

Methodenentwicklung für die ökologische Bewertung der Entsorgung gefährlicher Abfälle unter und über Tage und Anwendung auf ausgewählte Abfälle

Darmstadt, den 30.11.2007

Forschungsvorhaben

gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung, Förderkennzeichen 02C1345, unterstützt durch Drittmittel von vier Versatzbergwerken und teilfinanziert aus Eigenmitteln des Öko-Instituts

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Öko-Institut e.V.
Büro Darmstadt
Rheinstraße 95
D-64295 Darmstadt
Telefon +49 (0) 6151 - 8191 - 0
Fax +49 (0) 6151 - 8191 - 33

Geschäftsstelle Freiburg
Postfach 50 02 40
D-79028 Freiburg
Hausadresse
Merzhauser Straße 173
D-79100 Freiburg
Telefon +49 (0) 7 61 - 4 52 95-0
Fax +49 (0) 7 61 - 452 95-88

Büro Berlin
Novalisstraße 10
D-10115 Berlin
Telefon +49 (0) 30 - 28 04 86-80
Fax +49 (0) 30 - 28 04 86-88

Methodenentwicklung für die ökologische Bewertung der Entsorgung gefährlicher Abfälle unter und über Tage und Anwendung auf ausgewählte Abfälle

Autoren, Bearbeiter:

Dipl.-Ing.	Günter Dehoust
	Peter Küppers
Dipl.-Ing.	Julia Neles
Dr.	Doris Schüler
Ing.(grad.)	Gerhard Schmidt

Unter Mitarbeit von:

Peter Gebhardt

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VII
Verzeichnis der Abkürzungen	X
1 Einleitung	1
2 Auswahl der für den Versatz in Frage kommenden Abfallarten	4
2.1 Vorauswahl von 50 Abfallarten	4
2.2 Beschreibung der Abfallarten	7
2.2.1 Schadstoffgehalte	8
2.2.2 Bewertung der Datenlage	15
2.2.3 Gefahrenmerkmale	16
2.2.4 Gasbildungspotenzial	17
2.3 Abfallaufkommen, Herkunft sowie Verwertungs- und Beseitigungswege	19
2.3.1 Abfälle aus HZVA von Salzen, Salzlösungen und Metalloxiden	20
2.3.2 Abfälle aus Kraftwerken und anderen Verbrennungsprozessen (außer 19)	21
2.3.3 Abfälle aus der Eisen- und Stahlindustrie	22
2.3.4 Abfälle aus der thermischen Zinkmetallurgie sowie sonstiger thermischer Nichteisenmetallurgie	23
2.3.5 Abfälle aus der Herstellung von Glas und Glaserzeugnissen	24
2.3.6 Abfälle aus der chemischen Oberflächenbehandlung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen	25
2.3.7 Abfälle aus Prozessen der Nichteisen-Hydrometallurgie	27
2.3.8 Abfälle aus Prozessen der mechanischen Formgebung und der physikalischen und mechanischen Oberflächenbearbeitung von Metallen und Kunststoffen	28
2.3.9 Gebrauchte Katalysatoren	28
2.3.10 Gebrauchte Auskleidungen und feuerfeste Materialien	29
2.3.11 Bau- und Abbruchabfälle	30
2.3.12 Abfälle aus der Verbrennung oder Pyrolyse von Abfällen	34
2.3.13 Abfälle aus der physikalisch-chemischen Behandlung von Abfällen, stabilisierte und verfestigte Abfälle sowie Deponiesickerwasser	37
2.4 Schwermetallstoffströme in den 50 ausgewählten Abfällen und ihre Relevanz im Vergleich zu Stoffströmen in Wirtschaft und Umwelt	39
3 Ermittlung der relevanten Verwertungs- und Beseitigungstechnologien	46
3.1 Bergversatz und Untertagedeponien	46
3.1.1 Allgemeine Angaben	46
3.1.2 Rechtliche Grundlagen	50

3.1.3	Technische Beschreibung von Versatzarten und Einlagerungstechniken.....	54
3.1.3.1	Hydraulischer Versatz (Spül-, Dickstoff- und Pumpversatz)	54
3.1.3.2	Gebindeeinlagerung / Stapelversatz	55
3.1.3.3	Schüttversatz (Kipp-, Sturz- oder Schiebeversatz)	56
3.1.3.4	Pneumatischer Versatz (Blasversatz)	57
3.1.4	Technische Beschreibung der Abläufe	57
3.2	Sonderabfallverbrennung und Mitverbrennung	58
3.3	Aufbereitung von Aschen aus der Hausmüllverbrennung.....	59
3.4	Aufbereitung von Filterstäuben aus der Müllverbrennung	59
3.5	Mechanische Aufbereitung von Strahlsanden	59
3.6	Verfahren zur Metallaufbereitung	60
3.6.1	Zinkanreicherung nach dem Wälzverfahren	60
3.6.2	DK Recycling und Roheisen GmbH.....	60
3.6.3	Anlage der Fa. Citron AG nach dem Oxyreducer-Prozess	62
3.6.4	Elektroreduktionsverfahren der B.U.S. Steel Services GmbH	62
3.6.5	Plasmaverfahren der B.U.S. Steel Services GmbH.....	62
3.6.6	PRIMUS-Prozess	62
3.6.7	Imperial-smelting-Prozess.....	63
3.6.8	Metallhütte von Umicore	63
3.6.9	Sekundärkupferhütte Hüttenwerke Kayser	63
3.6.10	Sekundärbleihütten	63
3.6.11	Nickelhütte Aue.....	64
3.7	Aufbereitung von Bau- und Abbruchabfällen	65
3.8	Konditionierungsverfahren.....	66
4	Kombination beispielhafter Abfallarten und Verwertungsverfahren.....	71
4.1	Auswahl der vertiefend zu betrachtenden Abfälle	71
4.2	Entsorgungsvarianten für Elektrostahlwerksstäube.....	73
4.3	Entsorgungsvarianten für Stäube aus der Edelstahlproduktion.....	74
4.4	Entsorgungsvarianten für Galvanikschlämme	75
4.5	Entsorgungsvarianten für Filterstäube aus der Abfallverbrennung	77
4.6	Entsorgungsvarianten für feste Abfälle aus der Abfallverbrennung	79
4.7	Entsorgungsvarianten für Rost- und Kesselaschen aus der Abfallverbrennung (19 01 12).....	81
4.8	Entsorgungsvarianten für Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken, die gefährliche Stoffe enthalten (19 01 11*).....	83
4.9	Entsorgung von Böden und Steinen (17 05 03*) sowie Bauschutt (17 01 06*), die gefährliche Stoffe enthalten	84
5	Entwicklung des Bewertungsschemas und Ermittlung der Bewertungsgrundlagen	86
5.1	Methodik der Ökobilanz.....	86

5.1.1	Betrachtete Wirkungskategorien	86
5.1.2	Normierung	89
5.1.3	Rangbildung von Wirkungskategorien	89
5.1.3.1	Ökologische Gefährdung	90
5.1.3.2	distance-to-target (Abstand zum angestrebten Umweltziel)	91
5.1.3.3	Spezifischer Beitrag	91
5.1.3.4	Zusammenführung der drei Kriterien	92
5.2	Wirkungskategorie „langfristige Sicherheit“	94
5.2.1	Schadstoffauswahl	95
5.2.2	Emissionspfade	95
5.2.3	Zeithorizonte	96
5.2.4	Langzeitsicherheit von Senken	97
5.2.4.1	Obertägige Deponien	97
5.2.4.2	Einsatz im Straßenbau	98
5.2.4.3	Bergversatz	99
5.2.4.4	Metallrecycling	99
5.2.5	Aggregation und Bewertung	100
5.3	Einbindung von sozialen Indikatoren in das Bewertungsmodell	103
5.3.1	Arbeitnehmer	104
5.3.2	Benachbarte und regionale Bevölkerung	105
5.3.3	Gesellschaft	105
5.4	Zusammenfassende Gesamtbewertung	106
6	Ergebnisse der Ökobilanz und der Stoffstromanalyse für die einzelnen Abfälle und Verfahren	108
6.1	Filterstäube aus der Abfallverbrennung	108
6.1.1	Ergebnis der Ökobilanz	108
6.1.2	Ergebnis der Stoffstromanalyse	116
6.2	Feste Abfälle aus der Abfallverbrennung	116
6.2.1	Ergebnis der Ökobilanz	116
6.2.2	Ergebnis der Stoffstromanalyse	117
6.3	Kupferhaltige Galvanikschlämme	118
6.3.1	Ergebnis der Ökobilanz	118
6.3.2	Ergebnis der Stoffstromanalyse	119
6.4	Elektrostahlwerksstäube	120
6.4.1	Ergebnis der Ökobilanz	120
6.4.2	Ergebnis der Stoffstromanalyse	122
6.5	Stäube aus der Edelstahlproduktion	122
6.5.1	Ergebnis der Ökobilanz	122
6.5.2	Ergebnis der Stoffstromanalyse	123
6.6	Rost- und Kesselaschen aus der Abfallverbrennung (19 01 12)	124
6.6.1	Ergebnis der Ökobilanz	124
6.6.2	Ergebnis der Stoffstromanalyse	126
6.7	Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken, die gefährliche Stoffe enthalten (19 01 11*)	128

7	Gesamtbewertung für die ausgewählten Abfälle und Verfahren	130
7.1	Filterstäube aus der Abfallverbrennung.....	130
7.2	Feste Abfälle aus der Abfallverbrennung.....	131
7.3	Kupferhaltige Galvanikschlämme	131
7.4	Elektrostahlwerksstäube.....	132
7.5	Stäube aus der Edelstahlproduktion.....	133
7.6	Rost- und Kesselaschen und Schlacken aus der Abfallverbrennung (19 01 12 sowie 19 01 11*).....	133
7.7	Böden und Steine (17 05 03*) sowie Bauschutt (17 01 06*), die gefährliche Stoffe enthalten.....	135
8	Umsetzungskonzept für eine nachhaltige Entsorgung anorganischer Abfälle	137
8.1	Bewertung des Metallrecyclings	137
8.2	Stoffströme der ausgewählten Abfallarten im Vergleich zu anderen umweltrelevanten Schadstoffstoffströmen.....	138
8.3	Empfehlungen für die Entsorgungspraxis.....	143
9	Fazit.....	145
10	Literaturverzeichnis.....	146
	Anhänge	161

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 5-1	Definition der Zeithorizonte für kurzfristig, mittelfristig und langfristig sicheren Senken	102
Abbildung 6-1	Entsorgung von 1 t Filterstaub aus der Abfallverbrennung: Ergebnis für den Treibhauseffekt	108
Abbildung 6-2	Entsorgung von 1 t Filterstaub aus der Abfallverbrennung: Ergebnis für das Versauerungspotenzial	110
Abbildung 6-3	Entsorgung von 1 t Filterstaub aus der Abfallverbrennung: Ergebnis für die Eutrophierung	111
Abbildung 6-4	Entsorgung von 1 t Filterstaub aus der Abfallverbrennung: Ergebnis für Feinstaub	112
Abbildung 6-5	Entsorgung von 1 t Filterstaub aus der Abfallverbrennung: Ergebnis für die Energetischen Ressourcen (KEA)	113
Abbildung 6-6	Zusammenfassende Darstellung der Ökobilanzergebnisse für die Entsorgung von Filterstäuben aus der Abfallverbrennung	115
Abbildung 6-7	Ergebnisse der Stoffstromanalyse für die Entsorgung von 1 t Filterstaub	116
Abbildung 6-8	Zusammenfassende Darstellung der Ökobilanzergebnisse für die Entsorgung von festen Abfällen aus der Abfallverbrennung	117
Abbildung 6-9	Ergebnisse der Stoffstromanalyse für die Entsorgung von 1 t fester Abfälle aus der Abgasbehandlung von Abfallverbrennungsanlagen.....	118
Abbildung 6-10	Zusammenfassende Darstellung der Ökobilanzergebnisse für die Entsorgung von Galvanikschlämmen.....	119
Abbildung 6-11	Ergebnisse der Stoffstromanalyse für die Entsorgung von 1 t Galvanikschlamm	120
Abbildung 6-12	Zusammenfassende Darstellung der Ökobilanzergebnisse für die Entsorgung von Elektrostahtwerkstäuben	121
Abbildung 6-13	Ergebnisse der Stoffstromanalyse für 1 t Elektrostahtwerksstäube	122
Abbildung 6-14	Zusammenfassende Darstellung der Ökobilanzergebnisse für die Entsorgung von Stäuben aus der Edelstahlproduktion	123
Abbildung 6-15	Ergebnisse der Stoffstromanalyse für 1 t Stäube aus der Edelstahlproduktion.....	124
Abbildung 6-16	Zusammenfassende Darstellung der Ökobilanzergebnisse für die Entsorgung von Rost- und Kesselasche und Schlacken aus der Abfallverbrennung	125
Abbildung 6-17	Sensitivität: Ökobilanzergebnisse für die Entsorgung von Rost- und Kesselasche und Schlacken aus der Abfallverbrennung bei einer verbesserten Metallabscheidung bei der weitergehenden Aufbereitung	126
Abbildung 6-18	Ergebnisse der Stoffstromanalyse für 1 t Rost- und Kesselasche und Schlacken aus der Abfallverbrennung (19 01 12).....	127
Abbildung 6-19	Sensitivität: Stoffstromanalyse für 1 t Rost- und Kesselasche und Schlacken aus der Abfallverbrennung (19 01 12) bei	

einer verstärkten Metallabscheidung bei der weitergehenden Schlackeaufbereitung.....	128
Abbildung 6-20 Ergebnisse der Stoffstromanalyse für 1 t Rost- und Kesselasche und Schlacken aus der Abfallverbrennung (19 01 11*)	129

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1	Für den Bergversatz infrage kommende Abfälle – Vorauswahl	4
Tabelle 2-2	Feststoffgehalte von Stäuben aus Elektrostahlwerken zur Produktion von Massenhählen	9
Tabelle 2-3	Eluatgehalte von Stäuben aus Elektrostahlwerken zur Produktion von Massenhählen	9
Tabelle 2-4	Feststoffgehalte von Stäuben eines Edelstahlwerkes, das Chrom-Nickel-Stähle erzeugt	9
Tabelle 2-5	Eluatgehalte eines Staubes aus Edelstahlwerken, die Chrom- Nickel-Stähle erzeugen	10
Tabelle 2-6	Feststoffgehalte der Abfallart 11 01 09*	10
Tabelle 2-7	Eluatgehalte der Abfallart 11 01 09*	10
Tabelle 2-8	Feststoffgehalte der Abfallart 17 01 06*	11
Tabelle 2-9	Eluatgehalte der Abfallart 17 01 06*	11
Tabelle 2-10	Eluatgehalte der Abfallart 17 05 03*	12
Tabelle 2-11	Feststoffgehalte der Abfallart 17 05 03*	12
Tabelle 2-12	Feststoffgehalte der Abfallart 19 01 07*	12
Tabelle 2-13	Eluatgehalte der Abfallart 19 01 07*	13
Tabelle 2-14	Feststoffgehalte der Abfallart 19 01 11*	13
Tabelle 2-15	Eluatgehalte der Abfallart 19 01 11*	13
Tabelle 2-16	Feststoffgehalte der Abfallart 19 01 12	14
Tabelle 2-17	Eluatgehalte der Abfallart 19 01 12	14
Tabelle 2-18	Feststoffgehalte der Abfallart 19 01 13*	15
Tabelle 2-19	Eluatgehalte der Abfallart 19 01 13*	15
Tabelle 2-20	Datenlage bei den 9 näher betrachteten Abfällen	16
Tabelle 2-21	Gefahrenmerkmale der 9 näher betrachteten Abfälle	17
Tabelle 2-22	Wasserstoffbildungspotenzial der 9 näher betrachteten Abfälle	19
Tabelle 2-23	Aufkommen und Verbleib von Abfällen aus HZVA von Salzen, Salzlösungen und Metalloxiden nach AVV [AVV 2001] im Jahr 2003	21
Tabelle 2-24	Aufkommen und Verbleib von Abfällen aus Kraftwerken und anderen Verbrennungsanlagen (außer 19) nach AVV [AVV 2001] im Jahr 2003	22
Tabelle 2-25	Aufkommen und Verbleib von Abfällen aus der Eisen- und Stahlindustrie nach AVV [AVV 2001] im Jahr 2003	23
Tabelle 2-26	Aufkommen und Verbleib von Abfällen aus der thermischen Zinkmetallurgie sowie sonstiger thermischer Nichteisenmetallurgie nach AVV [AVV 2001] im Jahr 2003	24
Tabelle 2-27	Aufkommen und Verbleib von Abfällen aus der Herstellung von Glas und Glaserzeugnissen nach AVV [AVV 2001] im Jahr 2003	25
Tabelle 2-28	Aufkommen und Verbleib von Abfällen aus der chemischen Oberflächenbearbeitung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen nach AVV [AVV 2001] im Jahr 2003	26

Tabelle 2-29	Aufkommen und Verbleib von Abfällen aus Prozessen der Nichteisen-Hydrometallurgie nach AVV [AVV 2001] im Jahr 2003	27
Tabelle 2-30	Aufkommen und Verbleib von Abfällen aus Prozessen der mechanischen Formgebung sowie der physikalischen und mechanischen Oberflächenbearbeitung von Metallen und Kunststoffen nach AVV [AVV 2001] im Jahr 2003	28
Tabelle 2-31	Aufkommen und Verbleib gebrauchter Katalysatoren nach AVV [AVV 2001] im Jahr 2003	29
Tabelle 2-32	Aufkommen und Verbleib gebrauchter Auskleidungen und feuerfester Materialien nach AVV [AVV 2001] im Jahr 2003	30
Tabelle 2-33	Aufkommen und Verbleib von gefährlichen Bau- und Abbruchabfällen nach AVV [AVV 2001] im Jahr 2003	31
Tabelle 2-34	Aufkommen und Verbleib von Abfällen aus der Verbrennung oder Pyrolyse von Abfällen nach AVV [AVV 2001] im Jahr 2003	36
Tabelle 2-35	Aufkommen und Verbleib von Abfällen aus der physikalisch-chemischen Behandlung, von stabilisierten und verfestigten Abfällen sowie von Deponiesickerwasser nach AVV [AVV 2001] im Jahr 2003	39
Tabelle 2-36	Die größten Bleistoffströme innerhalb der 50 ausgewählten Abfälle	40
Tabelle 2-37	Kennzahlen zum Stoffstrom Blei in der BRD	41
Tabelle 2-38	Die größten Zinkstoffströme innerhalb der 50 ausgewählten Abfälle	42
Tabelle 2-39	Kennzahlen zum Stoffstrom Zink in der BRD.....	42
Tabelle 2-40	Die größten Cadmiumstoffströme innerhalb der 50 ausgewählten Abfälle	43
Tabelle 2-41	Kennzahlen zum Stoffstrom Cadmium in der BRD	44
Tabelle 2-42	Stoffströme von Hg, Cr, Ni, As, Cu und Fe	44
Tabelle 3-1	Bergversatz als Abfallverwertung in Salzgestein [Behnsen 2001]	48
Tabelle 3-2	Bergversatz in anderen Wirtsgesteinen in Nordrhein-Westfalen [AIDA 2007].....	49
Tabelle 3-3	Untertage-Deponien in Deutschland [Behnsen 2001; GSES 2007]	49
Tabelle 3-4	Grenzwertkonzentrationen für Metalle im Abfall gemäß Versatzverordnung.....	51
Tabelle 3-5	Entsorgte Mengen bei der DK Recycling und Roheisen GmbH in 2004 und durchschnittliche Zinkgehalte	61
Tabelle 3-6	Durchschnittliche Bleigehalte einiger ausgewählter Abfälle.....	64
Tabelle 3-7	Nickelgehalte und Aufkommen einiger nickelhaltiger Abfallarten	65
Tabelle 3-8	Anbieter und Betreiber von Konditionierungsanlagen (Auszug)	67
Tabelle 4-1	Auswahl der vertiefend zu betrachtenden Abfälle.....	72
Tabelle 4-2	Metallgehalte der modellierten Elektrostahlwerksstäube	73
Tabelle 4-3	Metallgehalte der modellierten Stäube aus der Edelstahlproduktion.....	74

Tabelle 4-4	Metallgehalte der modellierten Galvanikschlämme.....	76
Tabelle 4-5	Metallgehalte und weitere Parameter des modellierten Filterstaubes aus der Abfallverbrennung (Mittelwerte nach ABANDA)	78
Tabelle 4-6	Metallgehalte und weitere Parameter der modellierten festen Abfälle aus der Abfallverbrennung (Mittelwerte nach ABANDA).....	79
Tabelle 4-7	Wichtige Parameter zur Abfallart 19 01 12	82
Tabelle 4-8	Wichtige Parameter zur Abfallart 19 01 11*	84
Tabelle 5-1:	Wirkungskategorien	86
Tabelle 5-2:	Wirkfaktoren für die Berechnung der Wirkungspotenziale	89
Tabelle 5-3	Ermittlung der ökologischen Prioritäten nach der UBA- Methode 93	
Tabelle 5-4	GFS für die wichtigsten Schwermetalle nach [LAWA 2004]	101
Tabelle 6-1	Hierarchisierung der Ökobilanzergebnisse für die Filterstäube aus der Abfallverbrennung	113
Tabelle 7-1	Gesamtbewertung für die Filterstäube aus der Abfallverbrennung	130
Tabelle 7-2	Gesamtbewertung für die festen Abfälle aus der Abfallverbrennung	131
Tabelle 7-3	Gesamtbewertung für die kupferhaltigen Galvanikschlämme.....	132
Tabelle 7-4	Gesamtbewertung für die Elektrostahlwerksstäube.....	132
Tabelle 7-5	Gesamtbewertung für die Stäube aus der Edelstahlproduktion....	133
Tabelle 7-6	Gesamtbewertung für Rost- und Kesselaschen und Schlacken aus der Abfallverbrennung (19 01 12).....	134
Tabelle 7-7	Gesamtbewertung für Böden und Steine sowie Bauschutt, die gefährliche Stoffe enthalten	135
Tabelle 8-1	Abschätzung der Gesamtfracht an Chrom-Äquivalenten von den detaillierter betrachteten Abfällen (bezogen auf anorganische Schadstoffe)	139
Tabelle 8-2	Schwermetalleinträge in Oberflächengewässer in t/a und in Cr. _{aq} /a nach [nach UBA 2004].....	140
Tabelle 8-3	Abschätzung der Gesamtfracht an Chrom-Äquivalenten von weiteren nicht detaillierter betrachteten Abfällen (bezogen auf anorganische Schadstoffe)	142

Verzeichnis der Abkürzungen

ABANDA	Abfallanalysendatenbank des Landes Nordrhein-Westfalen
ABILA	Abfallbilanz für Siedlungsabfall in Nordrhein-Westfalen
AIDA	Informationsplattform Abfall in NRW
ASYS	Abfallüberwachungssystem
AVV	Abfallverzeichnis-Verordnung
BaP	Benzo[a]pyren
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BV	Bergversatz
BUWAL	Schweizerisches Bundesamt für Umwelt
CPB	Chemisch-physikalische Behandlung
Cr-äq	Chrom-Äquivalente
DepVerwV	Deponieverwertungsordnung
DK I / DK II / DK III	Deponieklassen I, II und III
GFS	Geringfügigkeitsschwelle
GUV	Gesetzliche Unfallverhütungsvorschriften
HMV	Hausmüllverbrennung
HZVA	Herstellung, Zubereitung, Vertreib und Anwendung
ITAD	Interessengemeinschaft der Betreiber Thermischer Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland
KEA	Kumulierter Energieaufwand
KVA	Kehrichtverbrennungsanlage
LAGA	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall
LUA NRW	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW
NM VOC	Non-methane volatile organic component
MVA	Müllverbrennungsanlage
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PCB	Polychlorierte Biphenyle
PCDD/F	Polychlorierte Dibenzo-p-dioxine und Dibenzofurane
PM ₁₀	Feinstaub mit Durchmesser < 10 µm
POCP	Photochemische Ozonbildung
RGR	Rückstände aus der Rauchgasreinigung
SAD	Sonderabfalldeponie
SETAC	Society of Environmental Toxicology and Chemistry
StBA	Statistisches Bundesamt
TA Abfall	Zweite allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz
TL Gestein-StB	Technische Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau
TOC	Total Organic Carbon
TS	Trockensubstanz
UTD	Untertagedeponie
VersatzV	Versatzverordnung

1 Einleitung

Von allen Abfallverwertungs- oder -beseitigungsverfahren können, aufgrund unterschiedlicher Schadstoffe und Schadstoffgehalte in den Abfällen einerseits und Schadstoffrückhaltemaßnahmen andererseits, verschiedene Auswirkungen auf die Umwelt ausgehen. Da weder die Beseitigung noch die Verwertung ohne ökologische Auswirkungen ist, schreibt der Gesetzgeber im Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz in § 6 Abs. 1 vor, dass dasjenige Entsorgungsverfahren anzuwenden ist, dessen Auswirkungen auf die Umwelt am geringsten sind.

Die Umweltverträglichkeit wird nach § 5 Abs. 5 insbesondere anhand der Kriterien Emissionen, Ressourcenschonung, Energieeinsatz oder -gewinnung und Schadstoffanreicherung geprüft. Um Entscheidungen über das bezüglich der Schadlosigkeit und Umweltverträglichkeit am besten geeignete Entsorgungsverfahren (Bergversatz, andere Verwertungsverfahren, UTD, andere Beseitigungsverfahren) zu treffen, müssen die in Frage kommenden Abfälle einer entsprechenden Bewertung unterzogen werden. Speziell beim Bergversatz sind allerdings weitere Kriterien wie Schutz von Sachgütern und Landschaften vor Gebirgsschäden bzw. langzeitsichere Ausschleusung von Schadstoffen aus dem Wirtschaftskreislauf und der Ökosphäre zu berücksichtigen, die im Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz nicht oder nur indirekt angesprochen werden.

In der derzeitigen Praxis sind folgende Defizite erkennbar:

1. Es fehlen wissenschaftlich begründete, nachvollziehbare und allgemein akzeptierte Bewertungsverfahren, die eine angepasste Bewertung der Nachhaltigkeit bei der Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen (z.B. Bergversatz, UTD) im Vergleich zu sonstigen, obertägigen Verwertungs- und Beseitigungsmaßnahmen ermöglichen.
2. Abfälle werden daher häufig in nicht nachhaltigen Verwertungsverfahren behandelt oder eingesetzt, ohne dass diese durch geeignete ökobilanzielle Bewertungen geprüft wurden.
3. Die Langzeitsicherheit der Entsorgungsverfahren, insbesondere bezüglich der Ausschleusung und/oder Immobilisierung von Schadstoffen, wird bei der Bewertung nicht ausreichend gewürdigt.
4. Bei der Bewertung des Bergversatzes werden die Unterschiede der verschiedenen Versatzbergwerke (insbesondere die Unterschiede in Bezug auf das Wirtsgestein) nicht ausreichend berücksichtigt.
5. Die Berücksichtigung weiterer Nachhaltigkeitskriterien, wie z.B. Wirtschaftlichkeit und Sozialverträglichkeit, findet nicht statt.
6. Da anerkannte, für den Vollzug geeignete Bewertungsverfahren für zahlreiche Abfallbehandlungssysteme fehlen, werden Fehleinschätzungen bezüg-

lich der Nachhaltigkeit dieser Verfahren sowie die damit verbundenen ökologischen Probleme und Verzerrungen im Abfallmarkt in der Praxis nicht zu vermeiden sein.

7. Die Folge sind Benachteiligungen umweltfreundlicherer Entsorgungswege, verbunden mit Umweltbelastungen, die bei einer systematischen Bewertung vermieden werden könnten.

Mit dem hier entwickelten Schema werden die erprobten und anerkannten Bewertungsverfahren der Ökobilanzierung und der Stoffstromanalyse so angepasst, dass die besonderen Vorzüge und Nachteile aller Entsorgungsverfahren, die für gefährliche mineralische Abfälle geeignet sind, insbesondere der verschiedenen untertägigen Verfahren, berücksichtigt werden können. Diese sind mit bewährten Bewertungssystemen kombiniert, die im Wesentlichen auf begründeten verbalargumentativen und zusammenfassenden Bewertungsmethoden basieren und an die besonderen Fragestellungen dieses Schemas angepasst sind.

Anhand einer Reihe von ausgewählten Abfällen wurde dieses Instrumentarium erprobt und dabei weiter verfeinert. Die Auswahl der Abfälle erfolgt anhand von Kriterien wie mengenmäßige Relevanz, Toxizität, Zweifel an der Umweltverträglichkeit des derzeitigen Entsorgungswegs, etc. Die Ergebnisse kommen für einige mengenmäßig relevante Abfallkategorien zu anderen Entsorgungs- und Verwertungs-prioritäten als derzeit praktiziert. Die Untersuchung schließt daher mit einer Betrachtung darüber, wie der Übergang nachhaltig vollzogen werden kann und absehbare künftige Änderungen der abfallrechtlichen Rahmenbedingungen in die Bewertung hineinwirken werden.

Die Zwischen- und Endergebnisse des Forschungsvorhabens wurden in drei Workshops mit Fachvertretern von Verbänden der Entsorgungsbranche, aus Unternehmen der Branche sowie mit Vertretern von verschiedenen Behörden besprochen. Bei den drei Workshops wurden Entwürfe von Methoden und Ergebnissen präsentiert und im größeren Kreis diskutiert. Die Ergebnisse der drei Workshops sind in Anhang 1 dokumentiert. Anregungen und Änderungswünsche wurden aufgenommen, bewertet und sind in die weitere Arbeit in dem Projekt sowie in diesen Forschungsbericht integriert worden.

Der vorliegende Forschungsbericht gliedert sich in folgende Teile:

- In Kapitel 2 ist die Auswahl von denjenigen Abfallarten dokumentiert, an denen das Bewertungsschema entwickelt und erprobt wird.
- Die für die mögliche Entsorgung der ausgewählten Abfälle in Frage kommenden Methoden und Verfahren zur Verwertung bzw. Beseitigung sind in Kapitel 3 beschrieben. Weiterhin wird herausgearbeitet, welche Entsorgungsverfahren eine besonders hohe Relevanz haben.

- Die Kombination der ausgewählten Abfallarten mit Entsorgungsverfahren wird in Kapitel 4 behandelt. Für jede Abfallart werden verschiedene Entsorgungsoptionen dargestellt, die in den nachfolgenden Kapiteln vergleichend bewertet werden.
- Das Bewertungsschema und die Bewertungsgrundlagen werden in Kapitel 5 entwickelt. Hier erfolgt die Auswahl der Bewertungskriterien und es werden die notwendigen Angaben zu deren qualitativer und quantitativer Anwendung begründet.
- Die Bewertung der ausgewählten Abfälle und deren Verwertungs- und Entsorgungspfade mittels der Ökobilanz und der Stoffstromanalyse ist in Kapitel 6 vorgenommen. Hier liegt der Schwerpunkt auf der Dokumentation der Ergebnisse. In Kapitel 7 werden die Teilbewertungen zu einer Gesamtbewertung zusammengeführt.
- Aus der Untersuchung und Bewertung in Kapitel 7 resultieren verschiedene Empfehlungen, die zu Veränderungen in der behördlichen Praxis führen können. In Kapitel 8 ist dazu ein Umsetzungskonzept zur Anwendung der Methodik in der Praxis und zur Ausweitung auf weitere Abfallarten entwickelt.
- Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens sind in Kapitel 9 zusammengefasst. Hier sind auch die Auswirkungen von Unsicherheiten in der Datenbasis und bei den Bewertungsgrundlagen diskutiert.

Um die Lesbarkeit des Forschungsberichts zu gewährleisten, wurden umfangreiche Datendokumentationen in den Anhang verlegt:

- Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden Zwischen- und Endergebnisse in drei Workshops diskutiert. Die Ergebnisse dieser Workshops sind im Anhang 1 dokumentiert.
- Im Rahmen der Untersuchung wurde eine Vielzahl von Daten über Abfälle und deren Entsorgungswege ermittelt. Diese sind überwiegend in den Anhängen 2 - 4 dokumentiert.
- Die Sachbilanzdokumentation für die Ökobilanz und die Stoffstromanalyse mit den wichtigsten Berechnungsparametern zu den Abfällen und den Entsorgungsverfahren befindet sich im Anhang 5.
- Die ökobilanzielle Untersuchung sowie die Stoffstromanalyse führen zur zahlreichen Zwischen- und Teilergebnissen. Um eine ausführliche Dokumentation zu gewährleisten, wurden diese umfangreichen Datenzusammenstellungen in den Anhang 6 verlegt.

2 Auswahl der für den Versatz in Frage kommenden Abfallarten

Die Entwicklung und Erprobung der Bewertungsmethode soll anhand von ausgewählten Abfällen erfolgen. In diesem Kapitel sind zunächst diejenigen Abfallarten ausgewählt, die für den Versatz infrage kommen. Ausgehend von einer Vorauswahl von 50 Abfallarten (Kapitel 2.1), werden diese Abfälle zunächst anhand ihrer wichtigsten Eigenschaften beschrieben (Kapitel 2.2). Um die Vorauswahl weiter einzuzengen, werden die Mengen-, Herkunfts-, Verwertungs- und Beseitigungscharakteristika dieser Abfälle in Kapitel 2.3 zusammengestellt (Relevanz anhand der Mengen). Schließlich werden die in den neun ausgewählten Abfallarten enthaltenen und jährlich in der Verwertung und Beseitigung umgesetzten Mengen an Schwermetallen („Schwermetallströme“) mit der jährlichen Einfuhr dieser Stoffe verglichen (Relevanz anhand der Stoffströme).

2.1 Vorauswahl von 50 Abfallarten

In einem ersten Schritt wurden zunächst rund 50 Abfallarten ausgewählt, die für den Bergversatz prinzipiell infrage kommen. Die Auswahl wurde anschließend auf einem Workshop mit Vertretern der für Abfälle und ihre Entsorgung zuständigen Ministerien/Bundesämter, Verbandsvertretern der Entsorgungswirtschaft und mit weiteren Fachleuten diskutiert und entsprechend der eingegangenen Anregungen ergänzt. Das abgestimmte Auswahlresultat ist in Tabelle 2-1 dargestellt.

