stattgefunden, da die Prüfungen und Nachweise ausreichend waren.

Preise für die Annahme von Abfällen für den Versatz wurden nicht angegeben.

Bei Abfällen, die zum Deponiebau verwendet werden sollen, erfolgt die behördliche Überprüfung über den Entsorgungsnachweis mit Deklarationsanalysen. Zudem werden jährliche Kontrollen durchgeführt. In Einzelfällen wurden Abfälle, deren Metallgehalte über den Grenzwerten lagen, zum Deponiebau nicht angenommen. Nichtzulassungen von Abfällen durch die Behörden haben wie bei den Versatzbergwerken bisher nicht stattgefunden.

Von einem Betreiber wurde darauf hingewiesen, dass auch Misch- und Konditionierungsanlagen mit in die Betrachtung einbezogen werden sollten, da in diesen in großem Umfang für die

Rückgewinnung interessante Metallgehalte gemischt und „verdünnt“ würden und damit einer wirtschaftlich tragfähigen Metallrückgewinnung entzogen würden¹⁵. Außerdem sei es erforderlich, ein Netz an Rückgewinnungsanlagen vorzuhalten, da gerade die für Metallrückgewinnung interessanten Abfälle nur in Mengen angeliefert würden, die unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten keine langen Transportwege zuließen.

Die Preise für die Annahme von Abfällen für den Deponiebau schwankten zwischen € 3,12 und € 21,50 pro Tonne. Die Preise für die Ablagerung von Abfällen auf einer Sonderabfalldeponie lagen zwischen € 150,- und € 220,- pro Tonne.

6.3 Vergleich derzeitige Grenzwerte und Annahmefestsetzungen

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

6.3.1 Eisen

Die derzeitige Grenzwertkonzentration beträgt 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.

6.3.2 Zink

Die derzeitige Grenzwertkonzentration beträgt 10 % bzw. 100.000 mg/kg. Für das Wälzverfahren liegen hinsichtlich der Annahmefestsetzungen zwei Angaben vor. Beim einen Verfahren beträgt der Annahmefestsetzungswert 5 %, beim anderen 10 %.

6.3.3 Nickel

Die derzeitige Grenzwertkonzentration beträgt 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 %.

Die Anlagen der Nickelhütte Aue können Nickel aus Abfällen mit Ni-Gehalten $\geq 0,5$ % i.O. wiedergewinnen. Kostendeckend wird es aber erst bei Ni-Gehalten von etwa 5 % i.O.

6.3.4 Molybdän

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 %.

¹⁵ Zu ähnlichen Ergebnissen führt auch die Auswertung der Metallfrachten in Abfällen (vgl. Kapitel 7).

6.4 Hinweise bezüglich der Senkung bestehender und der Festlegung neuer Grenzwertkonzentrationen

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. 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.

6.5 Abgleich der Analysedaten aus der Abfrage mit denen aus ABANDA

Analysendaten wurden insgesamt von vier Teilnehmern der Abfrage bereitgestellt. Sie betrafen 25 Abfallarten und insgesamt 105 Einzelanalysen.

Ein Abgleich mit den ABANDA-Daten wurde insbesondere mit Blick auf die Auswahl der Abfallarten, die aufgeschlossen und analysiert werden sollen, durchgeführt. Demzufolge wurde geprüft, ob die aus der Auswertung der ABANDA-Daten vorliegende Erkenntnis zu Metallfrachten in Abfällen zwingend zu korrigieren ist. Dies ist nicht der Fall, deshalb erfolgt die Auswahl zunächst auf der Grundlage der ABANDA-Daten, die auf höheren Probenzahlen basiert und mehr Abfallarten einschließt. Die Gegenüberstellung der Daten erfolgt in Anhang 8.

7 Auswahl der Abfallarten, die für die Aufbereitungsversuche und Analysen in Frage kommen

7.1 Vorgehensweise

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
- 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.

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 Abfallschlüsselnummer durchgeführt und ein erster Beweis dafür gebracht, dass die ausgewählten Abfälle auch geeigneten Recyclingprozessen zugeführt werden könnten.

7.2 Ranking der Abfallarten mit den höchsten Frachten je Metall

Um die Abfallarten zu identifizieren, die für eine Abtrennung von recycelbaren Metallen interessant erscheinen, wurden dann je Metall die Abfallarten mit den höchsten Frachten gerankt

und in Tabellen dargestellt. Falls für ein Metall mehr als 12 Abfallarten relevant sind¹⁶, werden die ersten 12 einzeln aufgeführt und die Metallfrachten sowohl für diese 12 Abfallarten als auch für die Summe aller relevanten Abfallarten ausgewiesen. Andernfalls handelt es sich bei den dargestellten Abfallarten um alle als relevant eingestuft.

Zur Berechnung der Frachten wird die größte Masse aus den Jahren 2010 und 2011 mit den mittleren Metallgehalten aus ABANDA verrechnet. Besonders bei den derzeit noch nicht geregelten Abfällen ist zu berücksichtigen, dass die Probenzahlen sehr gering sind und die Daten deshalb lediglich als allererste Hinweise gesehen werden können.

Außerdem wurde berechnet, welcher Anteil der ermittelten Metallfrachten aus den Abfällen zur Ablagerung auf Deponien stammt.

7.2.1 Blei (Pb)

Die höchste Fracht stammt aus verfestigten Abfällen, die für eine weitere Untersuchung, wie oben beschrieben, nicht geeignet sind. Alle anderen Abfallarten, die Bleigehalte über 10.000 g/Mg aufweisen, stammen aus thermischen Prozessen. Erwartungsgemäß weisen die Schlacken aus der Bleimetallurgie und Abfälle aus der Herstellung von Glas und Glaserzeugnissen relevante Bleigehalte auf.

¹⁶ Als relevant sind die Abfallarten eingestuft, deren Metallkonzentration über dem Auswahlkriterium nach Tabelle 4-1 liegt.

Tabelle 7-1: Ranking der Abfallarten mit den höchsten Bleifrachten

Blei (Pb)		Größte Masse	Blei Fracht	Blei Gehalt
AVV-Nr.	Abfallbezeichnung	[Mg/a]	[Mg/a]	[g/Mg]
19 03 06*	als gefährlich eingestufte verfestigte Abfälle	165.900	2.116	12.756
10 04 01*	Schlacken (Erst- und Zweitschmelze) <i>aus der Bleimetal-lurgie</i>	64.900	1.851	28.522
10 02 13*	Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung <i>aus der Eisen und Stahlindustrie</i> , die gefährliche Stoffe enthalten	130.200	1.447	11.112
10 02 07*	feste Abfälle aus der Abgasbehandlung <i>aus der Eisen und Stahlindustrie</i> , die gefährliche Stoffe enthalten	20.200	283	14.015
10 11 11*	Glasabfall in kleinen Teilchen und Glasstaub, die Schwermetalle enthalten (z. B. Elektronenstrahlröhren)	2.400	99	41.417
10 11 15*	feste Abfälle aus der Abgasbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten	2.600	26	10.154
10 12 11*	Glasurabfälle, die Schwermetalle enthalten	200	18	89.500
10 09 09*	Filterstaub <i>vom Gießen von Eisen und Stahl</i> , der gefährliche Stoffe enthält	1.100	15	13.636
	Mittelwert (8)			15.112
	Summe (8)	387.500	5.856	

Die ermittelte Bleifracht stammt zu 73 % (4.270 Mg/a) aus Abfällen zur Ablagerung auf Depo-nien.

7.2.2 Chrom (Cr)

Für die Schlämme aus der physikalisch-chemischen Behandlung von Abfällen mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 02 05 fallen ist ggf. zu prüfen, ob geeignete Abfallarten vor der Abfallbehandlung für ein Recycling geeignet wären.

Alle weiteren Abfallarten erscheinen für ein Recycling prinzipiell geeignet zu sein.

Tabelle 7-2: Ranking der Abfallarten mit den höchsten Chromfrachten

Chrom (Cr)		Größte Masse	Chrom Fracht	Chrom Gehalt
AVV-Nr.	Abfallbezeichnung	[Mg/a]	[Mg/a]	[g/Mg]
19 02 06	Schlämme aus der physikalisch-chemischen Behandlung <i>von Abfällen</i> mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 02 05 fallen	42.800	2.644	61.764
11 01 09*	Schlämme und Filterkuchen <i>aus der chemischen Oberflächenbearbeitung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen</i> , die gefährliche Stoffe enthalten	20.200	553	27.391
06 03 15*	Metalloxide, die Schwermetalle enthalten	5.900	345	58.542
12 01 14*	Bearbeitungsschlämme <i>aus Prozessen der mechanischen Formgebung sowie der physikalischen und mechanischen Oberflächenbearbeitung von Metallen und Kunststoffen</i> , die gefährliche Stoffe enthalten	1.900	29	15.263
10 08 15*	Filterstaub <i>aus sonstiger thermischer Nichteisenmetallurgie</i> , der gefährliche Stoffe enthält	500	12	24.600
	Mittelwert (5)			50.259
	Summe (5)	71.300	3.584	

Die ermittelte Chromfracht stammt zu 100 % aus Abfällen zur Ablagerung auf Deponien.

7.2.3 Eisen (Fe)

Die Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken aus der Abfallverbrennung mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 01 11 fallen, werden in einem parallelen UFOPLAN-Projekt gezielt untersucht und deshalb hier nicht in die engere Auswahl einbezogen.

Interessant erscheinen dagegen erwartungsgemäß die aufgeführten Abfälle aus der Eisen- und Stahlindustrie.

Tabelle 7-3: Ranking der Abfallarten mit den höchsten Eisenfrachten

Eisen (Fe)		Größte Masse	Eisen Fracht	Eisen Gehalt
AVV-Nr.	Abfallbezeichnung	[Mg/a]	[Mg/a]	[g/Mg]
19 01 12	Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken <i>aus der Abfallverbrennung</i> mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 01 11 fallen	3.367.300	153.556	45.602
10 02 02	unbearbeitete Schlacke <i>aus der Eisen- und Stahlindustrie</i>	842.400	131.575	156.190
10 02 08	Abfälle aus der Abgasbehandlung <i>aus der Eisen- und Stahlindustrie</i> mit Ausnahme derjenigen, die unter 10 02 07 fallen	157.400	79.905	507.657
10 02 13*	Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung <i>aus der Eisen- und Stahlindustrie</i> , die gefährliche Stoffe enthalten	130.200	27.928	214.500
19 02 05*	Schlämme aus der physikalisch-chemischen Behandlung <i>von Abfällen</i> , die gefährliche Stoffe enthalten	290.600	26.292	90.475
19 08 13*	Schlämme <i>aus der Behandlung von Abfällen</i> , die gefährliche Stoffe aus einer anderen Behandlung von industriellem Abwasser enthalten	213.700	13.720	64.202
11 02 02*	Schlämme aus der Zink-Hydrometallurgie (einschließlich Jarosit, Goethit)	86.700	11.150	128.600
10 09 06	Gießformen und -sande vor dem Gießen mit Ausnahme derjenigen, die unter 10 09 05 fallen	96.800	5.518	57.000
06 04 05*	Abfälle, die andere Schwermetalle enthalten	26.600	4.642	174.508
10 02 07*	feste Abfälle aus der Abgasbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten	20.200	4.029	199.470
19 08 14	Schlämme aus einer anderen Behandlung von industriellem Abwasser mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 08 13 fallen	32.200	3.146	97.689
06 05 02*	Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten	30.200	3.083	102.099
	Mittelwert (12)			87.744
	Summe (12)	5.294.300	464.543	
	Mittelwert (20)			87.870
	Summe (20)	5.359.500	470.942	

Die ermittelte Eisenfracht stammt zu mind. 73 % (343.500 Mg/a) aus Abfällen zur Ablagerung auf Deponien.

7.2.4 Kupfer (Cu)

Die zahlreichen Abfallarten aus der Abfallbehandlung erscheinen für die weiteren Untersuchungen nur vereinzelt interessant zu sein, da sie meist wenig spezifisch sind.

Eher erscheinen die Abfälle aus Metallurgischen Prozessen Aussicht auf Recyclingfolge zu bieten.

Tabelle 7-4: Ranking der Abfallarten mit den höchsten Kupferfrachten

Kupfer (Cu)		Größte Masse	Kupfer Fracht	Kupfer Gehalt
AVV-Nr.	Abfallbezeichnung	[Mg/a]	[Mg/a]	[g/Mg]
19 01 12	Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken <i>aus der Abfallverbrennung</i> mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 01 11 fallen	3.367.300	20.251	6.014
10 02 02	unbearbeitete Schlacke <i>aus der Eisen- und Stahlindustrie</i>	842.400	8.108	9.625
19 02 05*	Schlämme aus der physikalisch-chemischen Behandlung <i>von Abfällen</i> , die gefährliche Stoffe enthalten	290.600	4.594	15.807
19 12 12	Sonstige Abfälle (einschließlich Materialmischungen) aus der mechanischen Behandlung von Abfällen mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 12 11* fallen	416.700	2.905	6.971
10 09 06	Gießformen und -sande vor dem Gießen mit Ausnahme derjenigen, die unter 10 09 05 fallen	96.800	1.840	19.004
19 02 11*	sonstige Abfälle, die gefährliche Stoffe enthalten	19.600	1.667	85.041
19 01 11*	Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken, die gefährliche Stoffe enthalten	487.600	1.446	2.966
19 03 05	stabilisierte Abfälle mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 03 04 fallen	632.100	941	1.489
11 01 09*	Schlämme und Filterkuchen <i>aus der chemischen Oberflächenbearbeitung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen</i> , die gefährliche Stoffe enthalten	20.200	819	40.550
19 03 07	verfestigte Abfälle mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 03 06 fallen	532.300	755	1.419
10 04 01*	Schlacken (Erst- und Zweitschmelze) <i>aus der thermischen Bleimetallurgie</i>	64.900	569	8.767
19 01 13*	Filterstaub <i>aus der Abfallverbrennung</i> , der gefährliche Stoffe enthält	372.600	563	1.511
	Mittelwert (12)			6.224
	Summe (12)	7.143.100	44.458	
	Mittelwert (33)			5.732
	Summe (33)	8.451.100	48.444	

Die ermittelte Kupferfracht stammt zu mind. 58 % (28.300 Mg/a) aus Abfällen zur Ablagerung auf Deponien.

7.2.5 Nickel (Ni)

Bei den nickelhaltigen Abfällen ist das toxische Potenzial von Nickel zu berücksichtigen, das hohe Anforderungen an mögliche Aufbereitungsverfahren stellt.

Tabelle 7-5: Ranking der Abfallarten mit den höchsten Nickelfrachten

Nickel (Ni)		Größte Masse	Nickel Fracht	Nickel Gehalt
AVV-Nr.	Abfallbezeichnung	[Mg/a]	[Mg/a]	[g/Mg]
19 02 05*	Schlämme aus der physikalisch-chemischen Behandlung <i>von Abfällen</i> , die gefährliche Stoffe enthalten	290.600	2.641	9.088
19 08 13*	Schlämme, die gefährliche Stoffe aus einer anderen Behandlung von industriellem Abwasser enthalten	213.700	1.123	5.255
06 05 03	Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung mit Ausnahme derjenigen, die unter 06 05 02 fallen	67.400	829	12.301
11 01 09*	Schlämme und Filterkuchen , die gefährliche Stoffe enthalten	20.200	726	35.941
06 04 05*	<i>Metallhaltige</i> Abfälle, die andere Schwermetalle enthalten	26.600	552	20.737
06 03 15*	Metalloxide, die Schwermetalle enthalten	5.900	546	92.458
10 02 08	Abfälle aus der Abgasbehandlung <i>aus der Eisen- und Stahlindustrie</i> mit Ausnahme derjenigen, die unter 10 02 07 fallen	157.400	459	2.916
19 02 06	Schlämme aus der physikalisch-chemischen Behandlung <i>von Abfällen</i> mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 02 05 fallen	42.800	163	3.818
06 05 02*	Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten	30.200	137	4.540
12 01 04	NE-Metallstaub und -teilchen	500	91	181.600
16 08 02*	gebrauchte Katalysatoren, die gefährliche Übergangsmetalle oder deren Verbindungen enthalten	400	82	205.000
10 02 07*	feste Abfälle aus der Abgasbehandlung <i>aus der Eisen- und Stahlindustrie</i> , die gefährliche Stoffe enthalten	20.200	74	3.644
	Mittelwert (12)			8.474
	Summe (12)	875.900	7.422	
	Mittelwert (20)			8.471
	Summe (20)	892.700	7.562	

Die ermittelte Nickelfracht stammt zu mind. 92 % (7.000 Mg/a) aus Abfällen zur Ablagerung auf Deponien.

7.2.6 Zink (Zn)

Abfälle aus der thermischen Zinkmetallurgie werden offensichtlich bereits weitestgehend genutzt. Der v. a. im Deponiebau eingesetzte Abfall „Schlacken (Erst- und Zweitschmelze) *aus der Zinkmetallurgie*“ weist laut ABANDA Zinkgehalte von < 30.000 g/Mg auf und ist mit 3.300 Mg/a etwa zu 2,4 % an der Gesamtfracht beteiligt.

Nach ABANDA weisen die Abfälle aus der Eisen- und Stahlindustrie und aus der Behandlung von Abfällen z. T. deutlich höhere Gehalte auf bzw. tragen deutlich mehr zu den deponierten und versetzten Frachten bei.

Tabelle 7-6: Ranking der Abfallarten mit den höchsten Zinkfrachten

Zink (Zn)		Größte Masse	Zink Fracht	Zink Gehalt
AVV-Nr.	Abfallbezeichnung	[Mg/a]	[Mg/a]	[g/Mg]
10 02 02	unbearbeitete Schlacke <i>aus der Eisen- und Stahlindustrie</i>	842.400	26.943	31.983
10 02 13*	Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung <i>aus der Eisen- und Stahlindustrie</i> , die gefährliche Stoffe enthalten	130.200	24.175	185.673
19 02 05*	Schlämme aus der physikalisch-chemischen Behandlung, die gefährliche Stoffe enthalten	290.600	10.282	35.382
10 02 08	Abfälle aus der Abgasbehandlung <i>aus der Eisen- und Stahlindustrie</i> mit Ausnahme derjenigen, die unter 10 02 07 fallen	157.400	9.222	58.591
19 03 05	stabilisierte Abfälle mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 03 04 fallen	632.100	8.380	13.257
19 01 13*	Filterstaub, der gefährliche Stoffe enthält	372.600	7.445	19.980
19 01 11*	Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken, die gefährliche Stoffe enthalten	487.600	4.835	9.916
19 12 12	Sonstige Abfälle (einschließlich Materialmischungen) aus der mechanischen Behandlung von Abfällen mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 12 11* fallen	416.700	4.765	11.435
19 01 07*	feste Abfälle aus der Abgasbehandlung	484.900	4.551	9.385
19 12 11*	Sonstige Abfälle (einschließlich Materialmischungen) aus der mechanischen Behandlung von Abfällen, die gefährliche Stoffe enthalten	169.000	4.397	26.015
11 02 02*	Schlämme aus der Zink-Hydrometallurgie (einschließlich Jarosit, Goethit)	86.700	4.021	46.373
10 09 10	Filterstaub <i>aus der Eisen- und Stahlindustrie</i> mit Ausnahme desjenigen, der unter 10 09 09 fällt	31.200	3.926	125.817
	Mittelwert (12)			27.537
	Summe (12)	4.101.400	112.939	
	Mittelwert (39)			26.082
	Summe (39)	5.327.600	138.952	

Die ermittelte Zinkfracht stammt zu mind. 61 % (85.600 Mg/a) aus Abfällen zur Ablagerung auf Deponien.

7.2.7 Zinn (Sn)

Aufgrund der hohen Konzentrationen erscheinen insbesondere „Bearbeitungsschlämme *aus Prozessen der mechanischen Formgebung sowie der physikalischen und mechanischen Oberflächenbearbeitung von Metallen und Kunststoffen*, die gefährliche Stoffe enthalten“ für ein Recycling von Zinn interessant zu sein, aufgrund der Fracht insbesondere „Schlämme und Fil-

terkuchen *aus der chemischen Oberflächenbearbeitung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen*, die gefährliche Stoffe enthalten“.