Tabelle 2-1 Für den Bergversatz infrage kommende Abfälle – Vorauswahl

Abfall-schlüssel	Abfallbezeichnung
06	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
06 03 14	feste Salze und Lösungen mit Ausnahme derjenigen, die unter 06 03 11 und 06 03 13 fallen
06 03 15*	Metalloxide, die Schwermetalle enthalten

Abfall- schlüs- sel	Abfallbezeichnung
10	Abfälle aus thermischen Prozessen
10 01	Abfälle aus Kraftwerken und anderen Verbrennungsprozessen (außer 19)
10 01 04*	Filterstäube und Kesselstaub aus der Ölfeuerung
10 01 14*	Rost- u. Kesselasche, Schlacken u. Kesselstaub aus der Abfallmitverbrennung, die gefährliche Stoffe enthalten
10 01 15	Rost- u. Kesselasche, Schlacken u. Kesselstaub aus der Abfallmitverbrennung mit Ausnahme derjenigen, die unter 10 01 14 fallen
10 01 16*	Filterstäube aus der Abfallmitverbrennung, die gefährliche Stoffe enthalten
10 01 17	Filterstäube aus der Abfallmitverbrennung mit Ausnahme derjenigen, die unter 10 01 16 fallen
10 01 18*	Abfälle aus der Abgasbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten
10 01 20*	Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten
10 02	Abfälle aus der Eisen- und Stahlindustrie
10 02 07*	feste Abfälle aus der Abgasbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten
10 02 13*	Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten
10 02 14	Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung mit Ausnahme derjenigen, die unter 10 02 13* fallen
10 05	Abfälle aus der thermischen Zinkmetallurgie
10 05 03*	Filterstaub
10 05 05*	feste Abfälle aus der Abgasbehandlung
10 05 06*	Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung
10 08	Abfälle aus sonstiger thermischer Nichteisenmetallurgie
10 08 08*	Salzschlacken (Erst- und Zweitschmelze)
10 08 15*	Filterstaub, der gefährliche Stoffe enthält
10 08 17*	Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten
10 11	Abfälle aus der Herstellung von Glas und Glaserzeugnissen
10 11 09*	Gemengeabfall mit gefährlichen Stoffen vor dem Schmelzen
10 11 13*	Glaspolier- und Glasschleifschlämme, die gefährliche Stoffe enthalten
10 11 15*	feste Abfälle aus der Abgasbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten
10 11 17*	Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten
10 11 19*	Feste Abfälle aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten
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
11 01 09*	Schlämme und Filterkuchen, die gefährliche Stoffe enthalten

Abfall- schlüs- sel	Abfallbezeichnung
11 02	Abfälle aus Prozessen der Nichteisen-Hydrometallurgie
11 02 02*	Schlämme aus der Zink-Hydrometallurgie (einschließlich Jarosit, Goethit)
11 02 05*	Abfälle aus Prozessen der Kupfer-Hydrometallurgie, die gefährliche Stoffe enthalten
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 16*	Strahlmittelabfälle, die gefährliche Stoffe enthalten
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
16 08 05*	gebrauchte Katalysatoren, die Phosphorsäure enthalten
16 08 07*	gebrauchte Katalysatoren, die durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind
16 11	Gebrauchte Auskleidungen und feuerfeste Materialien
16 11 01*	Auskleidungen und feuerfeste Materialien auf Kohlenstoffbasis aus metallurgischen Prozessen, die gefährliche Stoffe enthalten
16 11 03*	andere Auskleidungen und feuerfeste Materialien aus metallurgischen Prozessen, die gefährliche Stoffe enthalten
16 11 05*	Auskleidungen und feuerfeste Materialien aus nichtmetallurgischen Prozessen, die gefährliche Stoffe enthalten
17	Bau- und Abbruchabfälle (einschließlich Aushub von verunreinigten Standorten)
17 01	Beton, Ziegel, Fliesen und Keramik
17 01 06*	Gemische aus oder getrennte Fraktionen von Beton, Ziegeln, Fliesen und Keramik, die gefährliche Stoffe enthalten
17 03	Bitumengemische, Kohlenteer und teerhaltige Produkte
17 03 01*	Kohlenteerhaltige Bitumengemische
17 05	Boden (einschließlich Aushub von verunreinigten Standorten), Steine und Baggergut
17 05 03*	Boden und Steine, die gefährliche Stoffe enthalten
17 05 05*	Baggergut, das gefährliche Stoffe enthält
17 05 07*	Gleisschotter, der gefährliche Stoffe enthält

Abfall- schlüs- sel	Abfallbezeichnung
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
19 01 06*	wässrige flüssige Abfälle aus der Abgasbehandlung und andere wässrige flüssige Abfälle
19 01 07*	feste Abfälle aus der Abgasbehandlung
19 01 11*	Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken, die gefährliche Stoffe enthalten
19 01 12	Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 01 11* fallen
19 01 13*	Filterstaub, der gefährliche Stoffe enthält
19 01 15*	Kesselstaub, der gefährliche Stoffe enthält
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
19 02 05*	Schlämme aus der physikalisch-chemischen Behandlung, die gefährliche Stoffe enthalten
19 03	Stabilisierte und verfestigte Abfälle
19 03 04*	als gefährlich eingestufte teilweise stabilisierte Abfälle
19 03 06*	als gefährlich eingestufte verfestigte Abfälle
19 07	Deponiesickerwasser
19 07 02*	Deponiesickerwasser, das gefährliche Stoffe enthält

2.2 Beschreibung der Abfallarten

Insgesamt wurden für das Forschungsvorhaben 50 Abfallarten ausgewählt, von denen 9 einer näheren Untersuchung unterzogen werden sollen. Sowohl für die 41 nicht näher betrachteten Abfallarten als auch für die 9 näher untersuchten Abfälle enthält der Anhang zu diesem Kapitel eine ausführliche Beschreibung der Abfalleigenschaften. Insbesondere aufgrund unterschiedlicher Schadstoffkonzentrationen wurde bei den näher untersuchten Abfallarten teilweise eine über die Systematik der AVV hinausgehende Differenzierung vorgenommen. So sind im Anhang beispielsweise Daten zu verschiedenen Stahlwerksstäuben enthalten, die in der AVV alle unter der Schlüsselnummer 10 02 07* zusammengefasst werden.

Im folgenden Kapitel werden die Abfalleigenschaften der im Rahmen des Forschungsprojektes näher betrachteten 9 Abfallarten zusammenfassend beschrieben. Die Beschreibung erfolgt anhand der Kriterien

- Schadstoffgehalte im Eluat und im Feststoff,
- Datenqualität,
- Gefahrenmerkmale und

- Gasbildungspotenzial.

2.2.1 Schadstoffgehalte

Eine wesentliche Datengrundlage für die Ermittlung der Schadstoffgehalte bildete die Abfallanalysebank ABANDA des Landesumweltamtes Nordrhein-Westfalen [ABANDA]. ABANDA stellt die in Deutschland umfassendste Sammlung von Analysedaten für Abfälle dar. Zur Ergänzung von Datenlücken oder zur Prüfung der Plausibilität wurden darüber hinaus zahlreiche Literaturquellen ausgewertet.

Für jede Abfallart werden sowohl für das Eluat als auch für den Feststoff folgende Parameter betrachtet:

- die 4 wichtigsten kanzerogenen Schwermetalle (As, Ni, Cd, Cr) sowie Hg und Pb,
- die organischen Schadstoffe PCB und PAK.

Insbesondere aus toxikologischer Sicht spielen diese Schadstoffe bei der späteren Bewertung der einzelnen Behandlungsverfahren eine tragende Rolle. Es werden sowohl die Mediane als auch die 20- und 80-Perzentile dargestellt. Für die Charakterisierung eines Abfalls eignet sich der Median wesentlich besser als der Mittelwert, da in den Median extrem hohe bzw. niedrige Befunde nicht eingehen, während beim Mittelwert insbesondere ein sehr hoher Einzelwert das Ergebnis sehr stark beeinflussen kann. Bei einzelnen Abfällen, die in diesem Forschungsvorhaben betrachtet wurden, unterscheiden sich Mediane und Mittelwerte um bis zu Faktor 10.

Den Tabellen im Anhang sind weitere physikalisch-chemische Parameter im Feststoff und Eluat sowie Mittel-, Minimal- und Maximalwerte zu entnehmen.

10 02 07* Elektrostahlwerkstäube

Elektrostahlwerkstäube weisen sehr hohe Gehalte an Chrom und Blei auf. Auch die Konzentrationen anderer Schwermetalle sind relativ hoch. Die Gehalte an organischen Schadstoffen sind dagegen nicht auffällig. Die vorliegenden Daten deuten auf ein relativ hohes Lösungspotenzial bei Cadmium in Wasser hin.

Tabelle 2-2 Feststoffgehalte von Stäuben aus Elektrostahlwerken zur Produktion von Massenstählen

Parameter	Einheit	N	20 Perzentil	Median	80 Perzentil
As	mg/kg	7	54	128	951
Cd	mg/kg	7	135	342	395
Cr ges	mg/kg	7	2.822	3.429	5.041
Ni	mg/kg	6	165	190	271
Pb	mg/kg	8	11.810	20.212	36.508
Hg	mg/kg	7	17,4	80,4	147
PCB	mg/kg	3	0,007	0,007	0,015

Quelle: Auszug aus der Datenbank ABANDA des LUA NRW.

Tabelle 2-3 Eluatgehalte von Stäuben aus Elektrostahlwerken zur Produktion von Massenstählen

Parameter	Einheit	N	20 Perzentil	Median	80 Perzentil
As	mg/l	2	0,1	0,1	0,1
Cd	mg/l	4	0,01	0,5	1,0
Cr ges	mg/l	2	0,01	0,01	0,01
Ni	mg/l	2	0,02	0,02	0,02
Pb	mg/l	4	0,5	2,1	3,5
Hg	mg/l	4	0,002	0,0034	0,0035

Quelle: Auszug aus der Datenbank ABANDA des LUA NRW.

10 02 07* Stäube aus der Edelstahlproduktion

Ausgewählt wurden Chrom-Nickel-haltige Stäube aus Elektrostahlwerken. Entsprechend sind die Nickel- und Chromgehalte in den Analysen sehr hoch. Daneben zeigen sich auch sehr hohe Bleigehalte. Aus dem Abfall lösen sich Quecksilber und Nickel besonders gut in Wasser. Die Gehalte an organischen Stoffen sind, wie bei anderen Stahlwerkstäuben auch, relativ gering.

Tabelle 2-4 Feststoffgehalte von Stäuben eines Edelstahlwerkes, das Chrom-Nickel-Stähle erzeugt

Parameter	Einheit	N	20 Perzentil	Median	80 Perzentil
As	mg/kg	11	100	100	200
Cd	mg/kg	11	100	100	200
Cr ges	mg/kg	10	95.166	113.500	129.400
Ni	mg/kg	11	17.500	24.000	28.600
Pb	mg/kg	11	1.200	4.000	17.000
Hg	mg/kg	1	0,1	0,1	0,1

Quelle: Auszug aus der Datenbank ABANDA des LUA NRW.

Tabelle 2-5 Eluatgehalte eines Staubes aus Edelstahlwerken, die Chrom-Nickel-Stähle erzeugen

Parameter	Einheit	N	20 Perzentil	Median	80 Perzentil
As	mg/l	1	<0,001	<0,001	<0,001
Cd	mg/l	1	<0,005	<0,005	<0,005
Cr ges	mg/l	1	8,8	8,8	8,8
Ni	mg/l	1	55,8	55,8	55,8
Pb	mg/l	1	<0,05	<0,05	<0,05
Hg	mg/l	1	<0,0002	<0,0002	<0,0002

Quelle: Auszug aus der Datenbank ABANDA des LUA NRW.

11 01 09* Schlämme und Filterkuchen, die gefährliche Stoffe enthalten

Auffällig bei dieser Abfallart sind die hohen Gehalte an Chrom und Nickel im Feststoff. Cadmium und Selen, aber auch organische Stoffe wie z.B. PAK, lösen sich relativ leicht in Wasser.

Tabelle 2-6 Feststoffgehalte der Abfallart 11 01 09*

Parameter	Einheit	N	20 Perzentil	Median	80 Perzentil
As	mg/kg	147	1,0	7,1	16,5
Cd	mg/kg	183	1	2	19
Cr ges	mg/kg	220	311	12.921	41.868
Ni	mg/kg	226	152	3.430	40.000
Pb	mg/kg	192	23	126	736
Hg	mg/kg	117	0,1	0,2	1,0
PCB	mg/kg	41	0,01	0,10	0,60
PAK	mg/kg	27	0,34	1,60	5,02

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

Tabelle 2-7 Eluatgehalte der Abfallart 11 01 09*

Parameter	Einheit	N	20 Perzentil	Median	80 Perzentil
As	mg/l	497	0,001	0,004	0,05
Cd	mg/l	556	0,002	0,01	0,02
Cr ges	mg/l	486	0,01	0,05	0,34
Ni	mg/l	604	0,03	0,13	0,70
Pb	mg/l	558	0,01	0,05	0,1
Hg	mg/l	419	0,0003	0,001	0,005
PCB	mg/l	1	0	0,60	0,60
PAK	mg/l	13	0,20	0,26	1,40

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

17 01 06* Gemische aus oder getrennte Fraktionen von Beton, Ziegeln, Fliesen und Keramik, die gefährliche Stoffe enthalten

Die Schwermetallgehalte sind in dieser Abfallart relativ unauffällig. Hohe Gehalte treten insbesondere bei organischen Stoffen wie z.B. PAK auf. PAK lösen sich bei dem Abfall auch sehr gut in Wasser

Tabelle 2-8 Feststoffgehalte der Abfallart 17 01 06*

Parameter	Einheit	N	20 Perzentil	Median	80 Perzentil
As	mg/kg	651	3,0	8,0	16,0
Cd	mg/kg	715	0	1	2
Cr ges	mg/kg	648	12	23	46
Ni	mg/kg	636	10	21	42
Pb	mg/kg	737	19	66	230
Hg	mg/kg	682	0,1	0,2	0,7
PCB	mg/kg	332	0,01	0,10	0,53
PAK	mg/kg	897	1,16	9,40	74,25

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

Tabelle 2-9 Eluatgehalte der Abfallart 17 01 06*

Parameter	Einheit	N	20 Perzentil	Median	80 Perzentil
As	mg/l	734	0,002	0,007	0,02
Cd	mg/l	768	0,001	0,00	0,01
Cr ges	mg/l	515	0,01	0,01	0,06
Ni	mg/l	756	0,01	0,02	0,05
Pb	mg/l	827	0,01	0,01	0,1
Hg	mg/l	699	0,0002	0,001	0,001
PCB	mg/l	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
PAK	mg/l	70	0,17	1,85	17,34

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k. A. : keine Angaben

17 05 03* Boden und Steine, die gefährliche Stoffe enthalten

Auch bei dieser Abfallart sind die Schwermetallgehalte relativ niedrig. Von wesentlicher Bedeutung sind PCB und PAK, die auch eine relativ hohe Löslichkeit in Wasser aufweisen.

Tabelle 2-10 Eluatgehalte der Abfallart 17 05 03*

Parameter	Einheit	N	20 Perzentil	Median	80 Perzentil
As	mg/l	1560	0,002	0,006	0,030
Cd	mg/l	1578	0,001	0,00	0,01
Cr ges	mg/l	1237	0,003	0,01	0,05
Ni	mg/l	1573	0,01	0,01	0,05
Pb	mg/l	1700	0,01	0,01	0,1
Hg	mg/l	1440	0,0002	0,0005	0,001
PCB	mg/l	13	5,27	0,01	0,10
PAK	mg/l	185	0,23	1,45	20,2

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

Tabelle 2-11 Feststoffgehalte der Abfallart 17 05 03*

Parameter	Einheit	N	20 Perzentil	Median	80 Perzentil
As	mg/kg	1475	4,5	10,0	22,0
Cd	mg/kg	1517	0,3	0,8	3
Cr ges	mg/kg	1436	14	27	69
Ni	mg/kg	1452	11	24	52
Pb	mg/kg	1529	21	82	403
Hg	mg/kg	1392	0,1	0,2	1,0
PCB	mg/kg	740	0,02	0,10	0,51
PAK	mg/kg	1755	1,63	12,7	78,9

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

19 01 07* Feste Abfälle aus der Abgasbehandlung

Die Abfallart weist relativ hohe Bleigehalte auf. Eine auffällig hohe Löslichkeit ist bei keinem Schadstoff, der toxikologisch relevant ist, zu beobachten. Allerdings zeigen sich sehr hohe Chloridgehalte im Eluat.

Tabelle 2-12 Feststoffgehalte der Abfallart 19 01 07*

Parameter	Einheit	N	20 Perzentil	Median	80 Perzentil
As	mg/kg	210	2,0	15,0	39,2
Cd	mg/kg	279	6	141	273
Cr ges	mg/kg	150	4	50	148
Ni	mg/kg	208	5	27	70
Pb	mg/kg	320	286	2.761	5.132
Hg	mg/kg	220	1,0	10,0	31,2
PCB	mg/kg	37	0,01	0,01	0,01
PAK	mg/kg	20	0,22	1,60	1,60

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k. A.: keine Angaben

Tabelle 2-13 Eluatgehalte der Abfallart 19 01 07*

Parameter	Einheit	N	20 Perzentil	Median	80 Perzentil
As	mg/l	133	0,001	0,004	0,100
Cd	mg/l	163	0,001	0,01	0,10
Cr ges	mg/l	120	0,01	0,05	0,34
Ni	mg/l	132	0,01	0,02	0,20
Pb	mg/l	159	0,08	1,10	29,2
Hg	mg/l	132	0,0005	0,0020	0,0400
PCB	mg/l	1	0,00	0,15	0,15
PAK	mg/l	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k. A. : keine Angaben

19 01 11* Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken, die gefährliche Stoffe enthalten

Die Abfallart weist keine besonderen Auffälligkeiten hinsichtlich der Schadstoffgehalte auf. Quecksilber, Cadmium und PAK sind relativ gut wasserlöslich.

Tabelle 2-14 Feststoffgehalte der Abfallart 19 01 11*

Parameter	Einheit	N	20 Perzentil	Median	80 Perzentil
As	mg/kg	27	1,3	13,8	31,9
Cd	mg/kg	29	1,0	3,0	21
Cr ges	mg/kg	34	143	408	1.132
Ni	mg/kg	30	104	398	966
Pb	mg/kg	30	102	223	1.402
Hg	mg/kg	27	0,1	0,1	0,8
PCB	mg/kg	12	0,01	0,03	0,10
PAK	mg/kg	31	0,05	0,20	1,60

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

Tabelle 2-15 Eluatgehalte der Abfallart 19 01 11*

Parameter	Einheit	N	20 Perzentil	Median	80 Perzentil
As	mg/l	28	0,001	0,009	0,036
Cd	mg/l	132	0,001	0,01	0,05
Cr ges	mg/l	104	0,01	0,02	0,10
Ni	mg/l	126	0,01	0,02	0,10
Pb	mg/l	133	0,01	0,04	0,2
Hg	mg/l	119	0,0002	0,0010	0,0020
PCB	mg/l	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
PAK	mg/l	5	0,53	1,00	50,40

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k. A.: keine Angaben

19 01 12 Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 01 11* fallen

Die Schadstoffgehalte der Abfallart liegen in der Größenordnung der besonders überwachungsbedürftigen Rost- und Kesselaschen (19 01 11*). Auch hier sind PAK relativ gut wasserlöslich.

Tabelle 2-16 Feststoffgehalte der Abfallart 19 01 12

Parameter	Einheit	N	20 Perzentil	Median	80 Perzentil
As	mg/kg	88	5,4	17,3	31,0
Cd	mg/kg	102	3	5	19
Cr ges	mg/kg	93	57	175	456
Ni	mg/kg	111	57	124	345
Pb	mg/kg	109	138	415	2.096
Hg	mg/kg	62	0,1	0,4	1,9
PCB	mg/kg	7	0,01	0,02	0,06
PAK	mg/kg	6	0,01	0,01	4,22

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

Tabelle 2-17 Eluatgehalte der Abfallart 19 01 12

Parameter	Einheit	N	20 Perzentil	Median	80 Perzentil
As	mg/l	131	0,001	0,005	0,008
Cd	mg/l	173	0,001	0,00	0,01
Cr ges	mg/l	93	0,01	0,01	0,04
Ni	mg/l	124	0,01	0,01	0,05
Pb	mg/l	234	0,01	0,04	0,5
Hg	mg/l	96	0,0002	0,0005	0,0006
PCB	mg/l	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
PAK	mg/l	2	0,59	1,12	1,65

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k. A.: keine Angaben

19 01 13* Filterstaub, der gefährliche Stoffe enthält

Die Abfallart zeichnet sich durch hohe Bleigehalte aus. PAK sind relativ gut wasserlöslich.

Tabelle 2-18 Feststoffgehalte der Abfallart 19 01 13*

Parameter	Einheit	N	20 Perzentil	Median	80 Perzentil
As	mg/kg	329	10,0	30,0	91,4
Cd	mg/kg	534	13	215	397
Cr ges	mg/kg	273	118	216	448
Ni	mg/kg	354	42	88	210
Pb	mg/kg	596	763	4.542	8.504
Hg	mg/kg	324	0,1	1,2	8,6
PCB	mg/kg	60	0,01	0,01	0,01
PAK	mg/kg	29	0,21	1,60	1,60

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

Tabelle 2-19 Eluatgehalte der Abfallart 19 01 13*

Parameter	Einheit	N	20 Perzentil	Median	80 Perzentil
As	mg/l	214	0,001	0,004	0,040
Cd	mg/l	330	0,002	0,01	0,06
Cr ges	mg/l	263	0,01	0,06	0,45
Ni	mg/l	222	0,01	0,02	0,10
Pb	mg/l	331	0,05	0,35	10,0
Hg	mg/l	272	0,0003	0,0010	0,0021
PCB	mg/l	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
PAK	mg/l	1	0,58	0,58	0,58

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k. A.: keine Angaben

2.2.2 Bewertung der Datenlage

Die Datenlage wird wie folgt bewertet:

- < 5 Analysen: schlecht
- 5-15 Analysen: mäßig
- 15-30: Analysen: gut
- 30 Analysen: sehr gut

In der Tabelle 2-20 wird die Datenlage der näher betrachteten Abfallarten beschrieben. Von den Stahlwerksstäuben (Nr. 10 02 07*) abgesehen, liegt überwiegend sehr gutes Datenmaterial vor. Auch die Datenlage zur Gesamtheit der unter 10 02 07* fallenden Abfälle ist überwiegend sehr gut. Die schlechte Datenlage von Stäuben aus Elektro- und Edelstahlwerken ist darauf zurückzuführen, dass in ABANDA eine differenzierte Zuordnung zu einem speziellen Produktionsverfahren nicht erfolgt, so dass sich nur wenige Stahlwerkstäube eindeutig zuordnen ließen.

Tabelle 2-20 Datenlage bei den 9 näher betrachteten Abfällen

Abfallschl.Nr.	Bezeichnung	Datenlage	
		Eluat	Feststoff
10 02 07*	feste Abfälle aus der Abgasbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten; hier Stahlwerkstäube aus der Elektrostahlproduktion	überwiegend mäßig	schlecht
10 02 07*	feste Abfälle aus der Abgasbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten; hier Elektrostahlwerksstäube	mäßig	schlecht
11 01 09*	Schlämme und Filterkuchen, die gefährliche Stoffe enthalten	überwiegend sehr gut	überwiegend sehr gut
17 01 06*	Gemische aus oder getrennte Fraktionen von Beton, Ziegeln, Fliesen und Keramik, die gefährliche Stoffe enthalten	überwiegend sehr gut	überwiegend sehr gut
17 05 03*	Boden und Steine, die gefährliche Stoffe enthalten	überwiegend sehr gut	überwiegend sehr gut
19 01 07*	feste Abfälle aus der Abgasbehandlung	überwiegend sehr gut	überwiegend sehr gut
19 01 11*	Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken, die gefährliche Stoffe enthalten	überwiegend sehr gut	überwiegend sehr gut
19 01 12	Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 01 11 fallen	überwiegend sehr gut	überwiegend sehr gut
19 01 13*	Filterstaub, der gefährliche Stoffe enthält	überwiegend sehr gut	überwiegend sehr gut

2.2.3 Gefahrenmerkmale

Zur Bestimmung von Gefahrenmerkmalen wurden u.a. die in der Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV) für einige gefahrenrelevante Abfalleigenschaften (H3 bis H8, H10 und H11) genannten konkreten Gefahrenmerkmale mit Angabe des Flammpunktes bzw. der Konzentrationsgrenzen herangezogen. Darüber hinaus wurden Konzentrationswerte der „Hinweise zur Anwendung der Abfallverzeichnis-Verordnung“, in denen die gefahrenrelevanten Abfalleigenschaften H13¹ und H14² genauer definiert werden, berücksichtigt [Hinweise AVV 2005]. Im Hinblick auf die Gefahrenrelevanz von organischen Inhaltsstoffen enthalten die Hinweise zur Anwendung der Abfallverzeichnis-Verordnung konkrete Vorgaben zur Einstufung anhand des Gehaltes an Benzo(a)pyren (Schwellenwert: 50 mg/kg), Benzol (Schwellenwert: 1000 mg/kg) und PCB (Schwellenwert: 10 mg/kg für die 6 PCB-Kongeneren nach Ballschmiter). Allgemeingültige Grenzwerte, beispielsweise nach PCB-Abfallverordnung [PCB AbfallV 2000], wurden ebenfalls abgeprüft.

¹ H13: Stoffe und Zubereitungen, die nach Beseitigung auf irgendeine Art die Entstehung eines anderen Stoffes bewirken können, z.B. ein Auslaugprodukt, das eine der Eigenschaften H1 bis H12 aufweist.

² H14: umweltgefährlich

In der folgenden Tabelle werden die Gefahrenmerkmale für die Mediane angegeben. Mit Ausnahme der Abfallart 17 05 03* weisen alle näher betrachteten Abfallarten Gefahrenmerkmale auf.

Tabelle 2-21 Gefahrenmerkmale der 9 näher betrachteten Abfälle

Abfallschl.Nr.	Bezeichnung	Gefahrenmerkmale
10 02 07*	feste Abfälle aus der Abgasbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten; hier Stahlwerkstäube aus der Elektrostahlproduktion	H4, H6, H7, H10, H 13, H14,
10 02 07*	feste Abfälle aus der Abgasbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten; hier Stahlwerkstäube aus der Edelstahlproduktion	H6, H7, H13, H14,
11 01 09*	Schlämme und Filterkuchen, die gefährliche Stoffe enthalten	H6, H7, H14
17 01 06*	Gemische aus oder getrennte Fraktionen von Beton, Ziegeln, Fliesen und Keramik, die gefährliche Stoffe enthalten	H13
17 05 03*	Boden und Steine, die gefährliche Stoffe enthalten	keine
19 01 07*	feste Abfälle aus der Abgasbehandlung	H13, H14
19 01 11*	Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken, die gefährliche Stoffe enthalten	H13, H14
19 01 12	Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 01 11 fallen	H14
19 01 13*	Filterstaub, der gefährliche Stoffe enthält	H13, H14

2.2.4 Gasbildungspotenzial

Im Hinblick auf das Gasbildungspotenzial der in diesem Forschungsvorhaben betrachteten Abfälle ist die Bildung von Wasserstoffgas dominierend. Methan, Ammoniak und Kohlendioxid ließen sich ebenfalls in signifikanten Mengen nachweisen, die allerdings sowohl mengenmäßig als auch im Hinblick auf Aspekte des Arbeitsschutzes eine vergleichsweise unbedeutende Rolle spielen.

Die Bildung von Wasserstoff ist insbesondere auf Metallkorrosionsprozesse zurückzuführen, wobei hier insbesondere Aluminium von Relevanz ist. Die Reaktion läuft dabei prinzipiell nach folgendem Muster ab:



Während unter pH-neutralen Bedingungen Aluminium schnell von gut haftenden und dichten Oxidschichten eingehüllt wird und nicht weiter reagiert, lösen sich diese Schichten in stärker alkalischen Lösungen unter Bildung von Hydroxokomplexen auf und hinterlassen ungeschützte Metalloberflächen, die weiter angegriffen werden. Ist ausreichend Chlorid vorhanden, wird die Oxid-Schutzschicht auf Al-Partikeln selbst bei neutralen pH-Werten instabil [Hagemann 2006].

Das Wasserstoffbildungspotenzial der 9 näher untersuchten Abfälle lässt sich Tabelle 2-22 entnehmen. Die höchsten Wasserstofffreisetzungen wurden bei MVA-

Schlacke ermittelt. Ein deutlich geringeres, jedoch immer noch erhebliches Freisetzungspotenzial weisen MVA-Filterstäube und Aschen aus der Sonderabfallverbrennung auf. Auch bei festen Stoffen aus der Abgasbehandlung von MVA ist ein erhebliches Gasbildungspotenzial zu erwarten. Bei den übrigen näher betrachteten Abfallarten ist das Gasbildungspotenzial relativ gering.

Liegen relevante Konzentrationen von Ammoniumsalzen in den Abfällen vor, kann dies in Verbindung mit Wasser zu einer NH_3 -Freisetzung führen. Durch den Ammoniak eintrag beim SNCR-Entstickungsverfahren³ in Verbindung mit einer sauren Waschstufe können davon insbesondere feste Abfälle aus der Abgasbehandlung von Abfallverbrennungsanlagen (Nr. 19 01 07*) betroffen sein. Analysedaten zur NH_3 -Freisetzung aus den betrachteten Abfällen sind nicht bekannt. Eine Abschätzung der Kali und Salz GmbH ergab, dass sich bei ungünstigen Bedingungen mit maximaler Ammoniakbindung in den Salzen in Kontakt mit Wasser Ammoniakkonzentrationen im Bereich von einigen Zehntelprozenten des Chloridgehaltes ergeben. Probleme hinsichtlich des Gesundheits- und Arbeitsschutzes sind nicht bekannt [Werthmann 2006].

³ SNCR-Verfahren: Selektive nicht katalytische Reduktion von Stickoxiden durch Eindüsung von Ammoniak in den Feuerraum

Tabelle 2-22 Wasserstoffbildungspotenzial der 9 näher betrachteten Abfälle

Abfallschl.Nr.	Bezeichnung	Wasserstoffbildungspotenzial
10 02 07*	feste Abfälle aus der Abgasbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten; hier: Stahlwerkstäube aus der Elektrostahlproduktion	keine Messwerte bekannt; H ₂ -Bildung ist anzunehmen
10 02 07*	feste Abfälle aus der Abgasbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten; hier: Elektrostahlwerksstäube	keine Messwerte bekannt; H ₂ -Bildung ist anzunehmen
11 01 09*	Schlämme und Filterkuchen, die gefährliche Stoffe enthalten	keine Messwerte bekannt, H ₂ -Bildung ist nicht auszuschließen
17 01 06*	Gemische aus oder getrennte Fraktionen von Beton, Ziegeln, Fliesen und Keramik, die gefährliche Stoffe enthalten	keine Messwerte bekannt, H ₂ -Bildung ist nicht auszuschließen
17 05 03*	Boden und Steine, die gefährliche Stoffe enthalten	keine Messwerte bekannt, H ₂ -Bildung ist nicht auszuschließen
19 01 07*	feste Abfälle aus der Abgasbehandlung	keine Messwerte bekannt, erhebliche H ₂ -Bildung ist anzunehmen
19 01 11*	Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken, die gefährliche Stoffe enthalten	Median: 0,56 m ³ /Mg
19 01 12	Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 01 11 fallen	Median: 7,35 m ³ /Mg
19 01 13*	Filterstaub, der gefährliche Stoffe enthält	0 bis max. 4 m ³ /Mg

2.3 Abfallaufkommen, Herkunft sowie Verwertungs- und Beseitigungswege

Als Bezugsjahr für die Ermittlung des Aufkommens, der Herkunft sowie der Entsorgungswege (Massenstromanalyse) wurde das Jahr 2003 gewählt, da davon ausgegangen werden konnte, dass die Daten zum Anfall und zur Entsorgung für dieses Jahr im Laufe der Bearbeitung vollständig vorliegen würden.

Für die im ersten Schritt ausgewählten und abgestimmten Abfallarten wurden zunächst die veröffentlichten Abfall- und Sonderabfallbilanzen der Bundesländer ausgewertet, für Nordrhein-Westfalen die Abfalldatenbanken ASYS und ABILA. Da der Detaillierungsgrad dieser Bilanzen in der Regel nicht ausreichend war, wurden anschließend die Landesumweltämter und/oder die statistischen Landesämter kontaktiert, um genauere Angaben insbesondere zu den Entsorgungswegen und zu den über diese Wege entsorgten Massen zu erhalten. Darüber hinaus wurden die entsprechenden Abfalldaten beim statistischen Bundesamt, bei einigen Sonderabfallentsorgungsagenturen (SAA, SAM, NGS etc.), bei Verbänden (z.B. ITAD) sowie bei mehreren Versatzbergwerken abgefragt.

Nicht in allen Fällen konnten die Daten auf diese Weise in ausreichendem Detaillierungsgrad ermittelt werden. Dies lag zum einen daran, dass sie in den Bundeslän-

dern nicht entsprechend erhoben wurden, und zum anderen am erforderlichen Zeit- und Kostenaufwand, den die kontaktierten Ämter für eine solche Auswertung hätten aufbringen müssen.

Im Folgenden folgt die Darstellung des Abfallaufkommens und der Entsorgungswege für die einzelnen Abfälle. Die Gliederung in Abfallgruppen entspricht den Abfallgruppen wie sie nach der Auswertung der Abfalleigenschaften festgelegt wurden (vgl. Kap. 2.2).

2.3.1 Abfälle aus HZVA von Salzen, Salzlösungen und Metalloxiden

Von den Abfallarten aus der Herstellung, der Zubereitung, dem Vertrieb und der Anwendung (HZVA) von Salzen, Salzlösungen und Metalloxiden wurden aus den für den Bergversatz infrage kommenden folgende ausgewählt:

- feste Salze und Lösungen, die Schwermetalle enthalten (AVV-Nr. 06 03 13*),
- feste Salze und Lösungen mit Ausnahme derjenigen, die unter 06 03 11* und 06 03 13* fallen (AVV-Nr. 06 03 14), und
- Metalloxide, die Schwermetalle enthalten (AVV-Nr. 06 03 15*).

Im Jahr 2003 sind in Deutschland rund 512.000 Mg Abfälle aus der Herstellung, der Zubereitung, dem Vertrieb und der Anwendung (HZVA) von Salzen, Salzlösungen und Metalloxiden angefallen [StBA 2005]. Von den aus dieser Gruppe ausgewählten Abfallarten fielen rund 137.000 Mg an. Lediglich 4.800 Mg der als Abfall angefallenen Salze und Lösungen enthielten Schwermetalle. Die Masse der als Abfall angefallenen schwermetallhaltigen Metalloxide war mit 3.800 Mg noch geringer.

Die schwermetallhaltigen Salze und Lösungen wurden zum größten Teil verwertet, aufbereitet oder behandelt. Im Bergversatz fanden 770 Mg Verwendung. Ein geringer Anteil wurde beseitigt. Von den Salzen und Lösungen, die keine Cyanide oder Schwermetalle enthielten, wurden mehr als 67 % verwertet, wobei 29.500 Mg (23 %) im Bergversatz verwendet wurden. Die übrige Masse wurde überwiegend beseitigt, insbesondere deponiert (25.000 Mg bzw. 19,5 %). Die schwermetallhaltigen Metalloxide wurden zum überwiegenden Teil verwertet, insbesondere verhüttet. Ein weiterer Teil dieser Abfallart wurde behandelt und ein geringer Anteil beseitigt. Weitere Angaben zum Aufkommen und zum Verbleib der aus dieser Gruppe ausgewählten Abfallarten sind in Tabelle 2-23 dargestellt.

Tabelle 2-23 Aufkommen und Verbleib von Abfällen aus HZVA von Salzen, Salzlösungen und Metalloxiden nach AVV [AVV 2001] im Jahr 2003

	06 03 13* [Mg]	06 03 14 [Mg]	06 03 15* [Mg]
Aufkommen 2003	4.800	128.500	3.800
Verhüttung	280	--	1.500
Weiterverarbeitung	--	45.700	--
Bergversatz	770	29.500	--
sonst. Verwertung	550	11.200	290
Metallaufbereitung	390	800	--
CPB	1.310	5.500	210
sonst. Behandlung	160	--	110
Verbrennung	230	--	30
Deponie	260	25.000	140
UTD	110	--	30
sonst. Beseitigung	130	5.900	--
Zwischenlager	60	--	--

Quellen: Landesumweltämter, statistische Landesämter, statistisches Bundesamt, Abfallagenturen

2.3.2 Abfälle aus Kraftwerken und anderen Verbrennungsprozessen (außer 19)

Von den Abfallarten, die in Kraftwerken und bei anderen Verbrennungsprozessen anfallen, wurden aus den für den Bergversatz infrage kommenden folgende als relevant ausgewählt:

- Filterstäube und Kesselstaub aus der Ölfeuerung (AVV-Nr. 10 01 04*),
- Rost- und Kesselasche, Schlacken und Kesselstaub aus der Abfallmitverbrennung, die gefährliche Stoffe enthalten (AVV-Nr. 10 01 14*),
- Rost- und Kesselasche, Schlacken und Kesselstaub aus der Abfallmitverbrennung mit Ausnahme derjenigen, die unter 10 01 14 fallen (AVV-Nr. 10 01 15),
- Filterstäube aus der Abfallmitverbrennung, die gefährliche Stoffe enthalten (AVV-Nr. 10 01 16*),
- Filterstäube aus der Abfallmitverbrennung mit Ausnahme derjenigen, die unter 10 01 16 fallen (AVV-Nr. 10 01 17),
- Abfälle aus der Abgasbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten (AVV-Nr. 10 01 18*), und
- Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten (AVV-Nr. 10 01 20*).

Von den ausgewählten Abfallarten sind im Jahr 2003 rund 181.500 Mg angefallen. Zum überwiegenden Teil handelte es sich dabei um keine gefährliche Stoffe enthaltende und aus der Abfallmitverbrennung stammenden Rost- und Kesselaschen, Schlacken und Kesselstäube (56.000 Mg) sowie Filterstäube (106.000 Mg). Mit 220 Mg bzw. 730 Mg waren die angefallenen Massen an gefährliche Stoffe enthal-

tenden Schlämmen aus betriebseigenen Abwasserbehandlungen sowie an Filterstäuben und Kesselstaub aus der Ölfeuerung am geringsten.

Die Abfälle, die gefährliche Stoffe enthielten (19.550 Mg), wurden überwiegend im Bergversatz eingesetzt (14.600 Mg). Von den Rost- und Kesselaschen, Schlacken und Kesselstäuben sowie Filterstäuben aus der Abfallmitverbrennung, die keine gefährlichen Stoffe enthielten, wurden 21.800 Mg ebenfalls im Bergversatz verwendet oder anderweitig verwertet (13.700 Mg). Der überwiegende Teil dieser Abfälle wurde aufbereitet (105.200 Mg) oder deponiert (15.500 Mg). 120 Mg wurden nachweislich einer Konditionierung unterzogen. Weitere Angaben zum Aufkommen und zum Verbleib der aus dieser Gruppe ausgewählten Abfallarten sind in Tabelle 2-24 dargestellt.

Tabelle 2-24 Aufkommen und Verbleib von Abfällen aus Kraftwerken und anderen Verbrennungsanlagen (außer 19) nach AVV [AVV 2001] im Jahr 2003

	10 01 04* [Mg]	10 01 14* [Mg]	10 01 15 [Mg]	10 01 16* [Mg]	10 01 17 [Mg]	10 01 18* [Mg]	10 01 20* [Mg]
Aufkommen	730	7.600	56.000	6.300	106.000	4.700	220
Deponiebau	240	--	1.000	--	--	--	--
Bergversatz	--	7.350	13.000	3.000	8.800	4.300	--
sonst. Verwertung	--	--	3.200	--	9.500	--	90
Aufbereitung	--	190	24.000	--	81.200	--	--
CPB / Kond.	120	--	--	--	--	--	10
sonst. Behandlung	60	--	--	--	--	540	--
Verbrennung	100	10	--	--	--	0	90
Deponie	50	40	14.500	100	1.000	200	--
UTD	50	--	--	--	--	--	--
sonst. Beseitigung	10	--	100	--	--	580	--
Zwischenlager	10	--	--	--	--	--	--

Quellen: Landesumweltämter, statistische Landesämter, statistisches Bundesamt, Abfallagenturen

2.3.3 Abfälle aus der Eisen- und Stahlindustrie

Von den aus der Eisen- und Stahlindustrie stammenden und für den Bergversatz infrage kommenden Abfallarten wurden nur drei als relevant ausgewählt, und zwar

- feste Abfälle aus der Abgasbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten (AVV-Nr. 10 02 07*),
- Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten (AVV-Nr. 10 02 13*), sowie
- Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung mit Ausnahme derjenigen, die unter 10 02 13* fallen (AVV-Nr. 10 02 14).

Von diesen 3 Abfallarten sind im Jahr 2003 rund 373.000 Mg zur Entsorgung angefallen. Dabei handelte es sich bei rund 236.000 Mg um Abfälle mit gefährlichen Inhaltsstoffen. Von diesen wurde der überwiegende Teil verwertet (151.000 Mg) oder aufbereitet (45.300 Mg), wobei 27.700 Mg im Bergversatz Verwendung fanden. Knapp 1.100 Mg wurden nachweislich einem Konditionierungsverfahren unterzogen. Die aus der Abgasbehandlung stammenden Schlämme und Filterkuchen ohne gefährliche Inhaltsstoffe wurden hingegen vor allem deponiert. Weitere Einzelheiten zum Aufkommen und zum Verbleib dieser Abfallarten können der Tabelle 2-25 entnommen werden.

Tabelle 2-25 Aufkommen und Verbleib von Abfällen aus der Eisen- und Stahlindustrie nach AVV [AVV 2001] im Jahr 2003

	10 02 07* [Mg]	10 02 13* [Mg]	10 02 14 [Mg]
Aufkommen	185.500	50.500	137.000
Verhüttung	29.900	--	--
Wälzanlage	16.400	--	--
Sinteranlage	--	8.700	--
Deponiebau	1.100	--	--
Bergversatz	27.700	--	--
sonst. Verwertung	52.500	15.200	--
Metallaufbereitung	29.800	--	--
sonstige Aufbereitung	5.400	10.100	8.800
CPB / Konditionierung	30	1.600	--
sonst. Behandlung	7.200	330	--
Verbrennung	2.900	--	--
Deponie	12.300	14.400	92.000
UTD	50	--	--
sonst. Beseitigung	30	--	--
Zwischenlager	100	--	--

Quellen: Landesumweltämter, statistische Landesämter, statistisches Bundesamt, Abfallagenturen

2.3.4 Abfälle aus der thermischen Zinkmetallurgie sowie sonstiger thermischer Nichteisenmetallurgie

Aus den beiden Abfallgruppen „Abfälle aus der thermischen Zinkmetallurgie“ und „Abfälle aus sonstiger thermischer Nichteisenmetallurgie“ wurden insgesamt 6 gefährliche Abfallarten als für den Bergversatz relevant ausgewählt. Dabei handelt es sich um folgende Abfallarten:

- Filterstaub (AVV-Nr. 10 05 03*),
- feste Abfälle aus der Abgasbehandlung (AVV-Nr. 10 05 05*),
- Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung (AVV-Nr. 10 05 06*),
- Salzschlacken aus der Erst- und Zweitschmelze (AVV-Nr. 10 08 08*),
- Filterstaub, der gefährliche Stoffe enthält (AVV-Nr. 10 08 15*), und

- Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten (AVV-Nr. 10 08 17*).

Das Aufkommen dieser Abfallarten im Jahr 2003 war mit insgesamt 3.450 Mg im Vergleich mit anderen ausgewählten Abfallarten gering. Lediglich 100 Mg wurden als Versatzmaterial in Bergwerken verwendet. Einzelangaben zum Aufkommen und zum Verbleib dieser Abfallarten sind in Tabelle 2-26 dargestellt.

Tabelle 2-26 Aufkommen und Verbleib von Abfällen aus der thermischen Zinkmetallurgie sowie sonstiger thermischer Nichteisenmetallurgie nach AVV [AVV 2001] im Jahr 2003

	10 05 03* [Mg]	10 05 05* [Mg]	10 05 06* [Mg]	10 08 08* [Mg]	10 08 15* [Mg]	10 08 17* [Mg]
Aufkommen	470	240	320	730	1.600	90
Verhüttung	80	--	--	--	--	--
Bergversatz	--	--	--	--	100	--
sonst. Verwertung	10	10	230	--	10	--
Metallaufbereitung	210	--	--	--	--	--
Aufbereitung	--	--	--	300	--	--
CPB	150	--	--	--	--	70
sonst. Behandlung	--	--	--	300	--	--
Verbrennung	--	10	--	--	10	--
UTD	10	--	--	--	--	10
Deponie	--	10	--	--	780	--
sonst. Beseitigung	--	10	--	--	--	10

Quellen: Landesumweltämter, statistische Landesämter, statistisches Bundesamt, Abfallagenturen

2.3.5 Abfälle aus der Herstellung von Glas und Glaserzeugnissen

Von den Abfallarten, die bei der Herstellung von Glas und Glaserzeugnissen anfallen, wurden die folgenden gefährlichen Arten als für den Bergversatz relevant ausgewählt:

- Gemengeabfall mit gefährlichen Stoffen vor dem Schmelzen (AVV-Nr. 10 11 09*),
- Glaspolier- und Glasschleifschlämme, die gefährliche Stoffe enthalten (AVV-Nr. 10 11 13*),
- Gemengeabfall mit gefährlichen Stoffen vor dem Schmelzen (AVV-Nr. 10 11 09*),
- feste Abfälle aus der Abgasbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten (AVV-Nr. 10 11 15*),

- Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten (AVV-Nr. 10 11 17*), und
- feste Abfälle aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten (AVV-Nr. 10 11 19*).

Das Aufkommen dieser ausgewählten Abfallarten war im Jahr 2003 mit insgesamt 5.460 Mg im Vergleich mit anderen ausgewählten Abfallarten ebenfalls gering. Gefährliche Stoffe enthaltende Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung sind im Jahr 2003 gar nicht angefallen.

1.900 Mg dieser Abfälle wurden als Versatzmaterial in Bergwerken eingesetzt. Einer Behandlung wurden 1.650 Mg unterzogen, wobei nachweislich lediglich 10 Mg einer Konditionierung zugeführt wurden. 1.160 Mg wurden über oder unter Tage deponiert. Weitere Angaben zum Aufkommen und zum Verbleib dieser Abfallarten können der Tabelle 2-27 entnommen werden.

Tabelle 2-27 Aufkommen und Verbleib von Abfällen aus der Herstellung von Glas und Glaserzeugnissen nach AVV [AVV 2001] im Jahr 2003

	10 11 09* [Mg]	10 11 13* [Mg]	10 11 15* [Mg]	10 11 17* [Mg]	10 11 19* [Mg]
Aufkommen	1.100	2.100	1.900	0	360
Bergversatz	570	--	1.330	--	--
sonst. Verwertung		430	--	--	--
Metallaufbereitung	20	--	--	--	--
CPB / Kond.	240	920	10	--	--
sonst. Behandlung	--	200	10	--	270
Deponie	130	340	10	--	10
UTD	130	--	540	--	--
sonst. Beseitigung	30	80	--	--	10
Zwischenlager	--	20	--	--	--

Quellen: Landesumweltämter, statistische Landesämter, statistisches Bundesamt, Abfallagenturen

2.3.6 Abfälle aus der chemischen Oberflächenbehandlung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen

Von den Abfallarten, die bei der chemischen Oberflächenbehandlung und der Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen anfallen, wurden lediglich

- Phosphatierschlämme (AVV-Nr. 11 01 08*) sowie
- Schlämme und Filterkuchen, die gefährliche Stoffe enthalten (AVV-Nr. 11 01 09*),

als für den Bergversatz relevant ausgewählt.

Von diesen beiden Abfallarten sind im Jahr 2003 rund 715.000 Mg angefallen. Dabei handelte es sich bei 703.000 Mg um Schlämme und Filterkuchen mit gefährlichen Inhaltsstoffen.

Von den im Jahr 2003 von diesen beiden Abfallarten angefallenen Massen wurden rund 32.200 Mg verwertet, wobei 7.600 Mg im Bergversatz Verwendung fanden. Der überwiegende Teil wurde aufbereitet oder behandelt (638.500 Mg). Allerdings lagen für mehr als 592.000 Mg keine Angaben über die Behandlungsart vor. Lediglich rund 110 Mg wurden nachweislich einer Konditionierung zugeführt. Beseitigt wurden knapp 40.000 Mg, insbesondere durch Deponierung über und unter Tage. Weitere Einzelheiten zum Aufkommen und zum Verbleib dieser beiden Abfallarten können der Tabelle 2-28 entnommen werden.

Tabelle 2-28 Aufkommen und Verbleib von Abfällen aus der chemischen Oberflächenbearbeitung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen nach AVV [AVV 2001] im Jahr 2003

	11 01 08* [Mg]	11 01 09* [Mg]
Aufkommen	12.000	703.000
Verhüttung	90	7.000
Sinteranlage	--	2.000
Edelmetallrecycling	--	10
Bergversatz	300	7.300
sonst. Verwertung	740	14.800
Metallaufbereitung	100	2.000
Aufbereitung	--	19.000
CPB / Konditionierung	6.200	20.200
sonst. Behandlung	1.440	591.000
Deponie	1.930	31.200
UTD	--	490
Verbrennung	120	400
sonst. Beseitigung	--	5.500
Zwischenlager	490	3.700

Quellen: Landesumweltämter, statistische Landesämter, statistisches Bundesamt, Abfallagaturen

Bei den Schlämmen und Filterkuchen mit gefährlichen Inhaltsstoffen (AVV-Nr. 11 01 09*) handelt es sich zu einem großen Teil um Galvanikschlämme. Diese entstehen bei der Aufbereitung der Bäder und der Abwässer aus galvanischen Prozessen zur Oberflächenveredelung von Gegenständen. Die bei der Abwasserbehandlung anfallenden Galvanikschlämme werden zum Teil aber auch als Schlämme aus der physikalisch-chemischen Behandlung von Abfällen (AVV-Nr. 19 02 05* bzw. 19 02 06) entsorgt [LUA 2005b]. Je nach aufgebrauchten Metallschichten sind die verschiedensten Metalle in unterschiedlichen Konzentrationen enthalten (z.B. Kupfer, Nickel, Chrom, Blei, Zink, Edelmetalle).

Die gefährliche Stoffe enthaltenden Schlämme und Filterkuchen werden zum überwiegenden Teil innerbetrieblich behandelt und tauchen daher in den Bilanzen der Bundesländer nicht auf. Im Jahr 2003 waren dies 595.500 Mg [StBA 2005]. Aus den Angaben des Statistischen Bundesamts für die Abfallentsorgung im Jahr 2004 geht hervor, dass mehr als 500.000 Mg dieser Abfallart einer innerbetrieblichen chemisch-physikalischen Behandlung unterzogen wurden [StBA 2006]. Über die ge-

neuen Behandlungsschritte, die dabei entstandenen Abfallarten und deren Entsorgungswege liegen keine Angaben vor. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass ein großer Teil dieser Abfälle

- stabilisiert und/oder verfestigt (Konditionierung) wurde, um anschließend auf Deponien beseitigt, insbesondere aber verwertet zu werden,
- nach der Behandlung einem metallurgischen Verfahren (z.B. Kupfersekundärhütte, Sinteranlage) unterzogen wurde.

2.3.7 Abfälle aus Prozessen der Nichteisen-Hydrometallurgie

Aus Prozessen der Nichteisen-Hydrometallurgie wurden die beiden Abfallarten

- Schlämme aus der Zink-Hydrometallurgie (AVV-Nr. 11 02 02*) und
- Abfälle aus Prozessen der Kupfer-Hydrometallurgie, die gefährliche Stoffe enthalten (AVV-Nr. 11 02 05*)

als für eine Verwertung im Bergversatz relevant angesehen und ausgewählt.

Die Massenstromanalyse ergab, dass im Jahr 2003 so gut wie ausschließlich Schlämme aus der Zink-Hydrometallurgie angefallen sind (156.000 Mg). Die Abfälle aus der Kupfer-Hydrometallurgie spielten mit 60 Mg keine Rolle.

Die Schlämme aus der Zink-Hydrometallurgie wurden überwiegend deponiert (128.600 Mg). Eine Verwendung als Versatzmaterial in Bergwerken fand nicht statt. Weitere Angaben zum Aufkommen und zum Verbleib der beiden Abfallarten finden sich in Tabelle 2-29.

Tabelle 2-29 Aufkommen und Verbleib von Abfällen aus Prozessen der Nichteisen-Hydrometallurgie nach AVV [AVV 2001] im Jahr 2003

	11 02 02* [Mg]	11 02 05* [Mg]
Aufkommen	156.000	60
Verwertung	26.500	--
Aufbereitung	40	--
CPB / Konditionierung	850	5
sonst. Behandlung	--	55
Deponie	128.600	--
Verbrennung	30	--

Quellen: Landesumweltämter, statistische Landesämter, statistisches Bundesamt, Abfallagenturen

2.3.8 Abfälle aus Prozessen der mechanischen Formgebung und der physikalischen und mechanischen Oberflächenbearbeitung von Metallen und Kunststoffen

Aus der Gruppe dieser Abfallarten wurden lediglich die „Strahlmittelabfälle, die gefährliche Stoffe enthalten“ (AVV-Nr. 12 01 16*), als für den Bergversatz in Frage kommend und relevant angesehen und ausgewählt.

Rund 5.000 Mg dieser Abfallart wurden verwertet, davon rund 1.300 Mg im Bergversatz. Aufbereitet oder behandelt wurden rund 2.800 Mg, davon nachweislich einer Konditionierung zugeführt wurden 230 Mg. Über Tage deponiert wurden knapp 8.000 Mg. Weitere Angaben zum Aufkommen und zum Verbleib dieser Strahlmittelabfälle sind in Tabelle 2-30 dargestellt.

Tabelle 2-30 Aufkommen und Verbleib von Abfällen aus Prozessen der mechanischen Formgebung sowie der physikalischen und mechanischen Oberflächenbearbeitung von Metallen und Kunststoffen nach AVV [AVV 2001] im Jahr 2003

	12 01 16* [Mg]
Aufkommen	17.600
Verhüttung	70
Bergversatz	1.270
Deponiebau	1.290
sonst. Verwertung	2.280
Aufbereitung	380
Bodenbehandlung	300
CPB / Konditionierung	1.260
sonst. Behandlung	900
Deponie	7.970
UTD	540
Verbrennung	70
sonst. Beseitigung	100
Zwischenlager	1.200

Quellen: Landesumweltämter, statistische Landesämter, statistisches Bundesamt, Abfallagenturen

2.3.9 Gebrauchte Katalysatoren

Von den für den Bergversatz infrage kommenden gebrauchten Katalysatoren wurden folgende als relevant ausgewählt:

- gebrauchte Katalysatoren, die gefährliche Übergangsmetalle oder deren Verbindungen enthalten (AVV-Nr. 16 08 02*),
- gebrauchte Katalysatoren, die Phosphorsäure enthalten (AVV-Nr. 16 08 05*), und
- gebrauchte Katalysatoren, die durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind (AVV-Nr. 16 08 07*).

Im Jahr 2003 sind von den 3 ausgewählten Abfallarten insgesamt 12.750 Mg zur Entsorgung angefallen. Mehr als 1.200 Mg wurden dem Edelmetallrecycling zugeführt und rund 2.000 Mg wurden auf andere Weise verwertet. Eine Verwertung im Bergversatz erfolgte nicht. Knapp 3.000 Mg wurden aufbereitet oder behandelt und rund 1.700 Mg wurden über oder unter Tage deponiert. Einzelheiten zum Aufkommen und zum Verbleib sind in Tabelle 2-31 dargestellt.

Tabelle 2-31 Aufkommen und Verbleib gebrauchter Katalysatoren nach AVV [AVV 2001] im Jahr 2003

	16 08 02* [Mg]	16 08 05* [Mg]	16 08 07* [Mg]
Aufkommen	6.600	750	5.400
Verhüttung	10	--	10
Edelmetallrecycling	--	--	1.230
sonst. Verwertung	750	120	1.150
Metallaufbereitung	110	--	340
Aufbereitung	20	--	--
CPB	690	60	120
sonst. Behandlung	1.450	--	150
Deponie	460	--	50
UTD	1.220	--	--
Verbrennung	100	--	340
sonst. Beseitigung	20	--	50
Zwischenlager	10	--	690

Quellen: Landesumweltämter, statistische Landesämter, statistisches Bundesamt, Abfallagenturen

2.3.10 Gebrauchte Auskleidungen und feuerfeste Materialien

Von den für den Bergversatz infrage kommenden gebrauchten Auskleidungen und feuerfesten Materialien wurden die folgenden gefährlichen Abfallarten als relevant ausgewählt:

- Auskleidungen und feuerfeste Materialien auf Kohlenstoffbasis aus metallurgischen Prozessen, die gefährliche Stoffe enthalten (AVV-Nr. 16 11 01*),
- andere Auskleidungen und feuerfeste Materialien aus metallurgischen Prozessen, die gefährliche Stoffe enthalten (AVV-Nr. 16 11 03*), und
- Auskleidungen und feuerfeste Materialien aus nichtmetallurgischen Prozessen, die gefährliche Stoffe enthalten (AVV-Nr. 16 11 05*).

Von den ausgewählten Abfallarten sind im Jahr 2003 rund 43.200 Mg zur Entsorgung angefallen. Knapp 7.100 Mg wurden verwertet, davon 2.900 Mg im Bergversatz. Aufbereitet oder behandelt wurden rund 8.400 Mg. Mehr als 9.140 Mg wurden über oder unter Tage deponiert. Weitere Angaben zum Aufkommen und Verbleib dieser Abfallarten enthält die Tabelle 2-32.

Tabelle 2-32 Aufkommen und Verbleib gebrauchter Auskleidungen und feuerfester Materialien nach AVV [AVV 2001] im Jahr 2003

	16 11 01* [Mg]	16 11 03* [Mg]	16 11 05* [Mg]
Aufkommen	18.900	11.600	12.700
Bergversatz	--	30	2.870
Deponiebau	--	--	20
sonst. Verwertung	10	740	3.420
Metallaufbereitung	--	2.310	--
Aufbereitung	430	1.150	560
Bodenbehandlung	3.200	--	--
CPB	20	50	490
sonst. Behandlung	--	200	20
Deponie	40	3.230	4.880
UTD	--	20	970
Verbrennung	10	--	10
sonst. Beseitigung	--	50	--
Zwischenlager	10	170	220

Quellen: Landesumweltämter, statistische Landesämter, statistisches Bundesamt, Abfallagenturen

2.3.11 Bau- und Abbruchabfälle

Von den Bau- und Abbruchabfällen kommen viele für eine Verwendung im Bergversatz infrage. Als relevant ausgewählt wurden die folgenden gefährlichen Abfallarten:

- Gemische aus oder getrennte Fraktionen von Beton, Ziegeln, Fliesen und Keramik, die gefährliche Stoffe enthalten (AVV-Nr. 17 01 06*),
- kohlenteeerhaltige Bitumengemische (AVV-Nr. 17 03 01*),
- Boden und Steine, die gefährliche Stoffe enthalten (AVV-Nr. 17 05 03*),
- Baggergut, das gefährliche Stoffe enthält (AVV-Nr. 17 05 05*) und
- Gleisschotter, der gefährliche Stoffe enthält (AVV-Nr. 17 05 07*).

Von diesen Abfallarten fielen in Deutschland im Jahr 2003 insgesamt rund 8,9 Mio. Mg an. Mit knapp 4,6 Mio. Mg hatten gefährliche Stoffe enthaltende Böden und Steine den größten Anteil, gefolgt von kohlenteeerhaltigen Bitumengemischen mit rund 1,96 Mio. Mg und Bauschutt (gefährliche Stoffe enthaltende Fraktionen von Beton, Ziegeln, Fliesen und Keramik) mit 1,24 Mio. Mg.

Rund 3,6 Mio. Mg dieser fünf Abfallarten wurden einer Aufbereitung oder Behandlung unterzogen, wobei es sich insbesondere um Bodenbehandlungsverfahren, chemisch-physikalische Behandlungsverfahren (CPB) und die Aufbereitungsverfahren (Brechen, Klassieren, Trennen etc.) handelte. Nur ein geringer Teil dieser Abfälle wurde nachweislich einer Konditionierung unterzogen (5.800 Mg). Es kann allerdings davon ausgegangen werden, dass es sich bei der chemisch-physikalischen Behandlung in vielen Fällen ebenfalls um eine Konditionierung handelte. Für mehr als 1 Mio. Mg dieser Abfälle lagen keine Angaben über die Art der Behandlung vor.

Der überwiegende Teil der behandelten Abfälle dürfte anschließend im Deponiebau, Straßen-, Wege- und Tiefbau sowie im Landschaftsbau (Lärmschutzwälle, Deiche etc.) oder zur Flächenrekultivierung verwendet worden sein. Die wesentlichen in Deutschland angewendeten Aufbereitungs- und Behandlungsverfahren sind in Anhang 4 näher beschrieben.

Rund 1,4 Mio. Mg der betrachteten 5 Bau- und Abbruchabfälle wurden weiterverarbeitet oder direkt einer Verwertung zugeführt. In den Bergversatz gelangten ca. 109.000 Mg. Deponiert oder anderweitig beseitigt wurden rund 3,6 Mio. Mg, knapp 300.000 Mg wurden zwischengelagert. Weitere Einzelheiten zum Aufkommen und zum Verbleib dieser Abfallarten sind in Tabelle 2-33 dargestellt.

Tabelle 2-33 Aufkommen und Verbleib von gefährlichen Bau- und Abbruchabfällen nach AVV [AVV 2001] im Jahr 2003

	17 01 06* [Mg]	17 03 01* [Mg]	17 05 03* [Mg]	17 05 05* [Mg]	17 05 07* [Mg]
Aufkommen	1.240.000	1.964.000	4.587.000	151.000	960.000
Asphaltmischwerk	5.700	401.000	4.600	--	9.700
Bleihütte	--	--	1.600	--	--
Bergversatz	8.800	22.000	78.000	--	--
Straßen-/Tiefbau	--	4.700	--	--	--
Deponiebau	3.200	20.100	57.700	--	--
Weiterverarbeitung	1.400		400		
sonst. Verwertung	88.000	457.000	198.600	3.700	--
Metallaufbereitung	30	30	400	--	--
Bauabfallaufbereitung	91.000	192.200	149.700	1.700	343.700
Bodenbehandlung	86.000	8.800	920.000	8.400	253.000
CPB / Konditionierung	63.000	17.600	193.300	100	251.300
sonst. Behandlung	200.000	172.400	662.000	21.200	500
Verbrennung	1.000	9.700	41.800	--	--
Deponie	349.000	436.000	1.635.200	60.800	101.300
SAD	158.000	83.600	459.100	17.200	800
UTD	400	--	400	--	--
sonst. Beseitigung	140.000	30.700	20.600	37.400	--
Zwischenlager	44.000	84.200	164.400	300	--

Quellen: Landesumweltämter, statistische Landesämter, statistisches Bundesamt, Abfallagenturen

Für die durch Aufbereitung aus Bau- und Abbruchabfällen gewonnenen Recycling-Baustoffe bietet der **Straßen- und Wegebau** ein großes Einsatzgebiet. Aufgrund der Anforderungen an die bautechnische Eignung spielt der direkte Einsatz der Bau- und Abbruchabfälle nur eine untergeordnete Rolle. Recycling-Baustoffe werden in Frostschutzschichten, in ungebundenen und hydraulisch gebundenen Tragschichten sowie in Asphalttragschichten eingesetzt. Weiterhin dienen sie als Zuschlagmaterial für Beton zur Herstellung von Betonfahrbahndecken und werden als Pflasterbettungsmaterial und Betonsteinpflaster verwendet. Für ihre Verwendung und Qualitätssicherung existiert ein Vorschriftenystem, das ergänzt wird durch zusätzliche Regelungen für industrielle Nebenprodukte und Recyclingbaustoffe beispielsweise

der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, z.B. [FGSV 2001] [FGSV 2002].

Bodenaushub wird im Straßen- und Wegebau bei der Erstellung des Unterbaus und von Tragschichten verwendet [MUF-RLP 2004]. Dabei sind die von der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall aufgestellten Bedingungen und Zuordnungswerte zu erfüllen [LAGA 1997b] [LAGA 2004]. Außerdem muss er sinngemäß die für die Art der Schicht festgelegten Anforderungen für die Kornform sowie den Widerstand gegen Zertrümmerung und Frost nach Anhang E der TL Gestein-StB erfüllen [FGSV 2004].

Bitumengebundener Ausbauasphalt/Straßenaufbruch wird i.d.R. nach einer Aufbereitung im Asphaltmischwerk neuem Asphalt zugemischt. Kohlenteerhaltiger Ausbauasphalt/Straßenaufbruch wird nach der Aufbereitung i.d.R. nur im Kaltverfahren mit Zement umhüllt und kommt in hydraulisch gebundenen Tragschichten beim Straßenbau, Parkplatzbau und Deponiestraßenbau zum Einsatz. Er darf nur unter wasserundurchlässigen Schichten eingebaut werden, und die Seitenflächen sind mit Bitumenemulsion zu versiegeln [LAGA 1997b].

Gleisschotter, der keiner Wiederverwendung zugeführt wird, findet Verwendung im Straßen- und Wegebau sowie bei der Erstellung von Parkflächen. Dabei sind die entsprechenden Merkblätter der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, z.B. das Merkblatt über die Wiederverwertung von mineralischen Baustoffen als Recycling-Baustoffe im Straßenbau [FGSV 2002], zu beachten.

Auch der **Tief- und Landschaftsbau** bietet vielfältige Möglichkeiten für den Einsatz von Bauschutt bzw. daraus gewonnener Recycling-Baustoffe. Recycling-Baustoffe werden verwendet zum Bau von Dämmen, Deichen und Lärmschutzwällen, zur Verfüllung von Baugruben und Leitungsgräben sowie zur Bodenverbesserung und zur Bodenverfestigung. Sie werden eingesetzt als Rasen- und Parkdecksubstrat, für Schotterrasen sowie als Baums substrat insbesondere im Stadtstraßenbereich. Weiterhin finden sie Anwendung als Gesteinskörnung für Beton und Mörtel (unbewehrter Beton, Betoninnenbauteile, Betonaußenbauteile, wasserundurchlässiger Beton, Beton mit hohem Frostwiderstand, Stahlbeton) sowie im Betonbau beispielsweise bei der Herstellung von Sauberkeitsschichten unter Fundamenten, bei der Hohlraumverfüllung, im Unterbeton für Auffüllungen und für Beton im Garten- und Landschaftsbau [ARGE KWTB 2001] [ARGE KWTB 2003].

Der von der öffentlichen Hand verwertete Bauschutt wird ebenfalls beim Bau von Straßen, Wegen und Lärmschutzwällen verwendet. Außerdem wird er im Landschaftsbau, zur Landschaftsgestaltung und zur Rekultivierung ehemals industriell, gewerblich oder militärisch genutzter Flächen und Altablagerungen eingesetzt [StBA 2004] [StBA 2005].

Bei allen oben genannten Anwendungen sind die von der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall aufgestellten Bedingungen und Zuordnungswerte [LAGA 1997b] zu beachten, sowie die für bestimmte Anwendungen in den Richtlinien und Merkblät-

tern der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen genannten Vorgaben [FGSV 2001] [FGSV 2002] einzuhalten.

Die Verwendung von Bodenaushub im Tief- und Landschaftsbau erfolgt vor allem durch die öffentliche Hand. Einsatzgebiete sind der Bau von Lärmschutzwällen und Deichen, die Landschaftsgestaltung sowie die Rekultivierung ehemals industriell, gewerblich oder militärisch genutzter Flächen und Altablagerungen [StBA 2004] [StBA 2005]. Beim Einbau sind die von der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall aufgestellten Bedingungen und Zuordnungswerte zu beachten [LAGA 1997b] [LAGA 2004].

Straßenaufbruch, der nicht wieder beim Straßenbau Verwendung findet, wird zum überwiegenden Teil als Recycling-Baustoff verwertet. Geringe Mengen, die durch die öffentliche Hand verwertet werden, kommen in Lärmschutzwällen, im Landschaftsbau, bei der Landschaftsgestaltung, bei der Errichtung von Freizeit- und Sportanlagen sowie bei der Rekultivierung ehemals industriell, gewerblich oder militärisch genutzter Flächen und Altablagerungen zum Einsatz [StBA 2004] [StBA 2005]. Bei der Verwendung von ungebundenem Straßenaufbruch außerhalb des Straßen-, Wege- und Verkehrsflächenbaus gelten die Bedingungen und Zulassungswerte für Boden, wenn es sich um natürliche Mineralstoffe handelt, ansonsten sind diejenigen anzuwenden, die für den jeweiligen mineralischen Abfall gelten [LAGA 1997b]. Für Natur- und Betonsteine, die zu Recycling-Baustoffen aufbereitet wurden, gelten die Regeln für Bauschutt [LAGA 1997b]. Die Verwertung aufbereiteter sonstiger Werksteine richtet sich nach den Regeln für die jeweiligen mineralischen Abfälle oder nach dem Ergebnis der Einzelfallprüfung. Ihre Wiederverwendung ist nur außerhalb besonders sensibler Flächen (z.B. Spiel- und Sportplätze, Klein- und Hausgärten, Trinkwasser- und Heilquellenschutzgebiete) zulässig [LAGA 1997b].

Nicht wiederverwendeter Gleisschotter wird zum Teil zur Rekultivierung von Kies-, Sand- und Tongruben verwendet [DB 2006].

Im **Deponiebau** wurden im Jahr 2003 ca. 9,4 Mio. Mg Abfälle eingesetzt [StBA 2005]. Ihr Einsatz erfolgte beispielsweise

- bei der Errichtung des Basisabdichtungssystems [RP Gießen 2002],
- beim Bau von Trennwänden und Fahrstraßen [RP Gießen 2002],
- in der Gasdränageschicht [ARGE KWTB 2001] [ARGE KWTB 2003],
- bei der Errichtung des Oberflächenabdichtungssystems [RP Gießen 2002] sowie
- zur Profilierung des Deponiekörpers [BMU 2004].

Beim Deponiebau bzw. der Rekultivierung von Deponien wurden folgende Abfälle und Materialien verwendet:

- Recycling-Baustoffe [ARGE KWTB 2001] [ARGE KWTB 2003] [ARGE KWTB 2005],
- Bauschutt [ARGE KWTB 2003] [ARGE KWTB 2005],
- Straßenaufbruch [ARGE KWTB 2003] [ARGE KWTB 2005],
- Bodenaushub [ARGE KWTB 2003] [ARGE KWTB 2005] und
- Gleisschotter [DB 2006].

Bei den Fraktionen Bauschutt, Straßenaufbruch und Bodenaushub kamen auch belastete Materialien zum Einsatz.

Seit dem 1. September 2005 ist die Verwertung auf Deponien in der Deponieverwertungsverordnung geregelt [DepVerwV 2005].

Bei der Gewinnung von Bodenschätzen im **Tagebau** werden sowohl bei der Rekultivierung als auch aus bergtechnischen und bergsicherheitlichen Gründen Abfälle direkt oder nach einer Aufbereitung bzw. Behandlung eingesetzt. Der Einsatz erfolgt beispielsweise

- zur Sicherung von Böschungen,
- bei Anlage und Unterhalt von Förder- und Fahrwegen,
- um geochemische und hydrochemische Vorgänge (z.B. Pufferung) positiv zu beeinflussen,
- zur Verfüllung,
- um Oberflächen für die künftige Nutzung herzustellen und
- um Restlöcher und Halden zu gestalten [LAB 1998].

Im Jahr 2003 wurden rund 82,8 Mio. Mg Abfälle in Tagebauen abgelagert [StBA 2005]. Da nicht jeder Abfall im Tagebau verwendet werden kann, hat der Länderausschuss Bergbau Anforderungen für die stoffliche Verwertung von Abfällen im Tagebau erarbeitet [LAB 1998]. Darin werden u. a. mineralische Abfälle aus dem Baubereich, Altlasten und Schadensfällen als geeignet genannt, wenn sie die entsprechenden Anforderungen einhalten.

2.3.12 Abfälle aus der Verbrennung oder Pyrolyse von Abfällen

Von den Abfallarten, die bei der Verbrennung oder Pyrolyse von Abfällen anfallen, kommen die meisten als Versatzmaterial in Bergwerken infrage. Als für den Bergversatz besonders relevant eingestuft und ausgewählt wurden die folgenden Abfallarten:

- Filterkuchen aus der Abgasbehandlung (AVV-Nr. 19 01 05*),
- wässrige flüssige Abfälle aus der Abgasbehandlung und andere wässrige flüssige Abfälle (AVV-Nr. 19 01 06*),

- feste Abfälle aus der Abgasbehandlung (AVV-Nr. 19 01 07*),
- Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken, die gefährliche Stoffe enthalten (AVV-Nr. 19 01 11*),
- Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 01 11 fallen (AVV-Nr. 19 01 12),
- Filterstaub, der gefährliche Stoffe enthält (AVV-Nr. 19 01 13*), und
- Kesselstaub, der gefährliche Stoffe enthält (AVV-Nr. 19 01 15*).

Von den ausgewählten Abfallarten sind im Jahr 2003 insgesamt knapp 4,37 Mio. Mg angefallen. Den größten Anteil daran besaßen die Aschen und Schlacken ohne gefährliche Inhaltsstoffe mit rund 3,3 Mio. Mg, gefolgt von den gefährliche Stoffe enthaltenden Filterstäuben (360.000 Mg), den festen Abfällen aus der Abgasbehandlung (350.000 Mg) und den Aschen und Schlacken mit gefährlichen Inhaltsstoffen (244.000 Mg).

Mit rund 3,16 Mio. Mg wurde der überwiegende Anteil dieser Abfälle verwertet, davon knapp 831.000 Mg im Bergversatz, 737.000 Mg im Deponiebau und 66.000 Mg im Tagebau. Für mehr als 1,43 Mio. Mg lagen keine Angaben über den Verwertungsweg vor. Knapp 443.000 Mg wurden aufgearbeitet oder behandelt, wobei nur etwas mehr als 100 Mg einer Konditionierung unterzogen wurden. Allerdings lagen auch hier für mehr als 287.000 Mg keine Angaben zur Art der Behandlung vor. Beseitigt wurden insgesamt rund 644.000 Mg, wobei der überwiegende Anteil über Tage (311.000 Mg) und unter Tage (50.000 Mg) deponiert wurde. Auch hier lagen für rund 281.500 Mg keine Angaben zum Beseitigungsweg vor. Einzelheiten zum Aufkommen und zum Verbleib von den bei der Verbrennung und Pyrolyse von Abfällen anfallenden und ausgewählten Abfallarten können der Tabelle 2-34 entnommen werden.