Tabelle 7-7: Ranking der Abfallarten mit den höchsten Zinnfrachten

Zinn (Sn)		Größte Masse	Zinn Fracht	Zinn Gehalt
AVV-Nr.	Abfallbezeichnung	[Mg/a]	[Mg/a]	[g/Mg]
11 01 09*	Schlämme und Filterkuchen <i>aus der chemischen Oberflächenbearbeitung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen</i> , die gefährliche Stoffe enthalten	20.200	398	19.678
12 01 14*	Bearbeitungsschlämme <i>aus Prozessen der mechanischen Formgebung sowie der physikalischen und mechanischen Oberflächenbearbeitung von Metallen und Kunststoffen</i> , die gefährliche Stoffe enthalten	1.900	188	99.000
10 02 13*	Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung <i>aus der Eisen- und Stahlindustrie</i> , die gefährliche Stoffe enthalten	130.200	147	1.132
19 08 14	Schlämme aus einer anderen Behandlung von industriellem Abwasser mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 08 13 fallen	32.200	92	2.870
06 03 13*	feste Salze und Lösungen, die Schwermetalle enthalten	1.900	66	34.684
10 08 15*	Filterstaub <i>aus sonstiger thermischer Nichteisenmetallurgie</i> , der gefährliche Stoffe enthält	500	15	30.200
16 11 03*	andere Auskleidungen und feuerfeste Materialien aus metallurgischen Prozessen, die gefährliche Stoffe enthalten	3.300	6	1.697
	Mittelwert (7)			4.795
	Summe (7)	190.200	912	

Die ermittelte Zinnfracht stammt zu 98 % aus Abfällen zur Ablagerung auf Deponien.

7.2.8 Antimon (Sb)

Für Antimon liegen wenige Analysendaten vor. Relativ hohe Konzentrationen wurden vereinzelt für „Filterstaub aus sonstiger thermischer Nichteisenmetallurgie, der gefährliche Stoffe enthält“ gemessen. Die höchste Fracht verursachen „vorgemischte Abfälle, die wenigstens einen gefährlichen Abfall enthalten“.

Tabelle 7-8: Ranking der Abfallarten mit den höchsten Antimonfrachten

Antimon (Sb)		Größte Masse	Antimon Fracht	Antimon Gehalt
AVV-Nr.	Abfallbezeichnung	[Mg/a]	[Mg/a]	[g/Mg]
19 02 04*	vorgemischte Abfälle, die wenigstens einen gefährlichen Abfall enthalten	373.000	843	2.260
19 02 06	Schlämme aus der physikalisch-chemischen Behandlung mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 02 05 fallen	42.800	46	1.075
16 11 05*	Auskleidungen und feuerfeste Materialien aus nichtmetallurgischen Prozessen, die gefährliche Stoffe enthalten	16.500	39	2.388
06 03 15*	Metalloxide, die Schwermetalle enthalten	5.900	7	1.203
10 08 15*	Filterstaub aus sonstiger thermischer Nichteisenmetallurgie, der gefährliche Stoffe enthält	500	5	9.800
	Mittelwert (5)			2.144
	Summe (5)	438.700	940	

Die ermittelte Antimonfracht stammt zu 19 % (175 Mg/a) aus Abfällen zur Ablagerung auf Deponien.

7.2.9 Kobalt (Co)

Auch zu Kobalt ist die Datenbasis nicht zufriedenstellend.

Tabelle 7-9: Ranking der Abfallarten mit den höchsten Kobaltfrachten

Cobalt (Co)		Größte Masse	Kobalt Fracht	Eisen Gehalt
AVV-Nr.	Abfallbezeichnung	[Mg/a]	[Mg/a]	[g/Mg]
19 08 13*	Schlämme, die gefährliche Stoffe aus einer anderen Behandlung von industriellem Abwasser enthalten	213.700	4.404	20.608
10 05 01	Schlacken (Erst- und Zweitschmelze)	117.300	548	4.670
06 03 15*	Metalloxide, die Schwermetalle enthalten	5.900	55	9.339
10 08 15*	Filterstaub, der gefährliche Stoffe enthält	500	15	30.800
16 08 07*	gebrauchte Katalysatoren, die durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind	400	12	30.000
16 08 02*	gebrauchte Katalysatoren, die gefährliche Übergangsmetalle oder deren Verbindungen enthalten	400	11	27.500
12 01 14*	Bearbeitungsschlämme, die gefährliche Stoffe enthalten	1.900	5	2.421
12 01 04	NE-Metallstaub und -teilchen	500	1	2.000
	Mittelwert (8)			14.829
	Summe (8)	340.600	5.051	

Die ermittelte Kobaltfracht stammt zu 90 % (4.500 Mg/a) aus Abfällen zur Ablagerung auf Deponien.

7.2.10 Mangan (Mn)

Erwartungsgemäß finden sich die höchsten Metallfrachten bei den Abfällen aus der Eisen- und Stahlindustrie. Die Datenlage ist etwas besser als bei den restlichen neu aufgenommenen Metallen.

Tabelle 7-10: Ranking der Abfallarten mit den höchsten Manganfrachten

Mangan (Mn)		Größte Masse	Mangan Fracht	Mangan Gehalt
AVV-Nr.	Abfallbezeichnung	[Mg/a]	[Mg/a]	[g/Mg]
10 01 01	Rost- u. Kesselasche, Schlacken u. Kesselstaub mit Ausnahme von Kesselstaub der unter 10 01 04 (Ölfeuerung) fällt	4.495.500	16.624	3.698
10 02 02	unbearbeitete Schlacke <i>aus der Eisen- und Stahlindustrie</i>	842.400	12.570	14.921
19 01 12	Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 01 11 fallen	3.367.300	3.509	1.042
10 01 15	Rost- u. Kesselasche, Schlacken u. Kesselstaub aus der Abfallmitverbrennung mit Ausnahme derjenigen, die unter 10 01 14 fallen	138.900	2.986	21.500
19 02 05*	Schlämme aus der physikalisch-chemischen Behandlung, die gefährliche Stoffe enthalten	290.600	2.128	7.324
19 12 12	Sonstige Abfälle (einschließlich Materialmischungen) aus der mechanischen Behandlung von Abfällen mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 12 11* fallen	416.700	1.113	2.671
10 02 13*	Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung <i>aus der Eisen- und Stahlindustrie</i> , die gefährliche Stoffe enthalten	130.200	958	7.360
10 02 08	Abfälle aus der Abgasbehandlung <i>aus der Eisen- und Stahlindustrie</i> mit Ausnahme derjenigen, die unter 10 02 07 fallen	157.400	948	6.024
06 04 05*	Abfälle, die andere Schwermetalle enthalten	26.600	844	31.729
19 02 04*	vorgemischte Abfälle, die wenigstens einen gefährlichen Abfall enthalten	373.000	747	2.003
19 01 13*	Filterstaub, der gefährliche Stoffe enthält	372.600	467	1.253
10 02 07*	feste Abfälle aus der Abgasbehandlung <i>aus der Eisen- und Stahlindustrie</i> , die gefährliche Stoffe enthalten	20.200	454	22.485
	Mittelwert (12)			4.077
	Summe (12)	10.631.400	43.349	
	Mittelwert (24)			3.999
	Summe (24)	11.123.300	44.483	

Die ermittelte Manganfracht stammt zu mind. 78 % (34.900 Mg/a) aus Abfällen zur Ablagerung auf Deponien.

7.2.11 Molybdän (Mo)

Auch bei Molybdän liegen nur vereinzelte Daten vor.

Tabelle 7-11: Ranking der Abfallarten mit den höchsten Molybdänfrachten

Molybdän (Mo)		Größte Masse	Molybdän Fracht	Molybdän Gehalt
AVV-Nr.	Abfallbezeichnung	[Mg/a]	[Mg/a]	[g/Mg]
06 03 15*	Metalloxide, die Schwermetalle enthalten	5.900	135	22.898
12 01 16*	Strahlmittelabfälle, die gefährliche Stoffe enthalten	17.200	112	6.517
16 08 02*	gebrauchte Katalysatoren, die gefährliche Übergangsmetalle oder deren Verbindungen enthalten	400	5	13.250
10 08 15*	Filterstaub, der gefährliche Stoffe enthält	500	1	1.600
	Mittelwert (4)			10.554
	Summe (4)	24.000	253	

Die ermittelte Molybdänfracht stammt zu 93 % (234 Mg/a) aus Abfällen zur Ablagerung auf Deponien.

7.2.12 Niob (Nb)

Für Niob liegen keine Analysedaten vor.

7.2.13 Tantal (Ta)

Für Tantal liegen keine Analysedaten vor.

7.2.14 Vanadium (V)

Die vereinzelt Analysen für Vanadium zeigen z. T. erhebliche Konzentrationen auf. Dies kann als erster Hinweis auf relevante Frachten gedeutet werden, auch wenn die geringe Probenzahl und der fehlende Bezug zwischen gemessenen Konzentrationen und den damit verbundenen Massen, nur sehr eingeschränkte Aussagen zulässt.

Tabelle 7-12: Ranking der Abfallarten mit den höchsten Vanadiumfrachten

Vanadium (V)		Größte Masse	Vanadium Fracht	Vanadium Gehalt
AVV-Nr.	Abfallbezeichnung	[Mg/a]	[Mg/a]	[g/Mg]
19 02 06	Schlämme aus der physikalisch-chemischen Behandlung mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 02 05 fallen	42.800	2.209	51.600
10 01 18*	Abfälle aus der Abgasbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten	10.000	288	28.830
06 03 15*	Metalloxide, die Schwermetalle enthalten	5.900	9	1.508
16 08 02*	gebrauchte Katalysatoren, die gefährliche Übergangsmetalle oder deren Verbindungen enthalten	400	8	19.750
12 01 04	NE-Metallstaub und -teilchen	500	5	10.200
16 08 03	gebrauchte Katalysatoren, die Übergangsmetalle oder deren Verbindungen enthalten, a. n. g.	1.100	5	4.636
	Mittelwert (6)			41.578
	Summe (6)	60.700	2.524	

Die ermittelte Vanadiumfracht stammt zu 93 % (2.340 Mg/a) aus Abfällen zur Ablagerung auf Deponien.

7.2.15 Wolfram (W)

Die vereinzelt Daten zu Wolfram lassen keine Interpretationen zu.

Tabelle 7-13: Ranking der Abfallarten mit den höchsten Wolframfrachten

Wolfram (W)		Größte Masse	Wolfram Fracht	Wolfram Gehalt
AVV-Nr.	Abfallbezeichnung	[Mg/a]	[Mg/a]	[g/Mg]
06 03 15*	Metalloxide, die Schwermetalle enthalten	5.900	1.260	213.593
06 04 05*	Abfälle, die andere Schwermetalle enthalten	26.600	40	1.500
	Mittelwert (2)			40.003
	Summe (2)	32.500	1.300	

Die ermittelte Wolframfracht stammt zu 100 % aus Abfällen zur Ablagerung auf Deponien.

7.3 Kurze Beschreibung der ausgewählten Abfallarten

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

Bei der Darstellung in den folgenden Tabellen ist die Fracht das Produkt aus dem Mittelwert aller vorliegenden Daten aus der Umfrage sowie aus ABANDA und der höchsten je Jahr depo-

nierten und versetzten Masse aus 2010 oder 2011 nach DeStatis. Sie gibt an, welche Masse eines Metalls dem Wirtschaftskreislauf in einem Jahr möglicherweise entzogen wird. Der Wert kann nur zur Orientierung dienen, da die hinter den Analysen stehenden Massen nicht bekannt sind und deshalb den statistischen Daten nur bedingt zuordenbar sind. Zudem sind die Probenzahlen insbesondere bei den derzeit nicht geregelten Metallen sehr gering.

Von den hier ausgewählten Abfallarten werden je nach Verfügbarkeit, in Abstimmung mit dem UBA, die geeignetsten sechs Abfallproben für die Untersuchungen und Analysen ausgewählt. Die Reihenfolge stellt keine Priorisierung dar.

7.3.1 AVV-Nr. 06 03 15* „Metalloxide *aus anorganisch-chemischen Prozessen*, die Schwermetalle enthalten“

Erzeuger in NRW: 20

Metalloxide *aus anorganisch-chemischen Prozessen*, die Schwermetalle enthalten, werden von den assoziierten Partnern in bestehenden Recyclingprozessen eingesetzt. Es bestehen zudem Kapazitäten, in denen weitere Mengen nach einer vorgelagerten Einzelfallentscheidung aufgenommen werden könnten (Angaben: Telefongespräch Dr. Roth-Aurubis).

Für AVV-Nr. 06 03 16 „Metalloxide *aus anorganisch-chemischen Prozessen* mit Ausnahme derjenigen, die unter 06 03 15* fallen, liegen keine Analysendaten vor. In 2010 wurden davon 53.400 Mg, in 2011 31.500 Mg deponiert.

Nach Auswertung von Informationen zum konkreten Entstehungsprozess kann entweder AVV-Nr. 06 03 16 oder 06 03 15* für die weiteren Untersuchungen gewählt werden.

Tabelle 7-14: Zusammenfassung der Ergebnisse für AVV-Nr. 06 03 15* „Metalloxe aus anorganisch-chemischen Prozessen, die Schwermetalle enthalten“

		2010 [Mg]	2011 [Mg]
Versatz		0	0
Ablagerung Deponie		5.900	2.600
Deponiebau		0	0
Gesamt-Masse		5.900	2.600
Höchste Masse in einem Jahr		5.900	
Metall	Mittelwert [mg/kg]	Anzahl Analysen	Fracht [Mg/a]
Blei	< 10.000	6	
Kupfer	6.445	5	38,0
Nickel	92.450	5	545,5
Eisen	182.905	3	1.079,1
Chrom ges.	58.537	5	345,4
Zink	23.564	6	139,0
Zinn	< 1.000	1	
Aluminium	10.000	2	59,0
Antimon	1.200	1	7,1
Kobalt	9.336	4	55,1
Mangan	4.326	3	25,5
Molybdän	22.900	2	135,1
Niob		0	
Tantal		0	
Vanadium	1.500	1	8,9
Wolfram	213.600	1	1.260,2

7.3.2 AVV-Nr. 10 01 01 „Rost- und Kesselasche, Schlacke und Kesselstaub aus Kraftwerken und sonstigen Prozessen außer Abfallverbrennung mit Ausnahme von Kesselstaub, der unter 10 01 04 (Ölfeuerung) fällt“

Erzeuger in NRW: 12

Ein Beispiel für solche Rückstände sind Biomasseaschen, die bei der thermischen Behandlung von Altholz entstehen.

Die chemische Zusammensetzung der Aschen aus der Biomasseverbrennung ist stark schwankend. Etwa 10 - 30 % der Aschen werden durch wasserlösliche Bestandteile, vornehmlich Hydroxide und Carbonate, dargestellt. Daher entstehen bei Wasserkontakt hohe pH-Werte. Typischerweise liegen trotz vergleichsweise geringer Schwermetallfrachten der Biomasseaschen hohe Schwermetalleluatwerte vor. Diese überschreiten die für die Ablagerung auf Deponien der Klasse II geltenden Grenzwerte. Blei stellt in den meisten Fällen den limitierenden Faktor für weitere Verwertungen dar. Dies wird durch die für Biomasseasche typische geringe Korn-

größe mit der daraus resultierenden großen Oberfläche verstärkt. Hinzu kommt, dass an den größeren Körnern feinste Partikel anhaften und somit auch im Grobkorn hohe Schwermetallkonzentrationen gemessen werden.

Zwar wird in Einzelfällen nach einer längeren Ablagerung, der damit verbundenen Alterung und Carbonatisierung der Aschen eine obertägige Verwertung als Deponieersatzbaustoff einer Deponie der Klasse II möglich. Dies stellt jedoch aus vielschichtigen Gründen keine gangbare Alternative zum untertägigen Versatz dar. Somit gehen große Mengen an Wertemetallen verloren.

Tabelle 7-15: Zusammenfassung der Ergebnisse für AVV-Nr. 10 01 01 „Rost- und Kesselasche, Schlacke und Kesselstaub *aus Kraftwerken und sonstigen Prozessen außer Abfallverbrennung* mit Ausnahme von Kesselstaub, der unter 10 01 04 fällt“

		2010 [Mg]	2011 [Mg]
Versatz		61.500	16.200
Ablagerung Deponie		3.795.600	4.367.000
Deponiebau		152.400	112.300
Gesamt-Masse		4.009.500	4.495.500
Höchste Masse in einem Jahr		4.495.500	
Metall	Mittelwert [mg/kg]	Anzahl Ana- lysen	Fracht [Mg/a]
Blei	< 10.000	366	
Kupfer	< 1.000	343	
Nickel	< 2.500	352	
Eisen	< 45.000	78	
Chrom ges.	< 15.000	351	
Zink	< 9.000	360	
Zinn	< 1.000	22	
Aluminium	11.026	55	49.567,4
Antimon	< 1.000	55	
Kobalt	< 1.000	46	
Mangan	3.484	26	15.662,3
Molybdän	< 1.000	10	
Niob		0	
Tantal		0	
Vanadium	< 1.000	72	
Wolfram		0	

7.3.3 AVV-Nr. 10 02 02 „unbearbeitete Schlacke *aus der Eisen- und Stahlindustrie*“

Erzeuger in NRW: 3

Auf Basis der Analysen kann geschlossen werden, dass insbesondere Elektrostahlwerke Erzeuger der für die weitere Untersuchung interessanten Rückstände sind. Aufgrund der hohen Mengen handelt es sich um relevante Frachten, welche eine Metallrückgewinnung interessant erscheinen lassen.

Tabelle 7-16: Zusammenfassung der Ergebnisse für AVV-Nr. 10 02 02 „unbearbeitete Schlacke *aus der Eisen- und Stahlindustrie*“

		2010 [Mg]	2011 [Mg]
Versatz		0	0
Ablagerung Deponie		574.500	615.800
Deponiebau		228.200	226.600
Gesamt-Masse		802.700	842.400
Höchste Masse in einem Jahr		842.400	
Metall	Mittelwert [mg/kg]	Anzahl Analysen	Fracht [Mg/a]
Blei	< 10.000	37	
Kupfer	9.418	38	7.933,7
Nickel	< 2.500	38	
Eisen	179.256	14	151.005,3
Chrom ges.	< 15.000	31	
Zink	31.209	38	26.290,5
Zinn	< 1.000	1	
Aluminium		0	
Antimon	< 1.000	1	
Kobalt	< 1.000	3	
Mangan	14.869	12	12.525,6
Molybdän	< 1.000	1	
Niob		0	
Tantal		0	
Vanadium	< 1.000	4	
Wolfram		0	

Die typischen Spannbreiten in der Zusammensetzung von Elektroofenschlacke in Abgrenzung zu weiteren Metallschlacken und sonstigen Schlacken zeigt Tabelle 7-17.

Tabelle 7-17: Charakteristische Zusammensetzung von Elektroofenschlacke im Vergleich zu Hochofen- und LD-Schlacke sowie sonstige Schlacken

Inhaltsstoffe	Gehalte / Konzentrationen	Erläuterungen
Abfälle aus der Verarbeitung von Schlacke 100201 und unbearbeitete Schlacke 100202		
Silizium als SiO ₂	3 - 40 %	35 - 40 % aus Hochofenschlacke 11 - 18 % aus LD-Schlacke 10 - 18 % aus Elektroofenschlacke 3 - 40 % aus sonstiger Schlacke
Calcium als CaO	20 - 60 %	34 - 43 % aus Hochofenschlacke 45 - 53 % aus LD-Schlacke 24 - 36 % aus Elektroofenschlacke 20 - 60 % aus sonstiger Schlacke
Eisen als Fe ₂ O ₃	0,1 - 60 %	0,1 - 1,0 % aus Hochofenschlacke 20 - 31 % aus LD-Schlacke 29 - 43 % aus Elektroofenschlacke < 1 - 60 % aus sonstiger Schlacke
metallisches Eisen bzw. Stahl entsprechend der Legierung	< 1 - 10 %	
Aluminium als Al ₂ O ₃	1 - 40 %	8 - 12 % aus Hochofenschlacke 1 - 5 % aus LD-Schlacke 4 - 9 % aus Elektroofenschlacke 1 - 40 % aus sonstiger Schlacke
Magnesium als MgO	1 - 20 %	7 - 16 % aus Hochofenschlacke 1 - 6 % aus LD-Schlacke 3 - 7 % aus Elektroofenschlacke 1 - 20 % aus sonstiger Schlacke
Mangan als MnO	0,1 - 8 %	0,1 - 1,0 % aus Hochofenschlacke 2 - 5 % aus LD-Schlacke 4 - 8 % aus Elektroofenschlacke < 1 - 6 % aus sonstiger Schlacke
Chrom als Cr ₂ O ₃	0,1 - 7 %	< 0,5 % aus LD-Schlacke 1 - 3 % aus Elektroofenschlacke < 0,1 - 7 % aus sonstiger Schlacke
Phosphor als P ₂ O ₅	0,02 - 3 %	1 - 3 % aus LD-Schlacke 0,5 - 1 % aus Elektroofenschlacke 0,02 - 1 % aus sonstiger Schlacke
Schwefel als SO ₃	< 0,1 - 5 %	3 - 5 % aus Hochofenschlacke < 0,1 - 2 % aus Stahlwerksschlacke

7.3.4 AVV-Nr. 10 04 01* „Schlacken (Erst- und Zweitschmelze) aus der thermischen Bleimetal-lurgie“

Erzeuger in NRW: 7

Diese Abfallart wurde zu den zu untersuchenden Abfällen aufgenommen, da es nur einen sehr kleinen Kreis an Erzeugern gibt und zu erwarten ist, dass diese Abfälle weitere Metalle enthalten können, die in die Rückstände ausgetragen werden. Üblicherweise werden solche Metalle mit den primären Erzen in die Verhüttungsprozesse gegeben.