Tabelle 2-34 Aufkommen und Verbleib von Abfällen aus der Verbrennung oder Pyrolyse von Abfällen nach AVV [AVV 2001] im Jahr 2003

	19 01 05*	19 01 06*	19 01 07*	19 01 11*	19 01 12	19 01 13*	19 01 15*
	[Mg]						
Aufkommen	58.000	35.000	350.000	244.000	3.300.000	360.000	22.000
Zementwerk	--	--	--	--	--	4.370	--
Straßen-/Tiefbau	--	140	--	--	--	--	--
Bergversatz	47.400	5.340	175.500	85.000	318.000	197.700	1.780
Deponiebau	--	--	--	--	737.000	--	--
Tagebau	--	--	--	--	66.000	--	--
Weiterverarbeitung	--	--	--	--	84.000	--	--
sonst. Verwertung	--	--	--	--	1.426.000	6.700	--
Aufbereitung	--	--	70.800	9.400	2.000	43.100	2.680
CPB / Kond.	--	5.510	2.400	19.900	--	--	--
sonst. Behandlung	1.210	3.610	30.700	4.700	201.000	45.800	130
Deponie	5.630	--	24.200	121.100	137.500	5.840	16.700
UTD	3.670	370	21.000	2.600	--	21.700	580
Verbrennung	--	650	1.040	--	--	230	--
sonst. Beseitigung	20	60	--	--	279.000	2.340	--
Zwischenlager	--	860	24.600	1.300	--	32.200	--

Quellen: Landesumweltämter, statistische Landesämter, statistisches Bundesamt, Abfallagenturen, ITAD

Die bei der Verbrennung und Pyrolyse von Abfällen anfallenden Abfallarten kommen aufgrund ihrer Schadstoffgehalte für den Bergversatz infrage und besitzen aufgrund ihrer Massen für diesen besondere Relevanz.

Bei den Aschen aus der Hausmüllverbrennung (AVV-Nr. 19 01 12) wird zwischen HMV-Rohaschen und HMV-Aschen unterschieden. HMV-Rohaschen sind ein als Rostabwurf und Rostdurchfall anfallendes Gemenge aus gesinterten Verbrennungsprodukten, Eisenschrott und anderen Metallen, Glas und Keramikscherben, anderen mineralischen Bestandteilen sowie unverbrannten Resten, die aus den Feuerräumen von Abfallverbrennungsanlagen ausgetragen werden [LfU B.-W. 2004]. Die aufbereiteten und gealterten HMV-Rohaschen werden als HMV-Aschen bezeichnet. Die Verfahren zur Aufbereitung der HMV-Rohaschen sind in Anhang 4 näher beschrieben.

In Sonderabfallverbrennungsanlagen erfolgt die Abfallverbrennung in einem Drehrohr, an dessen Ende die Schlackeschmelze (AVV-Nr. 19 01 11*) überläuft, in ein Wasserbad tropft und dort glasartig erstarrt [Suchomel 1994]. Bei der Verbrennung von Sonderabfällen in anderen Anlagen können auch Aschen anfallen.

Die übrigen o.g. Abfallarten entstehen bei der Abgasbehandlung. Je nach angewendetem Verfahren (Trockenes-, Quasitrockenes- und Nassverfahren) fallen sie in unterschiedlicher Form an. Filterstäube fallen bei allen Verfahren an und werden getrennt erfasst. Die festen Abfälle aus der Abgasbehandlung (AVV-Nr. 19 01 07*) unterscheiden sich von den Filterstäuben (AVV-Nr. 19 01 13*) insbesondere durch den wesentlich höheren Salzgehalt (insbesondere Chlorid), der Probleme bei der Verfestigung zur Folge hat, wobei der wasserlösliche Anteil entscheidend ist.

HMV-Aschen werden zum überwiegenden Teil im Deponie- und Tagebau, im Bergversatz, im Erd-, Tief-, Straßen- und Wegebau (z.B. Lärmschutzwälle, Dammbau, hydraulisch gebundene Tragschichten, Frostschutz- und Schottertrageschichten) sowie zur Bodenverbesserung verwendet [Krass 2004]. Die Kriterien für die oberirdische Verwendung sind beispielsweise in einem Merkblatt und einer Mitteilung der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall [LAGA 1994] [LAGA 1997b] sowie in einer Richtlinie der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen [FGSV 2001] geregelt. Außerdem hat der Länderausschuss Bergbau Anforderungen für die stoffliche Verwertung von Abfällen im Tagebau erarbeitet [LAB 1998]. Die Verwendung bei Baumaßnahmen in beispielsweise Trinkwasser- und Heilquellenschutzgebieten, in Wasservorranggebieten, in Gebieten mit häufigen Überschwemmungen, in Karstgebieten sowie auf Flächen mit sensibler Nutzung (z.B. Spiel- und Sportplätze) ist hingegen ausgeschlossen [LAGA 1997b]. Auch in Dränageschichten dürfen Hausmüllverbrennungsaschen nicht eingesetzt werden.

Die Aschen und Schlacken aus der Sonderabfallverbrennung werden vor allem im Bergversatz eingesetzt oder deponiert. Ein Teil wird auch behandelt bzw. einer Konditionierung unterzogen. Die Verwendung von Schlacken aus Sonderabfallverbrennungsanlagen im Straßenbau ist zwar möglich, findet aber so gut wie nicht statt [Suchomel 1994] [Leidinger 2005].

Die Filterstäube und festen Abfälle aus der Abgasbehandlung kommen zum überwiegenden Teil im Bergversatz zum Einsatz. Weitere nicht unerhebliche Anteile werden einer Aufbereitung unterzogen, behandelt oder deponiert. Zum Teil werden sie auch als Gemisch entsorgt.

2.3.13 Abfälle aus der physikalisch-chemischen Behandlung von Abfällen, stabilisierte und verfestigte Abfälle sowie Deponiesickerwasser

Aus den für den Bergversatz infrage kommenden Abfallarten aus den in der Überschrift genannten 3 Abfallgruppen wurden die folgenden gefährlichen Arten als relevant ausgewählt:

- vorgemischte Abfälle, die wenigstens einen gefährlichen Abfall enthalten (AVV-Nr. 19 02 04*),

- Schlämme aus der physikalisch-chemischen Behandlung, die gefährliche Stoffe enthalten (AVV-Nr. 19 02 05*),
- als gefährlich eingestufte teilweise stabilisierte Abfälle (AVV-Nr. 19 03 04*),
- als gefährlich eingestufte verfestigte Abfälle (AVV-Nr. 19 03 06*),
- Deponiesickerwasser, das gefährliche Stoffe enthält (AVV-Nr. 19 07 02*).

Von den ausgewählten Abfallarten sind im Jahr 2003 rund 2,1 Mio. Mg angefallen. Dabei handelte es sich insbesondere um Schlämme aus der physikalisch-chemischen Behandlung (859.500 Mg) und Deponiesickerwasser (525.000 Mg), die gefährliche Stoffe enthalten, sowie um wenigstens einen gefährlichen Abfall enthaltende vorgemischte Abfälle (462.000 Mg).

Rund 214.000 Mg dieser Abfälle wurde verwertet, wobei knapp 56.500 Mg als Versatzmaterial in Bergwerken zum Einsatz kam. Von mehr als der Hälfte lagen keine Angaben über den Verwertungsweg vor. Über 1,18 Mio. Mg wurden aufbereitet oder behandelt, wobei für rund 844.000 Mg keine Angaben über die Art der Behandlung vorlagen. Nachweislich einer Konditionierung unterzogen wurden 2.200 Mg dieser Abfälle. Beseitigt wurden rund 619.000 Mg, wobei die Verbrennung mit knapp 376.000 Mg überwog, gefolgt von Deponierung über Tage mit 235.000 Mg. Weitere Daten zum Aufkommen und zum Verbleib dieser Abfallarten befinden sich in Tabelle 2-35.

Tabelle 2-35 Aufkommen und Verbleib von Abfällen aus der physikalisch-chemischen Behandlung, von stabilisierten und verfestigten Abfällen sowie von Deponiesickerwasser nach AVV [AVV 2001] im Jahr 2003

	19 02 04* [Mg]	19 02 05* [Mg]	19 03 04* [Mg]	19 03 06* [Mg]	19 07 02* [Mg]
Aufkommen	462.000	859.500	42.600	189.000	525.000* ¹
Verhüttung	30	3.600	--	--	
Edelmetallrecycling	--	30	--	--	
Zementwerk	18.000	--	--	--	
Bergversatz	20.000	12.100	1.610	22.400	340
Deponiebau	1.550	--	--	10.400	--
sonst. Verwertung	1.100	28.000	4.270	90.400	--
Metallaufbereitung	--	90	--	--	
Aufbereitung	870	11.000	--	--	
CPB / Konditionierung	3.700	24.600	--	--	201.000
Abwasserbehandlung	--	--	--	--	25.900
Sickerwasserbehandlung	--	--	--	--	24.100
Kläranlage	--	--	--	--	46.300
sonst. Behandlung	3.900	685.000	510	--	154.300
Deponie	46.900	78.900	34.700	28.900	45.600
UTD	3.900	410	--	--	--
Verbrennung	350.000	7.300	620	--	17.700
sonst. Beseitigung	--	4.200	--	--	--
Zwischenlager	12.000	4.100	--	100	6.500

*1: Unter der Abfallart „Deponiesickerwasser“ werden auch feste Rückstände aus der Eindampfung von Deponiesickerwasser entsorgt.

Quellen: Landesumweltämter, statistische Landesämter, statistisches Bundesamt, Abfallagenturen

2.4 Schwermetallstoffströme in den 50 ausgewählten Abfällen und ihre Relevanz im Vergleich zu Stoffströmen in Wirtschaft und Umwelt

Ausgehend von den Datenauswertungen für die einzelnen Abfallarten (Abfallaufkommen und Abfallzusammensetzung⁴) wurde die Größenordnung der Schwermetallstoffströme in den 50 ausgewählten Abfällen abgeschätzt.

Die nachfolgende Tabelle zeigt beispielhaft die größten Bleistoffströme innerhalb der vorausgewählten 50 Abfallarten:

⁴ Der Rechnung wurden die Medianwerte zugrunde gelegt.

Tabelle 2-36 Die größten Bleistoffströme innerhalb der 50 ausgewählten Abfälle

AVV-Nr.	Abfallbezeichnung	Entsorgte Menge in 2004 in t	Größenordnung des Bleistoffstroms in t
19 01 13*	Filterstaub aus der Abfallverbrennung, der gefährliche Stoffe enthält	493.637	2.242
19 02 04*	vorgemischte Abfälle, die wenigstens einen gefährlichen Abfall enthalten	462.760	1.735
10 02 07*	feste Abfälle aus der Abgasbehandlung, die gef. Stoffe enthalten (Eisen- und Stahlind.)	169.793	1.631
19 01 12	Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken aus der Abfallverbrennung	2.787.800	1.157
19 01 07*	feste Abfälle aus der Abgasbehandlung aus der Abfallverbrennung	349.406	965
19 07 02*	Deponiesickerwasser, das gefährliche Stoffe enthält	521.437	446
17 05 03*	Boden und Steine, die gefährliche Stoffe enthalten	4.583.963	376
10 02 14	Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung (Eisen- und Stahlindustrie)	100.800	250
10 02 13*	Schlämme u. Filterkuchen aus der Abgasbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten (Eisen- und Stahlindustrie)	50.325	234
19 01 11*	Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken, die gefährliche Stoffe enthalten	100.539	231
Summe			9.267
Alle 50			Ca. 10.000

Entsprechend der Tabelle 2-36 sind die größten Bleimengen in Abfällen aus der Abfallverbrennung (Filterstäube, feste Abfälle aus der Abgasbehandlung, Rost- und Kesselaschen), Abfälle aus der Eisen- und Stahlindustrie sowie in vorgemischten Abfällen enthalten. In der Summe sind in den ausgewählten 50 Abfällen rund 10.000 t Blei enthalten. Um diese Zahl in einen Zusammenhang mit den gesamten Bleistoffströmen innerhalb Deutschlands zu stellen, zeigt Tabelle 2.37 einige wichtige Kennzahlen zum Stoffstrom Blei in der BRD:

In den 50 ausgewählten Abfällen sind mit rund 10.000 t Blei rund 8,6 % der Bleimenge enthalten, die in Deutschland als Primärerz eingesetzt wird. Damit ist die Ressourcenschonung durch ein Recycling dieser Abfälle ein wichtiger Aspekt, der bei der Methodenentwicklung zu berücksichtigen ist.

Tabelle 2-37 Kennzahlen zum Stoffstrom Blei in der BRD

Bleistoffstrom in den 50 ausgewählten Abfällen (Größenordnung)	10.000 t
Rohbleiverbrauch in der BRD in 2004 [BGR 2005b]	396.000 t
Produktion von Hüttenblei aus Erz in 2004 [BGR 2005b]	116.000 t
Luftemissionen stationärer Anlagen der BRD in 1995 [UBA 1997]	632 t
Bleiemissionen in Oberflächengewässern der BRD, 2000 [UBA 2004]	296 t

Von sehr großer Bedeutung ist auch die Tatsache, dass der Bleigehalt der 50 ausgewählten Abfälle rund 34 mal so hoch ist wie die Bleiemissionen in Oberflächengewässern in der BRD und rund 16 mal so hoch wie die Luftemissionen stationärer Anlagen in der BRD. Dies bedeutet, dass die sichere Entsorgung der Abfälle von einer immensen Bedeutung ist. Wenn nur ein kleiner Teil des in den Abfällen enthaltenen Bleis in die Luft oder ins Wasser gelangt, werden die gesamten Luft- und Wasseremissionen in Deutschland deutlich ansteigen.

Die Tabelle 2.38 zeigt die Stoffströme von Zink in den ausgewählten Abfällen.

Entsprechend der Tabelle 2.38 sind die größten Zinkmengen in Abfällen aus der Abfallverbrennung (Filterstäube, feste Abfälle aus der Abgasbehandlung, Rost- und Kesselaschen), Abfällen aus der Eisen und Stahlindustrie, sowie in vorgemischten Abfällen und Schlämmen aus der chemischen Oberflächenbehandlung enthalten. In der Summe sind in den ausgewählten 50 Abfällen rund 52.000 t Zink enthalten. Um diese Zahl in einen Zusammenhang mit den gesamten Zinkstoffströmen innerhalb Deutschlands zu stellen, zeigt Tabelle 2.39 einige wichtige Kennzahlen zum Stoffstrom Zink in der BRD.

In den 50 ausgewählten Abfällen sind mit rund 52.000 t Zink rund 21 % der Zinkmenge enthalten, die in Deutschland als Primärmaterial in der Zinkverhüttung eingesetzt wird. Damit ist die Ressourcenschonung durch ein Recycling dieser Abfälle auch hinsichtlich Zink ein wichtiger Aspekt, der bei der Methodenentwicklung zu berücksichtigen ist.

Tabelle 2-38 Die größten Zinkstoffströme innerhalb der 50 ausgewählten Abfälle

AVV-Nr.	Abfallbezeichnung	Entsorgte Menge in 2004 in t	Größenordnung des Zinkstoffstroms in t
19 01 13*	Filterstaub aus der Abfallverbrennung, der gefährliche Stoffe enthält	493.637	8.525
10 02 07*	feste Abfälle aus der Abgasbehandlung, die gef. Stoffe enthalten (Eisen- und Stahlind.)	169.793	7.707
19 01 12	Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken aus der Abfallverbrennung	2.787.800	7.344
11 01 09*	Schlämme und Filterkuchen, die gefährliche Stoffe enthalten (Galvanikschlämme u.a.)	702.695	6.043
10 02 13*	Schlämme u. Filterkuchen aus der Abgasbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten (Eisen- und Stahlindustrie)	50.325	5.918
19 02 05*	Schlämme u. Filterkuchen aus der CPB, die gefährliche Stoffe enthalten	858.080	4.290
19 02 04*	vorgemischte Abfälle, die wenigstens einen gefährlichen Abfall enthalten	462.760	4.242
19 01 07*	feste Abfälle aus der Abgasbehandlung aus der Abfallverbrennung	349.406	2.586
10 02 14	Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung (Eisen- und Stahlindustrie)	100.800	1.689
19 01 11*	Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken, die gefährliche Stoffe enthalten (Abfallverbrennung)	222.820	1.005
Summe			49.349
Alle 50			52.000

Tabelle 2-39 Kennzahlen zum Stoffstrom Zink in der BRD

Zinkstoffstrom in den 50 ausgewählten Abfällen (Größenordnung)	52.000 t
Produktion von Hüttenzink aus Erz in der BRD in 2004 [BGR 2005b]	252.000 t
Zinkemissionen in Oberflächengewässer in der BRD, 2000 [UBA 2004]	3.187 t

Von sehr hoher Bedeutung ist ebenso wie für Blei auch die Tatsache, dass der Zinkgehalt der 50 ausgewählten Abfälle rund 16 mal so hoch ist wie die Zinkemissionen in Oberflächengewässern in der BRD. Dies bedeutet, dass die sichere

Entsorgung der Abfälle auch für Zink von einer sehr hohen Relevanz ist. Wenn nur ein kleiner Teil des in den Abfällen enthaltenen Zinks in die Luft oder ins Wasser gelangt, werden die gesamten Luft- und Wasseremissionen von Zink signifikant zu nehmen.

Tabelle 2.40 zeigt die Stoffströme von Cadmium für die ausgewählten Abfälle.

Tabelle 2-40 Die größten Cadmiumstoffströme innerhalb der 50 ausgewählten Abfälle

AVV-Nr.	Abfallbezeichnung	Entsorgte Menge in 2004 in t	Größenordnung des Cadmiumstoffstroms in t
19 01 13*	Filterstaub aus der Abfallverbrennung, der gefährliche Stoffe enthält	493.637	106
19 01 07*	feste Abfälle aus der Abgasbehandlung aus Abfallverbrennung	349.406	49
19 02 04*	vorgemischte Abfälle, die wenigstens einen gefährlichen Abfall enthalten	462.760	22
10 02 07*	feste Abfälle aus der Abgasbehandlung, die gef. Stoffe enthalten (Eisen- und Stahlindustrie)	169.793	17
19 01 12	Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken aus der Abfallverbrennung	2.787.800	15
19 07 02*	Deponiesickerwasser, das gefährliche Stoffe enthält	521.437	15
Summe			224
Alle 50			248

Entsprechend der Tabelle 2-40 sind die größten Cadmiummengen in Abfällen aus der Abfallverbrennung (Filterstäube, feste Abfälle aus der Abgasbehandlung, Rost- und Kesselaschen), in vorgemischten Abfällen, in Abfällen aus der Eisen- und Stahlindustrie und im Deponiesickerwasser enthalten. In der Summe sind in den ausgewählten 50 Abfällen rund 248 t Cadmium enthalten. Um diese Zahl in einen Zusammenhang mit den gesamten Stoffströmen innerhalb Deutschlands zu stellen, zeigt Tabelle 2.41 einige wichtige Kennzahlen zum Stoffstrom Cadmium in der BRD:

Tabelle 2-41 Kennzahlen zum Stoffstrom Cadmium in der BRD

Cadmiumstoffstrom in den 50 ausgewählten Abfällen (Größenordnung)	248 t
Cadmiumverbrauch in der BRD in 2003 [BGR 2005a]	650 t
Luftemissionen Anfang der 90er Jahre [UBA 1997]	13 - 24 t
Cadmiumemissionen in Oberflächengewässern in der BRD, 2000 [UBA 2004]	12 t

Die Kennzahlen zeigen, dass der Ressourcenaspekt für Cadmium aufgrund des rückläufigen Verbrauchs keine Rolle spielt. Der Schadstoffaspekt ist jedoch ebenso wie bei Blei und Zink von hoher Relevanz. Der Cadmiumgehalt der 50 ausgewählten Abfälle ist rund 21 mal so hoch ist die Cadmiumemissionen in Oberflächengewässern in der BRD und rund 10 bis 19 mal so hoch wie die Luftemissionen (Stand Anfang der 90er Jahre) in der BRD.

Die Auswertung für die Schwermetalle Quecksilber, Chrom, Nickel, Arsen und Kupfer sowie für Eisen zeigt Tabelle 2.42.

Tabelle 2-42 Stoffströme von Hg, Cr, Ni, As, Cu und Fe

		Hg	Cr	Ni	As	Cu	Fe
Stoffstrom in 50 ausgewählten Abfällen	t	18	12.400	4.100	210	7.900	430.000
Produktion / Verbrauch	t	475	350.000	94.000	k.A.	1.000.000	34 Mio.
		(Verbrauch in EU 1994)					
Verhältnis Stoffströme in den 50 Abfällen : Produktion bzw. Verbrauch	%		4	4		1	1
Einträge in Oberflächengewässer	t	5	283	614	114	683	
Verhältnis von Stoffströmen im Abfall zum Gewässereintrag	Faktor	4	44	7	2	12	

Die erste Zeile zeigt die Schwermetall- und Eisenmengen, die in den 50 ausgewählten Abfällen enthalten sind. Die zweite Zeile zeigt den Verbrauch bzw. die produzierte Menge von Primär- und Sekundärmaterial für Deutschland nach [Metallgesellschaft 1995] und [BGR 2005a]. Diese beiden Größen werden in der dritten Spalte in

Relation zueinander gesetzt. Es zeigt sich, dass in den ausgewählten Abfällen rund 1 % der Kupfer- und Eisenmenge und rund 4 % der Chrom- bzw. Nickelmenge enthalten sind, die in Deutschland verbraucht bzw. produziert werden (aus Primär- und Sekundärmaterial). Damit ist die Ressourcenfrage auch für Kupfer, Chrom und Nickel in geringerem Maß relevant.

Die Tabelle zeigt weiterhin die Schwermetalleinträge in Oberflächengewässer nach [UBA 2004] und ihr Verhältnis zur Schwermetallfracht in den 50 ausgewählten Abfällen. Eine besonders große Bedeutung hat Chrom. Hier befinden sich in den 50 ausgewählten Abfällen 44 mal so viel Chrom wie in Oberflächengewässer emittiert wird. Für die anderen Schwermetalle liegt der Faktor zwischen 2 und 12. Damit hat die Gewährleistung einer sicheren Entsorgung, bei der keinerlei Luft- und Wasseremissionen auftreten, für alle Schwermetalle eine absolute Priorität. An zweiter Stelle steht der Ressourcenaspekt für alle genannten Schwermetalle (außer Cadmium und Quecksilber).

3 Ermittlung der relevanten Verwertungs- und Beseitigungstechnologien

In diesem Kapitel sind die für die ausgewählten Abfallarten relevanten Verwertungs- und Beseitigungstechnologien beschrieben. Soweit es sich um die detaillierten rein technischen Beschreibungen handelt sind diese in Anhang 3 enthalten; im Text dieses Kapitels sind in diesem Fall die abfallwirtschaftlichen Zusammenhänge und die Anwendungseigenschaften enthalten.

Im Einzelnen werden die folgenden Verwertungs- und Beseitigungsverfahren beschrieben:

- Bergversatz und Untertagedeponierung (Kapitel 3.1),
- Sonderabfallverbrennung und Mitverbrennung (Kapitel 3.2),
- Aufbereitung von Schlacken aus der Hausmüllverbrennung (Kapitel 3.3),
- Aufbereitung von Filterstäuben aus Müllverbrennungsanlagen (Kapitel 3.4),
- Mechanische Aufbereitung von Strahlsanden (Kapitel 3.5),
- Metallaufbereitung (Kapitel 3.6),
- Aufbereitung von Bau- und Abbruchabfällen (Kapitel 3.7).

3.1 Bergversatz und Untertagedeponien

Bergversatz und Untertagedeponierung sind in vielerlei Hinsicht ähnliche und verwandte Technologien: bei beiden werden Abfälle nach untertage verbracht und dort gelagert. Trotz der ähnlichen Technologie gibt es aber auch Unterschiede, beispielsweise werden unterschiedliche Ziele verfolgt. Bei der folgenden Darstellung dieser beiden Technologien werden daher die Gemeinsamkeiten, aber auch die Unterschiede deutlich hervorgehoben.

3.1.1 Allgemeine Angaben

Bergversatz

Unter Bergversatz wird allgemein das Verfüllen der beim Abbau von Lagerstätten entstandenen Hohlräume verstanden. Sinn und Zweck dieser Verfüllung ergeben sich aus folgenden sicherheitsbezogenen Überlegungen. Bleiben nach der Ausbeutung Hohlräume offen, deren Standdauer zeitlich begrenzt ist, kommt es auf Dauer zu Setzungen. Setzungen können langsam und kontinuierlich verlaufen, in dem das Gestein kontinuierlich von allen Seiten in den Hohlraum drückt. Es kann, insbesondere bei großen Hohlräumen, aber auch zu einem schlagartigen Ereignis kommen, bei dem in kurzer Zeit der gesamte Hohlraum einbricht oder innerhalb von Sekunden ganze Grubenfelder einstürzen. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn Si-

cherheitspfeiler entweder durch Setzungen geschwächt werden oder von vornherein während des Abbaus nur auf eine begrenzte Standzeit ausgelegt wurden. Sowohl kontinuierliche als auch bruchartig verlaufende Setzungen können, je nach Größe der Hohlräume und deren Tiefe, Auswirkungen bis an die Tagesoberfläche haben. Setzungen in großem Umfang äußern sich dabei entweder in Form von großflächigen Trogbildungen, an deren Flanken sich Druck-, Zerrungs- und Schieflagenbereiche bilden, oder in Form von erdbebenähnlichen Erschütterungen. Entsprechend Umfang und Verlauf solcher Setzerscheinungen können Bergschäden, Schäden an der Tagesoberfläche, resultieren.

Um Auswirkungen an der Tagesoberfläche zu vermeiden, werden in solchen Fällen von der Bergbehörde Versatzmaßnahmen angeordnet (§§ 51-56 BBergG). Durch Einbringen von Versatzmaterial können Hohlräume so verfüllt werden, dass Setzerscheinungen ein akzeptables Maß nicht überschreiten. Um dies zu erreichen, muss das Verfüllmaterial stabilisierende Eigenschaften aufweisen und es muss eine vollständige Verfüllung des Hohlraums mit diesem Material technisch erreichbar sein („Firstschlüssigkeit“ des Einbaus“). Die Verfüllung von Hohlräumen kann dabei begleitend zum Betrieb oder auch nachträglich, also nach Abschluss des aktiven Gewinnungsbetriebs, erfolgen.

Der Versatz eines Bergwerkes bzw. einzelner Bereiche stellt einen erheblichen Kostenfaktor dar. Dies ist insbesondere relevant, wenn während des laufenden Bergbaubetriebs keine direkte Verfüllung mit Abraummateriale erfolgt ist und auch keine finanziellen Rückstellungen für diese spätere Verfüllung gebildet wurden. Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit werden daher überwiegend bergbaufremde Materialien wie z. B. gefährliche Abfälle verwendet, da dann diese Tätigkeit aus den Einnahmen für deren Abnahme finanziert werden kann. Bei dem Versatz von bergbaufremden Abfällen handelt es sich um eine Verwertungsmaßnahme, da die stabilisierenden Eigenschaften des Abfalls zur Sicherung des Grubengebäudes im Vordergrund stehen. Würden hierfür keine bergbaufremden Abfälle verwendet, müsste die Hohlraumverfüllung bei bestehender Versatzpflicht dennoch erfolgen, wofür dann andere Materialien für diesen Zweck beschafft werden müssten. Ferner wäre die Finanzierung dieser Tätigkeit auf andere Weise zu sichern, wofür im Falle der ehemals staatlichen Gewinnungsbergwerke in Thüringen und Sachsen-Anhalt in erheblichem Umfang öffentliche Haushalte in Anspruch genommen werden müssten.

Für einige Abfallströme hat der Bergversatz eine erhebliche Bedeutung als Verwertungsmaßnahme. In sozialer Hinsicht ermöglichte der Bergversatz bei abrupter Stilllegung des aktiven Gewinnungsbetriebs bei vielen Bergwerken des ehemaligen Kalibergbaus in Thüringen und Sachsen-Anhalt eine Abfederung der negativen Folgen des Übergangs. Die betreffenden Regionen wiesen teilweise eine auf den Bergbau konzentrierte wirtschaftliche Monokultur auf, der Stilllegung ging keine Vorwarnzeit voraus und notwendige Maßnahmen der wirtschaftlichen Umstrukturierung der entsprechenden Regionen nahmen längere Zeithorizonte in Anspruch. Wegen der

Bedeutung für die Bergschadensvermeidung und die Abfallwirtschaft einerseits sowie für die regionale soziale Abfederung wirtschaftlicher Umstrukturierungen andererseits stellt der sogenannte Entsorgungsbergbau einen eigenen, wichtigen Wirtschaftszweig in den jeweiligen Regionen dar.

Derzeit findet an mehr als 20 Standorten in Deutschland der Versatz mit bergbau-fremden Abfällen statt [Behnsen 2001]. Dabei spielt der Bergversatz in Bergwerken im Salzgestein die größte Rolle. Aufgrund der Wasserundurchlässigkeit des Wirtsgesteins Salz ist für den Versatz ein wesentlich breiteres Abfallspektrum mit höheren Schadstoffanteilen geeignet und rechtlich zulässig als für Versatzbergwerke in anderen Wirtsgesteinen, bei denen die schadstoffhaltigen Versatzstoffe in Kontakt mit tiefen Grundwässern kommen (z.B. im Carbon). Dafür ist für die Genehmigung der Versatzmaßnahme ein Langzeitsicherheitsnachweis zu erbringen (s. Kapitel 3.1.2). In der nachfolgenden Tabelle 3.1 sind Versatzbergwerke im Salzgestein zusammengestellt.

Tabelle 3-1 Bergversatz als Abfallverwertung in Salzgestein [Behnsen 2001]

Bergversatz als Abfallverwertung	Bundesland	Formation	Unternehmen
Bernburg	Sachsen-Anhalt	Steinsalz	K+S
Bleicherode	Thüringen	Kalisalz	NDHE
Hattorf	Hessen	Kalisalz	K+S
Kochendorf	Baden-Württemberg	Steinsalz	SWS
Sondershausen	Thüringen	Kalisalz	GSES
Stetten	Baden-Württemberg	Steinsalz	Wacker
Teutschenthal	Sachsen-Anhalt	Kalisalz	GTS
Untereibitzbach	Thüringen	Kalisalz	K+S
Wintershall	Hessen	Kalisalz	K+S

Bei Salzbergwerken sind neben der Verwendung bergbaufremder Abfälle auch andere Versatzmaßnahmen eingeführt und üblich, beispielsweise der Versatz in Hope/Lindwedel mittels Restflutung mit mineralischen Wässern (Kali + Salz).

In der Tabelle 3.2 sind Versatzbergwerke in anderen Gesteinsformationen genannt, die derzeit betrieben werden. Die Versatzverordnung (siehe unten) setzt für die Eignung bergbaufremder Abfälle in solchen Formationen engere Grenzen.

Eine Besonderheit gilt für die Versatzbergwerke im ehemaligen Kohleabbau. Hier sind Abfälle aus Kohlekraftwerken zugelassen. Im Steinkohlebergbau im Bergwerk Walsum wurden solche Verbrennungsrückstände eingelagert. Derzeit ist die untertägige Einlagerung stillgelegt. In anderen Teilen des Bergwerkes ist aber die erneute Einlagerung geplant.

Tabelle 3-2 Bergversatz in anderen Wirtsgesteinen in Nordrhein-Westfalen [AIDA 2007]

Grube	Formation	Unternehmen
Wohlverwahrt-Nammen	Eisenerz	Barbara Rohstoffbetriebs GmbH
Dreislar	Schwerspat	Sachtleben Bergbau Services GmbH

Untertagedeponie

Im Gegensatz zum Bergversatz, der eine Verwertung darstellt, stellt die Ablagerung von Abfällen in einer Untertagedeponie eine Abfallbeseitigung dar. Für sie gelten andere rechtliche Regelungen (s. Kap. 3.1.2). Die erforderlichen Genehmigungsvoraussetzungen sind bis auf einige Unterschiede, auf die im Folgenden hingewiesen wird, ähnlich, sie wurden einander angeglichen.

Untertagedeponien werden ebenfalls in abgebauten Lagerstätten eingerichtet. Die dafür geeigneten Grubenfelder sind im Gegensatz zu denjenigen, für die Versatz angeordnet ist, standfest. Ein Versatz ist nicht zwingend erforderlich, er wird aber gleichwohl bei einigen Untertagedeponien durchgeführt. In Untertagedeponien, die die Lagerbereiche nach Beendigung der Einlagerung nicht versetzen, sind die Abfälle grundsätzlich bis zum Verschluss der Deponie rückholbar. Bei bestimmten Untertagedeponien gehört die Rückholbarkeit zum Konzept und geht in die Konzeption der Lagerbereiche und deren Zugänglichkeit als wichtiges Auslegungsmerkmal und in die Betriebsführung mit ein.

Die älteste Untertagedeponie, Herfa-Neurode, wurde 1972 in einem abgebauten Grubenfeld des Kaliwerks Werra errichtet. Die jüngste Untertagedeponie Sondershausen ging Anfang 2006 in Betrieb. Die Untertagedeponie Niederrhein ist planfestgestellt und genehmigt. Sie wurde aber bisher nicht in Betrieb genommen. Die Untertagedeponien in Deutschland sind in der nachfolgenden Tabelle 3.3 zusammengestellt.

Tabelle 3-3 Untertage-Deponien in Deutschland [Behnsen 2001; GSES 2007]

Untertagedeponie	Bundesland	Formation	Unternehmen
Herfa-Neurode	Hessen	Kalisalz	K+S
Zielitz	Sachsen-Anhalt	Kalisalz	K+S
Heilbronn	Baden-Württemberg	Steinsalz	SWS
Sondershausen	Thüringen	Kalisalz	GSES GmbH
(Niederrhein)	Nordrhein-Westfalen	Steinsalz	K+S

Für die Errichtung einer Untertagedeponie bzw. eines Versatzbergwerkes im Salzgestein ist gleichermaßen ein Langzeitsicherheitsnachweis erforderlich. Mit dem Langzeitsicherheitsnachweis muss die geotechnische Standsicherheit und die Sicherheit während des Betriebs und im Nachbetrieb nachgewiesen werden. Die technischen Anforderungen, die die jeweiligen Verordnungen fordern, werden im Kapitel 3.1.2 behandelt.

3.1.2 Rechtliche Grundlagen

Die untertägige Deponierung und der Versatz von Abfällen in Hohlräumen unter Tage fallen unter das Abfallrecht. Besondere Bedeutung haben hier das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz und die TA Abfall. Obwohl die TA Abfall eigentlich nur Anforderungen an Untertagedeponien im Salzgestein stellt, beziehen sich sowohl die Deponieverordnung als auch die Versatzverordnung auf sie. Da die Bergwerke der Bergaufsicht unterstellt sind, gilt außerdem auch das Bergrecht mit dem Bundesberggesetz (BBergG) und der Gesundheitsschutz-Bergverordnung (GesBergV). Trotz der verschiedenen Rechtsbereiche werden die Genehmigungs- und Aufsichtsaufgaben bei einer Behörde, meist den Bergämtern, gebündelt.

Nachfolgend werden die TA Abfall als übergeordnetes Regelwerk sowie die spezifischen Regelungen für den Bergversatz und die Untertagedeponie dargestellt.

Die **zweite allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA Abfall)** vom 12.3.1991 stellt besondere Anforderungen an Untertagedeponien im Salzgestein. Sie definiert eine Untertagedeponie (UTD) als eine Deponie, deren besonders überwachungsbedürftige Abfälle vollständig im Salzgestein eingeschlossen werden. Sie stellt den Anforderungen an die untertägige Deponierung von Abfällen im Salzgestein folgenden Grundsatz voran (Nr. 10):

„Bei der Ablagerung von Abfällen in untertägigen Anlagen im Salzgestein sollen die Abfälle dauerhaft von der Biosphäre ferngehalten werden. Die untertägige Ablagerung hat so zu erfolgen, dass keine Nachsorge erforderlich ist.“

Im Folgenden stellt die TA Abfall detaillierte Anforderungen an den Standort der Untertagedeponie. Die Eignung soll über eine standortbezogene Sicherheitsbeurteilung erfolgen. Diese besteht aus dem geotechnischen Standsicherheitsnachweis, dem Sicherheitsnachweis für die Betriebsphase und dem Langzeitsicherheitsnachweis, deren Bestandteile jeweils detailliert definiert sind. Darüber hinaus gibt die TA Abfall umfangreiche Vorgaben an die Errichtung, den Betrieb und die Stilllegung einer Untertagedeponie.

Bestimmte Abfallkategorien werden für die untertägige Deponierung generell ausgeschlossen (Absatz 4.4.3.2). Dies sind:

- unter Ablagerungsbedingungen selbstentzündliche, selbstgänglich brennbare oder explosible Abfälle,
- unter Ablagerungsbedingungen untereinander oder mit dem Wirtsgestein reagierende Abfälle, mit der Folge von Volumenvergrößerung, Bildung selbstentzündlicher, toxischer oder explosibler Stoffe bzw. Gase oder sonstigen gefährlichen Reaktionen,
- penetrant riechende Abfälle (in befahrbaren Grubenräumen),

- unter Ablagerungsbedingungen toxische oder explosive Gas-Luft-Gemische bildende Abfälle (in befahrbaren Grubenräumen).

Die TA Abfall dient als Grundlage für die Verordnung über den Versatz von Abfällen unter Tage (Versatzverordnung – VersatzV) vom 24.7.02 und die Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung – DepV) vom 24.7.02.

Versatz

Die Versatzverordnung regelt die Verwertung von Abfällen als Versatzmaterialien in untertägigen Grubenbauen. Sie basiert im Wesentlichen auf dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (§ 7 und §41).

In der Verordnung wird der Rückgewinnung von Metallen aus den Abfällen als höherwertigerer Verwertung der Vorrang eingeräumt. Ab bestimmten Metallgehalten wird der Abfall nicht mehr für den Versatz zugelassen. Die Grenzwerte sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt.

Tabelle 3-4 Grenzwertkonzentrationen für Metalle im Abfall gemäß Versatzverordnung

Metall	Grenzwertkonzentration (g/kg)
Zink	≥ 100
Blei	≥ 100
Kupfer	≥ 10
Zinn	≥ 15
Chrom	≥ 150
Nickel	≥ 25
Eisen	≥ 500

Nach §4 der Versatzverordnung ist der Einsatz eines Abfalls als Versatzmaterial nur zulässig, wenn die genannten Grenzwertkonzentrationen für organische und anorganische Schadstoffe und die Zuordnungswerte für den organischen Anteil im Abfall eingehalten werden. Von dieser Anforderung abweichend werden folgende Ausnahmen definiert (§ 4 Satz 2 und 3):

- a. Die geogenen Grundgehalte des Wirtsgesteins sind höher als die aufgeführten Grenzwerte und werden vom eingelagerten Abfall nicht überschritten.
- b. Im Wirtsgestein Kohle- und Nebengestein werden Abfälle aus der Kohleverfeuerung versetzt.
- c. Für das Wirtsgestein Salz liegt ein Langzeitsicherheitsnachweis vor. Dann sind lediglich die Zuordnungswerte, die den organischen Anteil im Abfall begrenzen, zu berücksichtigen.

In der Praxis wird Bergversatz mit Abfällen überwiegend in Versatzbergwerken im Salzgestein mit einem Langzeitsicherheitsnachweis durchgeführt. Entsprechend

wird diese Variante einschließlich der Bedeutung des Langzeitsicherheitsnachweises nachfolgend näher erläutert.

Den Hinweisen zur Durchführung eines Langzeitsicherheitsnachweises im Rahmen der standortbezogenen Sicherheitsbeurteilung wird die Anforderung, „die für Versatzmaßnahmen ... zutreffende Regelungen der TA Abfall, insbesondere zum Langzeitsicherheitsnachweis, gleichwertig anzuwenden“ (VersatzVO, Anlage 4, Nr. 1.2), voran gestellt. Die standortbezogene Sicherheitsbeurteilung gliedert sich in die folgenden Einzelnachweise:

- Der geotechnische Standsicherheitsnachweis soll die gebirgsmechanische Stabilität des Gebirges in der Betriebs- und der Nachbetriebsphase sowie die stabilisierende Wirkung der eingebrachten Abfälle nachweisen. In Anlage 4 der Versatzverordnung werden sehr konkrete Anforderungen an erforderliche Informationen und zu lösende Aufgaben gestellt.
- Der Sicherheitsnachweis für die Betriebsphase muss die Betriebssicherheit nachweisen. Dazu sind die Betriebsabläufe zu analysieren und die Auswirkungen von Betriebsstörungen zu bewerten. Die Versatzverordnung konkretisiert diese Vorgaben aus der TA Abfall nicht weiter.
- Der Langzeitsicherheitsnachweis ist der übergreifende und zusammenfassende Nachweis. Er bewertet auf Basis der beiden anderen Nachweise die natürlichen Barrieren, die technischen Eingriffe und die technischen Barrieren. In ihm erfolgt eine Bewertung der Ereignisse, die den vollständigen Einschluss gefährden oder eine Mobilisierung von Schadstoffen bewirken könnten. Er schließt mit einer zusammenfassenden Bewertung des Gesamtsystems.

Von den Ergebnissen des Langzeitsicherheitsnachweises unberührt bleiben Auflagen, die sich aus dem Gesundheits- und Arbeitsschutz sowie der Bergsicherheit ergeben. Auch daraus resultiert eine Begrenzung bestimmter Schadstoffgehalte und unzulässiger Abfalleigenschaften im zum Versatz zugelassenen Abfall.

Untertagedeponien

Die Regelungen, die die Versatzverordnung für den Bergversatz festlegt, werden für Untertagedeponien (UTD) in der Deponieverordnung behandelt. Die Deponieverordnung regelt umfassend die Beseitigung von Abfällen auf Deponien bzw. in Langzeitlagern. Mit Verweis auf die TA Abfall werden Vorgaben zum Betrieb wie z. B. Annahmekontrollen, Dokumentation, Überwachung der Emissionen und der Standsicherheit gemacht. Darüber hinaus werden Anforderungen an die Stilllegung und die Nachsorge, an die finanzielle Leistungsfähigkeit auch für den Nachsorgezeitraum und erforderliche Unterlagen und Angaben bei Anträgen bzw. Anzeigen gestellt.

Die Deponien werden in die Klassen 0 bis IV eingeteilt. Bei einer Deponie der Klasse IV handelt es sich um die hier betrachtete Untertagedeponie. Sie wird als ein Ab-

lagerungsbereich in einem Bergwerk oder einer Kaverne definiert, die den eingelagerten Abfall vollständig im Gestein einschließt.

Voraussetzung für die Ablagerung von gefährlichen Abfällen und Inertabfällen, soweit sie Untertagedeponien betreffen, ist eine der folgenden:

- die Erfüllung der Anforderungen an eine Untertagedeponie (Deponieklasse IV) im Salzgestein,
- die Einhaltung der in der Verordnung festgelegten Zuordnungskriterien für stabile, nicht reaktive Abfälle und die Erfüllung der Anforderungen an eine Untertagedeponie (Deponieklasse IV) in einem anderen Gestein als Salzgestein.

Die Anforderungen an Untertagedeponien im Salzgestein oder einem anderen Wirtsgestein sind gleich. Für beide wird auf die Einhaltung bzw. die sinngemäße Einhaltung der Anforderungen nach TA Abfall verwiesen (§3 Absatz (5) Deponieverordnung). Für die Anforderungen an den Langzeitsicherheitsnachweis im Rahmen der standortbezogenen Sicherheitsbeurteilung werden im Anhang 2 der Deponieverordnung zusätzliche Hinweise gegeben, die für beide Arten Untertagedeponien (sinngemäß) einzuhalten sind.

In der Deponieverordnung sind die Anforderungen an den Langzeitsicherheitsnachweis quasi gleichlautend zu der Versatzverordnung formuliert, so dass hier auf die wiederholte Beschreibung verzichtet wird.

Die in Deutschland betriebenen Untertagedeponien befinden sich alle im Salzgestein. Nach der Verordnung werden für diese Deponien Abfälle mit folgenden Eigenschaften prinzipiell ausgeschlossen:

- Flüssige Abfälle,
- Infektiöse Abfälle, Körperteile, Organe,
- Nicht identifizierte oder neue chemische Abfälle mit unbekanntem Auswirkungen auf Mensch und Umwelt,
- Altreifen,
- Abfälle mit erheblicher Geruchsbelästigung,
- Nach Gefahrstoffverordnung explosionsgefährliche, hoch entzündliche oder leicht entzündliche Abfälle,
- Abfälle, deren Reaktionen untereinander oder mit dem umliegenden Gestein zu Volumenvergrößerungen, zur Bildung selbstentzündlicher, toxischer oder explosiver Stoffe oder Gase oder zu sonstigen die Betriebssicherheit bzw. die Integrität der Barrieren störenden Auswirkungen führen.

3.1.3 Technische Beschreibung von Versatzarten und Einlagerungstechniken

Als mögliche Versatzarten bzw. Einlagerungstechniken stehen den Versatzbergwerken bzw. den Untertagedeponien verschiedene Verfahren zur Verfügung:

- Hydraulischer Versatz (Spül-, Pump- und Dickstoffversatz),
- Gebindeeinlagerung (Big Bag, Fässer, Container),
- Schütt-, Kipp-, Sturz- oder Schiebeversatz,
- Pneumatischer Versatz (Blasversatz).

In einigen Bergwerken werden auch verschiedene Verfahren nebeneinander betrieben, z.B. Gebindeeinlagerung und Schüttversatz oder Gebindeeinlagerung und hydraulischer Versatz.

Das angewendete Verfahren richtet sich nach dem Zweck des Bergwerkes (Versatz im Gegensatz zu Untertagedeponie), nach den örtlichen Gegebenheiten, den vorhandenen Anlagen und nach den Eigenschaften des zugelassenen Abfalls. Nachfolgend werden die einzelnen Verfahren näher dargestellt.

3.1.3.1 Hydraulischer Versatz (Spül-, Dickstoff- und Pumpversatz)

Hydraulischer Versatz erfolgt beispielsweise in den Versatzbergwerken Bleicherode, Sondershausen und Unterbreizbach [Behnsen 2001].

Beim hydraulischen Versatz werden in der Regel feinkörnige und körnige Abfälle mit einer Salzlösung (Versatz im Salzgestein), deren Mindestkonzentration vorgeschrieben ist, um das Wirtsgestein nicht aufzulösen, zu einer frei fließenden, sich selbst nivellierenden (Spülversatz) oder verpumpbaren (Pumpversatz) Versatzmasse vermischt. Bei den verwendeten Lösungen handelt es sich im Allgemeinen um Abfallprodukte.

Zwischen den beiden Versatzverfahren besteht ein wesentlicher Unterschied. Beim Spülversatz stellt die Anmischflüssigkeit das Transportmedium für das Versatzgut dar. Der überschüssige Anteil drainiert aus dem Versatzmaterial aus, wird an der tiefsten Stelle der Grube gesammelt und zum Wiedereinsatz in die Mischanlage gepumpt. Diese Versatzart wird im Bergwerk Bleicherode angewendet. Als Anmischflüssigkeit wird Grubenlauge mit einer Mindestkonzentration von 240 g/l $MgCl_2$ verwendet.

Beim Pumpversatz wird die zur Anmischung verwendete Flüssigkeit (Salzlösung bzw. Wasser) hingegen vollständig im Versatzmassiv gebunden, so dass der Pumpversatz überwiegend fluidablauffrei erfolgt. Diese Versatzform wird z. B. im Versatzbergwerk Sondershausen angewendet. Hier wird der so genannte Versatzmörtel aus den Komponenten Asche aus Müllverbrennungsanlagen wegen der wasserbindenden Eigenschaften, grobkörniger Gießereisand zur Verbesserung der Festig-

keit und der Abtrocknung und Aschen aus der Klärschlammverbrennung zur Erhöhung der Dichte hergestellt [Hellmann 2001].

In beiden Fällen wird das Versatzgut nach der über oder unter Tage stattfindenden Vermischung über ein geschlossenes Rohrleitungssystem in die zu verfüllenden Hohlräume befördert und härtet in der Versatzkammer zu einem mörtelähnlichen Material aus. Mit diesen Verfahren ist eine vollständige (firstschlüssige) Verfüllung der Hohlräume möglich.

Voraussetzung für die Anwendung hydraulischer Verfahren im Salzgestein ist entweder die Verwendung von gesättigten Salzlösungen oder das vollständige Abbinden der verwendeten Spüllösung, um Auflösungserscheinungen an den Sicherheitspfeilern soweit wie möglich zu verhindern.

Der Spülversatz kommt vor allem im Salzgestein zum Einsatz. Der Pumpversatz wird sowohl im Salzgestein als auch in Kohlebergwerken angewendet. Bei den Letztgenannten wird Pumpversatz insbesondere bei der sogenannten Bruchhohlraumverfüllung angewendet. Das Versatzmaterial wird dabei nach dem Verbrauch des Hohlräume in die verbleibenden Zwischenräume eingepresst.

3.1.3.2 Gebindeeinlagerung / Stapelversatz

Die Gebindeeinlagerung ist in Varianten in allen Untertagedeponien die Einlagerungstechnik der Wahl [Behnen 2001]. Auch beim Bergwerksversatz wird das Einlagerungsverfahren als so genannter Stapelversatz angewendet. Da mit dem Stapelversatz alleine keine gebirgsschlüssige Verfüllung hergestellt werden kann, werden entweder zusätzlich lose Abfälle eingebracht (Schüttversatz) oder Hohlräume mit feinem Wirtsgestein (Steinsalz) verfüllt. Bei den Untertagedeponien wird lediglich bei der UTD Heilbronn der Resthohlraum mit Steinsalzaufbereitungsrückständen firstbündig zugeschleudert.

Je nach Anlage werden die Abfälle bereits beim Abfallerzeuger in Big Bags, Fässer oder Container abgefüllt und einsatzbereit angeliefert. Alternativ besteht bei einigen Anlagen die Möglichkeit, die Abfälle in LKWs oder per Bahn anzuliefern, vor Ort in Standsilos umzuschlagen und in Big Bags abfüllen zu lassen.

In den Untertagedeponien sowie in einigen Versatzbergwerken werden die Abfallgebände direkt eingelagert. In den Versatzbergwerken Hattorf und Kochendorf erfolgt dagegen eine Konditionierung. Dabei werden aus angelieferten Abfällen durch gezieltes Vermischen von trockenen und feuchten Abfällen oder durch Zusatz von Zuschlagstoffen (z. B. Zement) und Anmischflüssigkeit (Wasser, Fabriklösungen) zu trockenen Abfällen Versatzmischungen hergestellt. Die Herstellung der Versatzmischungen erfolgt nach behördlich zugelassenen Rezepturen. Die Versatzmischung wird in Big Bags zur Aushärtung gefüllt. Das Versatzbergwerk Wintershall wählt eine andere Vorbehandlung. Hier wird der Inhalt der Big Bags mechanisch mittels Rütteltisch verdichtet.

Die Big Bags bzw. Fässer oder Container werden über die Schachtröhre oder einen Schrägschacht nach unter Tage verbracht. Unter Tage werden die Gebinde mittels Lkw an die Versatzkammern transportiert und mit Gabelstaplern lagenweise eingesetzt. In den Versatzbergwerken erfolgt anschließend die Resthohlraumverfüllung.

Die Gebindeeinlagerung bzw. der Stapelversatz erfolgt in den Untertagedeponien Herfa-Neurode, Zielitz und Heilbronn sowie in den Versatzbergwerken Bleicherode, Hattorf, Kochendorf, Sondershausen, Stetten und Wintershall.

3.1.3.3 Schüttversatz (Kipp-, Sturz- oder Schiebeversatz)

Beim Schüttversatz wird loses Material in die zu versetzenden Hohlräume eingebracht. Je nach Art des Abladens und Einbaus wird der Schüttversatz in Kipp-, Sturz- und Schiebeversatz unterschieden.

In den Versatzbergwerken im Salzgestein Bernburg, Teutschenthal und Kochendorf wird Abfall mittels Schüttversatz versetzt. In Kochendorf ergänzt der Schüttversatz den Stapelversatz. In den anderen beiden Bergwerken können aber ebenfalls Gebinde eingebaut werden.

Je nach Art der zur Annahme genehmigten Abfälle wird aus verschiedenen Abfällen anhand der physikalischen Eigenschaften eine Versatzmischung hergestellt. Diese unterliegt behördlich zugelassenen Rezepturen. Gegebenenfalls wird der Abfall auch direkt verwertet.

Zur Beförderung unter Tage dienen entweder Container oder Schachtfalleitungen bis zur Zwischenstapelung in Silobehältern. Für den untertägigen Transport werden Schaufellader, Muldenkipper oder LKW eingesetzt. Sie werden entweder aus den Silos befüllt oder nehmen die Container auf. Am Einlagerungsort wird die Versatzmischung abgekippt bzw. in tiefer liegende Grubenhohlräume verstürzt. Anschließend wird das Material lagenweise verdichtet. Die Verdichtung des in der Versatzkammer abgekippten Versatzmaterials erfolgt durch Überfahren mit schwerem Gerät. In Kochendorf werden zusätzliche Zwischenschichten aus Steinsalz eingebaut, damit die Ladefahrzeuge nicht auf den Abfällen fahren. Der firstbündige Abschluss wird mittels Schiebeschildefahrzeugen oder Schubwandschleuderfahrzeugen erreicht.

Da die schadstoffhaltigen Abfälle offen gehandhabt werden, muss nach der Gesundheitsschutz-Bergverordnung [GesBergV 1991] beim Schüttversatz aus Gründen des Arbeits- und Gesundheitsschutzes darauf geachtet werden, dass nur gering kontaminierte Abfälle gehandhabt werden. Gemäß GesBergV ist insbesondere auch die Staubbelastung an den verschiedenen Arbeitsplätzen (z. B. bei Lade- und Schüttvorgängen) zu begrenzen.

3.1.3.4 Pneumatischer Versatz (Blasversatz)

Der pneumatische Versatz (Blasversatz) wird nur in Kohlebergwerken praktiziert. Lediglich im Salzbergwerk Unterbreizbach wurde bis zum Jahr 1999 das Versatzmaterial pneumatisch bis in den Versatzbereich gefördert. Dabei wird das Versatzmaterial mit Druckluft in die Hohlräume eingeblasen.

Heute erfolgt nur noch der Transport des Versatzmaterials nach unter Tage pneumatisch. Dort wird ein Dickstoff hergestellt, der dann in den Versatzbereich gepumpt wird und dort vollständig abbindet.

3.1.4 Technische Beschreibung der Abläufe

Für jede Deponie bzw. jedes Versatzbergwerk sind bestimmte Abfälle bzw. Abfallgruppen zugelassen.

Die Anlieferung erfolgt entweder per LKW oder kombiniert per Bahn und LKW. Je nach Anlage und nach Abfallart werden die Abfälle bereits verpackt oder lose angeliefert. Beim Entsorger wird als erster Schritt eine Annahmekontrolle als Sicherheitsbarriere durchgeführt. Die Anlieferung erfolgt mit Begleitscheinsatz. Stichprobenartig werden Abfallgebände geöffnet und der Inhalt kontrolliert. Ergänzend werden chemische Analysen durchgeführt, das Vorhandensein toxischer oder explosibler Gase oder radioaktiver Inhaltsstoffe geprüft. Von jeder Abfalllieferung werden Rückstellproben entnommen und für spätere Kontrollen aufbewahrt. Die auf diese Weise durchgeführte Identitätskontrolle des Abfalls trägt zur Sicherheit der Untertagedeponie bzw. des Versatzbergwerkes bei.

Anschließend wird in Abhängigkeit der Art der Abfälle, der Art der Einlagerung und den Möglichkeiten vor Ort unterschiedlich mit den Abfällen umgegangen. Beispielsweise können lose Abfälle verpackt werden (meist in Big Bags). Verpackte Abfälle können ausgepackt und mit anderen Abfällen oder Zuschlagstoffen nach behördlich zugelassenen Rezepturen vermischt werden. Durch die Vermischung sollen entweder pumpfähige oder pneumatisch förderbare Suspensionen oder durch Aushärten stapelbare Gebände entstehen.

Je nach Versatz- bzw. Einlagerungsart und den örtlichen Gegebenheiten erfolgt dann der Transport nach Untertage. Untertägig werden die Abfälle zu dem jeweiligen Einlagerungsort transportiert. Gleichartige Abfälle werden in Stoffgruppen zusammengefasst und in Einlagerungsbereichen getrennt nach Stoffgruppen abgelagert. Der Abschluss eines Einlagerungsbereiches erfolgt durch Abmauerung und später durch Dämme.

Über den Einlagerungsort und -zeitpunkt wird eine genaue Dokumentation geführt. Bei den Untertagedeponien, die keine Resthohlraumverfüllung durchführen, wird so zusätzlich eine Wiederauslagerung der Abfallgebände auch nach längerer Zeit ermöglicht. Beispielsweise wurden aus der Untertagedeponie Herfa-Neurode rd.

15000 Fässer wieder ausgelagert. Wegen des technischen Fortschritts bei der Verwertung wurden diese Materialien wieder dem Produktionsprozess zugeführt [Kind 1991]. Nach dem endgültigen Verschluss der Untertagedeponie ist die Rückholung von Abfällen nicht mehr möglich.

3.2 Sonderabfallverbrennung und Mitverbrennung

Im Anhang 3 befinden sich die Beschreibungen zu folgenden Technologien:

- Herkömmliche Sonderabfallverbrennungsanlagen,
- Verbrennungsanlagen für kohlenteeerhaltige Bitumengemische,
- Mitverbrennung im Zementwerk,
- Sonstige Verbrennungsanlagen:

An dieser Stelle wird die Relevanz dieser Technologien für die weitere Bearbeitung dargestellt.

Die Sonderabfallverbrennung spielt in diesem Projekt nur eine kleine Rolle, denn der Fokus liegt auf heizwertarmen Abfällen, da nur diese im Bergversatz verwertet werden können. Die Obergrenze des TOC für Abfälle, die in den Bergversatz gehen, liegt nach der Versatzverordnung bei 6%. Betrachtet man die entsorgten Mengen (vgl. Kap. 2.3), stellt man fest, dass von den ausgewählten Abfällen nur rund 400.000 t verbrannt werden. Hiervor fallen bereits 309.000 t unter die AVV-Nr. 19 02 04* (vorgemischte Abfälle, die wenigstens einen gefährlichen Abfall enthalten). Unter diesem Abfallschlüssel werden sowohl Abfälle eingeordnet, die für eine spätere Deponierung einer Vormischung unterzogen werden, als auch Abfälle mit einem höheren Heizwert, die für eine spätere Verbrennung mit anderen Stoffen, beispielsweise mit Sägespänen, vorgemischt werden. Es ist davon auszugehen, dass es sich bei den 309.000 t überwiegend um solche heizwertreichen Abfälle handelt, die im Rahmen dieses Projekts nicht Untersuchungsgegenstand sind. Ansonsten werden folgende Abfälle mit Mengen über 5.000 t/a verbrannt: 17 03 01* (kohlenteeerhaltige Bitumengemische; 9.613 t); 17 05 03* (Böden und Steine, die gefährliche Stoffe enthalten; 41.225 t); 19 02 05* (Schlämme aus der physikalisch-chemischen Behandlung, die gefährliche Stoffe enthalten; 10.969 t) und 19 07 02* (Deponiesickerwasser, das gefährliche Stoffe enthält; 10.969 t).

Hinzu kommen noch die Mengen, die im Zementwerk mit verbrannt werden. Nach der Auswertung in Kap. 2.3 waren dies in 2003 im Wesentlichen rund 13.500 t vom Abfall 19 02 04* (vorgemischte Abfälle, die wenigstens einen gefährlichen Abfall enthalten). Bei letzterem ist, wie im vorherigen Abschnitt erläutert, von vorgemischten heizwertreichen Abfällen auszugehen, die nicht Gegenstand dieser Untersuchung sind.

Auf dem 2. Workshop des Begleitkreises wurde entschieden, die Verbrennung nicht näher zu betrachten.

3.3 Aufbereitung von Aschen aus der Hausmüllverbrennung

Im Anhang 4 werden folgende Verfahren der MVA-Aschenaufbereitung kurz dargestellt:

- Konventionelle Aufbereitung von MVA-Aschen,
- Weitergehende Aufbereitung von MVA-Aschen.

Im zweiten Workshop des Begleitkreises haben sich die Teilnehmer darauf verständigt, die Entsorgung des Abfalls 19 01 11* (Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken, die gefährliche Stoffe enthalten) zu untersuchen. Kontrovers diskutiert wurde die Untersuchung des Abfalls 19 01 12 (Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 01 11 fallen). Aus Sicht des Öko-Instituts hat dieser Abfall jedoch eine hohe Relevanz aufgrund der hohen Mengen und der aktuellen Diskussion über die Überarbeitung der Zuordnungswerte, so dass auch dieser Abfall vertieft betrachtet wird.

3.4 Aufbereitung von Filterstäuben aus der Müllverbrennung

Im Anhang 4 werden folgende Verfahren der Aufbereitung von Filterstäuben aus der Müllverbrennung dargestellt:

- Schwermetallentfrachtung von Filterstäuben (Laborversuch bzw. Pilotanlage),
- Integrierte Flugaschenbehandlung der KVA Emmenspitz.

Da sich die oben aufgeführten Verfahren zur Aufbereitung von Filterstäuben aus der Müllverbrennung entweder noch in einem Versuchsstadium befinden oder sich in Deutschland aus wirtschaftlichen Gründen nicht durchgesetzt haben, wird keines dieser Verfahren näher betrachtet.

3.5 Mechanische Aufbereitung von Strahlsanden

Ein mechanisches Reinigungsverfahren für mineralische und metallische Strahlmittel wird im Anhang 4 dargestellt.

Das Aufkommen des Abfalls 12 01 16* (Strahlmittelabfälle, die gefährliche Stoffe enthalten) liegt bei rund 18.000 t/a. Hiervon werden rund 5.000 t/a auf verschiedene Weisen verwertet. Welcher Anteil einer hochwertigen mechanischen Aufbereitung wie sie oben beschrieben ist, zugeführt wird, ist aufgrund mangelnder Daten nicht zu beziffern. Hohe Datenunsicherheiten ergeben sich weiterhin daraus, dass sich die einzelnen Abfallchargen in Abhängigkeit von der Art des Strahlmittels (Guss, Sand, Schlacke) und Art der bestrahlten Oberfläche stark unterscheiden.

Aus den genannten Gründen wird das Verfahren in der weiteren Bearbeitung vorerst nicht näher betrachtet. Es ist jedoch anzumerken, dass die Aufbereitung von MVA-Schlacken einige verfahrenstechnische Ähnlichkeiten zur mechanischen Aufberei-

tion von Strahlsanden aufweist, so dass die Ergebnisse, die bei der detaillierten Betrachtung der Aufbereitung von MVA-Schlacken erzielt werden, möglicherweise auf die Aufbereitung von Strahlsanden übertragbar sind.

3.6 Verfahren zur Metallaufbereitung

Der Übersichtlichkeit halber werden auf den folgenden Seiten für die einzelnen Verfahren zur Metallaufbereitung deren Eignung und Relevanz für die ausgesuchten Abfälle diskutiert. Die Darstellung der technischen Funktionsweisen der Anlage befindet sich vollständig im Anhang 4.

3.6.1 Zinkanreicherung nach dem Wälzverfahren

Der Hauptinput in Anlagen nach dem Wälzverfahren sind Stahlwerksstäube. Alternativ können die Stahlwerksstäube recycelt werden im DK-Prozess der DK Recycling und Roheisen GmbH, in der Anlage der Fa. Citron AG nach dem Oxyreducer-Prozess, im Elektroreduktionsverfahren der B.U.S. Steel Services GmbH, im Plas-maverfahren der B.U.S. Steel Services GmbH und im PRIMUS-Prozess. Da sich die drei letztgenannten Anlagen alle im europäischen Ausland befinden und die Anlage nach dem DK-Prozess einen geringeren Durchsatz an Stahlwerksstäuben als die Wälzanlagen hat⁵, wird das Wälzverfahren, das an drei Standorten in Deutschland betrieben wird, für das Recycling von Stahlwerksstäuben vertieft betrachtet.

3.6.2 DK Recycling und Roheisen GmbH

Tabelle 3.5 zeigt die in der DK Recycling und Roheisen in 2004 entsorgten Abfälle sowie die mittleren Zinkgehalte dieser Abfälle.

⁵ Kapazität der Wälzanlagen in Deutschland rund 250.000 t/a [Saage Hasche 2003] [Kerney 2003]. Entsorgte Abfälle mit AVV-Nr. 10 02 07* bei der DK in 2004 nach Statistik des LUA NRW: 58.000 t/a [AIDA 2006].

Tabelle 3-5 Entsorgte Mengen bei der DK Recycling und Roheisen GmbH in 2004 und durchschnittliche Zinkgehalte⁶

AVV-Nr.	Abfallbezeichnung	Entsorgte Menge in 2004 t	Durchschnittlicher Zinkgehalt mg/kg
10 02 07*	feste Abfälle aus der Abgasbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten (Stahlwerksstäube u.a.)	58.000	89.000
10 02 13*	Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten (Gichtgasschlämme u.a.)	19.000	122.000
10 02 14	Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung mit Ausnahme derjenigen, die unter 10 02 13 fallen (Gichtgasschlämme u.a.)	16.000	k.A.
11 01 08*	Phosphatierschlämme (aus der chem. Oberflächenbehandlung)	1.200	55.000
11 01 09*	Schlämme und Filterkuchen, die gefährliche Stoffe enthalten (Galvanikschlämme u.a.)	2.100	66.000

Vergleicht man die Zinkgehalte der in der DK GmbH entsorgten Abfälle mit den Feststoffgehalten in den anderen 50 ausgewählten Abfällen, so zeigt sich, dass die in der DK GmbH entsorgten Abfälle alle äußerst hohe Zinkgehalte aufweisen. Höhere Zinkgehalte weisen nur die Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung der thermischen Zinkmetallurgie (10 05 06*) auf, die jedoch bundesweit nur einen geringen Anfall (rund 300 t) haben.

Für die Stahlwerksstäube, die Phosphatierschlämme und die Galvanikschlämme gibt es neben dem DK-Prozess weitere metallurgische Verfahrenswege. Für die Gichtgasschlämme jedoch gibt es nach derzeitigem Kenntnisstand kein anderes metallurgisches Verfahren, das größere Mengen wiederverwertet. Auf dem 2. Workshop wurde aus diesem Grunde diskutiert, ob die Gichtgasschlämme vertieft betrachtet werden. Da die Diskussion gezeigt hat, dass dieser Abfall derzeit eine geringe Rolle im Bergversatz spielt, wurden die Gichtgasschlämme nicht in die nähere Auswahl der zu bearbeitenden Abfälle aufgenommen. Statt dessen wird die Verwertung der zinkhaltigen Elektrostahlwerksstäube in der Wälzanlage in der weiteren Bearbeitung vertieft betrachtet.

⁶ Entsorgte Mengen nach der Statistik AIDA des LUA NRW [AIDA 2006]. Durchschnittliche Zinkgehalte: Mittelwerte gemäß der Auswertung in Kap. 2.

3.6.3 Anlage der Fa. Citron AG nach dem Oxyreducer-Prozess

Dieses Verfahren wird nicht näher betrachtet, da es mit dem Standort Le Havre weit entfernt ist und stattdessen andere in Deutschland etablierte metallurgische Verfahren betrachtet werden. Interessant wäre das Verfahren allenfalls für Filterstäube aus der Müllverbrennung, für die es in Deutschland derzeit keine metallurgische Verwertung gibt. Die Statistik zur grenzüberschreitenden Verbringung von Abfällen (Datenerhebung nach dem Umweltstatistikgesetz – Transit) zeigt jedoch, dass in 2004 keine Rückstände aus der Müllverbrennung exportiert wurden.

3.6.4 Elektroreduktionsverfahren der B.U.S. Steel Services GmbH

Nach [Meurer Buntenbach] ist die Anlage in Valera in Europa die Anlage mit der größten Kapazität zur Behandlung von Reststoffen aus der Edelstahlproduktion mit einem Marktanteil von fast 50%. In Deutschland gibt es keine Großanlage, so dass in der weiteren Untersuchung anhand dieser Anlage das Recycling von Stäuben aus der Edelstahlproduktion betrachtet wird.

Die nähere Betrachtung dieser Stäube ist aufgrund der hohen Gehalte von Cr, Ni, Zn und Fe für diese Untersuchung von besonderem Interesse⁷.

3.6.5 Plasmaverfahren der B.U.S. Steel Services GmbH

Das Plasmaverfahren basiert zwar auf einer anderen Technologie als das Elektroreduktionsverfahren, weist aber hinsichtlich des Inputs und Outputs Ähnlichkeiten auf. Nach [Meurer Buntenbach 2001] liegen die Recyclingraten und die Verbräuche in der gleichen Größenordnung, so dass das Plasmaverfahren nicht zusätzlich betrachtet wird, sondern ausschließlich die Verwertung von Stäuben aus der Edelstahlproduktion im Elektroreduktionsverfahren detaillierter untersucht wird.

3.6.6 PRIMUS-Prozess

Der PRIMUS-Prozess mit dem Standort Luxemburg wird nicht näher betrachtet, da alternativ das Wälzverfahren am Beispiel der Stahlwerksstäube untersucht wird, das in Deutschland an drei Standorten betrieben wird.

⁷ Die Auswertung der Abfalleigenschaften (vgl. Kap. 2.4) hat gezeigt, dass die Metallgehalte bei Stäuben aus der Edelstahlproduktion in folgender Größenordnung liegen⁷: Cr ges 10 – 13 %, Ni 2 – 3 %, Pb 0,1 – 2 %, Cu 0,3 %; Zn 3 – 10 % und Fe 29 – 38 %.

3.6.7 Imperial-smelting-Prozess

Da die deutsche Anlage nach dem Imperial-smelting-Prozess stillgelegt ist, wird sie nicht näher betrachtet.

3.6.8 Metallhütte von Umicore

Im Rahmen dieser Untersuchung wird die Metallhütte von Umicore 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 unser Projekt relevanten Stoffen wie Kupfer, Nickel und Blei weniger als 10% der Wertschöpfung erzielt werden kann. Damit ist die Anlage von Umicore für unsere ausgewählten 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 t dar, so dass eine Betrachtung im Rahmen dieses Projekts nicht zielführend ist.

3.6.9 Sekundärkupferhütte Hüttenwerke Kayser

Das Hauptziel der Sekundärkupferhütte ist die Kupfererzeugung (Kupferkathoden). Die Nebenprodukte wie Mischzinn, Nickelsulfat und Anodenschlamm (Edelmetallkonzentrat) machen nur rund 3% des Metalloutputs aus (vgl. Input-Out-Bilanz in NA 2005].

Die Abfälle mit den höchsten Kupfergehalten im Rahmen dieser Untersuchung sind die Galvanikschlämme mit einem durchschnittlichen Kupfergehalt von 3 % bzw. Monoschlämme mit durchschnittlich rund 10% Kupferanteil. Für diese wird die Verwertung in der Kupferraffination betrachtet.

3.6.10 Sekundärbleihütten

Die Bleigehalte einiger ausgewählter Abfälle liegen für die Mittelwerte gemäß Auswertung in Kap. 2 in den in Tabelle 3.6 angegebenen Größenordnungen.

Tabelle 3-6 Durchschnittliche Bleigehalte einiger ausgewählter Abfälle

AVV-Nr.	Abfallbezeichnung	Durchschnittlicher Bleigehalt %
10 02 07*	festen Abfälle aus der Abgasbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten (Stahlwerksstäube u.a.)	1,6
10 02 13*	Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten (gefährliche Gichtgasschlämme u.a.)	0,5
10 02 14	Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung mit Ausnahme derjenigen, die unter 10 02 13 fallen (Gichtgasschlämme)	0,3
19 01 05*	Filterkuchen aus der Abgasbehandlung (aus der Abfallverbrennung)	0,2
19 01 07*	Feste Abfälle aus der Abgasbehandlung (aus der Abfallverbrennung)	0,3
19 01 13*	Filterstaub, der gefährliche Stoffe enthält (aus der Abfallverbrennung)	0,6

Deutlich höhere Bleigehalte weisen nur die Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung der thermischen Zinkmetallurgie (10 05 06*) auf, die jedoch bundesweit nur einen geringen Anfall (rund 300 t) haben. Die anderen ausgewählten Abfälle haben zum Großteil deutlich niedrigere Bleigehalte. Damit sind die ausgewählten Abfälle aus der Perspektive des Bleirecyclings für einen direkten Einsatz in Sekundärbleihütten nicht von Interesse. Diese arbeiten vielmehr mit Produkten wie Bleibatterien und Bleischrott, die Bleianteile im zweistelligen Prozentbereich haben.

3.6.11 Nickelhütte Aue

Die Nickelgehalte der Abfälle mit höherem Ni-Gehalt liegen für die Mittelwerte gemäß Auswertung in Kap. 2 in folgenden Größenordnungen:

Tabelle 3-7 Nickelgehalte und Aufkommen einiger nickelhaltiger Abfallarten

AVV-Nr.	Abfallbezeichnung	Entsorgte Menge in 2004 t	Durchschnittlicher Zinkgehalt %
10 02 07*	feste Abfälle aus der Abgasbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten (Stahlwerksstäube u.a.)	58.000	0,4 (Maximalwert: 4%)
11 01 08*	Phosphatierschlämme (aus der chem. Oberflächenbehandlung)	1.200	0,1
11 01 09*	Schlämme und Filterkuchen, die gefährliche Stoffe enthalten (Galvanikschlämme u.a.)	703.000	1,8 (Maximalwert: 26%)
11 02 02*	Schlämme aus der Zink-Hydrometallurgie (einschließlich Jarosit, Goethit)	156.000	0,2
19 01 11*	Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken, die gefährliche Stoffe enthalten	220.000	0,2

Die Tabelle zeigt, dass die Nickelgehalte in der Regel unter einem Prozent liegen und von daher eine detaillierte Bilanzierung der Nickelhütte Aue für die Untersuchung nicht von Interesse ist. Interessant wäre lediglich die Untersuchung von Stäuben aus der Edelstahlproduktion mit hohem Nickelanteil (Maximalwerte bis 4 %) oder die Untersuchung von Galvanikschlämmen mit hohen Nickelanteilen (Maximalwerte bis 26 %). Die Stäube aus der Edelstahlproduktion werden näher für das pyrometallurgische Verfahren der Elektroreduktion untersucht, wo neben Nickel auch Zink-, Blei-, Eisen- und Chromverbindungen einer Verwertung zugeführt werden. Für die Galvanikschlämme wird bereits die Verwertung in der Kupferraffination betrachtet.