Tabelle 7-18: Zusammenfassung der Ergebnisse für AVV-Nr. 10 04 01* „Schlacken (Erst- und Zweitschmelze) *aus der thermischen Bleimetallurgie*“

		2010 [Mg]	2011 [Mg]
Versatz		0	0
Ablagerung Deponie		64.900	48.400
Deponiebau		0	0
Gesamt-Masse		64.900	48.400
Höchste Masse in einem Jahr		64.900	
Metall	Mittelwert [mg/kg]	Anzahl Ana- lysen	Fracht [Mg/a]
Blei	28.523	9	1.851,1
Kupfer	8.768	7	569,0
Nickel	< 2.500	7	
Eisen	< 45.00	1	
Chrom ges.	< 15.00	6	
Zink	27.653	7	1.794,7
Zinn	35.030	2	2.273,4
Aluminium		0	
Antimon	< 1.000	5	
Kobalt	< 1.000	2	
Mangan		0	
Molybdän		0	
Niob		0	
Tantal		0	
Vanadium		0	
Wolfram		0	

Fracht: Produkt aus Mittelwert und höchster Masse eines Jahres. Sie gibt an, welche Masse eines Metalls dem Wirtschaftskreislauf in einem Jahr möglicherweise entzogen wird. Der Wert kann nur zur Orientierung dienen, da die hinter den Analysen stehenden Massen nicht bekannt sind.

7.3.5 AVV-Nr. 10 05 01 „Schlacken (Erst- und Zweitschmelze) *aus der thermischen Zinkmetallurgie*“

Erzeuger in NRW: 1

Diese Abfallart wurde zu den untersuchenden Abfällen aufgenommen, da es nur einen sehr kleinen Kreis an Erzeugern gibt und zu erwarten ist, dass diese Abfälle weitere Metalle enthalten können, die in die Rückstände ausgetragen werden. Üblicherweise werden solche Metalle mit den primären Erzen in die Verhüttungsprozesse gegeben.

Tabelle 7-19: Zusammenfassung der Ergebnisse für AVV-Nr. 10 05 01 „Schlacken (Erst- und Zweitschmelze) aus der thermischen Zinkmetallurgie“

		2010 [Mg]	2011 [Mg]
Versatz		0	0
Ablagerung Deponie		0	11.000
Deponiebau		117.300	90.200
Gesamt-Masse		117.300	101.200
Höchste Masse in einem Jahr		117.300	
Metall	Mittelwert [mg/kg]	Anzahl Ana- lysen	Fracht [Mg/a]
Blei	< 10.000	5	
Kupfer	3.003	3	352,3
Nickel	< 2.500	4	
Eisen	< 45.000	1	
Chrom ges.	< 15.000	3	
Zink	28.421	5	3.333,8
Zinn		0	
Aluminium		0	
Antimon	< 1.000	1	
Kobalt	4.670	1	547,8
Mangan		0	
Molybdän	< 1.000	1	
Niob		0	
Tantal		0	
Vanadium	< 1.000	1	
Wolfram		0	

7.3.6 AVV-Nr. 10 06 01 „Schlacken (Erst- und Zweitschmelze) aus der thermischen Kupfermetallurgie“

Erzeuger in NRW: 1

Dieses Material wurde schon und wird immer noch im Aurubis-Prozess am Standort Lünen eingesetzt. Zwar waren die eingesetzten Mengen bisher eher gering. Eine weitere Aufnahme eines solchen Materials ist erwünscht, muss aber im Einzelfall geklärt werden, da bestimmte Metallkombinationen zum Ausschluss führen können (Auskunft Herr Dr. Roth, Aurubis Lünen).

Da ein Recyclingweg besteht und die aus den Recherchen zu erkennenden Konzentrationen und Frachten hoch sind, wird dieser Abfallstrom trotz der sehr geringen Frachten als interessant angesehen.

Zudem entsteht dieses Material nicht bei den Betrieben der Aurubis. Werk Lünen produziert keine Abfälle, sämtliche entstehenden Rückstände sind als REACH-Produkte eingestuft.

Tabelle 7-20: Zusammenfassung der Ergebnisse für AVV-Nr. 10 06 01 „Schlacken (Erst- und Zweitschmelze) aus der thermischen Kupfermetallurgie“

		2010 [Mg]	2011 [Mg]
Versatz		0	0
Ablagerung Deponie		0	700
Deponiebau		0	0
Gesamt-Masse		0	700
Höchste Masse in einem Jahr		700	
Metall	Mittelwert [mg/kg]	Anzahl Analysen	Fracht [Mg/a]
Blei	< 10.000	16	
Kupfer	5.280	17	3,7
Nickel	< 2.500	16	
Eisen	< 45.000	1	
Chrom ges.	< 15.000	15	
Zink	26.420	17	18,5
Zinn	< 1.000	6	
Aluminium	42.000	2	29,4
Antimon	< 1.000	13	
Kobalt	< 1.000	6	
Mangan	< 1.000	4	
Molybdän	< 1.000	6	
Niob		0	
Tantal		0	
Vanadium	< 1.000	7	
Wolfram		0	

7.3.7 AVV-Nr. 10 09 10 „Filterstaub *vom Gießen von Eisen und Stahl* mit Ausnahme desjenigen, der unter 10 09 09* fällt“

Erzeuger in NRW: 2

Aufgrund der Abfallmengen und der Frachten an Eisen, Zink und insbesondere Mangan wird dieser Abfall in die nähere Auswahl für weitere Untersuchungen aufgenommen.

Tabelle 7-21: Zusammenfassung der Ergebnisse für AVV-Nr. 10 09 10 „Filterstaub *vom Gießen von Eisen und Stahl* mit Ausnahme desjenigen, der unter 10 09 09* fällt“

		2010 [Mg]	2011 [Mg]
Versatz		0	0
Ablagerung Deponie		19.500	25.100
Deponiebau		300	6.100
Gesamt-Masse		19.800	31.200
Höchste Masse in einem Jahr		31.200	
Metall	Mittelwert [mg/kg]	Anzahl Analysen	Fracht [Mg/a]
Blei	< 10.000	13	
Kupfer	< 1.000	12	
Nickel	< 2.500	12	
Eisen	98.400	1	3.070,1
Chrom ges.	< 15.000	15	
Zink	112.465	20	3.508,9
Zinn	< 1.000	6	
Aluminium		0	
Antimon	< 1.000	10	
Kobalt	< 1.000	12	
Mangan	50.500	2	1.575,6
Molybdän		0	
Niob		0	
Tantal		0	
Vanadium		0	
Wolfram		0	

Die Filterstäube aus der Eisen- und Stahlgießerei stammen insbesondere aus der Reinigung der

- Ofenabgase und der
- Prozessabluft aus der Altsandaufbereitung

mittels Gewebefilter.

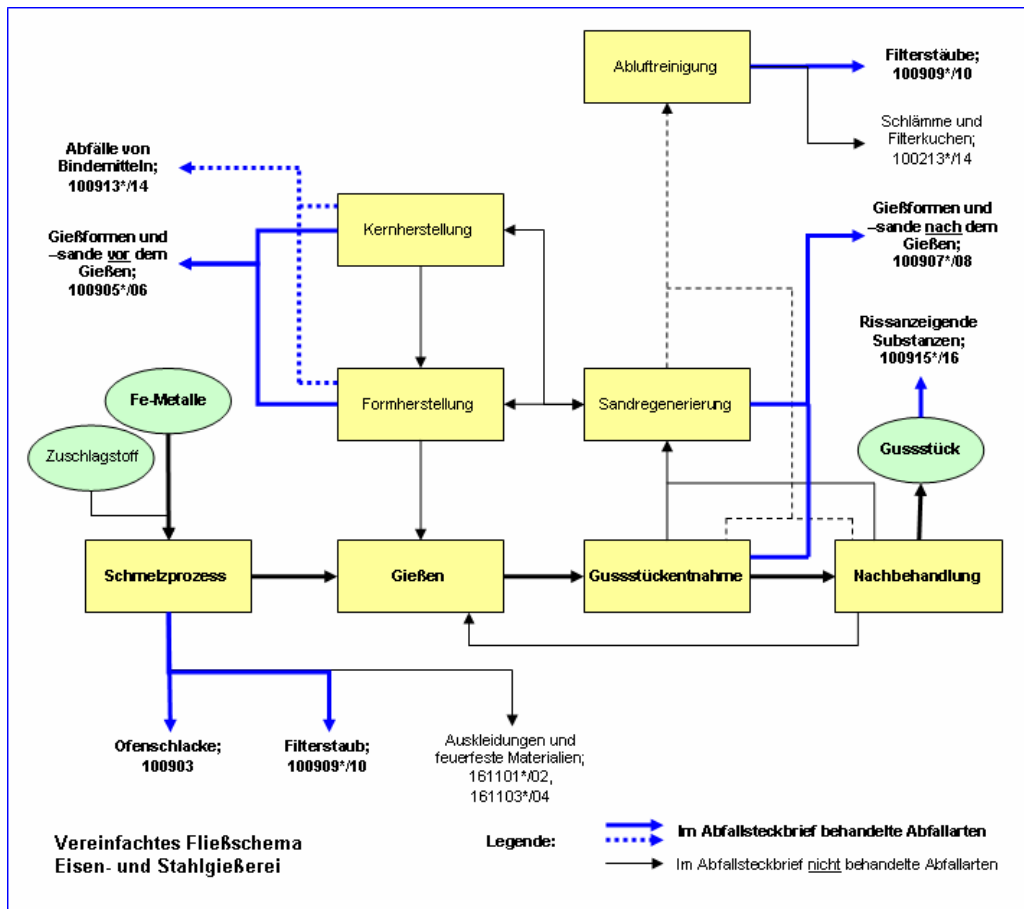


Abbildung 7-1. Schematische Darstellung des Entstehungsprozesses von Abfällen vom Gießen von Eisen und Stahl (ABAG-itm nach IP@ 2014)

Die Anfallstellen und nähere Bezeichnungen der Abfälle zeigt Abbildung 7-1: In den Stäuben aus der Reinigung der Ofenabgase findet man überwiegend Eisenoxid sowie Oxide der anderen eingesetzten Metalle. Außerdem sind Aschen des Brennstoffs zusammen mit Verunreinigungen, die dem Einsatzmaterial anhafteten und unverbrannte Zuschlagstoffe enthalten. In den Filterstäuben aus der Reinigung der Abluft aus Formen- und Kernherstellung, Sandregenerierung, Schleiferei und Entgraterei sind v. a. die Feinanteile der Sande, bis zu 50 % Eisenpartikel und ausgehärtete Reste des Bindemittels enthalten.

Je nach verwendeten Einsatzstoffen können Belastungen durch Dioxine und Furane in den Filterstäuben auftreten (IP@ 2014).

Tabelle 7-22: Charakteristische Zusammensetzung von Abfällen vom Gießen von Eisen und Stahl (IP@ 2014)

Inhaltsstoffe	Gehalte / Konzentrationen	Erläuterungen
Filterstaub aus der Aufbereitung von anorganisch gebundenem Altsand 100909*/10		
Quarzsand	85 - 98 %TS	Davon Feinkornanteil (< 63 µm) ca. 15 %TS
Kohlenstoff	0,2 - 9 %TS	
Schwefel	0,2 - 1 %TS	
Eisen gesamt	0,5 - 5 %TS	Abrieb von Gussteilen
pH-Wert im Eluat	7 - 10	
Leitfähigkeit		
Abdampfrückstand	600 - 5.000 mg/l	Erhöhte Chlorid-, Sulfat- und Ammoniumgehalte
TOC im Eluat	20 - 50 mg/l	
Summe NE-Metalle im Eluat	< 1 mg/l	NE-Metalle einzeln: je nach Herkunft, allgemein < 0,1 mg/l

7.3.8 AVV-Nr. 11 01 08* „Phosphatierschlämme“

Erzeuger in NRW: 128

Die Rückstände entstehen u. a. bei der Phosphatierung (zum Korrosionsschutz) von Stahlblechen, vornehmlich für die Automobilindustrie. Dabei sammeln sich im Schlamm unterschiedliche Metalle, vornehmlich Eisen, Blei, Zink, Nickel und Mangan.

Für die Aufbereitung dieser Schlämme wurde am Institut ein Verfahren entwickelt, welches eine direkte Rückführung von Mn, Zn, und Ni ermöglicht. Zudem kann Eisenphosphat gewonnen werden, welches als Dünger eingesetzt werden kann.

Für eine Komplexierung der Aufbereitung der Schlämme kann Aluminium sorgen.

Aufgrund schon entwickelter Verfahren, die bisher noch nicht industriell umgesetzt worden sind, sollten weitere Untersuchungen durchgeführt werden und den Abfallerzeugern die passenden Verfahren an die Hand gelegt werden. Ein Schwerpunkt ist auf die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen zu legen.

Tabelle 7-23: Zusammenfassung der Ergebnisse für AVV-Nr. 11 01 08* „Phosphatierschlämme“

		2010 [Mg]	2011 [Mg]
Versatz		0	0
Ablagerung Deponie		700	800
Deponiebau		0	0
Gesamt-Masse		700	800
Höchste Masse in einem Jahr		800	
Metall	Mittelwert [mg/kg]	Anzahl Analysen	Fracht [Mg/a]
Blei	< 10.000	62	
Kupfer	< 1.000	56	
Nickel	3.609	70	2,9
Eisen	154.111	38	123,3
Chrom ges.	< 15.000	66	
Zink	62.206	72	49,8
Zinn	< 1.000	37	
Aluminium	3.333	8	2,7
Antimon	< 1.000	26	
Kobalt	< 1.000	38	
Mangan	9.492	29	7,6
Molybdän	< 1.000	6	
Niob	< 100	1	
Tantal	< 100	1	
Vanadium	< 1.000	10	
Wolfram	< 1.000	2	

7.3.9 AVV-Nr. 11 01 09* „Schlämme und Filterkuchen aus der chemischen Oberflächenbearbeitung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen, die gefährliche Stoffe enthalten“

Erzeuger in NRW: 528

Die Abfälle sind je nach Prozess, wie beispielsweise Galvanik, Verzinkung, Beizen sehr verschieden. Es wird recherchiert, welcher Prozess konkret die für weitere Untersuchungen aussichtsreichsten Abfälle liefert und zur Verfügung gestellt werden kann.

Tabelle 7-24: Zusammenfassung der Ergebnisse für AVV-Nr. 11 01 09* „Schlämme und Filterkuchen *aus der chemischen Oberflächenbearbeitung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen*, die gefährliche Stoffe enthalten“

		2010 [Mg]	2011 [Mg]
Versatz		0	0
Ablagerung Deponie		19.100	20.200
Deponiebau		0	0
Gesamt-Masse		19.100	20.200
Höchste Masse in einem Jahr		20.200	
Metall	Mittelwert [mg/kg]	Anzahl Analysen	Fracht [Mg/a]
Blei	< 10.000	393	
Kupfer	40.458	430	817,3
Nickel	35.868	438	724,5
Eisen	58.823	316	1.188,2
Chrom ges.	27.355	418	552,6
Zink	53.773	431	1.086,2
Zinn	19.677	185	397,5
Aluminium	27.855	214	562,7
Antimon	< 1.000	166	
Kobalt	< 1.000	254	
Mangan	1.430	246	28,9
Molybdän	< 1.000	41	
Niob		0	
Tantal		0	
Vanadium	< 1.000	139	
Wolfram	< 1.000	3	

Abfälle aus der galvanotechnischen Beschichtung werden meist in vier Herkunftsbereiche eingeteilt: Vorbehandlung, Beschichtung, Nachbehandlung und Abwasserbehandlung. Die Verfahrensvarianten in den vier Bereichen unterscheiden sich z. B. je nach Art des zu beschichtenden Werkstoffs, Qualitäts- und Reinheitsanforderungen.

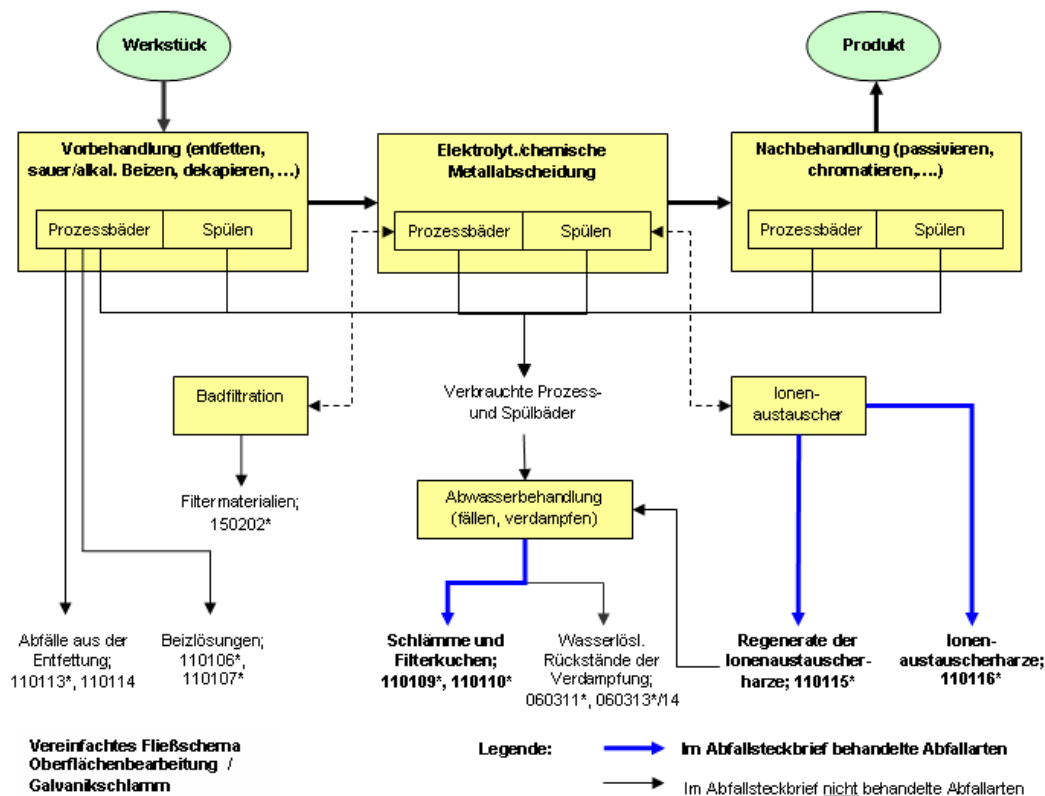


Abbildung 7-2: Schematische Darstellung des Entstehungsprozesses von Schlämmen und Filterkuchen *aus der chemischen Oberflächenbearbeitung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen* (ABAG-itm 2007 zitiert nach IP@ 2014)

Die Anfallstellen und nähere Bezeichnungen der Abfälle zeigt Abbildung 7-2: Galvanikschlamm fallen i. A. im Bereich der Abwasserbehandlung an, in der Konzentrate/Halbkonzentrate aus Entfettung, Beizen und Metallisierung sowie Spülwässer, in denen sich anorganische und organische Stoffe anreichern, behandelt werden (IP@ 2014).

„Die verbrauchten Konzentrate und Halbkonzentrate enthalten im Wesentlichen:

- Metallionen, z. B. Chrom, Eisen, Kupfer, Nickel, Zink,
- toxische Anionen, z. B. Cyanid oder Chromat,
- Neutralsalze, z. B. Sulfate, Chloride,
- vielfältige organische und anorganische Zusatzstoffe der einzelnen Bäder, z. B. Beizinhibitoren und Glanzzusätze, die ggf. auch sogenannte Komplexbildner enthalten, z. B. EDTA (Ethylendiamintetraessigsäure) oder Polyphosphate und
- mit den zu beschichtenden Werkstücken eingeschleppte organische Schadstoffe, z. B. Fette und Öle“ (IP@ 2014).

Die gelösten Metallionen werden meist durch chemische Fällung mit Natronlauge und/oder Kalkmilch in schwerlösliche Verbindungen, z. B. Hydroxide oder seltener Sulfide, umgewandelt. Die Niederschläge aus der Fällung werden zunächst im Dünnschlamm bei 3 bis 5 % Trockensubstanzgehalt (TS-Gehalt) abgeschieden. Dieser wird dann bis zu einem TS-Gehalt von 30 bis

40 % mechanisch entwässert. Mit thermischen Trocknungsverfahren können TS-Gehalte von über 70 % erreicht werden (IP@ 2014).