3.7 Aufbereitung von Bau- und Abbruchabfällen

Für die Aufbereitung von Bau- und Abbruchabfällen werden zahlreiche Verfahren angewendet. In Anhang 4 sind die Verfahren zur Aufbereitung von

- kontaminiertem Bodenaushub,
- Straßenaufbruch,
- Bauschutt und
- Gleisschotter

beschrieben. Hinsichtlich der Aufbereitung von kontaminiertem Bodenaushub wird auf die biologische Behandlung in Mieten (die Behandlung in Beeten oder Reakto-

ren spielt in Deutschland keine Rolle, so dass auf eine Beschreibung verzichtet wird), die klassierende und die Hochdruck-Bodenwäsche sowie auf die thermischen Verfahren (Verbrennung, Niedertemperaturverbrennung, Pyrolyse und Vakuumdestillation) eingegangen.

3.8 Konditionierungsverfahren

Im vorliegenden Projekt werden die Konditionierungsverfahren betrachtet, die für die ausgewählten Abfälle von praktischer Bedeutung sind. Hierbei handelt es sich um Verfestigungsverfahren, Einbindungsverfahren und eventuell Verfahren zur Teilstabilisierung. Hier wiederum überwiegen die Verfestigungs-Verfahren, während die Verglasung, die Verdichtung und die Verziegelung in Deutschland kaum eine Rolle spielt. Im Folgenden wird darum ausschließlich ein Überblick über die gängigsten Verfestigungsverfahren gegeben.

Bei fast allen angebotenen Verfahren findet eine physikalische Einkapselung der Schadstoffe statt. Sie werden durch das zugegebenen Bindemittel bzw. die zugegebenen Additive umschlossen. Dabei wird die Porosität des Materials reduziert und die Verbindungswege nach außen abgeschlossen, so dass eine Wasserinfiltration nicht mehr möglich sein soll. Die Auslaugung ist auf die Oberfläche bzw. Bruchflächen des Produkts beschränkt. Häufig eingesetzte Bindemittel sind Flugaschen, Zement, Kalk, Gips, Schlacken und organische Bindemittel (Thermoplaste oder Polymere).

Zusätzlich zur physikalischen Einkapselung kann ein chemischer Einbau der Schadstoffe in die Feststoffmatrix erfolgen. Bei der Behandlung schwermetallhaltiger Abfälle besteht weiterhin die Möglichkeit, die Schwermetalle zu immobilisieren, indem sie durch Zugabe von Fällungsmitteln gefällt werden oder durch pH-Wert-Veränderungen in schwerlösliche Verbindungen überführt werden.

Ein weiterer möglicher Mechanismus ist die Sorption, die Anlagerung von Metallen und teilweise organischen Molekülen an der Oberfläche anderer Stoffe. Zur Sorption von Schwermetallen werden beispielsweise Ionenaustauscherharze oder Tone mit einer großen Oberfläche eingesetzt.

Ein weiterer Effekt der Verfestigungsverfahren ist meistens die Verbesserung der mechanischen Eigenschaften des Materials.

Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über einige Anbieter von Verfestigungsanlagen bzw. Anbieter der entsprechenden Bindemittel-Systeme. Aufgrund der Vielzahl der Verfahren und Anbieter stellt die Tabelle keine vollständige Auflistung aller Produkte und Systeme dar.

Tabelle 3-8 Anbieter und Betreiber von Konditionierungsanlagen (Auszug)

Anbieter/Betreiber von Konditionierungstechniken	Globalrezeptur und Zuschlagstoffe	
Heinrich Becker GmbH	Heide/Werner-Verfahren; Braunkohleaschen, ggfs. in Verbindung mit hydraulischen Bindemitteln	Lfu 1994, Gerschler 2003
Biodec GmbH	Modifizierte Aluminium-Silikate (zur Behandlung schwermetallkontaminierter Böden)	Lfu 1994
Bilfinger Berger Umwelt GmbH	mineralische Bindemittel zur Herstellung betonähnlicher Produkte	Lfu 1994, www.bilfinger-berger-umwelt.de
Dyckerhoff AG	Dyckerhoff Lipidur zur Herstellung von mörtelähnlichen Produkten	Lfu 1994
G.A.A. Gesellschaft für Abfallaufbereitung	HDT-Verfahren; Hydraulische Bindemittel und hydrophobe Zuschlagstoffe	Lfu 1994
Geodur GmbH	Textkörperrezepturen mit Zement und weiteren Stoffen wie Flugaschen, Schlacke, Sand, Kalk u.a.	Lfu 1994
Heidelberger Zement AG	Depocrete System; mineralische Bindemittel, ggf. compounds	www.azbut.de/de
Heitkamp Umwelttechnik GmbH	Hydraulische Bindemittel	Lfu 1994, Gerschler 2003
S.D.R. Biotec Verfahrenstechnik GmbH	SCPE-Verfahren; biologische oder chemische Vorbehandlung/Entgiftung und anschließende Immobilisierung; weites Spektrum von Verfahren, Bindemitteln und Additiven.	FES 2001 Öko 2004a
Mitteldeutsche Umwelt- und Entsorgungs GmbH	Braunkohleaschen, andere Aschen und Filterstäube, Kalk, Gips, Perlith, Polymere u. a.	Öko 2004a

IVU Ingenieurgesellschaft Verfahrens- und Umwelttechnik (Retexo-Gruppe)	DISPERSOFT-Verfahren; Aschen und andere Zuschlagsstoffe	Öko 2004a
Sächsische Umweltschutz-Consulting GmbH (SUC)	hydraulische Bindemittel	Öko 2004a
C.C. Umwelt AG	hydraulische bzw. latent hydraulische Bindemittel	Öko 2004a
NovActa GmbH	Zementmatrix und spezielle Zuschlagstoffe	www.novacta.com
SRS GmbH	Hydraulische und/oder organische Bindemittel	www.bvv-srs.de, Gerschler 2003
Ifuwa GmbH	Verfestigung mit Zement für schwermetallhaltige Böden/Abfälle	Lfu 1994, Gerschler 2003
Ecosoil (ehem. Hochtief Umwelt GmbH)	Hochofenzement, Flugasche, org. Polymerbinder, Wasserglas	Lfu 1994
Leo Consult GmbH	Erdalkalioxide, ggf. Erdwachse, Parafine; Hydr. Bindemittel	Lfu 1994
Remondis AG & Co. KG (ehem. Rethmann Sanierungsdienste GmbH)	hydraulische bzw. latent hydraulische Bindemittel	Lfu 1994
Mineralplus	Herstellung von Asphaltfüllern aus Filterstäuben aus der Abfallverbrennung (MinCom AF40) in den Niederlanden; Bindemittel: bitumenhaltiges Bindemittel	Mineralplus 2005
Calcilox	Feinvermahlene Hochofenschlacke	Förstner 2006
S.R.S. Deponiebau	Hydraulische und/oder organische Bindemittel; Einsatz im Straßen/Eisenbahnbau, in Lärmschutzwällen u.a.	www.immobiliensicherung.de

Porr Umwelttechnik GmbH	Aschen und Stäube aus Verbrennungsprozessen, Zement, Puzzolane	Löschau Thomé-Kozmiensky 2005 www.put.at
Dispergierung durch chemische Reaktion (DCR-Verfahren)	Einsatz von Kalk und Hydrophobierungsmittel (zur Einbindung von organ. Schadstoffen vor der Reaktion mit Wasser) und Eisensulfid zur Schwermetallfällung zu schwerlöslichen Sulfiden	FES 2001; Förstner, U.
Schwenk Zement KG	Hydr. Bindemittel und Zusatzstoffe: Deponiebinder und Recyclingbinder; Techn. Merkblätter in:	www.schwenk.de/schwenk.html
Asikos Strahlmittel GmbH	Verwertung von Strahlmitteln in bituminösen Tragschichten	www.asikos.de
Zahlreiche weitere Anbieter	Herstellung von HGT (hydraulische gebundene Tragschicht) aus besonders überwachungsbedürftigen kohlenteehaltigen Bitumengemischen; Hydraulisches Bindemittel; Verwendung des HGT im Straßenbau als Schottertragschicht und im Deponiebau	Öko 2005

Die Tabelle zeigt, dass die Verfahren mit latent hydraulischen und hydraulischen Bindemitteln überwiegen. Als latent hydraulische Bindemittel werden vor allem Aschen aus der Braunkohlefeuerung eingesetzt, aber auch Aschen anderen Ursprungs. Aschen werden häufig in Kombination mit Kalk u. a. eingesetzt, um die gewünschten hydraulischen Eigenschaften zu erreichen. Sehr häufig dient darüber hinaus Portlandzement als Bindemittel. Im Rahmen der Verfestigung laufen dann folgende Prozesse ab:

- Bildung von Hydroxiden durch pH-Wertänderung (hoher pH-Wert < 12),
- Mikroinkapselung der Hydroxide innerhalb der Matrix und
- Sorption aufgrund der negativ geladenen Oberflächen der Silikate und Aluminate.

Auch sind Verfahren aufgeführt, die mit Bitumen und anderen organischen Bindemitteln arbeiten. Grundsätzlich gilt für alle Verfahren, dass die jeweils verwendete „Rezeptur“ stark vom eingesetzten Abfall abhängig ist.

Eine vollständige Stabilisierung wird hier nicht betrachtet, da für eine vollständige Stabilisierung gemäß der Deponieverwertungsverordnung davon ausgegangen wird, dass gefährliche Inhaltsstoffe des Abfalls nach der Behandlung irreversibel und vollständig in nicht gefährliche Inhaltsstoffe umgewandelt worden sind. Für die in diesem Projekt relevanten Abfälle ist nicht davon auszugehen, dass mit den derzeit praktizierten Techniken eine vollständige Stabilisierung erreicht werden kann. Ein Gutachten des TÜV Nord [TÜV Nord 2007] zeigt beispielsweise für Rauchgasreinigungsrückstände aus Abfallverbrennungsanlagen auf, dass die Immobilisierung mit Zuschlagsstoffen wie Zement, Wirbelschichtaschen aus steinkohlstämmiger Verbrennung oder Braunkohleaschen nicht die Anforderungen der sicheren irreversiblen Einbindung von Schadstoffen erfüllt. Die drei Stabilisierungsverfahren, die in der Deponieverwertungsverordnung als Stabilisierungsverfahren aufgeführt werden (Chromatengiftung, Cyanidentgiftung, Sulfidische Schwermetallfällung) sind für die in diesem Projekt betrachteten Abfälle mit einem Mix aus verschiedenen Schwermetallen nicht relevant.

4 Kombination beispielhafter Abfallarten und Verwertungsverfahren

4.1 Auswahl der vertiefend zu betrachtenden Abfälle

Für die weitere Bearbeitung wurden die 50 ausgewählten Abfälle in folgende 13 Abfallgruppen unterteilt:

1. Abfälle aus der thermischen Metallurgie,
2. Filterstäube, Kesselstäube und RGR-Rückstände aus der thermischen Abfallbehandlung und anderen Verbrennungsprozessen,
3. Aschen und Schlacken aus der Abfallverbrennung und der Abfallmitverbrennung,
4. Abfälle aus der chemischen Oberflächenbehandlung und Nichteisen-Hydrometallurgie,
5. Böden, Bauschutt, Baggergut und Gleisschotter,
6. kohlenbeerhaltige Bitumengemische,
7. Deponiesickerwasser und andere flüssige Abfälle,
8. Stabilisierte und verfestigte Abfälle sowie vorgemischte Abfälle aus der CPB,
9. Feuerraumauskleidungen,
10. Gebrauchte Katalysatoren,
11. Strahlmittelabfälle,
12. Abfälle aus HZVA von Salzen, Salzlösungen und Metalloxiden,
13. Abfälle aus der Glasherstellung.

Die Abfallgruppen mit ihren wesentlichen Merkmalen sind im Anhang 5 in Kapitel 2 dargestellt (Abfallarten, relevante Schadstoffe und Abfall in 2003). Die Abfallgruppen und die Relevanz der darin enthaltenen Abfälle sind mit dem Begleitkreis auf dem zweiten Workshop im August 2006 diskutiert worden. Als Ergebnis dieser Diskussion wurde vereinbart folgende Abfälle vertieft zu untersuchen:

Tabelle 4-1 Auswahl der vertiefend zu betrachtenden Abfälle

AVV-Nr.	Bezeichnung	Besonders hohe Schadstofffrachten	Anfall in 2003 [Mg]
19 01 13*	Filterstaub, der gefährliche Stoffe enthält	Cd, Cr, Cu, Pb, Zn	350.000
19 01 07*	Feste Abfälle aus der Abgasbehandlung	Cd, Cu, Pb, Zn, Hg	290.000
19 01 11*	Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken, die gefährliche Stoffe enthalten	Cr, Zn	165.000
19 01 12	Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 0 11* fallen	Cr, Cu, Pb, Zn, Cd, Ni, Hg	3.300.000
10 02 07*	feste Abfälle aus der Abgasbehandlung	Pb, Zn, Cd, Cr	185.000
	interessante Untergruppe: Stäube aus Elektrostahlwerken	Zn, Pb	
	Interessante Untergruppe: Stäube aus der Edelstahlproduktion	Cr, Ni, Zi, Pb	
11 01 09*	Schlämme und Filterkuchen, die gefährliche Stoffe enthalten	Ni, Cu, Cr, Zn	703.000
17 05 03*	Boden und Steine, die gefährliche Stoffe enthalten	Pb, Cd, Cr, Ni, PAK, Hg	4.597.000

Alle diese Abfälle weisen hohe Schadstofffrachten, bedingt durch die Schadstoffkonzentration und/oder einen hohen Mengenanfall, auf. Weiterhin handelt es sich um Abfälle, deren Entsorgung unter Tage möglich ist.

Bei drei dieser ausgewählten Abfälle gibt es darüber hinaus großtechnisch etablierte Recyclingverfahren, so dass der Ressourcenaspekt in die Methodenentwicklung sinnvoll einbezogen werden kann.

Hinsichtlich der Toxizität decken die ausgewählten Abfälle eine weite Bandbreite von Abfällen mit geringerer Toxizität bis hin zu Abfällen mit äußerst hohen Schadstoffkonzentrationen ab.

In den nachfolgenden Unterkapiteln werden für die zur Vertiefung ausgewählten repräsentativen Abfälle die Entsorgungsvarianten dargestellt, die in der weiteren Bearbeitung modelliert und bewertet werden.

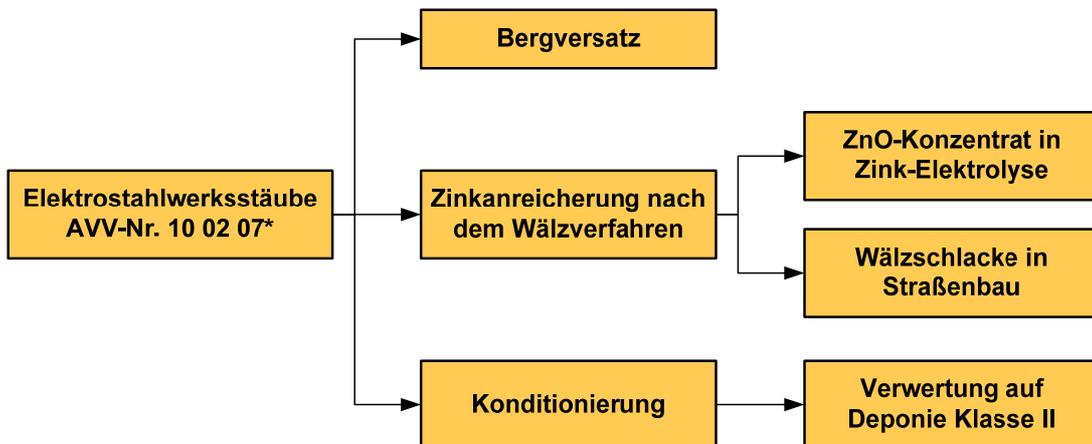
4.2 Entsorgungsvarianten für Elektrostahlwerksstäube

Die Elektrostahlwerksstäube fallen unter die Abfallgruppe 10 02 07* (feste Abfälle aus der Abgasbehandlung). Insgesamt wurden in 2003 unter diesem Abfallschlüssel 185.000 t entsorgt. Nur ein Teil dieser Menge stammt jedoch auch Elektrostahlwerken. In Anlehnung an die Datenrecherche in der Datenbank ABANDA (vgl. Kap 2.2.) und [Rentz et al. 1999] wird ein Modell-Elektrostahlwerksstaub mit folgenden Metallkonzentrationen gewählt:

Tabelle 4-2 Metallgehalte der modellierten Elektrostahlwerksstäube

	Fe	Zn	Pb	Cr	Cu
Massen % bezogen auf TS	30,0	21,5	2,3	0,34	0,26

Folgende drei Entsorgungsvarianten werden betrachtet:



Das Wälzverfahren ist das wichtigste Verfahren zum Recycling der Elektrostahlwerksstäube. Insgesamt beträgt die Kapazität deutscher Wälzanlagen rund 300.000 t/a zinkhaltiger Abfälle. Als Output wird neben einer Schlackefraktion ein Zinkoxid-Konzentrat erzeugt, das dann in der Elektrolyse aufgearbeitet werden kann und dort primäre Zinkerze substituiert.

Als weitere Entsorgungsvariante wird die Konditionierung betrachtet. Hierbei kann nicht endgültig abgeschätzt werden, ob aufgrund des hohen Zinkgehalts eine tatsächliche Stabilisierung mittelfristig möglich ist, oder ob nur eine Verfestigung erreichbar ist. In einem Genehmigungsverfahren für eine Konditionierungs- und Verfestigungsanlage wurde für einige Abfälle, u. a. für Stahlwerksstäube, nur eine Verfestigung beantragt, während für andere Abfälle wie MVA-Filterstäube die Konditionierung beantragt wurde.

Aufgrund des hohen Zinkgehalts ist eine Verwertung des Bergversatzes nach derzeitigem Recht nicht möglich (Obergrenze für Zink nach VersatzV: 10 %). Es wird dennoch der Bergversatz bilanziert, der in der Bilanzierung im Wesentlichen mit der Untertagedeponie identisch ist, um unabhängig von aktuellen rechtlichen Vorgaben mögliche zukünftige Entsorgungsoptionen abzubilden.

Die Dokumentation der folgenden Verfahrensschritte befindet sich im Anhang:

- Wälzverfahren und nachgeschaltete Elektrolyse (Anhang 5, Kap. 3.5),
- Konditionierung (Anhang 5, Kap. 3.3),
- Deponiebau (Anhang 5, Kap. 3.4),
- Transporte (Anhang 5, Kap. 3.13),
- Bergbau und Aufbereitung von Zinkerz (Anhang 5, Kap. 3.9),
- Betriebsmittel wie Strom, Diesel, Koks und Zement (Anhang 5, Kap. 3.12).

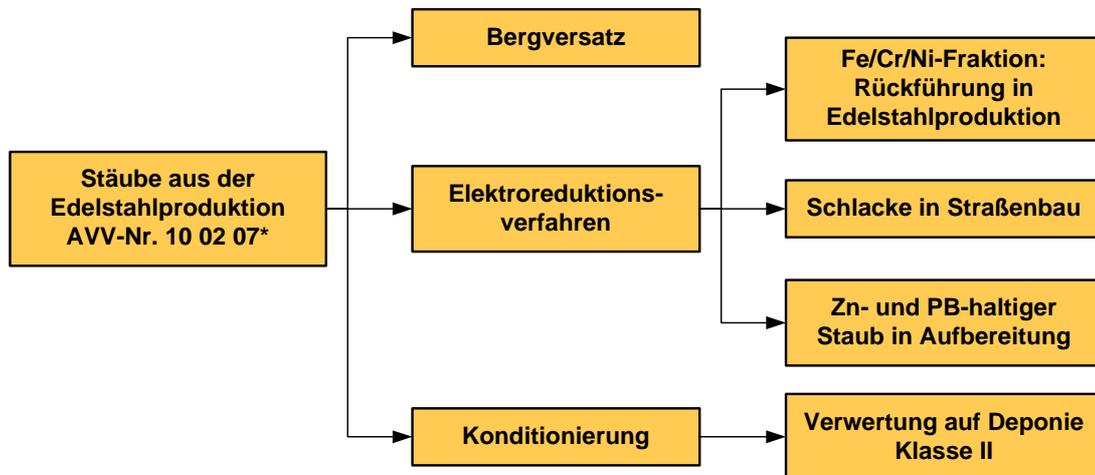
4.3 Entsorgungsvarianten für Stäube aus der Edelstahlproduktion

Die Elektrostahlwerksstäube fallen unter die Abfallgruppe 10 02 07* (feste Abfälle aus der Abgasbehandlung). Insgesamt wurden in 2003 unter diesem Abfallschlüssel 185.000 t entsorgt. Nur ein kleiner Teil dieser Menge stammt jedoch auch der Edelstahlproduktion. In Anlehnung an die Datenrecherche in der Datenbank ABANDA (vgl. Kap. 2.2) und [Meurer Buntenbach 2001] wird ein Modell-Edelstahlwerksstaub mit folgenden Metallkonzentrationen gewählt:

Tabelle 4-3 Metallgehalte der modellierten Stäube aus der Edelstahlproduktion

	Fe	Cr	Ni	Zn	Pb
Massen % bezogen auf TS	33	11	2,4	7,7	0,4

Folgende drei Entsorgungsvarianten werden betrachtet:



Das Elektroreduktionsverfahren, nach dem eine Anlage in Valera/Frankreich betrieben wird, ist ein bedeutendes Verfahren zum Recycling von Edelstahlwerksstäuben. In Deutschland gibt es keine Großanlage zum Recycling dieser Stäube, so dass hier die französische Anlage mit einer Kapazität von rund 120.000 t/a bilanziert wird. Als Output wird neben einer Schlackefraktion ein Roheisen mit hohen Anteilen an Chrom und Nickel erzeugt, das als Rohstoff wieder in der Edeltahlerzeugung eingesetzt wird und dort primäres Roheisen, Ferrochrom und Ferronickel substituiert.

Als weitere Entsorgungsvariante wird die Konditionierung mit nachfolgender Deponieverwertung betrachtet. Hierbei kann nicht endgültig abgeschätzt werden, ob eine tatsächliche Stabilisierung mittelfristig möglich ist, oder ob nur eine Verfestigung erreichbar ist.

Weiterhin wird die Entsorgung im Bergversatz betrachtet. Der Nickelgehalt ist hierbei knapp unter der derzeitigen Obergrenze von 2,5 % nach VersatzV.

Die Dokumentation der folgenden Verfahrensschritte befindet sich im Anhang:

- Elektroreduktionsverfahren (Anhang 5, Kap. 3.6),
- Konditionierung (Anhang 5, Kap. 3.3),
- Deponiebau (Anhang 5, Kap. 3.4),
- Transporte (Anhang 5, Kap. 3.13),
- Bergbau und Aufbereitung von Chrom und Nickel (Anhang 5, Kap. 3.8 und 3.10),
- Betriebsmittel wie Strom, Kohle, Diesel, Koks und Zement (Anhang 5, Kap. 12).

4.4 Entsorgungsvarianten für Galvanikschlämme

Galvanikschlämme fallen gemeinsam mit anderen Schlämmen und Filterkuchen aus der chemischen Oberflächenbearbeitung unter die AVV-Nr. 11 01 09*. Sie fallen entweder als Mischschlämme, die mehrere Wertemetalle wie Cu, Ni und Zn in der

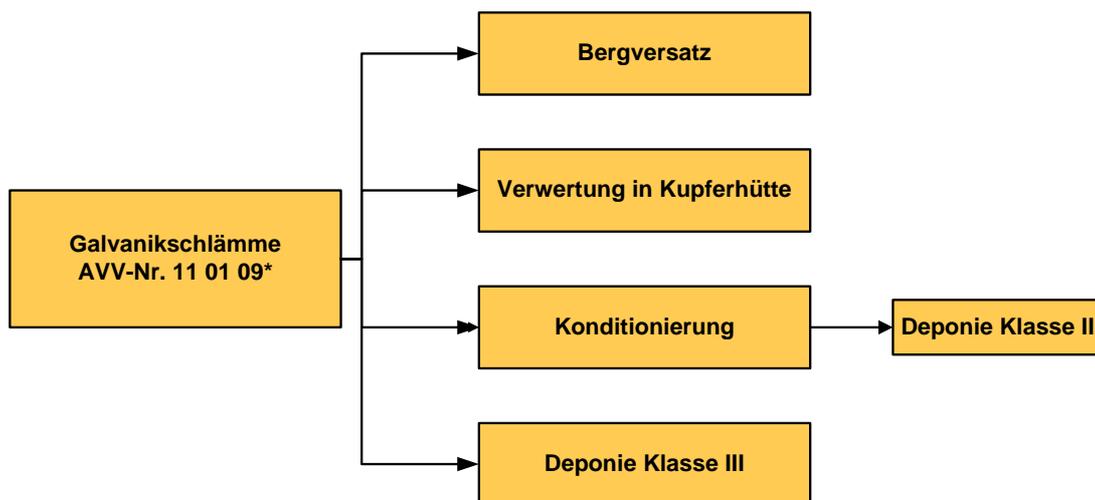
Größenordnung von 10 % (bezogen auf die TS) enthalten, an, oder als Mono-
schlämme, die eine einheitlichere Zusammensetzung und höhere Konzentrationen
(bis 50 % bezogen auf die TS) aufweisen. Für die Bilanzierung wurde ein Misch-
schlamm mit einem hohen Kupferanteil nach [AG-BREF o.J.] ausgewählt:

Tabelle 4-4 Metallgehalte der modellierten Galvanikschlämme

	Cu	Ni	Zn	Pb	Cr	Fe
Massen % bezo- gen auf TS	7,5	3,0	3,0	0,5	1,0	10,0

Der ursprüngliche Wassergehalt liegt bei den Schlämmen über 95 %⁸. Der Großteil
der anfallenden Galvanikschlämme wird beim Abfallerzeuger jedoch entwässert
[Lahmeyer 1998]. Da dieser Entwässerungsschritt für alle Verfahren derselbe ist,
wird als funktionelle Einheit der Ökobilanz 1 t entwässerter Galvanikschlamm mit
einem Restwassergehalt von 60 %⁹ gewählt.

Für die Galvanikschlämme werden folgende vier Entsorgungsverfahren bilanziert:



Der ausgewählte Galvanikschlamm kann aufgrund der hohen Konzentrationen an
Kupfer und Nickel gemäß der Versatzverordnung nicht im Bergversatz verwertet
werden¹⁰. Es wird dennoch die Entsorgung im Bergversatz modelliert, um unabhän-
gig von aktuellen rechtlichen Vorgaben mögliche zukünftige Entsorgungsoptionen
abzubilden.

⁸ Die Wassergehalte liegen üblicherweise zwischen 95 und 99 % [HLUG 2003] [www.umweltschutz-
bw.de][LUA 2005b]

⁹ Entwässerter Galvanikschlamm hat einen Wasseranteil von 55 – 70 % [HLUG 2003] und hat stich-
feste Konsistenz. In der Bilanz wird von einem stichfesten Schlamm bei einem Wasseranteil von 60
% [AG-BREF o.J.] ausgegangen.

¹⁰ Die Grenzwertkonzentrationen gemäß Versatzverordnung betragen für Ni 2,5 % und für Cu 1 %
bezogen auf den Feststoffgehalt.

Die Verwertung in der Kupferraffination wird ebenfalls bilanziert. Ökobilanziell relevant ist hier in erster Linie die Substitution der in Bergbau und Aufbereitung gewonnenen Kupfererze. Modelliert wird weiterhin die Co-Produktion von Nickelsulfat, die den Abbau primärer nickelhaltiger Erze substituiert.

Neben der direkten Deponierung auf einer Deponie (DK III) wird die Konditionierung mit einer nachfolgenden Verwertung im Deponiebau modelliert.

Die Dokumentation der folgenden Verfahrensschritte befindet sich im Anhang:

- UTD (Anhang 5, Kap. 3.1),
- Konditionierung (Anhang 5, Kap. 3.3),
- Deponiebau (Anhang 5, Kap. 3.4),
- Transporte (Anhang 5, Kap. 3.13),
- Kupferraffination (Anhang 5, Kap. 3.7),
- Nickelbergbau und –aufbereitung (Anhang 5, Kap. 3.8),
- Bergbau und Aufbereitung von Kupfererz (Anhang 5, Kap. 3.7),
- Betriebsmittel wie Strom, Zement und Diesel (Anhang 5, Kap. 3.12).

4.5 Entsorgungsvarianten für Filterstäube aus der Abfallverbrennung

Die Filterstäube aus der Abfallverbrennung fallen unter die AVV-Nr. 19 01 13* (Abfälle aus der Verbrennung von Abfällen: Filterstaub, der gefährliche Stoffe enthält). In 2003 sind rund 360.000 t angefallen.

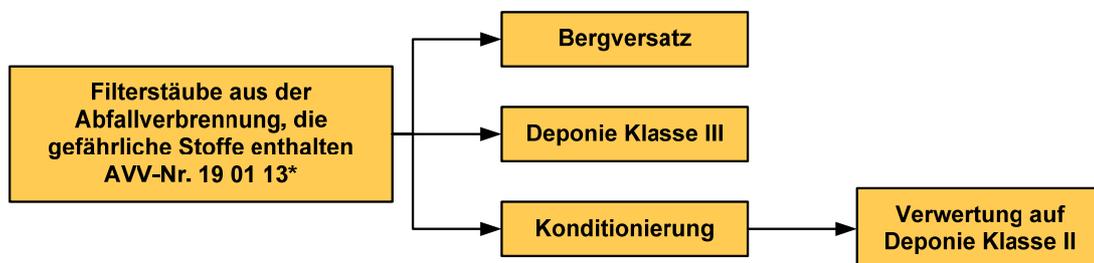
Der bilanzierte Filterstaub entspricht in der Zusammensetzung den Mittelwerten der ABANDA-Analysedaten (vgl. Datentabelle in Kap. 2.2). Die wichtigsten Parameter werden in nachfolgender Tabelle gezeigt.

Tabelle 4-5 Metallgehalte und weitere Parameter des modellierten Filterstaubes aus der Abfallverbrennung (Mittelwerte nach ABANDA)

Parameter	Einheit	Mittelwert
As	mg/kg	91,0
Sb	mg/kg	570,0
Se	mg/kg	22,3
Cd	mg/kg	248,0
Cr ges	mg/kg	348,0
Ni	mg/kg	199,0
Pb	mg/kg	5.590,0
Hg	mg/kg	8,8
Cu	mg/kg	1.481,0
Zn	mg/kg	19.981,0
Fe	mg/kg	40.976,0
Sn	mg/kg	1.004,0
V	mg/kg	174,0
Trockensubstanz	%	97,07
Stampfdichte	g/cm ³	0,87
Glühverlust	%	4,4

Die Schwermetalle, die für die Toxizitätsbetrachtung von besonderer Relevanz sind, sind hierbei hellgrau hinterlegt¹¹. Die organischen Schadstoffe tragen nur geringfügig zur Toxizität bei.

Bilanziert werden die nachfolgenden dargestellten Entsorgungsvarianten:



Die Dokumentation der folgenden Verfahrensschritte befindet sich im Anhang:

- Bergversatz (Anhang 5, Kap. 3.1),
- Konditionierung (Anhang 5, Kap. 3.3),
- Deponiebau (Anhang 5, Kap. 3.4),
- Transporte (Anhang 5, Kap. 3.13),
- Deponie (Anhang 5, Kap. 3.2),
- Betriebsmittel wie Strom, Zement und Diesel (Anhang 5, Kap. 3.12).

¹¹ Grau hinterlegt sind die Schwermetalle, deren Gesamtbeitrag zur Gesamtoxizität (bei Gewichtung mit den GFS-Werten) mehr als 1 % beitragen.

4.6 Entsorgungsvarianten für feste Abfälle aus der Abfallverbrennung

Die festen Abfälle aus der Abfallverbrennung fallen unter die AVV-Nr. 19 01 07*. In 2003 sind rund 350.000 t angefallen.

Die bilanzierten festen Abfälle entsprechen in der Zusammensetzung den Mittelwerten der ABANDA-Analysedaten (vgl. Datentabelle in Kap. 2.2). Die wichtigsten Feststoffparameter werden in nachfolgender Tabelle gezeigt.

Tabelle 4-6 Metallgehalte und weitere Parameter der modellierten festen Abfälle aus der Abfallverbrennung (Mittelwerte nach ABANDA)

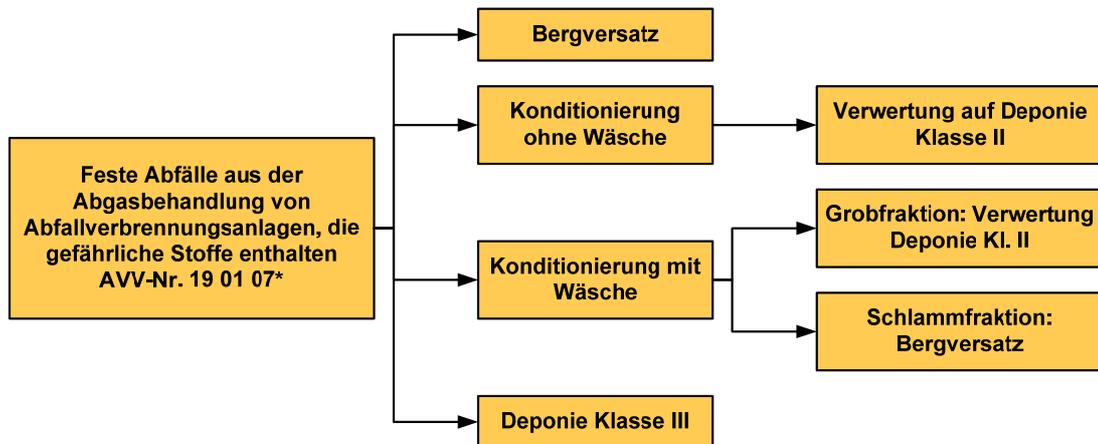
Parameter	Einheit	Mittelwert
As	mg/kg	26,93
Cd	mg/kg	162,02
Cr	mg/kg	93,85
Ni	mg/kg	64,51
Pb	mg/kg	3.022,99
Hg	mg/kg	60,83
Cu	mg/kg	782,89
Zn	mg/kg	8.735,87
Fe	mg/kg	7.190,13
Sn	mg/kg	358,93
Sb	mg/kg	417,44
PCB	mg/kg	0,015
PAK	mg/kg	0,34
TOC	%	2,11
Trockensubstanz	%	94,39
Stampfdichte	g/cm ³	0,77
Glühverlust	%	6,81

Die Schwermetalle, die für die Toxizitätsbetrachtung von besonderer Relevanz sind, sind hierbei hellgrau hinterlegt¹². Organische Schadstoffe spielen nur eine geringfügige Rolle.

Grundsätzlich werden die gleichen Entsorgungswege bilanziert wie bei den Filterstäuben aus der Abfallverbrennung. Unterschiede ergeben sich jedoch in der Verfestigung durch den hohen Chloridanteil¹³. Die Graphik zeigt die untersuchten Entsorgungswege:

¹² Grau hinterlegt sind die Schwermetalle, deren Gesamtbeitrag zur Gesamtoxizität (bei Gewichtung mit den GFS-Werten) mehr als 1 % beitragen.

¹³ Nach der Recherche zu den Eigenschaften der Abfälle (Kap. 2.2.4) weist der Abfall 19 01 07* keine höhere Gasbildung auf als 19 01 13*.



Bei der Konditionierung gibt es grundsätzlich die Möglichkeit, gewaschene oder ungewaschene Rückstände aus der Rauchgasreinigung zu verfestigen. Durch eine vorgeschaltete Wäsche werden vor allem die leicht löslichen Salze wie Chloride und Sulfate gelöst, bei niedrigem pH-Wert auch Schwermetalle. Da die Literaturrecherche keinen Hinweis darauf gegeben hat, dass durch die Wäsche der Bindemittelseinsatz deutlich reduziert werden kann, wird in der Ökobilanz mit einer einheitlichen Rezeptur für gewaschene und ungewaschene Rauchgasreinigungsrückstände gerechnet.