Tabelle 7-25: Charakteristische Zusammensetzung von Schlämmen und Filterkuchen *aus der chemischen Oberflächenbearbeitung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen* (IP@ 2014)

Inhaltsstoffe	Gehalte / Konzentrationen	Erläuterungen
Schlämme und Filterkuchen aus der Abwasserbehandlung 110109*/10		
Feststoff		
Feststoffgehalt	ca. 3 - 5 %TS	Sedimentationsschlamm
Feststoffgehalt	ca. 30 - 40 %TS	Schlamm aus Kammerfilterpresse; i. d. R. stichfest, brockig
Feststoffgehalt	> 70 %TS	Thermisch getrockneter Schlamm; i. d. R. trocken, bröselig
NE-Schwermetalle		Art und Gehalt abhängig vom galvanotechnischen Beschichtungsprozess und der Betriebsweise; am häufigsten sind Cr, Cu, Ni, Zn; Al bei Eloxalverfahren; Bindungsform abhängig von der Behandlung, z. B. Hydroxide
Eisen	0 - 10 %TS	Überwiegend vom Werkstück, Beizprozess und dessen Betriebsweise abhängig
sonstige anorganische Stoffe		Im Wesentlichen bestimmt durch den Fällungsprozess, z. B. Ca, Cl, Na, S, Si
organischer Kohlenstoffgehalt TOC	i. d. R. < 3 %TS	Öle und Fette
sonstige organische Schadstoffe	gering	Art und Gehalt abhängig vom Prozess und dessen Betriebsweise; z. B. PAK-EPA

7.3.10 AVV-Nr. 11 02 02* „Schlämme aus der Zink-Hydrometallurgie (einschließlich Jarosit, Goethit)“

Erzeuger in NRW: 5

Goethit ist ein Eisenmineral, das zwar hohe Frachten an Eisen trägt, aber aufgrund von Verunreinigungen meistens nicht in der Eisenmetallurgie eingesetzt werden kann. Der Grund dafür ist, dass z. B. Chlor in das Gitter der Eisenkristalle eingebaut wird.

Jarosit ist ebenfalls ein Eisenmineral, welches hohe Eisenfrachten aufweist. Jedoch sind große Teile der Eisenbestandteile in Schwefelverbindungen vorhanden. Da in der Regel in Stahlanlagen keine Entschwefelung der Abgase vorhanden ist, kann dieses Mineral aufgrund hoher SO₂-Konzentrationen im Abgas schwer eingesetzt werden.

Die hohen Gehalte und Frachten an Aluminium, Eisen und Zink legen weitere Untersuchungen nahe.

Tabelle 7-26: Zusammenfassung der Ergebnisse für AVV-Nr. 11 02 02* „Schlämme aus der Zink-Hydrometallurgie (einschließlich Jarosit, Goethit)“

		2010 [Mg]	2011 [Mg]
Versatz		0	0
Ablagerung Deponie		74.300	86.700
Deponiebau		0	0
Gesamt-Masse		74.300	86.700
Höchste Masse in einem Jahr		86.700	
Metall	Mittelwert [mg/kg]	Anzahl Analysen	Fracht [Mg/a]
Blei	< 10.000	12	
Kupfer	4.225	4	366,3
Nickel	< 2.500	2	
Eisen	128.600	2	11.149,6
Chrom ges.	< 15.000	1	
Zink	46.372	17	4.020,5
Zinn		0	
Aluminium	130.000	1	11.271,0
Antimon		0	
Kobalt		0	
Mangan	4.400	1	381,5
Molybdän		0	
Niob		0	
Tantal		0	
Vanadium		0	
Wolfram		0	

7.3.11 AVV-Nr. 12 01 14* „Bearbeitungsschlämme aus Prozessen der mechanischen Formgebung sowie der physikalischen und mechanischen Oberflächenbearbeitung von Metallen und Kunststoffen, die gefährliche Stoffe enthalten“

Erzeuger in NRW: 154

Diese Abfallart kann in Lünen eingesetzt werden. In sehr geringen Mengen wurde es bereits eingesetzt. Weitere Aufnahme eines solchen Materials ist erwünscht, muss aber im Einzelfall geklärt werden (Auskunft Herr Roth, Aurubis Lünen).

Tabelle 7-27: Zusammenfassung der Ergebnisse für AVV-Nr. 12 01 14* „Bearbeitungsschlämme aus Prozessen der mechanischen Formgebung sowie der physikalischen und mechanischen Oberflächenbearbeitung von Metallen und Kunststoffen, die gefährliche Stoffe enthalten“

		2010 [Mg]	2011 [Mg]
Versatz		0	0
Ablagerung Deponie		1.700	1.900
Deponiebau		0	0
Gesamt-Masse		1.700	1.900
Höchste Masse in einem Jahr		1.900	
Metall	Mittelwert [mg/kg]	Anzahl Analysen	Fracht [Mg/a]
Blei	< 10.000	29	
Kupfer	181.372	36	344,6
Nickel	18.895	25	35,9
Eisen	133.128	20	252,9
Chrom ges.	15.276	30	29,0
Zink	21.920	30	41,6
Zinn	99.014	7	188,1
Aluminium	30.878	8	58,7
Antimon	< 1.000	5	
Kobalt	2.399	10	4,6
Mangan	1.313	10	2,5
Molybdän		0	
Niob		0	
Tantal		0	
Vanadium	< 1.000	3	
Wolfram		0	

Die Anfallstellen und nähere Bezeichnungen der Abfälle zeigt Abbildung 7-3: Bearbeitungsschlämme fallen, häufig in Form von "Schleifschlämmen", meist bei der mechanischen Oberflächenbehandlung von Metallen an. Zum Austrag der sehr feinen Späne, die vom Werkstück abgetragen werden, kommen Prozesshilfsmittel (z. B. Gleitschleifcompound, Strahlmittel) zum Einsatz. Die Späne werden dann mittels Filtration soweit möglich entfernt.

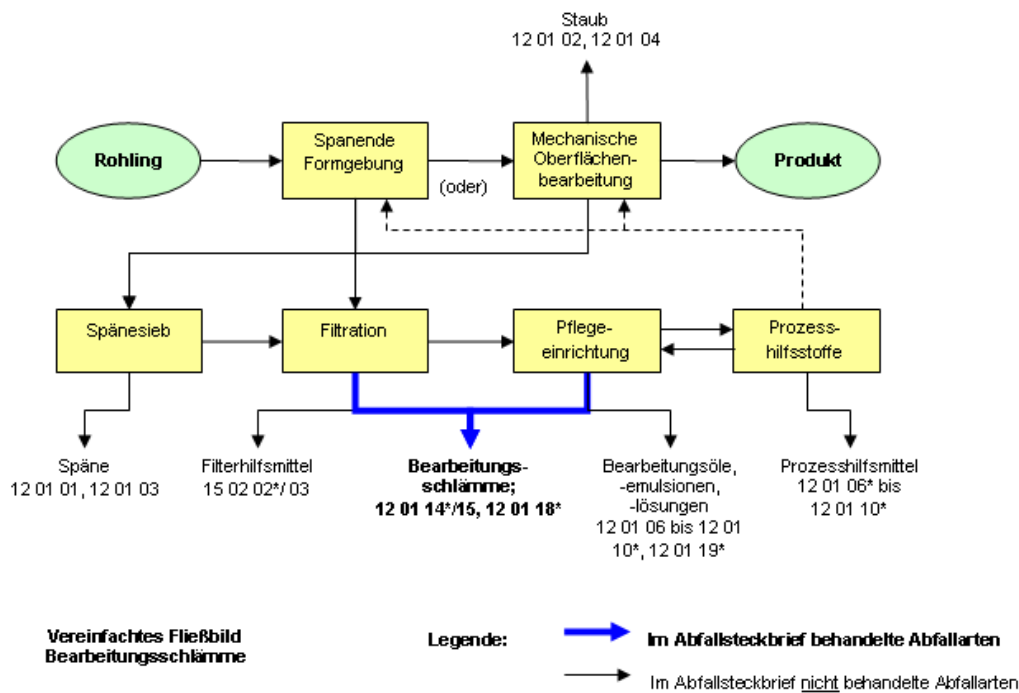


Abbildung 7-3: Schematische Darstellung des Entstehungsprozesses von Schlämmen aus der Metallverarbeitung [ABAG-itm 2007, zitiert nach IP@ 2014]

Die typischen Bestandteile von Bearbeitungsschlämmen *aus Prozessen der mechanischen Formgebung sowie der physikalischen und mechanischen Oberflächenbearbeitung von Metallen und Kunststoffen* zeigt Tabelle 7-28.

Tabelle 7-28: Charakteristische Zusammensetzung von Bearbeitungsschlämmen *aus Prozessen der mechanischen Formgebung sowie der physikalischen und mechanischen Oberflächenbearbeitung von Metallen und Kunststoffen*

Inhaltsstoffe	Gehalte / Konzentrationen	Erläuterungen
Bearbeitungsschlämme 120114*/15		
Metallgehalt	2 - 20 %	Gehalt abhängig vom Bearbeitungsverfahren; Art abhängig von den bearbeiteten Werkstoffen, Fe- oder NE-Metalle
Schleifmittelabrieb	2 - 50 %	Vorkommen insbesondere bei Gleitschleifschlämmen und nass abgeschiedenen Strahlstäuben; Anteil je nach Werkstoff und Verfahren; enthält insbesondere Korund, Siliciumcarbid, Bornitrid oder Aluminiumoxid, einschl. Bindemittel (Kunstharz, Kunststoff) sowie metallische und mineralische Strahlmittel (Schlacken, Glas, Hartguss)
Gehalt an KW	0 - 3 %	Nur geringe Anteile eingeschleppter Fremdöle
Filterhilfsmittel	0 - 20 %	Gehalt abhängig vom Filtrationsverfahren, z. B. Kieselgur bei Anschwemmfiltern, Filtervliese bei Bandfiltern, einschl. Verunreinigungen
Wassergehalt	5 - 75 %	Hohe Wassergehalte bei Gleitschleifschlämmen und Nassabscheidung von Aluminium-Stäuben

7.3.12 AVV-Nr. 19 01 13* „Filterstaub, der gefährliche Stoffe enthält“

Erzeuger in NRW: 42

Diese Abfallströme entstehen bei der thermischen Behandlung (Verbrennung und Pyrolyse) von Abfällen. Durch die bei der thermischen Behandlung vorgeschriebenen Bedingungen, vor allem in Bezug auf die Temperatur, werden aus den Reststoffen ausgetriebene leichtflüchtige Stoffe aufkonzentriert. Besonders interessant erscheinen hierbei die Konzentrationen von Zink, Aluminium, Blei sowie in einzelnen Fällen Mangan und Antimon. Zudem sind unterschiedliche Aufbereitungsverfahren zur Rückgewinnung bestimmter Metalle bekannt bzw. in der Entwicklung und lassen daher ein Recycling interessant erscheinen. Probleme stellen die gleichzeitig hohen Gehalte an Schadstoffen dar. Z. T. hohe Entsorgungskosten begünstigen ggf. die Wirtschaftlichkeit von Recyclingverfahren.

Tabelle 7-29: Zusammenfassung der Ergebnisse für AVV-Nr. 19 01 13* „Filterstaub, der gefährliche Stoffe enthält“

		2010 [Mg]	2011 [Mg]
Versatz		280.100	306.900
Ablagerung Deponie		82.900	65.700
Deponiebau		0	0
Gesamt-Masse		363.000	372.600
Höchste Masse in einem Jahr		372.600	
Metall	Mittelwert [mg/kg]	Anzahl Ana- lysen	Fracht [Mg/a]
Blei	< 10.000	769	
Kupfer	1.480	420	551,4
Nickel	< 2.500	529	
Eisen	< 45.000	96	
Chrom ges.	< 15.000	385	
Zink	19.721	628	7.348,0
Zinn	< 1.000	321	
Aluminium	32.851	68	12.240,3
Antimon	< 1.000	462	
Kobalt	< 1.000	437	
Mangan	1.082	56	403,2
Molybdän	< 1.000	4	
Niob		0	
Tantal		0	
Vanadium	< 1.000	63	
Wolfram		0	

7.3.13 AVV-Nr. 19 02 05* „Schlämme aus der physikalisch-chemischen Behandlung *von Abfällen*, die gefährliche Stoffe enthalten“

Erzeuger in NRW: 276

Diese Abfälle wurden schon und werden noch immer im Aurubis-Prozess am Standort Lünen eingesetzt. Zwar waren die eingesetzten Mengen bisher eher gering. Eine weitere Aufnahme solcher Abfälle ist erwünscht, muss aber im Einzelfall geklärt werden, da bestimmte Metallkombinationen zum Ausschluss führen können (Auskunft Herr Roth, Aurubis Lünen).

Da ein Recyclingweg besteht und die aus den Recherchen zu erkennenden Konzentrationen und Frachten hoch sind, wird dieser Abfallstrom als interessant für weitere Untersuchungen angesehen. Ggf. ist zu prüfen, ob geeignete Abfallarten vor der chemisch-physikalischen Behandlung für ein Recycling besser geeignet wären.

Tabelle 7-30: Zusammenfassung der Ergebnisse für AVV-Nr. 19 02 05* „Schlämme aus der physikalisch-chemischen Behandlung von Abfällen, die gefährliche Stoffe enthalten“

		2010 [Mg]	2011 [Mg]
Versatz		8.500	5.600
Ablagerung Deponie		169.700	248.100
Deponiebau		0	36.900
Gesamt-Masse		178.200	290.600
Höchste Masse in einem Jahr		290.600	
Metall	Mittelwert [mg/kg]	Anzahl Analysen	Fracht [Mg/a]
Blei	< 10.000	341	
Kupfer	15.760	321	4.579,9
Nickel	9.071	358	2.636,0
Eisen	90.475	146	26.292,0
Chrom ges.	< 15.000	333	
Zink	35.430	365	10.296,0
Zinn	< 1.000	178	
Aluminium	38.326	95	11.137,5
Antimon	< 1.000	201	
Kobalt	< 1.000	223	
Mangan	7.324	101	2.128,4
Molybdän	< 1.000	31	
Niob		0	
Tantal		0	
Vanadium	< 1.000	79	
Wolfram	< 1.000	1	

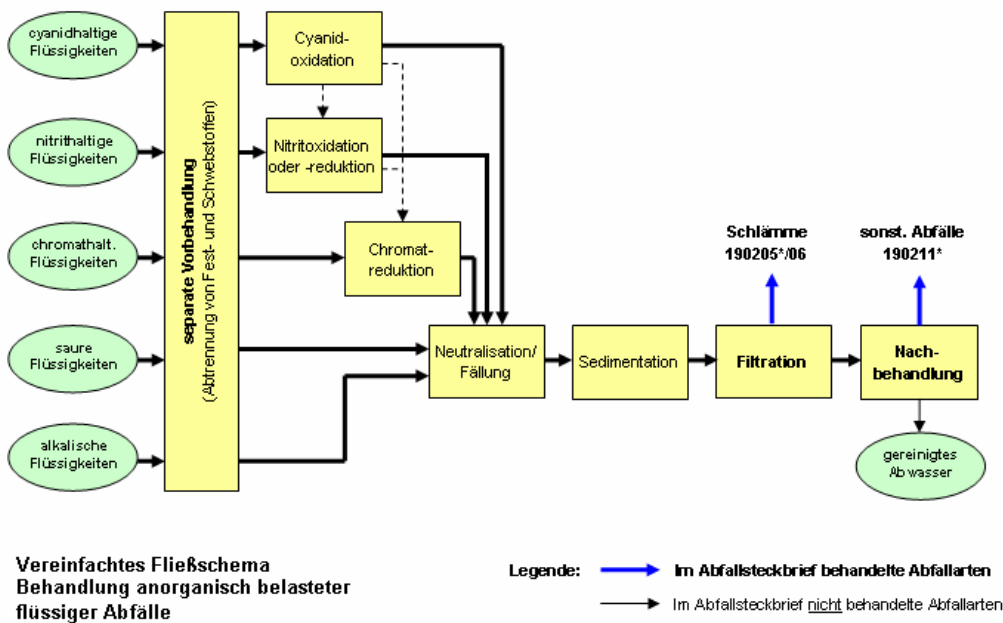


Abbildung 7-4: Schematische Darstellung des Entstehungsprozesses von Schlämmen aus der physikalisch-chemischen Behandlung von Abfällen [IP@ 2014]

Ziele der chemisch-physikalischen Behandlung von flüssigen gefährlichen Abfällen sind:

- „die Zerstörung bzw. Umwandlung giftiger Verbindungen, z. B. Chromate oder Nitrite,
- die Neutralisation von Säuren und Laugen,
- die Überführung löslicher Verbindungen in unlösliche, abscheidbare Produkte,
- die problemlose Ableitung der gereinigten Abwässer und
- die umweltverträgliche Entsorgung der anfallenden Abfälle“ [IP@ 2014].

Chemisch-physikalische Behandlungsanlagen sollten bei der Behandlung von metallhaltigen Abfällen gezielt zur Rückgewinnung von den im Ausgangsmaterial befindlichen Wertstoffen eingesetzt werden.

Abbildung 7-4 zeigt, wo im Prozess die Schlämme und sonstigen Abfälle anfallen: „Die Schlämme aus der CPB entstehen i. N. bei der Fällung, in der Regel mit Natronlauge und/oder Kalkmilch, bei der die Metalle als Hydroxide bzw. Oxidhydrate ausfallen. Daneben finden sich - je nach spezifischen Bedingungen - schwerlösliche Sulfate, Phosphate, Silikate und Fluoride im Schlamm. Vereinzelt werden Metalle auch als Metallsulfide gefällt. Da die Niederschläge zum Teil feindisperser Natur sind, werden oftmals Flockungsmittel oder Flockungshilfsmittel zugegeben, die sich im Schlamm wiederfinden. In geringen Konzentrationen können organische Verbindungen aus den vorgelagerten Produktionsprozessen enthalten sein, z. B. Mineralöle, Fette, Komplexbildner oder Glanzzusätze“ [IP@ 2014].

Tabelle 7-31: Charakteristische Zusammensetzung von Schlämmen aus der physikalisch-chemischen Behandlung von Abfällen [IP@ 2014]

Inhaltsstoffe	Gehalte / Konzentrationen	Erläuterungen
Schlämme aus der CPB 190205*/06		
Originalsubstanz		
Feststoffgehalt	ca. 3 - 5 %	Sedimentationsschlamm
Feststoffgehalt	ca. 30 - 40 %	Schlamm aus Kammerfilterpresse; i. d. R. stichfest
Feststoffgehalt	> 70 %	Thermisch getrockneter Schlamm; i. d. R. trocken, bröckelig
Nicht-Eisen-Metalle (bezogen auf Trockensubstanz)	i. d. R. < 15 %	Art und Gehalt abhängig vom Ausgangsmaterial und der Betriebsweise; am häufigsten sind Al, Cr, Cu, Fe, Ni, Zn; Bindungsform abhängig von der Behandlung, z. B. Hydroxide oder -sulfide
sonstige anorganische Stoffe		Im Wesentlichen bestimmt durch den Fällungsprozess, z. B. Ca, Cl, Na, S, Si
Gesamter organischer Kohlenstoffgehalt TOC	< 3 %	Art und Gehalt abhängig vom Ausgangsmaterial
sonstige organische Schadstoffe	gering	Art und Gehalt abhängig vom Ausgangsmaterial

7.3.14 AVV-Nr. 19 10 04 „Schredderleichtfraktion und Staub *aus dem Schreddern von metallhaltigen Abfällen* mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 10 03* fallen“

Erzeuger in NRW: 6

Diese Abfälle dürften eigentlich gar nicht auf deutschen Deponien auflaufen, da eine Verbringung mit dem Ablagerungsverbot für unbehandelte Abfälle untersagt wurde. Für die Aufbereitung von Schredderleichtfraktionen existieren geeignete Prozesse, wie das VW-Sicon-Verfahren. Jedoch entstehen auch bei der Aufbereitung von SLF nach dem VW-Sicon-Verfahren Rückstände, die einer Entsorgung zugeführt werden müssen, die sogenannten Schreddersande. Es gilt zu prüfen, ob es sich bei den hier deponierten SLF-Abfällen, um die genannten Sande handelt. In diesem Fall könnten im Rahmen der BMBF-Fördermaßnahme entwickelte Verfahren zur Aufbereitung eingesetzt werden.