Ökobilanziell zu berücksichtigen ist bei einer Wäsche jedoch die Behandlung des entstehenden Abwassers mittels Eindampfung oder einer Abwasserbehandlung. Nach [Schmidt Leclair 1996] werden je nach Zusammensetzung der Rauchgasreinigungsrückstände pro Tonne Rückstände bis zu 60 kg Kalziumhydroxid und 120 kg Natronlauge (30 %) benötigt¹⁴. Dieser zusätzliche Aufwand wird bei der Variante mit einer Wäsche der Rückstände betrachtet.

Hier wird für die gewaschenen Rückstände weiterhin bilanziert, dass die extrahierten Schwermetalle nicht wieder mit den Rückständen der Rauchgasreinigung vermischt und gemeinsam mit diesen konditioniert werden. Stattdessen wird die Verwertung im Bergversatz betrachtet. Eine Aufbereitung der Schwermetalle wird nicht betrachtet, da hierzu kein großtechnisches Verfahren bekannt ist.

Die Dokumentation der folgenden Verfahrensschritte befindet sich im Anhang:

- Bergversatz (Anhang 5, Kap. 3.1),
- Konditionierung (Anhang 5, Kap.3.3),
- Deponiebau (Anhang 5, Kap. 3.4),
- Transporte (Anhang 5, Kap. 3.12),
- Deponie (Anhang 5, Kap. 3.2),

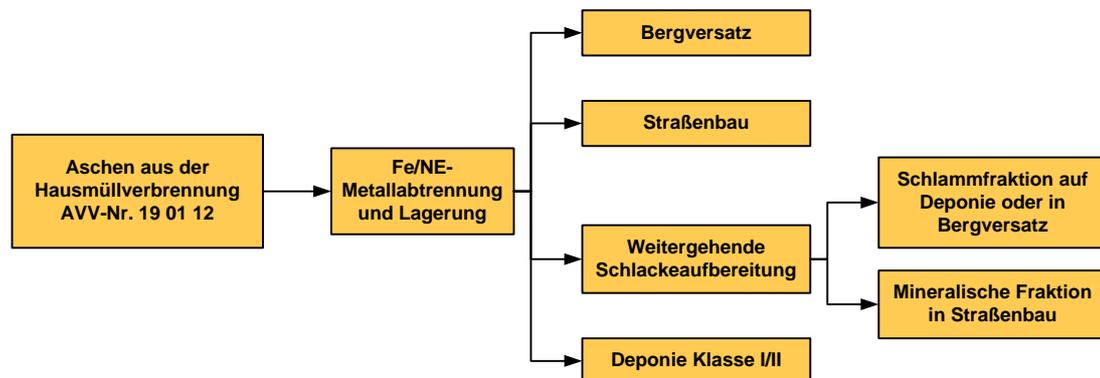
¹⁴ Angaben für das Schweizer Konzept des BUWAL

- Betriebsmittel wie Strom, Zement und Diesel (Anhang 5, Kap. 3.12).

4.7 Entsorgungsvarianten für Rost- und Kesselaschen aus der Abfallverbrennung (19 01 12)

Im Folgenden wird die Abfallart 19 01 12 (Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 01 11* fallen) betrachtet. Der Anfall in 2003 lag bei rund 3,3 Mio. t.

Betrachtet werden die in der folgenden Graphik dargestellten Entsorgungswege:



Da in allen Verwertungswegen eine Metallverwertung und eine Schlackeaufbereitung stattfinden, wird diese nicht bilanziert. Die Systemgrenze ist damit die Schlacke nach einer konventionellen Aufbereitung mit Metallabscheidung. Bei der weitergehenden Schlackeaufbereitung werden dementsprechend nur Aufwendungen bilanziert, die über die konventionelle Schlackenaufbereitung hinausgehen.

Die Abbildung der weitergehenden Aufbereitung muss aufgrund der geringen Datenlage mit zahlreichen Annahmen arbeiten. Es handelt sich dementsprechend um eine orientierende Modellierung und nicht um die Bilanzierung einer realen Anlage. Für die Metallabscheidung wird beispielsweise in der Basisrechnung konservativ angesetzt, dass bei der weitergehenden Schlackeaufbereitung nicht mehr Metalle abgeschieden werden als bei der herkömmlichen Schlackeaufbereitung. Es ist zwar zu vermuten, dass bei höheren Aufbereitungsaufwendungen (kleinere Korngrößen, nasse Verfahren) eine höhere Metallabscheidung erzielt wird, jedoch liegen hierzu keine ausreichenden Versuchsdaten vor, bei denen die gleiche Ausgangsschlacke die zwei unterschiedlichen Verfahrensschritte durchlaufen hat. Eine verbesserte Metallabscheidung wird darum lediglich als Sensitivität betrachtet.

Für die Stoffstromanalyse von Bedeutung sind die Transferfaktoren für die Schwermetalle in die Grobfraktion und in die Feinfraktion. Auch hier ist die Datenlage sehr dünn, so dass entsprechende Annahmen getroffen werden mussten. Diese sind im Anhang 5 in Kap.3.11 dokumentiert.

Die wichtigsten Parameter der bilanzierten Asche zeigt die Tabelle 4-7. Es handelt sich um die Mittelwerte der Daten aus der Datenbank ABANDA (vgl. Kap. 2.2) für Aschen und Schlacken nach der Metallabscheidung.

Tabelle 4-7 Wichtige Parameter zur Abfallart 19 01 12

Parameter	Einheit	Mittelwerte
As	mg/kg	21,6
Sb	mg/kg	73,0
Se	mg/kg	18,3
Cd	mg/kg	22,0
Tl	mg/kg	4,2
Cr ges	mg/kg	514,0
Cr VI	mg/kg	7,5
Ni	mg/kg	502,0
Pb	mg/kg	1.761,0
Hg	mg/kg	2,2
Cu	mg/kg	3.063,0
Zn	mg/kg	4.097,0
Fe	mg/kg	62.967,0
Sn	mg/kg	391,9
V	mg/kg	217,0
PCB	mg/kg	0,03
PAK	mg/kg	1,4
BaP	mg/kg	0,04
PCDD/F	µg/kg	0,07
TOC	%	1,62
Cyanide ges.	mg/kg	0,97
Trockensubstanz	%	84,6
Schüttdichte	g/cm ³	0,87
Stampfdichte	g/cm ³	1,13

Die Schwermetalle, die für die Toxizitätsbetrachtung von besonderer Relevanz sind, sind hierbei hellgrau hinterlegt¹⁵. Organische Schadstoffe spielen nur eine geringfügige Rolle.

Zum Bergversatz werden zwei Varianten bilanziert. Als „Bergversatz, fern“ wird der Fall betrachtet, dass die Aschen wie die anderen bilanzierten Abfälle auch im Durchschnitt 500 km transportiert werden. Dies ist eine theoretische Vergleichsvariante, die derzeit keine praktische Relevanz hat. In der Variante „Bergversatz, nah“ wird ein Sonderfall betrachtet, bei dem die MVA-Aschen aus dem Umfeld des Bergwerks (im Durchschnitt rund 80 km) zum Bergwerk gebracht werden, wo vor der Verbringung unter Tage die Aufbereitung stattfindet. Die Systemgrenze ist hier ebenso wie

¹⁵ Grau hinterlegt sind die Schwermetalle, deren Gesamtbeitrag zur Gesamtoxizität (bei Gewichtung mit den GFS-Werten) mehr als 1 % beitragen.

bei den anderen Varianten die aufbereitete Asche, die nach der Aufbereitung nicht mehr transportiert werden muss.

Für die Bilanzierung der Deponierung wird eine Deponie der Klasse II angesetzt. Hierbei wird bei der Bewertung der Langzeitsicherheit differenziert zwischen älteren Deponien ohne Basisabdichtung und Deponien nach dem Stand der Technik mit Basisabdichtung.

4.8 Entsorgungsvarianten für Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken, die gefährliche Stoffe enthalten (19 01 11*)

Im Folgenden wird die Abfallart 19 01 11* (Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken, die gefährliche Stoffe enthalten) betrachtet. Der Anfall in 2003 lag bei rund 240.000 t.

Betrachtet die gleichen Entsorgungswege wie zur Abfallart 19 01 12.

Die wichtigsten Parameter der bilanzierten Asche zeigt Tabelle 4-8. Es handelt sich um die Mittelwerte der Daten aus der Datenbank ABANDA (vgl. Kap 2.2) für Aschen und Schlacken nach der Metallabscheidung.

Tabelle 4-8 Wichtige Parameter zur Abfallart 19 01 11*

Parameter	Einheit	Mittelwerte
As	mg/kg	21,1
Sb	mg/kg	368,0
Se	mg/kg	1,5
Cd	mg/kg	46,0
Tl	mg/kg	2,1
Cr ges	mg/kg	919,0
Cr VI	mg/kg	1,0
Ni	mg/kg	1.956,0
Pb	mg/kg	2.268,0
Hg	mg/kg	0,9
Cu	mg/kg	3.392,0
Zn	mg/kg	12.587,0
Fe	mg/kg	11.000,0
Sn	mg/kg	756,0
V	mg/kg	397,0
PCB	mg/kg	0,11
PAK	mg/kg	0,8
BaP	mg/kg	0,05
PCDD/F	µg/kg	0,04
TOC	%	2,23
Cyanide ges.	mg/kg	1,26
Trockensubstanz	%	81,5
Schüttdichte	g/cm ³	1,05
Stampfdichte	g/cm ³	1,29

Die Schwermetalle, die für die Toxizitätsbetrachtung von besonderer Relevanz sind, sind hierbei hellgrau hinterlegt¹⁶. Organische Schadstoffe spielen nur eine geringfügige Rolle.

4.9 Entsorgung von Böden und Steinen (17 05 03*) sowie Bauschutt (17 01 06*), die gefährliche Stoffe enthalten

Die Abfallgruppen 17 05 03* und 17 01 06* sind durch die großen Massenströme von Relevanz. In 2003 wurden 4,6 Mio. t des Abfalls 17 05 03* (Boden und Steine, die gefährliche Stoffe enthalten) und 1,2 Mio. t des Abfalls 17 01 06* (Bauschutt, der gefährliche Stoffe enthält) entsorgt. Für dieses Projekt sind vor allem die Abfälle mit anorganischen Schadstoffen relevant, da Abfälle mit organischer Belastung üblicherweise nicht im Bergversatz entsorgt werden. Die wichtigsten Entsorgungswege für diese Abfälle mit anorganischer Schadstoffbelastung sind die Deponierung und die Verwertung im Straßen- und Deponiebau. Diese Entsorgungsvarianten werden bereits für die MVA-Aschen modelliert, so dass hier auch auf eine nochmalige Mo-

¹⁶ Grau hinterlegt sind die Schwermetalle, deren Gesamtbeitrag zur Gesamttoxizität (bei Gewichtung mit den GFS-Werten) mehr als 1 % beitragen.

dellierung mit ausgewählten Böden bzw. Bauabfällen verzichtet wird. Es gibt lediglich einen Hauptunterschied: Die Schadstoffbelastung der Böden und Bauabfälle ist in der Regel niedriger als die der MVA-Aschen. Die MVA-Aschen mit der AVV-Nr. 19 01 12, die in der ABANDA-Datenbank (vgl. Kapitel 2.1.1) erfasst sind, haben, bezogen auf die Schwermetalle ohne Organik, eine mittlere Toxizität von rund 1,5 kg Cr-äq/t (Medianwert) bzw. 4,7 kg Cr-äq/t (Mittelwert). Der Abfall 17 05 03* hingegen hat eine mittlere Toxizität, bezogen auf die Schwermetalle, von rund 0,2 kg Cr-äq/t (Medianwert) bzw. 1,6 kg Cr-äq/t (Mittelwert). Der Abfall 17 01 06* hat eine mittlere Toxizität von rund 0,3 kg Cr-äq/t (Medianwert) bzw. 2,0 kg Cr-äq/t (Mittelwert) bezogen auf die Schwermetalle.

5 Entwicklung des Bewertungsschemas und Ermittlung der Bewertungsgrundlagen

5.1 Methodik der Ökobilanz

5.1.1 Betrachtete Wirkungskategorien

Von den in den einzelnen Varianten freigesetzten Schadstoffen können unterschiedliche Auswirkungen auf die Umwelt ausgehen. Diese möglichen Auswirkungen sind bei der Schadstoffbewertung in der Wirkungsbilanz zu berücksichtigen. Die Aufgabe der Wirkungsbilanz ist es, die in der Sachbilanz erhobenen Daten in Hinblick auf bestimmte Umweltauswirkungen, sogenannte Wirkungskategorien, zu untersuchen und damit zusätzliche Informationen zu liefern, die in die Bewertung einfließen. Im Rahmen der Arbeiten unterschiedlicher Gremien zur Methodikentwicklung von Ökobilanzen ist eine Übereinstimmung erkennbar, welche Wirkungskategorien (vgl. Tabelle 5-1) in Ökobilanzen berücksichtigt werden sollten [CML 2001] [UBA 1995].

Tabelle 5-1: Wirkungskategorien

Verbrauch von Ressourcen	Bildung von Photooxidantien
Treibhauseffekt	Flächenverbrauch
Ozonabbau in der Stratosphäre	Geruchsbelästigungen, Lärm
Humantoxische Belastungen ¹⁷	Belastungen am Arbeitsplatz
Ökotoxische Belastungen ¹⁸	Abwärme und Abfallaufkommen
Versauerung von Ökosystemen	Strahlenbelastung
Eutrophierung von Ökosystemen	Bedrohung von Naturschönheit und –Vielfalt

In Anpassung an die Thematik und die bestehenden Fragestellungen bei der Entsorgung von Kühlgeräten wurden die oben aufgelisteten **fettgedruckten** schadstoffbedingten Umweltbelastungen als Wirkungskategorien sowie zusätzlich Feinstaub (PM₁₀)-Emissionen als Grundlage der Ökobilanzierung verwendet.

Der **Verbrauch an energetischen Ressourcen** wird über den Kumulierten Energieaufwand (KEA) abgebildet. KEA ist ein Maß für den gesamten Verbrauch an ener-

¹⁷ Die Berücksichtigung der Human- und Ökotoxizität erfolgt nicht in der klassischen Ökobilanzierung, sondern wird bei der Entwicklung der neuen Wirkungskategorie „Langfristige Sicherheit“ aufgegriffen. Nach [UBA 1999] existieren für die Humantoxizität und die ökotoxischen Belastungen keine methodischen Konzepte zur Charakterisierung. Weiterhin ist die Datenlage zu zahlreichen human- und ökotoxischen Stoffen so schlecht, dass fundierte Aussagen nur schwer abzuleiten sind.

¹⁸ siehe Fußnote 17

getischen Ressourcen, die für die Bereitstellung eines Produkts oder einer Dienstleistung benötigt werden. Im KEA enthalten ist auch der Energiegehalt, der im Produkt selbst enthalten ist. Der KEA weist alle nicht-erneuerbaren und erneuerbaren energetischen Ressourcen als Primärenergiewerte aus. Zur Berechnung wird der obere Heizwert der verschiedenen Energieträger angesetzt. Es werden keine Charakterisierungsfaktoren angewendet. Damit ist der Verbrauch an energetischen Ressourcen keine Wirkungskategorie, der unterschiedliche Wirkungsfaktoren zugrunde liegen, sondern vielmehr zugleich auch eine Sachbilanzgröße. Der Verbrauch an **metallischen Ressourcen** wird bei Varianten mit Metallrecycling abgebildet. Hierbei werden keine Charakterisierungsfaktoren verwendet, so dass der Verbrauch einzelner Metalle dargestellt wird, jedoch keine Summenbildung erfolgt. Das Ergebnis kann damit als Sachbilanzgröße angesehen werden.

Die Berechnung des **Treibhauspotenzials** in Form von CO₂-Äquivalenten wird allgemein anerkannt. Mit dem Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC) besteht zudem ein internationales Fachgremium, das sowohl die Methode als auch die entsprechenden Kennzahlen für jede klimawirksame Substanz errechnet und fortschreibt. Bei der Berechnung von CO₂-Äquivalenten wird die Verweilzeit der Gase in der Troposphäre berücksichtigt; daher stellt sich die Frage, welcher Zeitraum der Klimamodellrechnung für die Zwecke der Ökobilanz verwendet werden soll. Das Umweltbundesamt empfiehlt die Modellierung auf der 100-Jahre-Basis, da sie am ehesten die langfristigen Auswirkungen des Treibhauseffektes widerspiegelt. Die in den Berechnungen des Treibhauspotenzials berücksichtigten Substanzen werden mit ihren CO₂-Äquivalenzwerten für CO₂, N₂O und CH₄ nach [IPCC 2005] aufgelistet.

Die **Eutrophierung** steht für eine Nährstoffzufuhr im Übermaß, sowohl für Gewässer als auch für Böden. In dem Projektzusammenhang wird allein die terrestrische Eutrophierung betrachtet. Das Eutrophierungspotenzial von Nährstoffemissionen wird hierbei durch die Aggregation von Phosphatäquivalenten nach [CML 2004] ermittelt.

Eine **Versauerung** kann ebenfalls sowohl bei terrestrischen als auch bei aquatischen Systemen eintreten. Verantwortlich sind die Emissionen säurebildender Abgase. Die Berechnung erfolgt in Form von Säurebildungspotenzialen [CML 2001] mit den Charakterisierungsfaktoren nach [CML 2004].

Feinstäube mit einem aerodynamischen Durchmesser < 10 µm stehen im Verdacht, ein besonders hohes Toxizitätspotenzial für Menschen zu haben. In zahlreichen Studien wurde der Zusammenhang zwischen Partikelbelastung und Mortalität oder Morbidität erfasst. Im Ergebnis zeigte sich, dass bei einer Erhöhung der Immissionskonzentrationen von PM₁₀ die Mortalität infolge von Atemwegs- und Herz-Kreislaufkrankungen stark zunimmt [WHO 2002]. Die großräumige Belastung durch Feinstaub mit einem Partikeldurchmesser von ≤ 10 µm (PM₁₀) wird sowohl durch direkte Emissionen von Feinstaub als auch durch Sekundärpartikel bedingt,

die sich aus Vorläufersubstanzen bilden. Dazu zählen NO_x , SO_2 , Ammoniak und NMVOC. Die Zuordnung erfolgt mit *aerosol formation factors*, die in der Berichterstattung der EU [EEA 2002] angewendet und auch von der WHO als Indikator für die Luftqualität empfohlen werden [WHO 2002]. Daraus abgeleitet erfolgt die Berechnung in PM_{10} -Äquivalenten. Der von Heldstab et al. [2002] für die NMVOC-Emissionen in der Schweiz abgeleitete Mittelwert des PM_{10} -Potenzials beträgt 0,012. Während die Datenlage für PM_{10} -Emissionen aus punktförmigen Quellen (Kamine, Abluft) recht gut ist, bestehen für diffuse PM_{10} -Emissionen erhebliche Datenunsicherheiten. Dies betrifft im vorliegenden Projekt insbesondere die Emissionen beim Transport, beim Umschlag und bei der Deponierung. Da diese Prozesse einen hohen Anteil am Gesamtsystem ausmachen, sind die PM_{10} -Bilanzen im vorliegenden Projekt nur als erste Orientierung zu sehen und mit einer viel höheren Unsicherheit behaftet als die anderen Wirkungskategorien.

Die Wirkungskategorie **Photooxidantien (POCP)** (Photochemical Ozone Creation Potenzial, Photooxidantienbildung) bildet die Entstehung von Sommersmog oder bodennahem Ozon ab. Sie beschreibt die Entstehung von bodennahem Ozon (O_3) in den unteren Luftschichten. Ozon führt zu Wald- und Vegetationsschäden. In höheren Konzentrationen ist es humantoxisch (Reizung der Atmungsorgane, Asthma, Husten und Augenreizung) [Schmid et al. 2006]. Die Ozonbildung ist ein komplexer Prozess, bei dem den Kohlenwasserstoffen ein Ozonbildungs-Potenzial zugewiesen werden kann. Genaue Potenziale gelten nur für eine definierte Umgebung mit einer bestimmten Lichtintensität, einer bestimmten NO_x -Konzentration und definierten meteorologischen Bedingungen. In der Ökobilanzierung werden als Mittelwerte die Wirkfaktoren gemäß Tabelle 5-2 angesetzt, die auf 1 kg Ethen-Äquivalent bezogen werden. Für die Schadstoffe NO_x , SO_2 und CO wird von einer ohnehin vorhandenen Hintergrundbelastung ausgegangen, so dass sie nicht in die Bilanzierung aufgenommen werden. Für Methan werden die aktuellen Charakterisierungsfaktoren nach [CML 2004] bzw. [Jenkin et al. 2000] übernommen. Für die unspezifischen NMVOC wird der Charakterisierungsfaktor nach [CML 2001] angesetzt¹⁹.

Die Berücksichtigung der **Human- und Ökotoxizität** erfolgt nicht in der klassischen Ökobilanzierung, sondern wird bei der Entwicklung der neuen Wirkungskategorie „Langfristige Sicherheit“ aufgegriffen. Nach [UBA 1999] existieren für die Humantoxizität und die ökotoxischen Belastungen keine methodischen Konzepte zur Charakterisierung. Weiterhin ist die Datenlage zu zahlreichen human- und ökotoxischen Stoffen so schlecht, dass fundierte Aussagen nur schwer abzuleiten sind.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die verwendeten Wirkfaktoren.

¹⁹ Für die unspezifischen NMVOC macht [CML 2004] eine worst-case-Abschätzung und setzt als Charakterisierungsfaktor 1 an, was dem Doppelten des Durchschnitts aller Einzelsubstanzen entspricht. Dieses Vorgehen ist für die vorliegende Fragestellung mit der speziellen Wirkung der Einzelsubstanzen Iso-Butan und Cyclopentan verzerrend, so dass hier der allgemeine Charakterisierungsfaktor für unspezifische NMVOC von 0,416 nach CML 2001 angesetzt wird.

Tabelle 5-2: Wirkfaktoren für die Berechnung der Wirkungspotenziale

Wirkungskategorie	Wirkstoff	Wirkfaktor	Quelle
Treibhauseffekt kg CO ₂ -Äquivalente (Bezug 100a)	CO ₂ fossil	1	IPCC 2005
	CH ₄ fossil	23	IPCC 2005
	N ₂ O	296	IPCC 2005
Versauerung kg SO ₂ -Äq/kg	SO ₂	1,2	CML 2004
	NO _x	0,5	CML 2004
	NH ₃	1,6	CML 2004
Eutrophierung, terrestrisch kg PO ₄ -Äq/kg	NO _x	0,13	CML 2004
	NH ₃	0,35	CML 2004
PM₁₀ (Feinstäube) kg PM ₁₀ -Äq/kg	Primärpartikel	1	[EEA 2002], [WHO 2002]
	SO ₂	0,54	[EEA 2002], [WHO 2002]
	NO _x	0,88	[EEA 2002], [WHO 2002]
	NH ₃	0,64	[EEA 2002], [WHO 2002]
	NMVOC	0,012	Heldstab et al. 2002
Photooxidantienvorläufer kg Ethylen-Äq/kg	NMVOC	0,416	CML 2001
	CH ₄	0,006	CML 2004

5.1.2 Normierung

Um die relative Bedeutung der verschiedenen ermittelten Umweltbeiträge zu erkennen und möglicherweise gegenläufige Ergebnisse gegeneinander abwägen zu können, werden die ermittelten Werte mit der Gesamtbelastung in Deutschland in Beziehung gesetzt. Mit dieser Normierung kann aufgezeigt werden, welche Wirkungskategorien in besonders hohem Maße zur aktuellen Umweltsituation beitragen. Die Gesamtemissionen in Deutschland und die Aggregation der einzelnen Wirkungskategorien zeigt die Tabelle 1-1 im Anhang 5. Den Metallverbrauch in Deutschland zeigt die Tabelle 1-2 im Anhang 5.

5.1.3 Rangbildung von Wirkungskategorien

Das Umweltbundesamt hat eine Methode zur Hierarchisierung von Ökobilanzergebnissen entwickelt [UBA 1999]. Ein Hauptziel hierbei ist, die Ergebnisse der verschie-

denen Wirkungskategorien hinsichtlich ihrer Bedeutung einzustufen. Der Hierarchisierung liegen folgende Festlegungen in [UBA 1999] zugrunde:

„Eine Wirkungskategorie ... wird als umso umweltschädlicher beurteilt, ihr wird also eine umso höhere Priorität beigemessen,

- 1. je schwerwiegender die potentielle Gefährdung der ökologischen Schutzgüter in der betreffenden Wirkungskategorie anzusehen ist (unabhängig vom aktuellen Umweltzustand),*
- 2. je weiter der derzeitige Umweltzustand in dieser Wirkungskategorie von einem Zustand der ökologischen Nachhaltigkeit oder einem anderen angestrebten Umweltzustand entfernt ist,*
- 3. je größer dieses Wirkungsindikatorergebnis in Bezug auf einheitliche Referenzwerte ist, z.B. der Anteil an der jeweiligen Gesamtjahreemission in Deutschland.“*

Diese Festlegungen werden in den Kriterien ökologische Gefährdung, distance-to-target (Abstand zum angestrebten Umweltzustand) und Spezifischer Beitrag abgebildet. Im Folgenden werden diese Kriterien beschrieben:

5.1.3.1 Ökologische Gefährdung

Dieses Kriterium beurteilt die Schwere möglicher Schäden für die ökologischen Schutzgüter „menschliche Gesundheit“, „Struktur und Funktion von Ökosystemen“ und „natürliche Ressourcen“, die mit den Wirkungskategorien verbunden ist. Nach [UBA 1999] wird die ökologische Gefährdung für die betrachteten Wirkungskategorien folgendermaßen eingestuft (A: höchste Priorität; E: niedrigste Priorität).

Treibhauseffekt:	A
Naturraumbeanspruchung:	A
Versauerung:	B
Terrestrische Eutrophierung:	B
Ressourcen (fossile Rohstoffe):	C
Photooxidantien:	D

Das UBA fordert, diese Einstufung in regelmäßigen Abständen zu überprüfen. Für die hier dargestellten Einstufungen gibt es keine wesentlichen Änderungen von 1999 – 2007, so dass die UBA-Einstufung übernommen wird. Im vorliegenden Projekt kommen noch zwei weitere Wirkungskategorien hinzu, für die vom Umweltbundesamt keine Einstufungen vorliegen: Feinstaub und metallische Ressourcen.

Für die metallischen Ressourcen zeigen die Berechnungen für Verfahren mit Metallrecycling, dass sie hinsichtlich des spezifischen Beitrags eine extrem hohe Priorität haben. Damit wird das Ergebnis der Hierarchisierung für die metallischen Ressourcen so stark vom spezifischen Beitrag dominiert, dass die Einstufung für die ökologische Gefährdung keine Relevanz hat.

Die ökologische Gefährdung von Feinstaub wird mit B eingestuft, da Feinstaub erhebliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit hat und irreversible Schädigungen hervorrufen kann. Die Schädigungen betreffen jedoch nur die jeweils unmittelbar exponierte Generation und keine nachfolgenden Generationen.

5.1.3.2 distance-to-target (Abstand zum angestrebten Umweltziel)

Dieses Kriterium vergleicht den jetzigen Umweltzustand mit dem angestrebten Zustand. Je höher die Differenz ist, umso höher wird die Priorität eingestuft. Nach [UBA 1999] wird distance-to-target für die betrachteten Wirkungskategorien folgendermaßen eingestuft (A: höchste Priorität; E: niedrigste Priorität).

Treibhauseffekt:	A
Naturraumbeanspruchung:	B
Versauerung:	B
Terrestrische Eutrophierung:	B
Ressourcen (fossile Rohstoffe):	B
Photooxidantien:	B

Für die hier dargestellten Einstufungen gibt es keine wesentlichen Änderungen von 1999 – 2007, so dass die UBA-Einstufung übernommen wird.

Das Ergebnis der Hierarchisierung für die metallischen Ressourcen wird so stark vom spezifischen Beitrag dominiert, dass die Einstufung für das distance-to-target ebenso wie die ökologische Gefährdung keine Relevanz hat.

Das distance-to-target von Feinstaub wird mit B eingestuft, da eine Reduktion Veränderungen in der Energie-, Verkehrs- und Wirtschaftspolitik erfordert und weitergehende konkrete Reduktionsziele diskutieren werden.

5.1.3.3 Spezifischer Beitrag

Das Kriterium spezifischer Beitrag vergleicht die normierten Ökobilanzergebnisse, die auch spezifischer Beitrag genannt werden, von den einzelnen Wirkungskategorien. Die Normierung wird hierbei auf die Gesamtbelastung in Deutschland bezogen. Ein Ökobilanzergebnis wird als umso bedeutender eingestuft, je größer es im Vergleich zu der pro Jahr in Deutschland gemessenen Gesamtbelastung ist. Die Variante mit dem höchsten spezifischen Beitrag wird auf 100 % gesetzt. Die Ergebnisse der anderen Varianten werden zu der Variante mit dem höchsten spezifischen Bei-

trag in Relation gesetzt. Aus diesem Ranking erfolgt folgende Klasseneinteilung: A (80 – 100 %); B (60 – 80 %); C (40 – 60 %); D (20 – 40 %); E (0 – 20 %).

5.1.3.4 Zusammenführung der drei Kriterien

Nach der Ermittlung der Klassen für die Kriterien distance-to-target, ökologische Gefährdung und spezifischer Beitrag werden diese für jede Wirkungskategorie gemäß der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt und es wird eine ökologische Priorität abgeleitet.

Tabelle 5-3 Ermittlung der ökologischen Prioritäten nach der UBA-Methode

Verbale Einzelbeurteilungen der Kriterien <i>spezifischer Beitrag</i> , <i>Distance-to-Target</i> und <i>Ökologische Gefährdung</i>			Ökologische Priorität
A	A	A	sehr groß
A	A	B	sehr groß
A	A	C	groß
A	A	D	groß
A	A	E	groß
A	B	B	groß
A	B	C	groß
A	B	D	groß
A	B	E	mittel
A	C	C	groß
A	C	D	mittel
A	C	E	mittel
A	D	D	mittel
A	D	E	mittel
A	E	E	gering
B	B	B	groß
B	B	C	groß
B	B	D	mittel
B	B	E	mittel
B	C	C	mittel
B	C	D	mittel
B	C	E	mittel
B	D	D	mittel
B	D	E	gering
B	E	E	gering
C	C	C	mittel
C	C	D	mittel
C	C	E	gering
C	D	D	gering
C	D	E	gering
C	E	E	gering
D	D	D	gering
D	D	E	gering
D	E	E	sehr gering
E	E	E	sehr gering

5.2 Wirkungskategorie „langfristige Sicherheit“

Eine wesentliche Aufgabe der Abfallwirtschaft ist die langzeitsichere Ausschleusung von Schadstoffen aus der belebten Umwelt. Durch die Gewinnung und Nutzung von Rohstoffen werden Schadstoffe mit dem Rohstoff selbst und den bei der Gewinnung der Rohstoffe anfallenden Bergematerialien aus ihren Lagern entnommen und freigesetzt. Die Schadstoffe werden über die verschiedensten Emissionspfade in die Luft, den Boden und das Wasser verfrachtet. Dies führt zu Belastungen, die durch geeignete Maßnahmen z.B. in den Bereichen der Luftreinhaltung und Abwasserreinigung möglichst wirksam reduziert werden. Dabei fallen schadstoffbelastete Abfälle an, die nun wiederum so zu behandeln sind, dass deren schädliche Inhaltsstoffe aus dem Wirtschaftskreislauf und der belebten Umwelt ausgeschleust und zerstört oder auf möglichst lange Zeit sicher gelagert werden. Hierdurch soll vermieden werden, dass sich Schadstoffe in Produkten anreichern bzw. dass die Emissionen zu Anreicherungen in den Umweltmedien, insbesondere im Boden und in Gewässern führen. Diese unumstrittene Anforderung an die Abfallwirtschaft hat sich entsprechend in der deutschen und europäischen Abfallgesetzgebung niedergeschlagen. Auch in wissenschaftlichen Studien und Veröffentlichungen sowie Stellungnahmen beispielsweise des Sachverständigenrats für Umweltfragen der Bundesregierung (SRU) wird diese wichtige Funktion der Abfallwirtschaft betont [vgl. Brunner 2004, Bacchini, Brunner 1991, Hahn 2002, SRU 1990, Enquete 1993, Enquete 1997].

Demgegenüber werden diese wichtigen Anforderungen in Ökobilanzen in der Abfallwirtschaft aufgrund von methodischen Schwierigkeiten und dem aktuellen Focus auf Fragen des Klimaschutzes gar nicht oder nur am Rande bewertet [Giegrich et al. 1999, Brand 1998, Sundqvist 1997]. Dies ist für Fragestellungen wie die Entsorgung gefährlicher, weil stark schadstoffhaltiger Abfälle, unbefriedigend, da dieses besonders wichtige Umweltkriterium bei der Bewertung weitestgehend außen vor bleibt.

Deshalb wird für diese Bilanz, ergänzend zu den bekannten Ökobilanzkriterien, die Wirkungskategorie „langfristige Sicherheit“ eingeführt, mit der abgebildet wird, welche Schadstofffracht ein Abfallentsorgungssystem aus der belebten Umwelt ausschleust und einer langzeitsicheren Senke zuführt. Die Fragestellung der Langzeitsicherheit ist in Bezug auf die Entsorgung von weitestgehend inerten Abfällen gegenüber der kurzfristigen Freisetzung von Schadstoffen von deutlich größerer Bedeutung. Zudem werden die Wirkungen von kurzfristig freigesetzten Schadstoffen z.B. beim Transport und Behandeln der Abfälle in der klassischen Ökobilanz ausreichend behandelt, sodass in der zusätzlichen Wirkungskategorie eine ausschließliche Betrachtung der langfristigen Sicherung vor Schadstofffreisetzungen gewählt wird. Zur Ausgestaltung dieser Wirkungskategorie sind folgende Fragen zu klären bzw. sind für diese Regeln festzusetzen:

1. Welche Schadstoffe sind zu betrachten?
2. Welche Emissionspfade sollen abgebildet werden?

3. Welche Zeithorizonte gelten als „langzeitsicher“?
4. Welche Senken sind als langzeitsicher einzustufen?
5. Wie kann die Bewertung erfolgen?

5.2.1 Schadstoffauswahl

Da bei dieser Wirkungskategorie der Focus auf die Langzeitsicherheit gelegt wird, werden ausschließlich die langlebigen Schadstoffe für die Untersuchung herangezogen. Hierfür sind insbesondere die Schwermetalle relevant, da diese - auch in sehr langen Zeiträumen - nicht abgebaut werden [Zeschmar-Lahl 2003, Enquete 1994, Brunner, Moench 1986]. Da von den einzelnen Schwermetallen die unterschiedlichsten toxischen Auswirkungen verursacht werden, ist eine möglichst umfassende Berücksichtigung des weiten Spektrums an Wirkungen auf die betroffenen Ökosysteme und die menschliche Gesundheit zu gewährleisten. Gegen die zunächst naheliegende Überlegung, auch langlebige organische Schadstoffe heranzuziehen, spricht insbesondere die Tatsache, dass diese über die hier betrachteten Zeiträumen weitestgehend abgebaut werden. Entsprechende Hinweise zeigte nicht zuletzt das BMBF-Verbundforschungsprojekt "Sickerwasserprognose" [Eberle Ruddek 2006]. Hinzu kommt, dass bei den betrachteten Abfällen die Belastung durch langlebige organische Schadstoffe nicht so relevant ist wie die Schwermetallgehalte, da hier vorrangig Abfälle betrachtet werden, die grundsätzlich für den Bergversatz geeignet sind und damit niedrige Organikanteile aufweisen.

5.2.2 Emissionspfade

Bei der Entsorgung von gefährlichen Abfällen werden entweder durch Ablagerung direkt oder über das Sickerwasser insbesondere Boden und Grundwasser belastet. Selbst wenn es um die Bewertung von Abluftemissionen aus Behandlungsanlagen für die untersuchten Abfälle geht, werden bei den betrachteten Zeiträumen die Schwermetalle vollständig infolge deren Deposition Böden beaufschlagen, so dass insgesamt die Emissionspfade (Luft –) Boden, (Luft –) Boden – Grundwasser von Interesse sind.