Zur Einhaltung der Verwertungsquoten, die in der Altfahrzeugverordnung gefordert werden, wurde am Institut für Aufbereitung ein Aufbereitungsverfahren für Schreddersande entwickelt, das sowohl große Mengen der enthaltenen Buntmetalle zurückgewinnt und einen schwermetallabgereicherten Reststoff zur Verwertung hinterlässt, welcher als Bauzuschlagstoff eingesetzt werden kann.

Tabelle 7-32: Zusammenfassung der Ergebnisse für AVV-Nr. 19 10 04 „Schredderleichtfraktion und Staub *aus dem Schreddern von metallhaltigen Abfällen* mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 10 03* fallen“

		2010 [Mg]	2011 [Mg]
Versatz		0	0
Ablagerung Deponie		23.200	9.600
Deponiebau		0	0
Gesamt-Masse		23.200	9.600
Höchste Masse in einem Jahr		23.200	
Metall	Mittelwert [mg/kg]	Anzahl Analysen	Fracht [Mg/a]
Blei	< 10.000	8	
Kupfer	16.900	7	392,1
Nickel	< 2.500	7	
Eisen		0	
Chrom ges.	< 15.000	4	
Zink	21.999	5	510,4
Zinn	< 1.000	2	
Aluminium		0	
Antimon	< 1.000	2	
Kobalt	< 1.000	2	
Mangan		0	
Molybdän		0	
Niob		0	
Tantal		0	
Vanadium		0	
Wolfram		0	

„Um Eisen- und Stahlabfälle für Stahlwerke besser verwertbar zu machen und NE-Metalle zurückzugewinnen, werden Altfahrzeuge, Haushaltsgeräte ("Weiße Ware"), Bauschrott sowie industrielle und häusliche Apparate (z. B. Heizungsanlagen) in Schredderanlagen mechanisch zerkleinert. Schadstoffreiche Bestandteile (Batterien, Schalter, asbest- oder KMF-haltige Isolierungen) und Betriebsflüssigkeiten (z. B. Motoren-, Getriebe-, Hydrauliköle, Bremsflüssigkeiten, Kühl- und Kältemittel, Treibstoffreste) müssen vor der Zerkleinerung nach dem Stand der Technik entfernt werden“ (IP@ 2014).

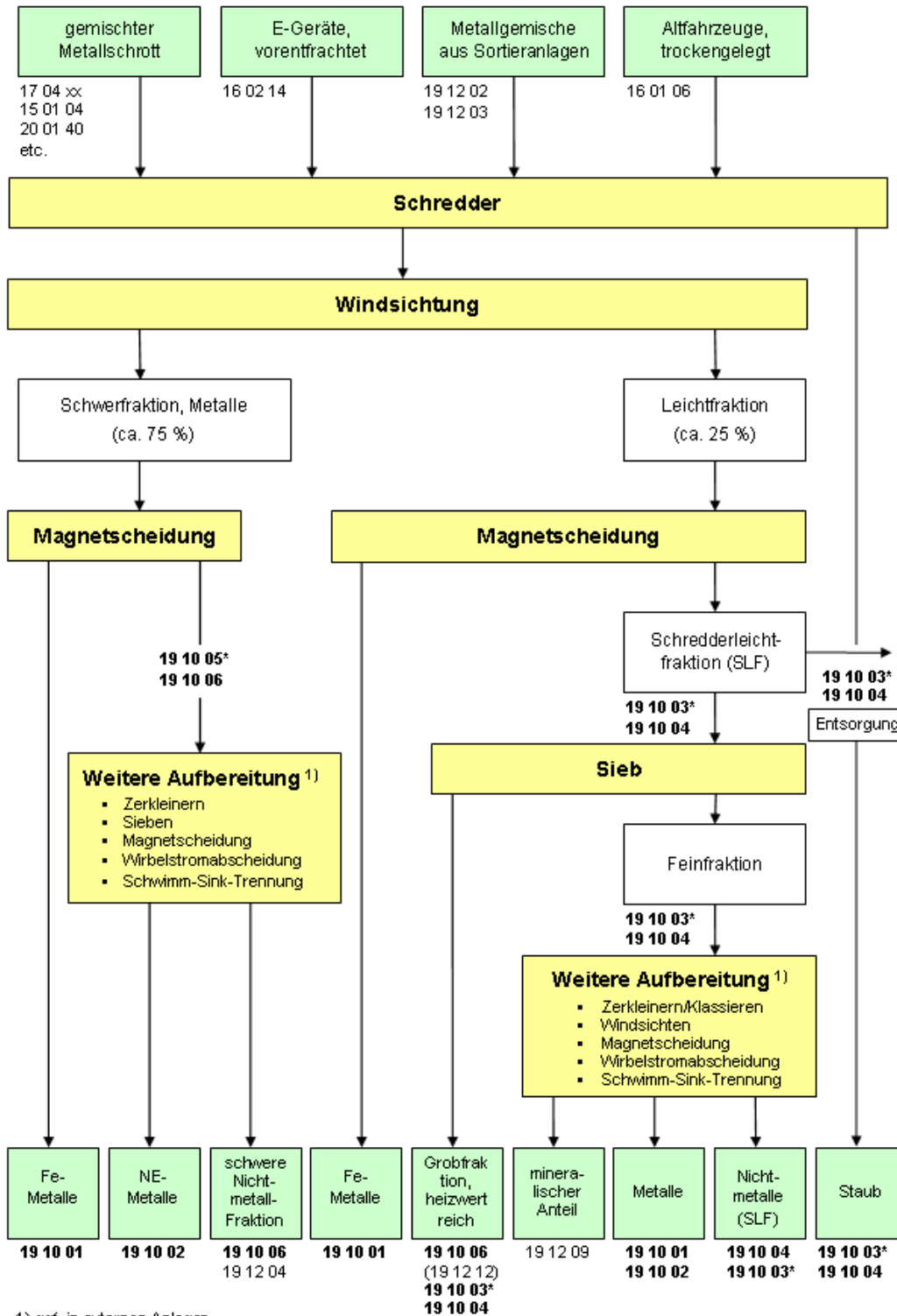


Abbildung 7-5: Schematische Darstellung des Entstehungsprozesses von Schredderleichtfraktion (SLF) und Staub aus dem Schreddern von metallhaltigen Abfällen

Abbildung 7-5 zeigt neben dem Prozessschema und den entstehenden Produkten insbesondere die Reststoffe, die alle noch relevante Metallgehalte aufweisen können. Die Schredderleicht-

fraktion 191004 verteilt sich demzufolge auf die Reststoffe heizwertreiche Grobfraction und Nichtmetalle aus der Aufbereitung der Leichtfraktion.

Die typische Zusammensetzung der SLF und des Staubes ist in Tabelle 7-33 dargestellt.

Tabelle 7-33: Charakteristische Zusammensetzung der Schredderleichtfraktion und des Staubes *aus dem Schreddern von metallhaltigen Abfällen*

Inhaltsstoffe	Gehalte / Konzentrationen	Erläuterungen
Schredderleichtfraktionen und Staub - 191003*/191004		
Kunststoffe	20-40%	Stoffströme aus Windsichtung bzw. Entstaubungsanlagen
Gummi	10-30%	Stoffströme aus Windsichtung bzw. Entstaubungsanlagen
Holz, Papier	bis 15%	Stoffströme aus Windsichtung bzw. Entstaubungsanlagen
Faser- und Bezugstoffe	bis 30%	Stoffströme aus Windsichtung bzw. Entstaubungsanlagen
Eisen, Kupfer, Aluminium	bis 23%	Stoffströme aus Windsichtung bzw. Entstaubungsanlagen
Lack	bis 15%	Stoffströme aus Windsichtung bzw. Entstaubungsanlagen
Glas	bis 16%	Stoffströme aus Windsichtung bzw. Entstaubungsanlagen
Rest (Sand, Rost, Blei, Zink)	bis 30%	Stoffströme aus Windsichtung bzw. Entstaubungsanlagen

8 Untersuchungen der ausgewählten Abfallarten

Nach Abschluss der Recherchen zu Abfallmengen und Metallkonzentrationen wurde eine Vorauswahl an Abfällen getroffen, um aus diesen, die zu untersuchenden Abfälle auszuwählen. Wie im vorigen Kapitel beschrieben konnten für die Abfälle unterschiedliche Parameter von der Herstellung über die chemische Zusammensetzung bis zu den Metallkonzentrationen bestimmt werden.

Durch eine Zusammenführung der bisherigen Ergebnisse zu den anfallenden Massen, den gemessenen Metallkonzentrationen, der Anzahl der vorliegenden Analysen, der Herkunft der Abfälle, den vorgeschalteten Prozessen und der zu erwartenden Heterogenität, konnte unter Berücksichtigung der bereits reglementierten Metalle die Auswahl für die zu untersuchenden Abfälle getroffen werden. Dabei wurde versucht, für möglichst jedes Metall einen Abfall auszuwählen, damit ein Dominieren eines bestimmten Metalls verhindert werden konnte.

Des Weiteren wurde der zu erwartenden Heterogenität eines Abfalls begegnet, indem von einer ausgewählten Abfallart zwei Proben unterschiedlicher Abfallerzeuger untersucht wurden (Tabelle 8-1).

Nach intensiven Abstimmungen mit einzelnen Abfallerzeugern wurden den Projektpartnern insgesamt 7 repräsentative Proben der ausgewählten Abfälle, kategorisiert nach AVV-Nr., zur Verfügung gestellt und untersucht.

Tabelle 8-1: Übersicht der für die Untersuchungen ausgewählten Abfälle

AVV-Nr.	Abfallbezeichnung	Abfallerzeuger
10 02 02	Unbearbeitete Schlacke aus der Eisen- und Stahlindustrie	Fa. BSW Stahl-Nebenprodukte GmbH
10 04 01*	Schlacken (Erst- und Zweitschmelze) aus der thermischen Bleimetallurgie	Fa. Berzelius Stollberg
10 05 01	Schlacken (Erst- und Zweitschmelze) aus der thermischen Zinkmetallurgie	Fa. Harz-Metall GmbH
11 02 02*	Schlämme aus der Zinkhydrometallurgie (einschließlich Jarosit und Goe-thit)	Fa. Nordenhammer Zinkhütte
19 01 13*	Filterstaub, der gefährliche Stoffe enthält	Fa. Main Taunus Recycling
11 01 09* (Abfall 1 - Schlamm)	Schlämme und Filterkuchen aus der chemischen Oberflächenbeschichtung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen, die gefährliche Stoffe enthalten	Fa. Zecher
11 01 09* (Abfall 2 - Filterkuchen)	Schlämme und Filterkuchen aus der chemischen Oberflächenbeschichtung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen, die gefährliche Stoffe enthalten	Fa. WHW-Hillebrandt

8.1 Analytik

Nach einer ersten Bestimmung der Abfallcharakteristika (Korngröße, Restfeuchte, allgemeiner Zustand der Proben) wurden die Metallgehalte und die kristallinen Hauptphasen der Abfälle bestimmt. Für die Bestimmung der Metallgehalte wurde ein Druckaufschluss mit Königswasser und Flusssäure als Aufschlussmittel in einem Mikrowellenaufschlussystem START der Firma MLS durchgeführt. Die eigentliche Bestimmung der Metallgehalte erfolgte mittels ICP-OES Vista MPX der Firma Varian. Die Bestimmung der kristallinen Hauptphasen erfolgte mittels eines Röntgendiffraktometers X'Pert der Firma Phillips.

8.1.1 AVV-Nr. 10 02 02, „Unbearbeitete Schlacke aus der Eisen- und Stahlindustrie“

Abfallerzeuger: Firma BSW Stahl-Nebenprodukte (Hersteller von Mineralbaustoffen aus Elektroofenschlacke)

Abfallcharakteristika: Menge ca. 300.000 t/a, Restfeuchte < 2 %, Korndurchmesser 125/45 mm, 60/20 mm, 32/0 mm

Tabelle 8-2: Metallgehalte des Abfalls AVV-Nr. 10 02 02, „Unbearbeitete Schlacke aus der Eisen- und Stahlindustrie“

Elektroofenschlacke mit einer Körnung von 125/45 mm			
Element	Konzentration in ppm	Element	Konzentration in ppm
Co	<50	Pb	230
Cr	21.791	Sb	<50
Cu	254	Sn	<50
Fe	383.780	Ta	<50
Mn	41.389	V	747
Mo	<50	W	847
Nb	229	Zn	143
Ni	27		
Elektroofenschlacke mit einer Körnung von 60/20 mm			
Element	Konzentration in ppm	Element	Konzentration in ppm
Co	<50	Pb	37
Cr	23.948	Sb	<50
Cu	282	Sn	<50
Fe	357.854	Ta	<50
Mn	43.101	V	772
Mo	<50	W	895
Nb	260	Zn	229
Ni	52		

Tabelle 8-3: Metallgehalte des Abfalls AVV-Nr. 10 02 02, „Unbearbeitete Schlacke aus der Eisen- und Stahlindustrie“

Elektroofenschlacke mit einer Körnung von 32/0 mm			
Element	Konzentration in ppm	Element	Konzentration in ppm
Co	<50	Pb	37
Cr	21.892	Sb	<50
Cu	231	Sn	<50
Fe	352.740	Ta	<50
Mn	41.992	V	781
Mo	<50	W	1.335
Nb	302	Zn	335
Ni	26		

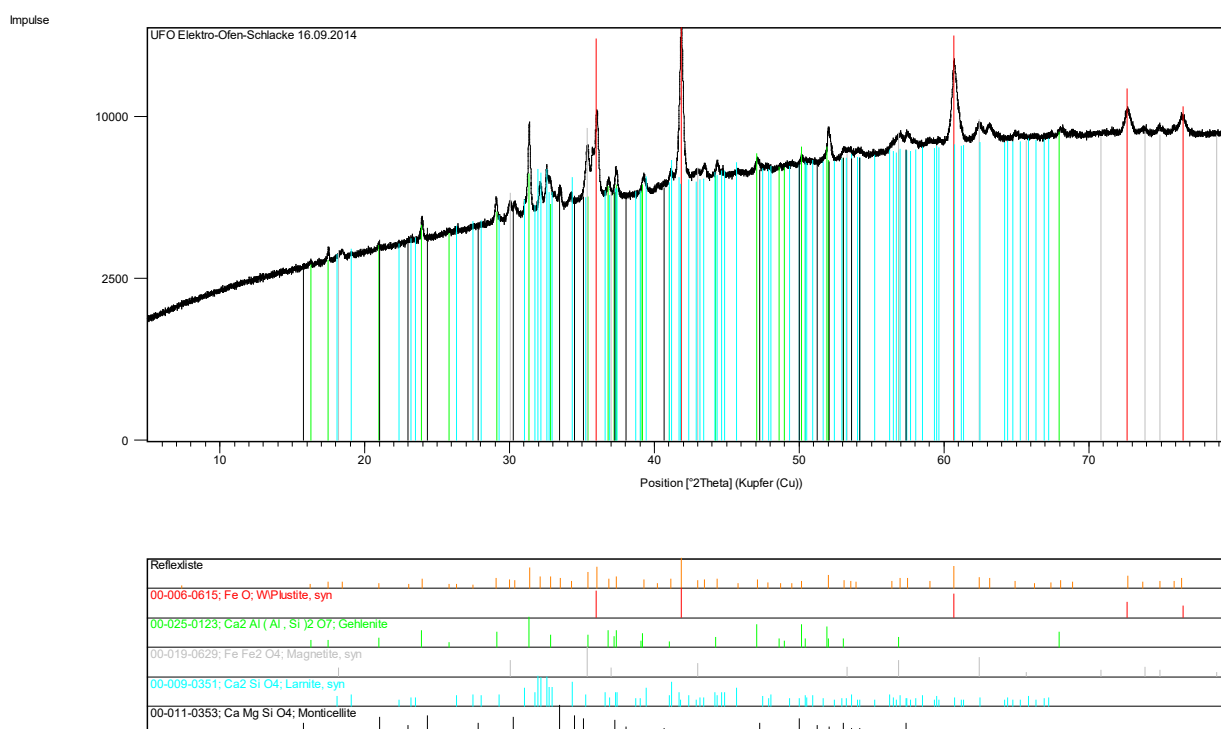


Abbildung 8-1: Kristalline Hauptphasen des Abfalls AVV-Nr. 10 02 02, „Unbearbeitete Schlacke aus der Eisen- und Stahlindustrie“

Von der Firma BSW Stahl-Nebenprodukte (Hersteller von Mineralbaustoffen aus Elektroofenschlacke) wurden drei repräsentative Proben unterschiedlicher Körnungen eines Abfalls zur Verfügung gestellt. Dieser Abfall fällt bei der Verhüttung von Stahl und Eisenschrotten in einem Elektrostahlwerk als sogenannte Elektroofenschlacke an. Bisher wird der entstehende Abfall nach AVV-Nr. 10 02 02, „Unbearbeitete Schlacke aus der Eisen- und Stahlindustrie“ klassifiziert und nach einer mechanischen Behandlung als mineralischer Baustoff vermarktet. Jährlich werden ca. 300.000 Tonnen des Rückstandes einer Vermarktung zugeführt, nur in äußerst seltenen Einzelfällen kann es zu einer Entsorgung aufgrund der Überschreitung von Grenzwerten kommen, diese Einzelfälle sind dann in der Regel Komplikationen im vorgeschalteten Verhüttungsprozess geschuldet.

Nach der Abkühlung liegt die Schlacke als künstliches, kristallines Gestein vor, ihre Entstehung ist mit den natürlichen magmatischen Gesteinen wie Granit oder Basalt vergleichbar. Aus der erkalteten Schlacke wird zunächst mit Hilfe von Magneten metallisches Eisen entfernt. Anschließend wird sie, in gleicher Weise wie natürliche Gesteine gebrochen, gesiebt und klassiert. Auf diese Weise werden unterschiedliche Korngemische oder einzelne Körnungen des Mineralbaustoffs EOS gewonnen.

Die chemische Analyse des Abfalls (Tabelle 8-2, Tabelle 8-3) hat ergeben, dass erwartungsgemäß Eisen das Metall mit der höchsten Konzentration ist. Weiterhin konnten relevante Konzentrationen von Mangan, sowie eine geringere Konzentration Chrom nachgewiesen werden. Zwischen den drei untersuchten Körnungen konnten keine Unterschiede festgestellt werden. Die Strukturanalyse (Abbildung 8-1) mittels Röntgendiffraktometrie der vorliegenden Phasen hat ergeben, dass Eisenoxid die Hauptphase des vorliegenden Abfalls darstellt. Weiterhin wird die umgebende Matrix durch Gehlenite, weitere Eisen- und Kalziumminerale sowie Silikate gekennzeichnet. Es ist davon auszugehen, dass die weiteren nachgewiesenen Elemente Mangan und Chrom fest in die Kristallstrukturen eingebunden sind.

Der untersuchte Stoffstrom ist der Rückstand eines intensiven Recyclingprozesses, welcher als Hauptziel die Rückgewinnung der enthaltenen Eisen- und Stahllegiererfrachten verfolgt. Diesem thermischen Prozess wurden mechanische Trennverfahren nachgeschaltet, um weitere Metalle zurückzugewinnen. Folglich kann der untersuchte Stoffstrom als durchbehandelt betrachtet werden. Dennoch konnten relevante Metallfrachten gemessen werden. Eine Rückgewinnung der enthaltenen Metalle scheint an dieser Stelle zwar interessant, wird aber durch die starke Legierungsbildung und insgesamt ungünstigen Verbindungsformen verhindert. Aus aufbereitungstechnischer Sicht ist folglich nicht davon auszugehen, dass eine weitere Rückgewinnung von enthaltenen Metallen mit gängigen Verfahren oder Prozessen möglich ist. Weiterhin ist festzustellen, dass keine Verfahren am Markt vorhanden sind, mit denen aus diesem Material weitere Metalle zurückgewonnen werden könnten. Die Kosten, welche bei einer weitergehenden Aufbereitung und Rückgewinnung entstehen würden, können (derzeit) nicht beziffert werden.

8.1.2 AVV-Nr. 10 04 01, „Schlacken (Erst- und Zweitschmelze) aus der thermischen Bleimetallurgie“

Abfallerzeuger: Firma Berzelius (Berzelius Blei Hütte, Stolberg)

Abfallcharakteristika: Menge ca. 70.000 – 90.000 t/a, Restfeuchte beträgt < 10 %, Korndurchmesser < 10 mm

Tabelle 8-4: Metallgehalte des Abfalls AVV-Nr. 10 04 01, „Schlacken (Erst- und Zweitschmelze) aus der thermischen Bleimetallurgie“

Element	Konzentration in ppm	Element	Konzentration in ppm
Co	82	Pb	62.029
Cr	1.066	Sb	14.655
Cu	699	Sn	4.256
Fe	239.731	Ta	<50
Mn	7.508	V	135
Mo	181	W	158
Nb	129	Zn	147.505
Ni	98		

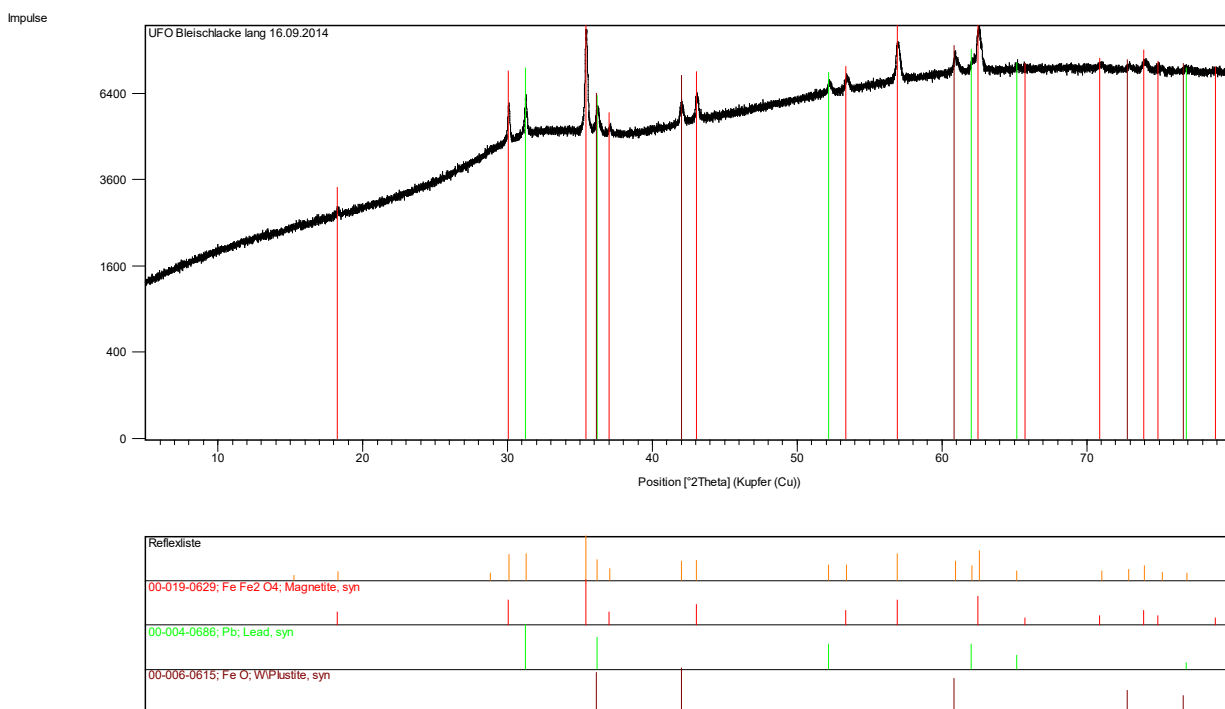


Abbildung 8-2: Kristalline Hauptphasen des Abfalls AVV-Nr. 10 04 01, „Schlacken (Erst- und Zweitschmelze) aus der thermischen Bleimetallurgie“

Von der Firma Berzelius (Berzelius Blei Hütte, Stolberg) wurde eine repräsentative Probe eines Abfalls zur Verfügung gestellt. Dieser Abfall fällt bei der Verhüttung von Flugstäuben im Wälzprozess zur Erzeugung von Zinkoxid an. Bisher wird der entstehende Abfall einer Entsorgung nach AVV-Nr. 10 04 01, „Schlacken (Erst- und Zweitschmelze) aus der thermischen Bleimetallurgie“ zugeführt. Bei der Fa. Berzelius fallen jährlich ca. 90.000 Tonnen des Rückstandes an und werden in der Regel auf einer Deponie der Klasse II entsorgt, in wenigen Fällen können, nach Integration einer begleitenden Analytik, bestimmte Chargen für Maßnahmen auf Deponien der Klasse I genutzt werden.

Die chemische Analyse des Abfalls (Tabelle 8-4) hat ergeben, dass Eisen das Metall mit der höchsten Konzentration ist. Weiterhin konnten relevante Konzentrationen von Zink und Blei, sowie eine geringere Konzentration Antimon nachgewiesen werden. Die Metallkonzentration

nen lassen sich prozessbedingt nicht weiter reduzieren. Aufgrund der amorphen Struktur des Materials konnten mittels Röntgendiffraktometrie (Abbildung 8-2) nur wenige kristalline Hauptphasen nachgewiesen werden. Die detektierten Phasen sind Magnetit, Blei sowie Eisen.

Der untersuchte Stoffstrom ist der Rückstand eines intensiven Recyclingprozesses, welcher als Hauptziel die Rückgewinnung der enthaltenen Bleifrachten verfolgt. Mit dem Ende des thermischen Prozesses kann das untersuchte Material momentan als durchbehandelt betrachtet werden. Dennoch konnten relevante Metallfrachten detektiert werden. Eine Rückgewinnung der enthaltenen Metalle scheint an dieser Stelle zwar interessant, wird aber durch die starke Legierungsbildung, die amorphe Struktur und insgesamt ungünstigen Verbindungsformen verhindert. Aus aufbereitungstechnischer Sicht ist folglich nicht davon auszugehen, dass eine weitere Rückgewinnung von enthaltenen Metallen mit gängigen Verfahren oder Prozessen möglich ist. Weiterhin ist festzustellen, dass zwar Verfahren mit denen weitere Metalle zurückgewonnen werden könnten schon vorentwickelt sind, aber bisher aufgrund wirtschaftlicher Zwänge nicht realisiert werden. Die Kosten, welche bei einer weitergehenden Aufbereitung und Rückgewinnung entstehen würden, können (derzeit) nicht beziffert werden.

8.1.3 AVV-Nr. 10 05 01, „Schlacken (Erst- und Zweitschmelze) aus der thermischen Zinkmetallurgie“

Abfallerzeuger: Firma Harz-Metall GmbH (Sekundärrohstoff Verhüttung, Wälzprozess)

Abfallcharakteristika: Menge ca. 60.000 t/a, Restfeuchte beträgt ca. 12%, Korndurchmesser < 10 mm

Tabelle 8-5: Metallgehalte des Abfalls AVV-Nr. 10 05 01, „Schlacken (Erst- und Zweitschmelze) aus der thermischen Zinkmetallurgie“

Element	Konzentration in ppm	Element	Konzentration in ppm
Co	94	Pb	1.956
Cr	4.541	Sb	<50
Cu	2441	Sn	593
Fe	269.237	Ta	<50
Mn	28.468	V	610
Mo	376	W	266
Nb	<50	Zn	75.176
Ni	948		

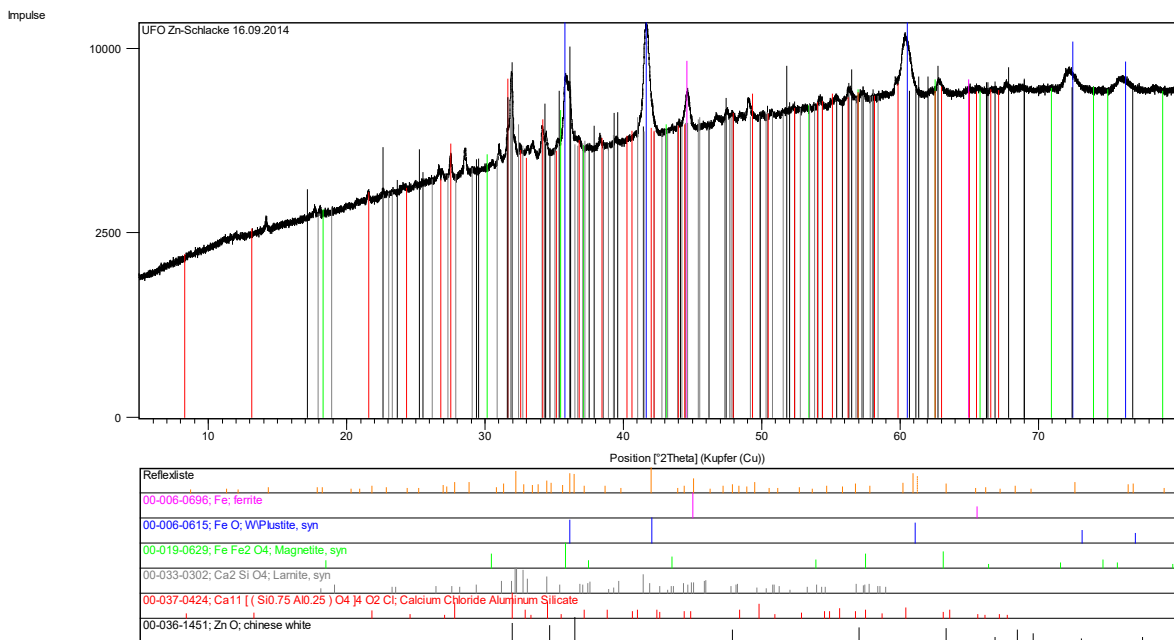


Abbildung 8-3: kristalline Hauptphasen des Abfalls AVV-Nr. 10 05 01, „Schlacken (Erst- und Zweitschmelze) aus der thermischen Zinkmetallurgie“

Von der Firma Harzmetall GmbH (Sekundärrohstoff Verhüttung, Wälzprozess) wurde eine repräsentative Probe eines Abfalls zur Verfügung gestellt. Dieser Abfall fällt bei der Verhüttung von Flugstäuben im Wälzprozess zur Erzeugung von Zinkoxid an. Bisher wird der entstehende Abfall einer Entsorgung nach AVV-Nr. 10 05 01, „*Schlacken (Erst- und Zweitschmelze) aus der thermischen Zinkmetallurgie*“ zugeführt. Bei der Firma Harz-Metall fallen jährlich ca. 60.000 Tonnen des Rückstandes an und werden auf der betriebseigenen Deponie abgelagert.

Die chemische Analyse des Abfalls (Tabelle 8-5) hat ergeben, dass erwartungsgemäß Eisen das Metall mit der höchsten Konzentration ist. Weiterhin konnten relevante Konzentrationen von Zink und Mangan, sowie eine geringere Konzentration Blei nachgewiesen werden. Die Metallkonzentrationen lassen sich prozessbedingt nicht weiter reduzieren. Aufgrund der amorphen Struktur des Materials konnten mittels Röntgendiffraktometrie (Abbildung 8-3) nur wenige kristalline Hauptphasen nachgewiesen werden. Die detektierten Phasen sind unterschiedliche Eisenminerale, insbesondere Eisenoxid und Magnetit sowie unterschiedliche Kalziumsilikate.

Der untersuchte Stoffstrom ist der Rückstand eines intensiven Recyclingprozesses, welcher als Hauptziel die Rückgewinnung der enthaltenen Zinkfrachten verfolgt. Mit dem Ende des thermischen Prozesses kann das untersuchte Material momentan als durchbehandelt betrachtet werden. Dennoch konnten relevante Metallfrachten detektiert werden. Eine Rückgewinnung der enthaltenen Metalle scheint an dieser Stelle zwar interessant, wird aber durch die starke Legierungsbildung, die amorphe Struktur und insgesamt ungünstigen Verbindungsformen verhindert. Aus aufbereitungstechnischer Sicht ist folglich nicht davon auszugehen, dass eine weitere Rückgewinnung von enthaltenen Metallen mit momentan gängigen Verfahren oder Prozessen möglich ist. Weiterhin ist festzustellen, dass keine Verfahren mit denen weitere Metalle zurückgewonnen werden könnten, bekannt sind. Die Kosten, welche bei einer weitergehenden Aufbereitung und Rückgewinnung entstehen würden, können (derzeit) nicht beziffert werden.

8.1.4 AVV-Nr. 11 02 02, *Schlämme aus der Hydrometallurgie von Zink*

Abfallerzeuger: Firma Nordenhammer Zinkhütte/Glencore (Zinkelektrolyse)

Abfallcharakteristika: Menge ca. 125.000 Jarosit t/a (2013), Restfeuchte beträgt ca. 25%, Korndurchmesser < 125 µm

Tabelle 8-6: Metallgehalte des Abfalls AVV-Nr. 11 02 02, Schlämme aus der Hydrometallurgie von Zink

Element	Konzentration in ppm	Element	Konzentration in ppm
Co	<50	Pb	53.332
Cr	80	Sb	747
Cu	6.761	Sn	449
Fe	201.990	Ta	<50
Mn	817	V	<50
Mo	<50	W	<50
Nb	<50	Zn	33.656
Ni	<10		

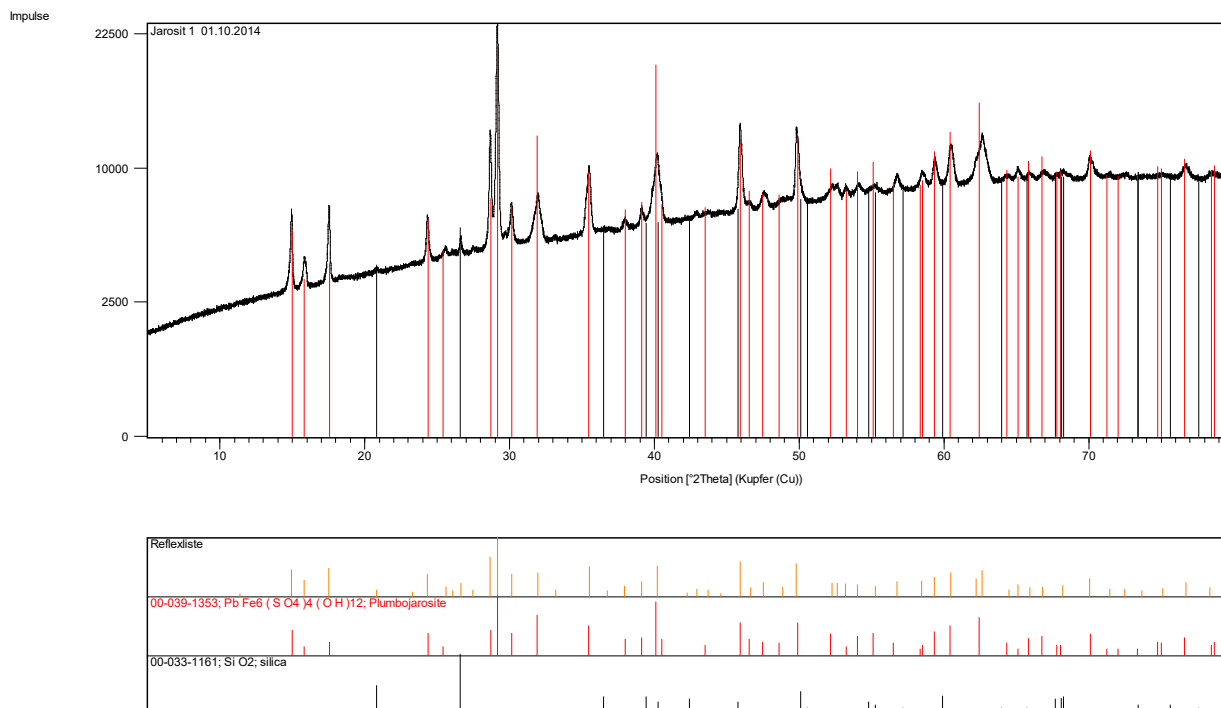


Abbildung 8-4: Kristalline Hauptphasen des Abfalls AVV-Nr. 11 02 02, Schlämme aus der Hydrometallurgie von Zink

Von der Firma Nordenhammer Zinkhütte (Glencore) wurde eine repräsentative Probe eines Abfalls zur Verfügung gestellt. Dieser Abfall fällt bei der Laugenreinigung vor der Elektrolyse von hochreinem Zink aus entsprechenden Vormaterialien an. Bisher wird der entstehende Abfall einer Entsorgung nach AVV-Nr. 11 02 02, „*Schlämme aus der Hydrometallurgie von Zink (einschließlich Jarosit und Goethit)*“ zugeführt. Bei der Fa. Glencore/Nordenhammer Zinkhütte fallen jährlich ca. 125.000 Tonnen des Rückstandes an. Diese werden mit Kalk und Zement zu „Jarofix“ umgewandelt und werden auf einer betriebseigenen Monodeponie der Deponieklasse

2 abgelagert. Durch die Umwandlung mit Kalk und Zement erhöht sich die abgelagerte Menge auf ca. 150.000 t/a (2013).

Die chemische Analyse des Abfalls (Tabelle 8-6) hat ergeben, dass Eisen das Metall mit der höchsten Konzentration ist. Weiterhin konnten relevante Konzentrationen von Blei und Zink, sowie eine geringere Konzentration Kupfer nachgewiesen werden. Die Metallkonzentrationen lassen sich prozessbedingt nicht weiter reduzieren. Mittels Röntgendiffraktometrie (Abbildung 8-4) konnten ein Bleijarosit sowie die umgebende Silikatmatrix als kristalline Hauptphasen nachgewiesen werden. Es ist davon auszugehen, dass das nachgewiesene Zink und Kupfer an die Kristallstrukturen gebunden sind.

Der untersuchte Stoffstrom ist der Rückstand eines intensiven Recyclingprozesses, welcher als Hauptziel die Rückgewinnung der enthaltenen Zinkfrachten verfolgt. Mit dem Ausschleusen des Materials aus dem hydrometallurgischen Prozess durch feinjustierte Fällung kann das untersuchte Material momentan als durchbehandelt betrachtet werden. Dennoch konnten relevante Metallfrachten detektiert werden. Eine Rückgewinnung der enthaltenen Metalle scheint an dieser Stelle zwar interessant, wird aber durch die starke Legierungsbildung, die amorphe Struktur und die Einbindung verschiedener Metallionen in die Jarositstruktur verhindert. Aus aufbereitungstechnischer Sicht ist folglich nicht davon auszugehen, dass eine weitere Rückgewinnung von enthaltenen Metallen mit gängigen Verfahren oder Prozessen möglich ist. Weiterhin ist festzustellen, dass bisher keine Verfahren mit denen weitere Metalle zurückgewonnen werden könnten, entwickelt sind. Die Kosten, welche bei einer weitergehenden Aufbereitung und Rückgewinnung entstehen würden, können (derzeit) nicht beziffert werden.

8.1.5 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)

Abfallerzeuger: Firma Zecher (Hersteller von Rasterwalzenrollen)

Abfallcharakteristika: Menge ca. 15-20 t/a, trocken, Korndurchmesser < 1 mm

Tabelle 8-7: Metallgehalte des Abfalls 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)

Element	Konzentration in ppm	Element	Konzentration in ppm
Co	<50	Pb	<25
Cr	265.469	Sb	<50
Cu	42	Sn	<50
Fe	38.742	Ta	<100
Mn	123	V	<50
Mo	4.315	W	<50
Nb	<50	Zn	<50
Ni	36.922		

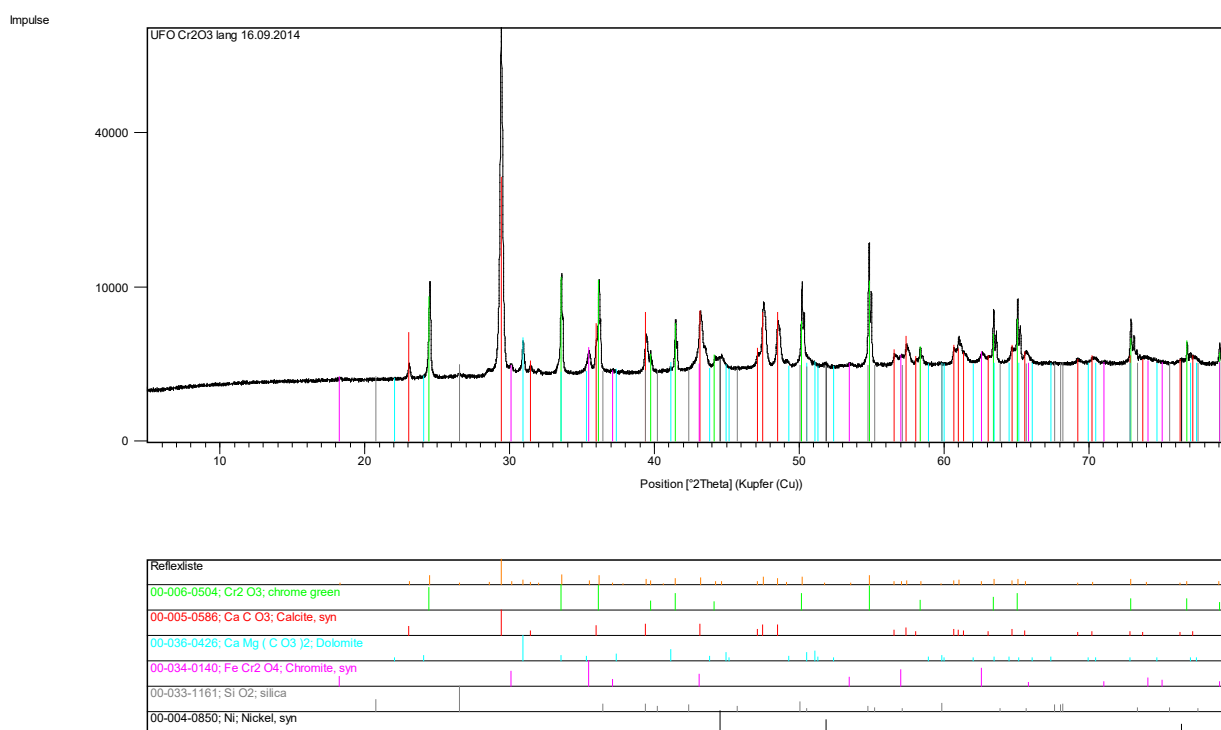


Abbildung 8-5: Kristalline Hauptphasen des Abfalls AVV-Nr. 11 01 09*, „Schlämme und Filterkuchen aus der chemischen Oberflächenbearbeitung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen, die gefährliche Stoffe enthalten“ (Abfall 1 - Schlamm)

Von der Firma Zecher (Hersteller von Rasterwalzenrollen für die Druckereiindustrie) wurde eine repräsentative Probe eines Abfalls zur Verfügung gestellt. Dieser Abfall fällt bei der Beschichtung von Rasterwalzenrollen als Overspray im Rahmen von Korrosionsschutzmaßnahmen an. Bisher wird der entstehende Abfall einer Entsorgung nach AVV-Nr. 11 01 09*, „*Schlämme und Filterkuchen aus der chemischen Oberflächenbearbeitung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen, die gefährliche Stoffe enthalten*“ zugeführt. Jährlich werden ca. 15-20 Tonnen des Rückstandes der Oberflächenbeschichtung entsorgt.

Die chemische Analyse des Abfalls (Tabelle 8-7) hat ergeben, dass Chrom das Metall mit der höchsten Konzentration ist. Weiterhin konnten relevante Konzentrationen von Eisen und Ni-

ckel, sowie eine geringere Konzentration Molybdän nachgewiesen werden. Die Strukturanalyse mittels Röntgendiffraktometrie (Abbildung 8-5) der vorliegenden Hauptphasen hat ergeben, dass Chrom(III)oxid die Hauptphase des vorliegenden Abfalls darstellt. Weiterhin wird die umgebende Matrix durch Kalk, Dolomit und Silikate dargestellt. Das nachgewiesene Eisen ist an das Chrom gebunden, Nickel liegt wahrscheinlich als Legierungselement vor.

Der untersuchte Stoffstrom ist der Rückstand eines intensiven Prozesses zur Oberflächenbeschichtung. Der entstehende Stoffstrom kann nicht wiederverwendet werden und muss folglich einer Entsorgung zugeführt werden. Zwar konnten relevante Metallfrachten detektiert werden, eine Rückgewinnung der enthaltenen Metalle scheint an dieser Stelle zwar interessant, wird aber durch die starke Legierungsbildung und die ungünstigen Verbindungsformen verhindert. Aus aufbereitungstechnischer Sicht könnte sich das Material prinzipiell für einen Einsatz in der Stahlindustrie eignen, was aber aufgrund der geringen entstehenden Menge schwierig zu realisieren wäre.

Es gilt zu prüfen, ob andere Hersteller Abfälle mit ähnlicher Zusammensetzung einer Entsorgung zuführen müssen. Nur dann könnte die Möglichkeit einer gemeinsamen Vermarktung bestehen.

8.1.6 AVV-Nr. 11 01 09*, „Schlämme und Filterkuchen aus der chemischen Oberflächenbearbeitung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen, die gefährliche Stoffe enthalten“ (Abfall 2 – Filterkuchen)

Abfallerzeuger: Firma WHW-Hillebrand (Kathodischer Korrosionsschutz)

Abfallcharakteristika: Menge ca. 1600 t/a, Restfeuchte beträgt ca. 70 %, Korndurchmesser < 10 mm

Tabelle 8-8: Metallgehalte des Abfalls AVV-Nr. 11 01 09*, „Schlämme und Filterkuchen aus der chemischen Oberflächenbearbeitung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen, die gefährliche Stoffe enthalten“ (Abfall 2 – Filterkuchen)

Element	Konzentration in ppm	Element	Konzentration in ppm
Co	4.633	Pb	1.646
Cr	11.353	Sb	< 50
Cu	87	Sn	< 50
Fe	132.257	Ta	<50
Mn	1.562	V	< 50
Mo	<50	W	< 50
Nb	<50	Zn	114.100
Ni	6.315		

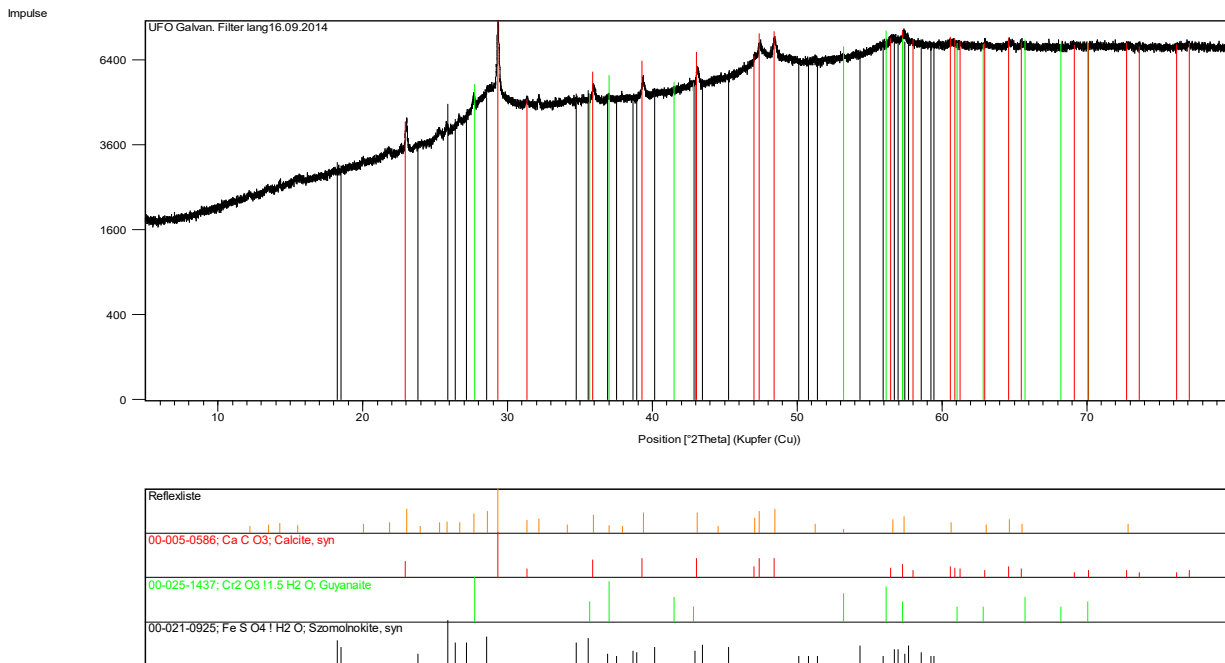


Abbildung 8-6: Kristalline Hauptphasen des Abfalls AVV-Nr. 11 01 09*, „Schlämme und Filterkuchen aus der chemischen Oberflächenbearbeitung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen, die gefährliche Stoffe enthalten“ (Abfall 2 – Filterkuchen)

Von der Firma WHW-Hillebrand (Kathodischer Korrosionsschutz) wurde eine repräsentative Probe eines Abfalls zur Verfügung gestellt. Dieser Abfall fällt bei der Abwasserreinigung als Filterkuchen einer Kammerfilterpresse an. Die Abwasserreinigung ist den eigentlichen Prozessen, welche der Integration von Korrosionsschutz auf bestimmten Oberflächen dient, nachgeschaltet. In dieser Abwasserreinigung wird das während der Prozesse entstehende Spülwasser aufbereitet und gereinigt. Bisher wird der entstehende Abfall einer Entsorgung nach AVV-Nr. 11 01 09*, „Schlämme und Filterkuchen aus der chemischen Oberflächenbearbeitung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen, die gefährliche Stoffe enthalten“ zugeführt. Jährlich werden ca. 1.600 Tonnen des Rückstandes der Oberflächenbeschichtung entsorgt. Die Entsorgung des Abfalls wird im Untertage Versatz durchgeführt.

Die chemische Analyse des Abfalls (Tabelle 8-8) hat ergeben, dass Eisen das Metall mit der höchsten Konzentration ist. Weiterhin konnten relevante Konzentrationen von Zink und Chrom, sowie eine geringere Konzentration Nickel nachgewiesen werden. Aufgrund der amorphen Struktur des Materials sind mittels Röntgendiffraktometrie (Abbildung 8-6) nur wenige kristalline Hauptphasen nachzuweisen. Die detektierten Phasen sind Kalk, hydratisiertes Chrom(III)oxid sowie hydratisiertes Eisen(II)sulfat. Dies ist darauf zurückzuführen, dass das eigentliche Abfallprodukt, das Spülwasser des Galvanisierungsprozesses mit Eisen im neutralen pH-Wertbereich gefällt wurde; zur pH-Werteinstellung wurde Kalkmilch verwendet.

Der untersuchte Stoffstrom ist der Rückstand eines Prozesses zur Spülwasserreinigung, entsprechend einer vorhergehenden Abfallbehandlung. Durch die feinjustierte Fällung der enthaltenen Metallfrachten und die Neutralisation des Spülwassers mit Kalkmilch kann das untersuchte Material momentan als durchbehandelt betrachtet werden. Zwar konnten relevante Metallfrachten detektiert werden, eine Rückgewinnung der enthaltenen Metalle scheint an dieser Stelle zwar interessant, wird aber durch die ungünstigen Verbindungsformen verhindert. Aus

aufbereitungstechnischer Sicht ist folglich nicht davon auszugehen, dass momentan eine weitere Rückgewinnung von enthaltenen Metallen mit gängigen Verfahren oder Prozessen möglich ist. Weiterhin ist festzustellen, dass bisher keine Verfahren mit denen weitere Metalle zurückgewonnen werden könnten, entwickelt sind. Die Kosten, welche bei einer weitergehenden Aufbereitung und Rückgewinnung entstehen würden, können (derzeit) nicht beziffert werden.

8.1.7 AVV-Nr. 19 01 13*, „Filterstaub der gefährliche Stoffe enthält“

Abfallerzeuger: Main Taunus Recycling, Probe aus MHKW Frankfurt

Abfallcharakteristika: trocken, Korndurchmesser < 10 mm

Tabelle 8-9: Metallgehalte des Abfalls 19 01 13*, „Filterstaub der gefährliche Stoffe enthält“

Element	Konzentration in ppm	Element	Konzentration in ppm
Co	66	Pb	457
Cr	259	Sb	210
Cu	498	Sn	141
Fe	21.609	Ta	<50
Mn	657	V	<50
Mo	<50	W	<50
Nb	<50	Zn	4.388
Ni	106		

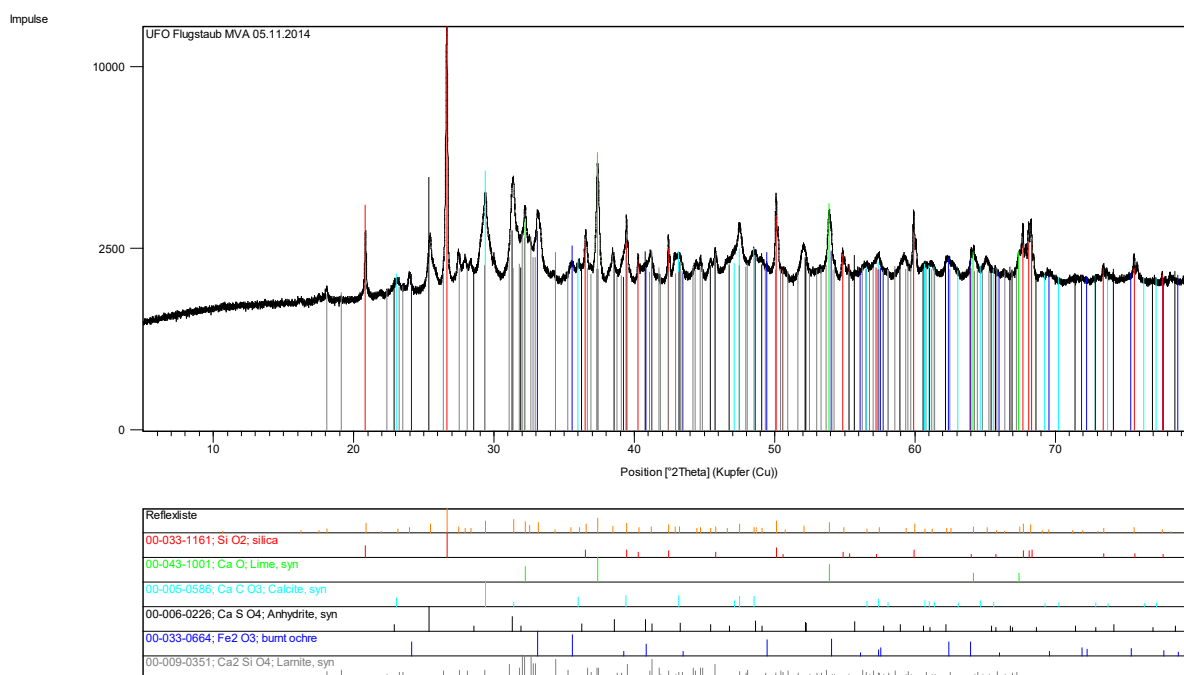


Abbildung 8-7: Kristalline Hauptphasen des Abfalls 19 01 13*, „Filterstaub der gefährliche Stoffe enthält“

Von der Firma Main Taunus Recycling wurde eine repräsentative Probe eines Abfalls zur Verfügung gestellt. Dieser Abfall fällt bei der thermischen Behandlung von Abfällen in einer Müllverbrennungsanlage an. Bisher wird der entstehende Abfall einer Entsorgung nach AVV-Nr.

19 01 13*, „Filterstaub der gefährliche Stoffe enthält“ zugeführt, welche in der Regel im Untertage Versatz erfolgt.

Die chemische Analyse des Abfalls (Tabelle 8-9) hat ergeben, dass Eisen das Metall mit der höchsten Konzentration ist. Weiterhin konnte insbesondere Zink nachgewiesen werden. Die Metallkonzentrationen lassen sich prozessbedingt nicht weiter reduzieren. Mittels Röntgendiffraktometrie (Abbildung 8-7) konnten Silikate sowie unterschiedliche Kalziumminerale nachgewiesen werden, analog zu der Metallgehaltsanalyse wurden keine relevanten Metallverbindungen detektiert.

Der untersuchte Stoffstrom ist der Rückstand einer vorhergehenden Abfallbehandlung und wird momentan als Schadstoffsenke genutzt. Im Gegensatz zu den übrigen Abfällen, die untersucht wurden, konnten de facto keine hohen Metallfrachten detektiert werden. Dementsprechend wird das Potenzial für eine Rückgewinnung der enthaltenen Metalle an dieser Stelle als eher gering eingeschätzt. Zudem würde diese wahrscheinlich durch ungünstige Verbindungsformen erschwert. Dennoch sind Aufbereitungsverfahren zur weiteren Rückgewinnung von Metallen für Filterstäube aus Müllverbrennungsanlagen aus der Schweiz bekannt [Schlumberger et al. 2013]. Diese arbeiten mit einer intensiven Wäsche des Materials, einer angeschlossenen Laugung sowie einer Solventextraktions-/Elektrolyse-Stufe mit der sich insbesondere das enthaltene Zink zurückgewinnen lässt. Betrieben wird dieses Verfahren anlagenintegriert, in Müllverbrennungsanlagen mit nasser Rauchgaswäsche (www.bsh.ch). Die Kosten, welche bei einer weitergehenden Aufbereitung und Rückgewinnung entstehen würden, können (derzeit) nicht beziffert werden.

8.2 Vergleich der Analyseergebnisse mit den bestehenden Grenzwerten

Einer der Hauptgründe für die Überprüfung der Grenzwerte für die reglementierten Metalle ist, dass in der Zwischenzeit auch Abfälle mit geringeren Metallgehalten recycelbar sind und die Integration weiterer Prozesse wirtschaftlich vorteilhaft gegenüber der Entsorgung sein kann. Eine Gegenüberstellung der im Rahmen der Untersuchungen festgestellten Metallgehalte mit den bestehenden Grenzwerten zeigt, dass bei einigen dieser Abfälle die geltenden Grenzwerte überschritten werden.

Es wird diskutiert, ob die großen Mengen Metalle, die hierdurch mit den Abfällen aus dem Wirtschaftskreislauf ausgeschleust werden, für ein Recycling nutzbar wären. Tabelle 8-10 zeigt eine Übersicht der analysierten Abfälle in Gegenüberstellung zu den bisherigen Grenzwerten.

Tabelle 8-10: Gegenüberstellung der analysierten Metallgehalte mit den bestehenden Grenzwerten

	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Sn	Zn
	Angaben in ppm						
Grenzwert	≥150.000	≥10.000	≥500.000	≥25.000	≥100.000	≥15.000	≥100.000
10 02 02	22.544	256	364.791	35	102	<50	236
10 04 01*	1.066	699	239.731	98	62.029	4.256	147.505
10 05 01	4.541	2.441	269.237	948	1.956	593	75.176
11 01 09* Schlamm	265.469	42	38.742	36.922	<25	<50	<50
11 01 09* Filterkuchen	11.353	87	132.257	6.315	1.646	<50	114.100
11 02 02*	80	6.761	201.990	<10	53.332	449	33.656
19 01 13*	259	498	21.609	106	457	141	4.388

Es konnten bei drei Abfällen, 10 04 01*, 11 01 09* Schlamm und 11 01 09* Filterkuchen insgesamt vier Überschreitung der bestehenden Grenzwerte festgestellt werden. Dennoch ist schlüssig darzustellen, warum die Abfälle bisher nicht weiterbehandelt werden.

Betrachtet man die Überschreitung des Grenzwertes für Zink beim Abfall 10 04 01*, wird deutlich, dass dieser prozessbedingt ist. Der beschriebene Abfall entsteht als Rückstand eines thermischen Prozesses, welcher auch zum Recycling genutzt wird. Es wird deutlich, dass bereits ein hoher Aufwand für ein Recycling der Metalle betrieben wurde und es ist weiterhin davon auszugehen, dass der Abfallerzeuger eine hohe intrinsische Motivation besitzt, die im Abfall enthaltenen Wertmetallfrachten zu reduzieren. Zwar wurden Ansätze zur weiteren Rückgewinnung der enthaltenen Wertmetalle entwickelt, diese werden aber bisher aufgrund wirtschaftlicher Nachteile nicht eingesetzt.

Bei den Abfällen, welche unter 11 01 09* aufgeführt sind, wurden Überschreitungen für Chrom, Nickel und Zink festgestellt. Dass bisher keine weiteren Maßnahmen zur Metallerückgewinnung ergriffen wurden, ist auf zwei Gründe zurückzuführen. Während 11 01 09* Schlamm nur in extrem geringer Menge anfällt und somit für ein bisher nicht existierendes Recyclingverfahren keine geeignete Menge vorhanden ist, verhindert bei 11 01 09* Filterkuchen die Verbindungsform des Zinks sowie die ebenfalls geringe Menge des Abfalls den Einsatz eines geeigneten Recyclingprozesses.

8.3 Vergleich der Analysenergebnisse mit der Abbauwürdigkeit von Erzen

In der Regel werden Abfälle dann für ein Recycling interessant, wenn die enthaltenen Wertstoffe in Konzentrationen vorliegen, die mit der Konzentration der Wertstoffe in Erzen vergleichbar sind oder die Wertstoffpartikel in einer solchen Form vorliegen, dass eine Separation mit einfachsten Mittel möglich ist. Tabelle 8-11 veranschaulicht die gemessenen Wertmetallkonzentrationen in Gegenüberstellungen mit typischen Abbauwürdigkeit von Erzen, wie sie bei der Metallgewinnung aus primären Rohstoffen eingesetzt werden.

Tabelle 8-11: Gegenüberstellung der analysierten Metallgehalte mit der Abbauwürdigkeit von Erzen (Untergrenze)

	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Sn	Zn
	Angaben in ppm						
Abbauwürdigkeit Erz (Untergrenze)	35.000	4.000	350.000	4.000	40.000	25.000	50.000
10 02 02	22.544	256	364.791	35	102	<50	236
10 04 01*	1.066	699	239.731	98	62.029	4.256	147.505
10 05 01	4.541	2.441	269.237	948	1.956	593	75.176
11 01 09* Schlamm	265.469	42	38.742	36.922	<25	<50	<50
11 01 09* Filterkuchen	11.353	87	132.257	6.315	1.646	<50	114.100
11 02 02*	80	6.761	201.990	<10	53.332	449	33.656
19 01 13*	259	498	21609	106	457	141	4.388

Es konnten bei fünf Abfällen, 10 02 02, 10 04 01*, 11 02 02, 11 01 09* Schlamm und 11 01 09* Filterkuchen insgesamt sieben Überschreitungen der unteren Abbauwürdigkeit von Erzen festgestellt werden. Dennoch ist schlüssig darzustellen, warum die Abfälle bisher nicht weiterbehandelt werden.

Ähnlich zum Vergleich mit den Grenzwerten stellen sich die Ergebnisse in der Gegenüberstellung mit der Abbauwürdigkeit von Erzen dar. Analog zur Gegenüberstellung der Untersuchungsergebnisse mit den bestehenden Grenzwerten verhindern bei den Abfällen 10 04 01* und den beiden unter 11 01 09* geführten der schon durchgeführte Recyclingprozess sowie die geringen Mengen und das Nichtvorhandensein von passenden Prozessen eine weitere Rückgewinnung von Metallen.

Bei 11 02 02* ist die nicht durchgeführte weitere Rückgewinnung damit zu begründen, dass der enthaltene Wertstoff in einer sehr ungünstigen Verbindungsform vorliegt, die Menge recht gering ist und eine Rückgewinnung wahrscheinlich nur durch den Einsatz weiterer tiefgreifender Prozesse möglich wäre.

Für den Abfall 10 02 02 ist die ungünstige Verbindungsform als Begründung anzuführen, dass keine weiteren Schritte unternommen werden, um eine Rückgewinnung von Wertmetallen zu erreichen.

8.4 Betrachtung der bisher nicht reglementierten Metalle

Im Rahmen des Projektes wurden zu den Metallgehalten der reglementierten Metalle auch die Metallgehalte weiterer Metalle (Tabelle 8-12) bestimmt, die für ein weiteres Recycling interessant sein könnten.

Tabelle 8-12: Übersicht der Metallgehalte der nicht reglementierten Metalle

	Co	Mn	Mo	Nb	Sb	Ta	V	W
	Angaben in ppm							
10 02 02	<50	42.161	81	264	<50	<50	767	1.026
10 04 01*	82	7.508	181	129	14.655	<50	135	158
10 05 01	94	28.468	376	<50	<50	<50	610	266
11 02 02*	<50	817	54	<50	747	<50	<50	<50
11 01 09* Schlamm	<50	123	4.315	<50	<50	<50	<50	<50
11 01 09* Filter- kuchen	4.633	1.562	<50	<50	<50	<50	<50	<50
19 01 13*	66	657	<50	<50	210	<50	<50	<50

Die Ergebnisse der Bestimmung der Metallgehalte zeigen, dass de facto keine Anreicherung von weiteren Metallen in einem der Abfälle stattgefunden hat. Die einzigen Ausnahmen bilden 10 02 02 in Bezug auf Mangan, welches wahrscheinlich als Stahllegierer in die Schlacke eingetragen wurde, 10 04 01* in Bezug auf Antimon, welches als Legierungselement von Blei eingesetzt wird und 10 05 01 ebenfalls in Bezug auf Mangan, welches wahrscheinlich über Vorstoffe in den Abfall gelangt ist.

Jedoch erscheint an dieser Stelle eine Rückgewinnung der enthaltenen weiteren Metalle nicht sinnvoll, da die Konzentrationen gering, bzw. die Verbindungsformen sehr ungünstig sind und eine Rückgewinnung folglich verfahrenstechnisch sehr aufwendig wäre. Des Weiteren sind für die stoffstromspezifische Rückgewinnung der enthaltenen Metalle kaum Verfahren bekannt oder entwickelt.

8.5 Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse

Die im Rahmen des Projektes durchgeführten Analysen der zur Verfügung gestellten Abfälle haben ergeben, dass die gemessenen Metallgehalte deckungsgleich zu Werten der Abfallerzeuger sind. Insgesamt konnten vier Überschreitungen der Grenzwerte festgestellt werden, welche jedoch begründete Ausnahmen darstellen. 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.

Ähnlich gestaltet sich 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 liegt, 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.

8.6 Zusammenfassung der Entsorgungssituationen bei den analysierten Abfällen

Im Rahmen der Untersuchungen wurden sieben Abfälle, welche sechs unterschiedlichen AVV-Nummern zugeordnet sind, untersucht. Vier der untersuchten Abfälle fallen als Rückstände von Recyclingprozessen, einer als Rückstand der Abfallbehandlung und zwei als Produktionsrückstände an. 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.

9 Neue Aufbereitungsstrategien

Innerhalb der letzten Jahre führte die Diskussion um die Abhängigkeit von strategischen Metallen zu einem neuen Bewusstsein und zu einer neuen Ressourcenstrategie. Das Recycling von Metallen wird vermehrt als eigenständige Quelle der Ressource betrachtet. Dieser Prozess wird, angestoßen durch neue Forschungsergebnisse, zu vertieften Recyclingsansätzen führen:

1. Vertieftes Wissen über den Verbleib von Materialien, insbesondere der strategischen Metalle, entlang des Lebensweges und damit spezifischere Ansätze zur Erfassung von Materialien.
2. Optimierung der Erfassung der Rohstoffpotentiale. Die bisherige Konzentration auf Massenwertstoffe und die Ausrichtung der Erfassung wird auch auf Wertstoffe geringerer Konzentration erweitert.
3. Kombination verschiedener Ansätze: Sammlung, Trennung, spezifische Aufbereitung und spezifische Verwertungswege.

Ziel der Anwendung dieses neuen Werkzeugkastens ist die frühzeitige Identifizierung, Separierung und weitere Aufbereitung von Wertstoffen. Dazu gehören, wie im Folgenden gezeigt, die Entwicklung neuer Aufbereitungstechnologien sowie neue Forschungsansätze. Diese Ansätze werden exemplarisch anhand der elektrodynamischen Fragmentierung, des Bioleaching sowie neuartiger Sortierverfahren illustriert.

9.1 Entwicklung neuer Aufbereitungstechnologien

Während die Technologien zur Verwertung von Massenwertstoffen wie Papier, Kunststoffe, Glas, Eisen, Aluminium oder Kupfer relativ weit entwickelt sind, besteht im Bereich von Sonder- und Technologiemetallen 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 Potentiale dar. Ein gutes Beispiel gibt die Studie des bifa-Umweltinstituts zum theoretischen und nutzbaren Wertstoffpotenzial im Restabfall [Rommel 2013]. So enden nach den Analysen der Studie, hochgerechnet für die Bundesrepublik Deutschland z. B. mehr als drei Prozent der Weltjahresproduktion an Tantal allein in den grauen deutschen Hausmülltonnen. 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.

Neue Forschungsansätze

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 ^{hoch}-Innovationen (hoch=2,3,4,+impuls) des BMBFs zu nennen. Im Rahmen dieser Förderprogramme wird und wurde auf vielen Gebieten ein neuer Stand von Technik und For-

schung entwickelt. Dies ist für Deutschland als Industrienation mit breiter Produktionsbasis und hohem Exportanteil eine unabdingbare Voraussetzung zur Sicherung der Arbeitsplätze und des Wohlstands. Die Rohstoffverfügbarkeit muss gesichert werden, da die generelle Versorgungssicherheit der deutschen Industrie mit nichtenergetischen mineralischen Rohstoffen, Metallen und insbesondere wirtschaftsstrategischen Rohstoffen gefährdet ist. Die Verknappungen und damit Kostensteigerungen betreffen vor allem metallführende Ressourcen, wie zum Beispiel die sogenannten Stahlveredler und Technologiemetalle. Jedoch ist auch die Relevanz der Massemetalle nicht zu vernachlässigen. Diese Rohstoffe sind für die Entwicklung und den Ausbau von Zukunftstechnologien unentbehrlich.

Integrierte Recyclingstrategien

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. Dies bedeutet erhebliche Kosteneinsparungen, eine erhöhte Versorgungssicherheit sowie größere Umweltverträglichkeit. Nur so kann langfristig der Ressourcenverbrauch vom Wirtschaftswachstum entkoppelt werden.

Exemplarisch sollen an dieser Stelle drei Neuentwicklungen genannt werden, welche das Potential 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.

9.2 Elektrodynamische Fragmentierung

Durch die in den letzten Jahren zunehmende Ressourcenknappheit von Rohstoffen gewinnt das Recycling von Verbundwerkstoffen immer mehr an Bedeutung. Dabei wird verstärkt auf eine echte Wiederverwertung der verschiedenen Bestandteile Wert gelegt. Mit der elektrodynamischen Fragmentierung [FHG 2015] ist es möglich verschiedenste Verbundmaterialien (z. B. Altbeton, Müllverbrennungsschlacke, kohlefaserverstärkte Kunststoffe) wieder selektiv aufzutrennen und zurückzugewinnen.

Das Verfahren beruht auf dem Prinzip, dass ultrakurze (< 500 nsec) Unterwasserimpulse Festkörper selektiv fragmentieren, indem die Blitzentladung bevorzugt durch den Festkörper entlang von Phasengrenzen verläuft. Ein elektrischer Durchschlag erzeugt dabei Druckwellen ($p = 1$ GPa), wodurch das Verbundmaterial in seine Komponenten zerlegt wird. 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.

9.3 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:

- ökonomisches Laugen gering konzentrierter oder unreiner Erze,
- Laugung verläuft bei niedrigen Temperaturen und atmosphärischem Druck,
- Zugabe von teuren Chemikalien entfällt durch die biogene Produktion von Schwefelsäure,
- einfache Handhabung,
- keine Emission von CO₂ (wenig Energieaufwand, Mikroorganismen fixieren CO₂)

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-Potential 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.

9.4 Sortierverfahren

Ein im Rahmen der Studie [TU Clausthal 2015] untersuchtes Metall ist Tantal. Tantal ist ein selten vorkommendes, duktiles, graphitgraues, glänzendes Übergangsmetall. Ca. 60 % der weltweiten Tantalproduktion wird für die Herstellung von Hochleistungselektrolytkondensatoren verwendet, insbesondere wenn große Kapazitäten mit kleiner Bauform gefordert sind. Beispiele hierfür sind miniaturisierte Stromversorgungen sowie Schaltregler hoher Leistungsdichte wie sie unter anderem auf PC-Motherboards, in Mobiltelefonen und Laptops zu finden 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. Im Bereich der Konsumentenabfälle wird die Recyclingquote derzeit auf unter 1 % geschätzt. Dies ist damit zu begründen, dass die Tantalfrachten in den genannten hochintegrierten Bauteilen lokalisiert sind. Deshalb ist die Tantalkonzentration in Bezug auf die Gesamtmasse und im Verhältnis zu anderen Wertträgern, z. B. Kupfer, relativ gering. Folglich steigen die verfahrenstechnischen Herausforderungen und es wird der Fokus in der Regel auf die Hauptwertträger - wie Kupfer - gelegt.

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 er-

zeugt. Mit dem Verfahren ist es gelungen aus 1,5 t Laptops ein Konzentrat mit 21 % Tantal bei einer Ausbeute von ca. 50 % zu erzeugen.

Bisher sind die einzelnen Prozessschritte allerdings noch nicht optimal aufeinander abgestimmt, wodurch es in mehreren Prozessstufen zu vermeidbaren Tantalverlusten kommt. Um die Rückgewinnung des Tantals weiter zu verbessern und letztlich am Markt zu integrieren, könnten auch die oben genannten Verfahren zum Einsatz gebracht werden. Letztlich kann aber nur eine Kombination von neuen Verfahren die Rückgewinnung des Tantals und der weiteren in der Studie beschriebenen Metalle gewährleisten.

9.5 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 potentiellen 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 in Kapitel 10 beschriebenen Maßnahmen notwendig bzw. hilfreich.

10 Vorschlag für die Umsetzung der Untersuchungsergebnisse in ein Regelungskonzept

Nach der Auswertung aller Informationen und Zusammenführung der bewerteten Aussagen aus den rückgesandten Fragebögen, den Ergebnissen der Untersuchungen an den zur Verfügung gestellten Abfallproben und weiteren eigenen Erfahrungen 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

10.1 Grenzwertregelungen

10.1.1 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 10-1).

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, wie in Kapitel 10.2 ausgeführt, 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 Ressourcenpotential 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 wird sich der Aufwand für Analysen und Logistik nach Ansicht der Gutachter nicht wesentlich ändern.

Tabelle 10-1: Gegenüberstellung der derzeitigen und der vorgeschlagenen Grenzwertkonzentrationen (die geänderten Werte sind fett gedruckt)

Metall	derzeitige Grenzwertkonzentration	vorgeschlagene Grenzwertkonzentration	Differenz bzw. Neuaufnahme
	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Pb	≥ 100.000	≥ 100.000	-
Cr	≥ 150.000	≥ 150.000	-
Fe	≥ 500.000	≥ 400.000	- 100.000
Cu	≥ 10.000	≥ 10.000	-
Ni	≥ 25.000	≥ 10.000	- 15.000
Zn	≥ 100.000	≥ 50.000	- 50.000
Sn	≥ 15.000	≥ 15.000	-
Mo	-	≥ 10.000	10.000

Im Folgenden wird versucht, die Auswirkungen der vorgeschlagenen Anpassung der Grenzwerte auf die, für das Recycling zumindest potenziell erschließbaren, Metallfrachten zu beschreiben. Daneben werden noch die ganz pauschalen Absenkungen der Grenzwerte um die Hälfte und um Faktor 10 betrachtet. Letztere dienen ausschließlich einer theoretischen Potenzialbeschreibung, ohne dass die Grundlagen für eine entsprechende Absenkung der Grenzwerte seitens der Gutachter gesehen wird.

Bei diesen Stoffstrombetrachtungen handelt es sich aufgrund systematischer Datenunsicherheiten um sehr grobe Abschätzungen:

- Einen konkreten Bezug zwischen den statistischen Abfallmengen und verfügbaren Analysedaten (meist aus ABANDA) gibt es nicht. Eine korrekte Verknüpfung von Mengen und Analyseergebnissen ist daher nicht möglich.
- Die statistische Datenlage basiert einzig auf Abfallschlüsseln. Die Abfälle, die unter einem Abfallschlüssel zusammengefasst werden, sind bezüglich Wertstoff- und Störstoffgehalt, Bindungsformen, physische Form und damit Recyclingfähigkeit sehr unterschiedlich.
- Die Angaben zu den Metallgehalten in Abfällen enthalten selten ausreichende Aussagen zu den Bindungsformen und Gehalten an Störstoffen.
- Die verfügbare Probenzahl ist häufig gering. Dies gilt ganz besonders in Bezug auf die bisher nicht geregelten Metalle.

Die wünschenswerte Bewertung, welcher Anteil der in der Studie aufgeführten Abfallmengen tatsächlich einem Recycling zugeführt werden könnten, ist aufgrund der Datenlage deshalb nicht möglich.

Tabelle 10-2: Potenziale an Metallfrachten für ein Recycling in Abhängigkeit der Grenzwertkonzentrationen unter Berücksichtigung der Durchschnittswerte der Datensätze aus ABANDA

	bei derzeitigem Grenzwert	bei vorgeschlagenem Grenzwert	bei halbiertem Grenzwert	bei um Faktor 10 reduziertem Grenzwert
	Mg/a	Mg/a	Mg/a	Mg/a
Blei	0		18	5.105
Kupfer	10.287		42.523	48.443
Nickel	1.474	2.929	2.100	7.562
Eisen	80.544	80.544	80.544	470.942
Chrom	0		0	3.349
Zink	30.288	41.630	41.630	134.374
Zinn	2.940		2.940	3.038
Molybdän		140	253*	253*

* Reduktion des vorgeschlagenen Grenzwertes

Unter Berücksichtigung der genannten Einschränkungen zeigen Tabelle 10-2 und Tabelle 10-3 insbesondere bei Zink und Nickel relevante Potenziale. Werden neben den ABANDA Daten auch die Datensätze aus der Fragebogenaktion herangezogen ändert sich die Situation bei Fe. Durch die zusätzlichen Analysewerte reduzieren sich die Durchschnittswerte beim Abfall 10 02 08 von knapp über 500.000 mg/kg auf etwa 430.000 mg/kg. Damit liegt diese Konzentration zwar noch über dem vorgeschlagenen, nicht mehr aber über dem derzeit geregelten Grenzwert. Eine pauschale Halbierung der Grenzwerte zeigte nur bei Kupfer relevante Auswirkungen. Eine pauschale Reduktion der Grenzwerte auf 10 % der geregelten Grenzwerte würde bei Fe zu einer deutlichen Steigerung der potenziellen Frachten auf knapp 500.000 Mg/a führen, bei Kupfer und Nickel etwa zu einer 5-fach höheren potenziellen Metallfracht.

Somit zeigt sich, dass durch die Ausweitung der Grenzwertregelung auf Abfälle, die auf Depo-
nien beseitigt werden, auf der Basis dieser Auswertungen deutlich höhere Potenziale erzielt werden können als durch eine maßvolle Reduktion der Grenzwerte.

Tabelle 10-3: Potenziale an Metallfrachten für ein Recycling in Abhängigkeit der Grenzwertkonzentrationen unter Berücksichtigung der Durchschnittswerte der Datensätze aus ABANDA und der Daten aus der Fragenbogenaktion

	bei derzeitigem Grenzwert	bei vorgeschlagenem Grenzwert	bei halbiertem Grenzwert	bei um Faktor 10 reduziertem Grenzwert
	Mg/a	Mg/a	Mg/a	Mg/a
Blei	0		18	5.069
Kupfer	9.507		41.377	47.198
Nickel	1.472	2.927	2.927	7.521
Eisen	639	67.992	67.992	476.897
Chrom	0	0	0	3.349
Zink	29.649	40.938	40.938	132.616
Zinn	2.940		2.940	3.038
Molybdän		140		253*

* Reduktion des vorgeschlagenen Grenzwertes

Bei den untersuchten Metallen, die derzeit nicht geregelt sind, waren die höchsten Frachten bei Mangan, gefolgt von Kobalt, zu erkennen (vgl. Kapitel 7.2):

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

Die Auswertung in Kapitel 7.2 hat insgesamt einen hohen Anteil der potenziell für das Recycling verfügbaren Metallfrachten in den Abfällen zur Ablagerung auf Deponien erbracht.

Tabelle 10-4: Metallfrachten aus Abfällen zur Ablagerung auf Deponien und deren prozentualer Anteil aus den ermittelten Gesamtfrachten (Potenzial der ausgewählten Abfälle) für die bisher geregelten Metalle

	%	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

Es zeigt 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 %. Insbesondere die Abfälle, deren Metallgehalte die heutigen Grenzwerte überschreiten, werden bevorzugt auf Deponien beseitigt.

Tabelle 10-5: Metallfrachten aus Abfällen zur Ablagerung auf Deponien und deren prozentualer Anteil aus den ermittelten Gesamtfrachten (Potenzial der ausgewählten Abfälle) für die bisher noch nicht geregelten Metalle

	%	Mg/a
Antimon	19	180
Kobalt	90	4.500
Mangan	78	34.900
Molybdän	93	230
Vanadium	93	2.300
Wolfram	100	1.300

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 die Abwicklung der Verfahren zur Deponierung stark verzögern könnte und dadurch im Einzelfall Abfallchargen nicht rechtzeitig einer Entsorgung angeliefert werden könnten.

Die Vertreter der Bergversatzbergwerke 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.

10.1.3 Festlegung einer Positivliste

Um den Analysenaufwand zu begrenzen, sollte die Prüfpflicht auf die Abfälle beschränkt werden, die potenziell hohe Metallgehalte aufweisen. Beispielsweise könnten gemäß dieser Studie hierfür Positivlisten erarbeitet und in regelmäßigen Abständen überarbeitet werden. Dabei sind auch die Abfälle zu berücksichtigen, 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 hat 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 werden.

10.2 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, welche 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 an dieser Stelle 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

- Massenanfall des Abfallstroms, Gehalte und Inhalte der potenziellen Wert- bzw. Schadstoffe,
- Bedeutung des Ressourcenpotenzials, bestimmt durch Inhalt (Masse) im Abfallstrom zur Rohstoffproduktion (global/ggfs. 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 Eluationspotenzial,

- 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 ggfs. 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 ist¹⁷ sowie
- Abfälle, die abschließend aus dem Wirtschaftskreislauf auszuschleusen sind (Funktion der Schadstoffsinke).

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

10.3 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

¹⁷ 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.

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 ggfs. 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.

11 Ausblick

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 Depositionierung, 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.

12 Quellenverzeichnis

- 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/repge.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/lehrtuehle/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.