Bei standortunabhängigen Ökobilanzen können die Ausbreitungsverhältnisse der einzelnen Emissions- bzw. Immissionspfade nicht abgebildet werden. Deshalb ist es üblich, Schadstoffpotenziale zu bilanzieren, unabhängig von den Verbreitungsbedingungen in der Umwelt [Dehoust et al. 1993, Dehoust et al. 1998]. Das heißt, in der hier zu definierenden Wirkungskategorie wird bilanziert, welche Schadstofffrachten als Potenzial für eine Emission in die beschriebenen Pfade zur Verfügung stehen bzw. im Umkehrschluss, für welche Frachten diese Emission auf langfristig sicher verhindert werden muß.

5.2.3 Zeithorizonte

In der klassischen Abfallwirtschaft werden im Zusammenhang mit der Deponierung von Abfällen in der Regel andere Zeiträume diskutiert als beispielsweise bei der Entsorgung von radioaktiven Abfällen. Während für die Sicherungsnachweise für die Endlagerung von radioaktiven Abfällen Zeiträume von 10.000 Jahren und mehr gefordert werden, reichen die Überlegungen bei der Entsorgung eher über Zeiträume von 100 bis max. 1.000 Jahren. Dies ist zum einen verständlich, da die Verhältnisse bei der obertägigen Ablagerung keine sicheren Prognosen über längere Zeiträume zulassen. Der Focus der Überlegungen lag in der Vergangenheit insbesondere auf der Ablagerung von reaktiven Abfällen, insbesondere von Siedlungsabfällen. Man ging davon aus, dass die Reaktionen innerhalb der Deponien innerhalb dieser Zeiträume soweit abgeklungen seien, dass die Deponien keine Gefahr mehr für die Umwelt darstellen [u.a.: Sabbas et al. 1998, Baccini et al. 1988]. Dass die technischen Barrieren zur Rückhaltung der Schadstoffe nur eine Wirksamkeit von endlicher Dauer besitzen ist dabei unbestritten. Egal ob es sich dabei um mineralische Abdichtungssysteme oder Barrieren auf der Basis von Kunststoffdichtungsbahnen handelt [u.a.: Stief 1988].

Für die Verwertung von mineralischen Recyclingbaustoffen in technischen Bauwerken wird im Entwurf zur Ersatzbaustoffverordnung als Basis zur Festlegung der Zuordnungswerte im Eluat beispielsweise ein Betrachtungszeitraum von 200 Jahre zugrunde gelegt [BMU 2007a].

Aber auch in der Diskussion von Endlagerdeponien und der Bewertung der Abfallentsorgung in Ökobilanzen werden schon seit Jahren Zeiträume diskutiert, die deutlich über 1.000 Jahren liegen, ohne dass zufriedenstellende Lösungen dafür gefunden wurden, für solche Zeiträume das Emissionspotenzial aus Deponien zu prognostizieren [Baccini 1988, Brunner 1992, Zimmermann 1995, Sundqvist 1997].

Für diese Studie wird deshalb ein Betrachtungszeitraum von bis zu 10.000 Jahren gewählt. Dieser Zeithorizont ist allerdings nicht als Abgrenzung nach oben zu verstehen, da im Rahmen dieser Bewertung zwar unterschieden wird zwischen kurz-, mittel- und langzeitsicheren Senken, es dabei aber keinen Unterschied macht, ob eine langfristig sichere Senke Sicherheit über 10.000 Jahre oder länger gewährleisten kann.

Die Einteilung der Zeithorizonte erfolgt in kurzfristig, mittelfristig und langfristig sicher. Die Einstufungen kurzfristig und mittelfristig sicher dienen dabei als Zusatzinformation zu der im Zentrum stehenden Bewertung, welche Schadstofffrachten einer langfristig sicheren Senke zugeführt werden können (vgl. Abbildung 5-1).

5.2.4 Langzeitsicherheit von Senken

Als Endlager oder Senken im Sinne dieser Studie werden verschiedene Deponien, die Verwertung im Straßenbau und der Bergversatz miteinander verglichen. Außerdem wird die Rückführung der Materialien in den Wirtschaftskreislauf untersucht.

Da das Ziel dieser Wirkungskategorie ist zu bestimmen, welche Schadstofffracht von den untersuchten Abfallbehandlungssystemen in eine langfristig sichere Senke ausgeschleust werden kann, sind diese Lager zunächst daraufhin zu untersuchen, ob sie eine dauerhafte Sicherung über den betrachteten Zeithorizont gewährleisten. Als Zusatzinformation werden die Schadstofffrachten, die nicht langfristig sicheren Senken zugeführt werden, danach bewertet, ob sie kurz- oder mittelfristig sicher abgelagert werden.

5.2.4.1 Obertägige Deponien

Das Konzept Schadstoffe in obertägigen Deponien einzukapseln (Hochsicherheitsdeponie, Multibarrierensystem) ist systembedingt mit dem Problem verbunden, dass über den Zeitraum der Funktionstüchtigkeit der Barrieren die Schadstoffe konserviert werden und damit das gesamte Schadstoffpotenzial bis zu dem Zeitpunkt erhalten bleibt, an dem die Wirksamkeit der Barrieren nicht mehr gewährleistet werden kann. Deshalb hat man sich in Deutschland, wie auch in Österreich und der Schweiz, zumindest für nicht inertisierte Abfälle von der Deponierung als Standardmethode der Abfallbeseitigung verabschiedet [Stief 1988, Brunner 1992, Baccini et al. 1993]. In Deutschland wurde dies in der TA Siedlungsabfall und der Ablagerungsverordnung, wonach seit Mitte 2005 die Ablagerung unvorbehandelter Siedlungsabfälle verboten ist, entsprechend festgeschrieben.

Seither wird das Konzept verfolgt, die Abfälle so vorzubehandeln, dass sie als endlagerfähig einzustufen sind. In der wissenschaftlichen Diskussion wurde aber in zahlreichen Studien und Forschungsvorhaben gezeigt, dass auch für inertisierte Abfälle eine langzeitsichere Endlagerung in obertägigen Deponien nicht sichergestellt werden kann. Insbesondere die Rückhaltung von Schwermetallen kann nur über begrenzte Zeiträume, durch das Puffervermögen in basischen oder konditionierten Abfällen, gewährleistet werden. Ist das Puffervermögen durch den Eintrag von sauren Niederschlägen aufgebraucht, erfolgt der Austrag der nicht abgebauten oder chemisch festgelegten Schadstoffe [u.a. Sabbas et al. 1998, Öko-Institut 1993, Dehoust et al. 1992, Both et al. 1996].

Die obigen Ausführungen machen deutlich, dass obertägige Deponien nicht als langzeitsicher eingestuft werden können, da ein sicherer Einschluss je nach Beschaffenheit der Deponie nicht über einen Zeitraum von 1.000 Jahren gewährleistet werden kann. Die Einstufung der Sicherheit der Senke hängt nur indirekt, in Bezug auf die orientierende Einstufung zwischen kurzfristiger und mittelfristiger Sicherheit (siehe unten), von der Art der Vorbehandlung ab. Auch eine Konditionierung (teil-

weise Stabilisierung oder Verfestigung) kann keine langfristige Sicherheit auf ober-tägigen Deponien sicherstellen, da eine langfristige Sicherheit der Schadstoffeinbin-dung nicht nachgewiesen werden kann (vgl. Kapitel 3.8). Vielmehr zeigen zahlreiche Studien, dass für die betrachteten Abfallarten durch die Konditionierung nur eine mittelfristige Sicherheit und diese häufig nur für einen Teil der enthaltenen Schad-stoffe gewährleistet werden kann [Öko 2004, Wienberg et al. 1989, Wienberg et al. 1990, Heindl, Westermann 2001, TÜV Nord 2007].

Zur orientierenden Abgrenzung zwischen kurz- und mittelfristiger Sicherheit wird für die unterschiedlichen obertägigen Deponien unabhängig davon, ob die Abfälle dort beseitigt oder innerhalb der Barrieren verwertet werden, folgende Abstufung getrof-fen:

- Ablagerung von nicht konditionierten Abfällen auf Deponien, die nicht dem Sicherheitsstandard der Deponieklasse II (DK II) entsprechen (DK I oder DK II ohne Abdichtungssysteme nach TA Siedlungsabfall) wird als kurzfristig si-cher, also bis 100 Jahre, eingestuft.
- Ablagerung von Abfällen nach Konditionierung (unabhängig von der Depo-nieklasse) oder ohne Konditionierung auf Deponien der Deponieklassen II und III wird als mittelfristig sicher eingestuft.

5.2.4.2 Einsatz im Straßenbau

Für Rost- und Kesselaschen und Schlacken aus der Abfallverbrennung wird, ent-sprechend der gängigen Praxis, auch der Einsatz im Straßenbau bewertet. Der Ein-bau erfolgt unter einer gebundenen Decke. Wie Tabelle 8-1 veranschaulicht, ist die Gesamtschadstofffracht, die hierdurch in Straßen eingebaut wird, aufgrund der gro-ßen Mengen dieser Abfälle nicht zu vernachlässigen. Das Ziel der Verwertung der Aschen und Schlacken im Straßenbau besteht nicht in der Endlagerung dieser Ma-terialien, sondern im Ersatz von Primärbaustoffen. Insofern ist die Einstufung nach den vorgegebenen Kategorien bezüglich der Senken unter Vorbehalt zu sehen. Da aber keine Primärrohstoffe mit vergleichbaren Schadstoffgehalten ersetzt werden und ein definierter Zeitraum der Nutzung nicht vorliegt (zum einen ist nicht auszu-schließen, dass die Aschen auf Dauer verbleiben, zum andern kann nach Ausbau wieder ein vergleichbarer Einsatz erfolgen), muss auch die Verwertung im Straßen-bau in dieser Wirkungskategorie betrachtet werden [Öko-Institut 2007].

Eine definierte Barriere zum Untergrund existiert nicht. Per Definition handelt es sich dabei nicht um eine sichere Ausschleusung der Schadstoffe aus der belebten Um-welt. Deshalb erfolgt für diesen Einsatz eine Einstufung als kurzfristig sicher.

5.2.4.3 Bergversatz

Für die betrachteten Abfälle wird in diesem Forschungsvorhaben ausschließlich der Versatz gemäß den Vorgaben der Versatzverordnung untersucht und bewertet. Demnach kommen für den Versatz dieser Abfälle nur Bergwerke mit Langzeitsicherheitsnachweis im Salz in Frage, für die ein dauerhaft sicherer, vollständiger Einschluss der Schadstoffe gewährleistet ist [VersatzV 2002]. Bezüglich der Sicherheitsstandards besteht kein relevanter Unterschied zu Untertage-Deponien.

Der vollständige Einschluss zur dauerhaft sicheren Ausschleusung von Schadstoffen aus der belebten Umwelt ist eine Forderung an die Abfallwirtschaft, die seit vielen Jahren diskutiert wird.

Aufgrund der Eigenschaften der geologischen Formation („Wirtsgestein“, „einschlusswirksamer Gebirgsbereich“), der Abwesenheit bzw. der Unbeweglichkeit von Transportmedien verbleiben die so „vollständig eingeschlossenen“ Schadstoffe an Ort und Stelle. Eine Freisetzung in das Grundwasser sowie in die belebte Umwelt kann grundsätzlich nicht erfolgen, da die vorhandenen Barrieren einen Transport vollständig und langfristig unterbinden. Langfristig meint dabei einen praktisch unbegrenzten Betrachtungszeitraum, in jedem Fall jenseits von mehreren Tausend Jahren (im Allgemeinen wird als Zeithorizont für Langzeitsicherheitsnachweise 10.000 Jahre angesetzt). Der Einschluss muss nach TA Abfall und Versatzverordnung bei allen Einwirkungsszenarien natürlicher Art, die am Standort des Bergwerks zu erwarten sind, erhalten bleiben und darf auch durch langfristige Veränderungen, denen die technisch erstellten Hohlräume nach ihrem Verschluss weiter ausgesetzt sind, nicht versagen. Künftige, nicht beabsichtigte, menschliche Einwirkungen, die eine Schwächung des Einschlusses verursachen könnten, sollen unwahrscheinlich sein. Die Einhaltung dieser Anforderungen setzt implizit voraus, dass die Untertageanlagen nach Beendigung der Verfüllung dauerhaft und hydraulisch dicht verschlossen werden, was zumindest bei Salzbergwerken in den meisten Fällen ohnehin erforderlich ist, da ohne Verschluss Langzeitschäden zu befürchten sind (Langzeitstabilität, Versalzung von Grundwässern, etc.). Diese Verschlüsse haben den Anforderungen der TA Abfall zu entsprechen, entsprechende Untersuchungen über die Wirksamkeit von Verschlüssen liegen vor [vgl. u.a. SRU 1990, Öko 2004, TA Abfall 1991, VersatzV 2004, LAB 1996, Sitz et al. 2003, Wilke 1991].

Die Verbringung unter Tage wird als langzeitsichere Senke eingestuft, unabhängig ob im Bergversatz oder in einer Untertage-Deponie.

5.2.4.4 Metallrecycling

Die Metallfracht, die einem hochwertigen Recycling zugeführt wird, macht die Rohstoffgewinnung für die Primär-Produktion und die damit verbundene Freisetzung von Schadstoffen überflüssig. Hierdurch wird die adäquate Menge an Schadstoffen nicht erst in den Wirtschaftskreislauf verbracht [Grießhammer et al. 1994, Baccini et al.

1985, EU-Kommission 2003a]. Hinzu kommen entsprechende Mengen an Schadstoffen, die zusätzlich im Bergematerial enthalten sind. Die so erreichte Schonung der Ressourcen entspricht in der Auswirkung einer Verbringung in eine langfristig sichere Senke und wird entsprechend eingestuft.

5.2.5 Aggregation und Bewertung

Die Wege der einzelnen Schadstofffrachten in den untersuchten Abfallbehandlungssystemen werden in einer Stoffstromanalyse bzw. Stoffflussanalyse berechnet. Hierzu werden die Abfallströme mit ihren Schadstoffgehalten auf dem Weg durch die einzelnen Behandlungsmodule verfolgt (vgl. Kapitel 6) und entsprechend dem Verhalten der Schadstoffe auf die weiteren Behandlungswege aufgeteilt [Brunner et al. 1987, Brunner, Rechberger 2004, Hagelüken et al. 2004, Zeschmar-Lahl 2004].

Um die so ermittelten Schadstofffrachten in die einzelnen Senken einer Bewertung zuzuführen, bedarf es noch einer Aggregation, die sich an der Toxizität der einzelnen langlebigen Schadstoffe orientieren muss. Bereits zu Beginn der vergleichenden Bilanzierung von ökologischen Auswirkungen in der Abfallwirtschaft wurde versucht, anhand von Grenzwerten aktuelle Emissionen in Luft und Wasser aus Abfallbehandlungsanlagen zu aggregieren [Giegrich et al. 1999, Dehoust et al. 1993, Dehoust et al. 1998]. Als Problem zeigte sich immer wieder, dass die Grenzwerte im Allgemeinen nicht nach einheitlichen wissenschaftlichen Vorgaben hergeleitet waren und dass meist nur für wenige Parameter vergleichbare Werte vorlagen. Bei der hier entwickelten Methode wurde deshalb auf die Geringfügigkeitsschwellenwerte (GFS) zurückgegriffen, die nach einheitlichen, wissenschaftlich begründeten Vorgaben zum Schutz des Grundwassers von einer Arbeitsgruppe unter Leitung der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) hergeleitet wurden [LAWA 2004]. Die GFS stellt die Schadstoffkonzentration im Grundwasser dar, bei der trotz Erhöhung gegenüber den Hintergrundwerten keine relevanten ökotoxischen Wirkungen auftreten können. Durch die Einhaltung der GFS soll das Grundwasser überall für den menschlichen Gebrauch erhalten und als Lebensraum intakt gehalten werden. Grundwasser ist Bestandteil des Naturhaushalts und bildet den Basisabfluss von Oberflächenwasser. Somit stellen die GFS eine gut geeignete Grundlage für eine Gewichtung der Auswirkungen von Schadstoffen dar, die über den Immissionspfad Boden - Grundwasser wirken. Die folgende Abbildung zeigt die GFS für die im Rahmen dieser Studie wichtigsten langlebigen Parameter, von denen die aufgeführten Schwermetalle für die Aggregation der Wirkung der ermittelten Schadstofffrachten herangezogen wurden.

Für die Aggregation der Schadstofffrachten zu einem Wert werden die Frachten der einzelnen Schadstoffe mit den GFS gewichtet und zu Cr-Äquivalenten umgerechnet. Durch Addition und Wichtung der so ermittelten Cr-Äquivalente, erhält man für jede Senke das Emissionspotenzial, das der toxikologischen Wirkung von Chrom III entspricht, angegeben in Cr- μg je t zu entsorgendem Abfall.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die GFS-Werte für die Schwermetalle.

Tabelle 5-4 GFS für die wichtigsten Schwermetalle nach [LAWA 2004]

	Geringfügigkeitsschwelle bei lokaler Begrenzung [LAWA 2004] ug/l
Anorganische Parameter	
As	10
Cd	0,5
Co	8
Cr III	7
Cu	14
Hg	0,2
Mo	35
Ni	14
Pb	7
Sb	5
Se	7
Tl	0,8
V	4
Zn	58

Entsprechend der Tabelle haben Nickel bzw. Chrom III einen GFS-Wert von 14 bzw. 7 µg/l. Damit wird Nickel als weniger toxisch eingestuft als Chrom III, und einem kg Nickel wird eine Toxizität von 0,5 kg Cr-äq zugewiesen.

Die Gesamtbewertung innerhalb der Wirkungskategorie „langfristige Sicherheit“ erfolgt damit aus den Ergebnissen der Stoffstromanalyse, ihrer Wichtung nach der Toxizität auf der Basis der Geringfügigkeitsschwellenwerte und der Einstufung in die Zeithorizonte kurzfristige, mittelfristige oder langfristige Sicherheit. Die nachfolgende Abbildung veranschaulicht die Bewertung noch einmal graphisch:

Schadstoffanteile, die bis zum angegebenen Zeitraum sicher eingeschlossen sind, gewichtet nach ihrer Toxizität (Cr äq.). Als Gewichtungsfaktoren werden die Geringfügigkeitsschwellenwerte herangezogen:			
0 - 100 Jahre	100 - 1.000 Jahre	1.000 - 10.000 Jahre	Vollständiger Schadstoffabbau bzw. Rückführung in Produktion bzw. Vernichtung (Organik)
Kurzfristig sicher	Mittelfristig sicher	Langfristig sichere Senke	
kg Cr äq/t	kg Cr äq/t	kg Cr äq/t	kg Cr äq/t
	 Zusätzliche Informationen zur mittelfristigen Sicherheit	 Der gewichtete Schadstoffanteil, der in eine sichere Senke geht, ist das zentrale Ergebnis dieser Wirkungskategorie	

Abbildung 5-1 Definition der Zeithorizonte für kurzfristig, mittelfristig und langfristig sicheren Senken

5.3 Einbindung von sozialen Indikatoren in das Bewertungsmodell

In der klassischen Form der Ökobilanzen werden bestimmte Nachhaltigkeitskriterien, wie z. B. die Sozialverträglichkeit, nicht berücksichtigt. Soziale und gesellschaftliche Aspekte können jedoch einen Einfluss auf die nachhaltigkeitsbezogene Bewertung von Verfahren und Produkten haben. Insbesondere spielen sie auch für die gesellschaftliche Akzeptanz eine Rolle.

Die Analyse sozialer Aspekte basiert auf der Social Life Cycle Assessment (SLCA) Methode, einer produktbezogenen Sozialbilanz, die auf die Besonderheiten der Verfahrensbetrachtung angepasst wurde. Innerhalb der vom Öko-Institut entwickelten PROSA-Methodik zur nachhaltigkeitsbezogenen Bewertung von Produkten stellt sie ein Kernelement dar [Grießhammer, 2006].

Im Vergleich zur Ökobilanz umfasst die Sozialbilanz in stärkerem Maße qualitative Aspekte. Aus der Vielzahl der möglichen sozialen Aspekte wurden im Rahmen von PROSA geeignete Sozialindikatoren ausgewählt und in einer sehr umfassenden Indikatorliste, unter anderem im fachlichen Austausch mit der SETAC zusammengestellt (siehe Anhang). Die Auswahl ist nach den relevanten Stakeholdern – Arbeitnehmer, lokale und regionale Bevölkerung, Gesellschaft und private, gewerbliche und staatliche Nutzer – sortiert und umfasst alle sozialen Aspekte, die in den wichtigsten Vorschriften und Codes wie ILO-Standard, OECD-Guideline, SA 8000 usw. enthalten sind. Für die hier vorliegende Fragestellung kommt den sozialen Indikatoren gegenüber den umweltbezogenen Kriterien keine vergleichbare Bedeutung zu. Aus diesem Grund und im Sinne einer prägnanten Ergebnisdarstellung, soll durch ein zweistufiges Vorgehen eine Einengung der zahlreichen sozialen Indikatoren auf einen bis drei Indikator(en) erreicht werden.

Aus der Liste der sozialen Indikatoren (siehe Anhang 5, Kap.1.3) werden im ersten Schritt folgende ausgewählt, die als Bewertungsgrundlage der sozialen Aspekte im Rahmen der Ökobilanzierung der verschiedenen Abfallverwertungs- und Abfallbeseitigungstechnologien bedeutsam sein könnten.

Arbeitnehmer:

- Anzahl anerkannter Berufskrankheiten und Berichte über erhöhte gesundheitliche Risiken
- Arbeitsplatz verbunden mit Lärm, Geruch, Dämpfen, Staub, Hitze, unzureichende Beleuchtung

Benachbarte und regionale Bevölkerung:

- Gesundheitliche Chancen und Risiken für die Bevölkerung im Umfeld des Unternehmens

Gesellschaft:

- Anzahl der Erwerbstätigen (Maß für Arbeitsintensität)
- Andere begründete Hinweise auf erhöhte kurz-, mittel- und langfristige Risiken für die menschliche Sicherheit

Im nächsten Schritt werden aus der genannten Vorauswahl, die besonders relevanten Indikatoren festgelegt.

5.3.1 Arbeitnehmer

Grundsätzlich sind für die Arbeitnehmer in der Abfallwirtschaft unterschiedliche Arten von Gesundheitsrisiken denkbar.

Der Umgang und der fortlaufende Kontakt mit gefährlichen Abfällen kann zu kurzfristigen aber auch langfristigen Beeinträchtigungen der Gesundheit führen. Entsprechende Sicherheits- und Vorsorgemaßnahmen sind in den gesetzlichen Unfallverhütungsvorschriften (GUV) verankert. Weder liegen allerdings quantitative Erhebungen vor noch gibt es Berichte, die einen direkten Zusammenhang zwischen der beruflichen Tätigkeit und spezifischen Krankheiten (Berufskrankheiten) nahe legen.

Nach den Berichten der Gewerkschaft verdi [VERDI 2006] gibt es in der Abfallwirtschaft ein erhöhtes Unfallrisiko insbesondere bei der Sammlung und dem Transport des Abfalls (z.B. Übermüdung der Fahrer, Nichtberücksichtigung von Sicherheitsstandards usw.). In den betrachteten Abfallverwertungs- oder Abfallbeseitigungsverfahren gibt es keine nennenswerten Unterschiede bezüglich der Unfall- oder Gesundheitsgefahren. Dies gilt insbesondere aufgrund der Tatsache, dass sich die spezielleren Gefahren im Bergversatz (insbesondere die Einsturzgefahr) und Metallrecyclinganlagen nicht wesentlich von den Gefahren der substituierten Verfahren beim Versatz von bergwerkseigenen Materialien unterscheiden. Das gleiche gilt bezüglich der Verfahren des Metallrecyclings.

Die Arbeitsplatzbelastung der Arbeitnehmer mit Lärm, Geruch, Staub ist grundsätzlich nicht unerheblich. Auch hier liegen, u.U. wegen der Beachtung der einschlägigen Vorsorge- und Sicherheitsvorschriften, keine Berichte über erhöhte Gesundheitsrisiken vor.

Bei der differenzierten Betrachtung der im Forschungsvorhaben unterschiedlichen Entsorgungswege für gefährliche Abfälle, zeigen sich hinsichtlich der sozialen Aspekte der Arbeitnehmer keine relevanten Unterschiede. Unter der Annahme, dass die entsprechenden Vorsorge- und Sicherheitsvorschriften eingehalten werden, gibt es keine begründeten Hinweise über eine spezifisch höhere oder niedrigere Gefährdung der Arbeitnehmer beim Bergversatz, der obertägigen Deponierung oder der Verwertung. Spezifische Unterschiede ergeben sich nur nach Art des gefährlichen Abfalls.

5.3.2 Benachbarte und regionale Bevölkerung

Gesundheitliche Beeinträchtigungen von Menschen im Umfeld der Unternehmen sind ähnlich zu bewerten, wie die der Arbeitnehmer. Zur Vermeidung von Geruchs- und Lärmbelästigungen müssen z. B. Mindestabstände zwischen Deponien und Wohngebieten eingehalten werden. Auch hier ergibt eine differenzierte Betrachtung keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der sozialen Belange. Insbesondere, da diese Belange weitgehend in der Ökobilanz adressiert sind.

5.3.3 Gesellschaft

Die Abfallwirtschaft mit angrenzenden Bereichen beschäftigt in Deutschland ca. 250.000 Personen (BMU 2007b). Damit ist sie ein wichtiger Wirtschaftsfaktor. Die überwiegende Anzahl der hier beschäftigten Mitarbeiter ist in der Sammlung und dem Transport von Abfällen tätig. In den betrachteten unterschiedlichen Abfallverwertungs- oder Abfallvermeidungstechnologien ist nur ein geringer Prozentsatz beschäftigt. Ein gesellschaftlich relevanter Unterschied bezüglich der Arbeitsintensität wird nicht gesehen.

Im Grenzbereich zwischen den in der klassischen Ökobilanz berücksichtigten ökologischen Faktoren und den sozialen Aspekten finden sich gesellschaftlich bedeutsame Unterschiede zwischen den einzelnen Entsorgungs- und Verwertungstechnologien.

Der Bergversatz dient nicht nur der Entsorgung der Abfälle sondern vor allem auch der Stabilisierung des Grubengebäudes. Damit werden Schäden an Gebirgen verhindert. Gebirgsschäden sind nicht nur ökologisch relevant sondern haben auch soziale Auswirkungen. Neben der direkten Gesundheitsgefahr durch einsturzgefährdete Bergwerke oder Gebirgsveränderungen können Lebensraum- und Landschaftsveränderungen nachhaltige soziale Folgen haben. Ökonomische Beeinträchtigungen (z. B. in touristisch attraktiven Gebieten) aber auch veränderte Lebensbedingungen z. B. durch auch umgeleitete oder versiegte Fluss- und Bachläufe haben soziale Auswirkungen für eine ganze Region.

Von sozialer und gesellschaftlicher Relevanz ist auch, ob Technologien auf Ressourcenschonung ausgerichtet sind oder nicht. Stehen zukünftigen Generationen weniger natürliche Ressourcen zur Verfügung beeinflusst dies auch deren sozio-ökonomische Realität. Die Verwendung von Abfällen als Bergversatz schont natürliche Ressourcen genauso wie die betrachtete stoffliche Verwertung und Aufbereitung von Galvanikschlamm in der Kupferhütte, von Elektrostahlwerkstäuben im Wälzverfahren oder von Edelstahlstäuben im Elektroreduktionsverfahren.

Insgesamt sind die sozialen Aspekte auf Grundlage der in PROSA aufgeführten sozialen Indikatoren bei differenzierter Betrachtung der Abfallverwertungs- und Abfallbeseitigungsverfahren nur in zwei Punkten von bedeutender Relevanz. Als Be-

wertungsgrundlage für die ökologische Bilanzierung werden sie qualitativ herangezogen, wobei der Bergversatz bezüglich „Schutz vor Bergschäden“ und die stoffliche Verwertung bezüglich „Schonung von (metallischen) Ressourcen für zukünftige Generationen“ positiv beurteilt werden.

5.4 Zusammenfassende Gesamtbewertung

Aufbauend die Teilergebnisse aus den einzelnen, oben beschriebenen Wirkungskategorien werden für die unterschiedlichen Entsorgungswege abschließende Empfehlungen gegeben:

- Ergebnisse der neuen Wirkungskategorie „langfristige Sicherheit“
- Ergebnisse der Wirkungskategorie „metallische Ressourcen“
- Ergebnisse der „klassischen Ökobilanz“.

Für jedes dieser drei Ergebnisse erfolgt ein Ranking der unterschiedlichen Entsorgungsvarianten. Die Variante bzw. die Varianten, die am empfehlenswertesten sind, erhalten hierbei den Platz 1. Die weniger empfehlenswerten Varianten werden auf hintere Plätze eingestuft. Das Ranking basiert auf den Einzelergebnissen, die in Kapitel 6 ausführlich dargestellt sind.

Nach dem Ranking innerhalb der Teilergebnisse erfolgt eine Gesamtbewertung durch die Zusammenführung der Teilergebnisse. Wesentlich für die Gesamtbewertung ist die Priorität, die den Teilergebnissen zugewiesen wird:

Wie bereits dargestellt wurde, liegt bei der Entsorgung der vorliegenden Abfälle aus Umweltsicht die höchste Priorität bei der langfristigen Sicherheit. Eine mittlere Priorität hat die Schonung metallischer Ressourcen, da wie in Kapitel 2.4 dargestellt, die Metallmenge, die in den ausgewählten 50 Abfällen enthalten ist, je nach Metall zwischen 1 und 21 % des Primäreinsatzes von Metallen beträgt²⁰. Das ist im Vergleich zu üblichen spezifischen Beiträgen bei Ökobilanzen ein enorm hoher spezifischer Beitrag. Die spezifischen Beiträge der „klassischen“ Ökobilanz wie Treibhauseffekt, Versauerung, Eutrophierung, Feinstaub und Verbrauch energetischer Ressourcen liegen bei der Bilanzierung der Entsorgung in der Größenordnung von 0,002 – 0,2 %. Daraus ergibt sich für die vorliegende Bewertung eine geringe Priorität für die Ergebnisse der klassischen Ökobilanz im Vergleich zu den Wirkungskategorien „langfristige Sicherheit“ und „metallische Ressourcen“.

Als Endergebnis werden je nach untersuchter Abfallart die Entsorgungswege aufgrund des beschriebenen Rankings als empfehlenswert, bedingt empfehlenswert oder nicht empfehlenswert eingestuft.

²⁰ Vgl. Kap. 2.4: In den 50 ausgewählten Abfällen wird der Anteil der Metallgehalt im Abfall im Vergleich zum deutschen Metallverbrauch auf folgende Größenordnungen geschätzt: Cu, Fe: rund 1%; Cr, Ni: rund 4%; Pb: rund 9%; Zn: rund 21%.

Die sozialen Indikatoren können zusammenfassend bewertet werden, da hiervon nur die Varianten Bergversatz und Metallrecycling betroffen sind (vergleiche Kapitel 5.4 und 7).

6 Ergebnisse der Ökobilanz und der Stoffstromanalyse für die einzelnen Abfälle und Verfahren

Im Folgenden werden die untersuchten Abfälle und ihre Entsorgungswege einer Bewertung auf Basis der Ökobilanz und der Stoffstromanalyse unterzogen. Die Bewertung wird in den nachfolgenden Unterkapiteln für jeden Fall getrennt aufgeführt. Die Ergebnisdarstellung ist für den ersten dargestellten Abfall (Filterstäube aus der Abfallverbrennung) ausführlicher, um stellvertretend für die anderen Abfälle ausführlichere Erläuterungen zur gewählten Darstellungsweise und der Methodik zu machen. Die darauf folgenden Beschreibungen für die anderen Abfälle sind im Sinne einer übersichtlichen Darstellung knapper gefasst.

6.1 Filterstäube aus der Abfallverbrennung

6.1.1 Ergebnis der Ökobilanz

Treibhauseffekt

Die nachfolgende Graphik zeigt das Ergebnis für den Treibhauseffekt.

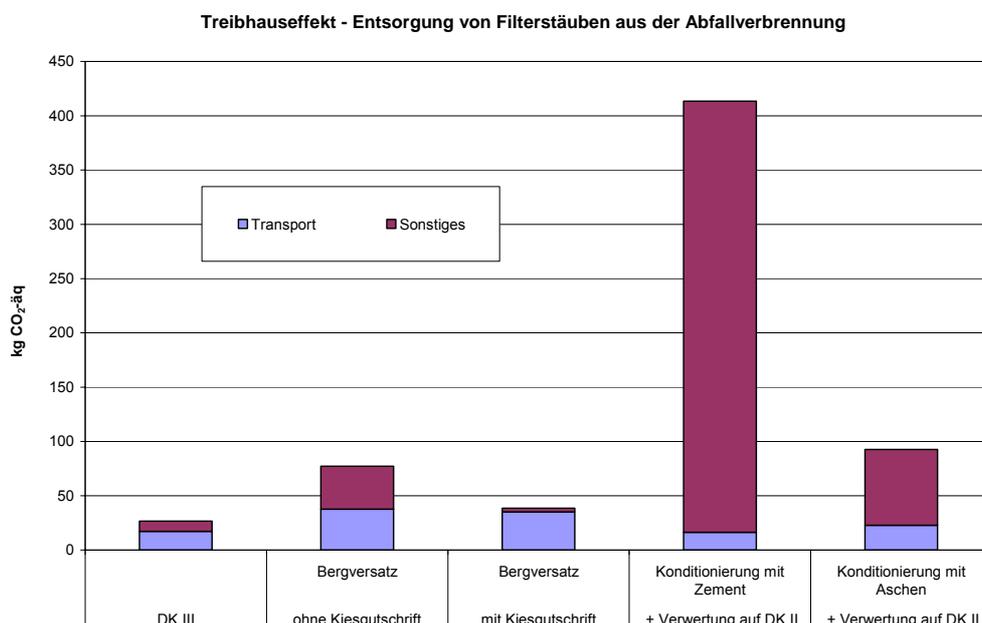


Abbildung 6-1 Entsorgung von 1 t Filterstaub aus der Abfallverbrennung: Ergebnis für den Treibhauseffekt

Der untere helle bzw. blaue Balken zeigt für die verschiedenen Entsorgungswege den Beitrag zum Treibhauseffekt, der aus Transporten resultiert. Der höchste Beitrag wurde für den Bergversatz mit einer Transportdistanz von 500 km bilanziert, während die Konditionierungsverfahren mit einer Transportdistanz von 200 km für die Filterstäube den niedrigsten Beitrag aufweisen. Die oberen dunklen bzw. roten

Balken zeigen die Beiträge aus allen sonstigen Prozessen. Die Ergebnisse sind in kg CO₂-Äquivalenten angegeben und beziehen sich auf die Entsorgung von 1 t Abfall.

Am günstigsten fällt das Ergebnis für die Deponierung aus. Dies ist im Wesentlichen durch die geringen Betriebsaufwendungen bei der Deponierung bedingt.

Etwas höhere Betriebsaufwendungen weist der Bergversatz aus. Dies ist in der Variante „Bergversatz ohne Kiesgutschrift“ dargestellt. In dieser Variante sind sämtliche Betriebsaufwendungen, die beim Bergversatz anfallen, in die Bilanz aufgenommen. Bei der Variante „Bergversatz mit Kiesgutschrift“ wurde als Sensitivätsbetrachtung ein anderer Ansatz verfolgt: es wurde modelliert, dass ein Versatz zur Verhinderung von Bergsetzungen unabhängig vom gewählten Versatzmaterial stattfinden muss und damit unabhängig vom Abfalleinsatz die Aufwendungen für den Versatz anfallen. Die Aufwendungen für den Versatz wurden darum nicht in die Entsorgungsbilanz einbezogen. Weiterhin wurde bilanziert, dass durch den Abfalleinsatz beim Versatz kein Kies bereitgestellt und angeliefert werden muss. Die damit vermiedenen Emissionen wurden mit negativem Vorzeichen in der Bilanz berücksichtigt. Diese Bilanzierungsansätze führen dazu, dass der „Bergversatz mit Kiesgutschrift“ bessere Ergebnisse aufweist als der „Bergversatz ohne Kiesgutschrift“. In der weiteren aggregierten Ergebnisdarstellung wird zur besseren Übersichtlichkeit nur die Variante „Bergversatz ohne Kiesgutschrift“ berücksichtigt.

Die meisten Treibhausgase (CO₂-Äquivalente) werden bei der Konditionierung mit Zement emittiert. Dies ist im Wesentlichen durch die hohen CO₂-Emissionen bei der Zementherstellung bedingt. Dementsprechend liegen die CO₂-Äquivalente bei der Variante „Konditionierung mit Aschen“ deutlich niedrigere Werte für die CO₂-Äquivalente vor, da hier als Bindemittel Abfälle wie Braunkohleaschen und kalkhaltige Stoffe eingesetzt werden.

Versauerung

Die nachfolgende Abbildung zeigt das Ergebnis für die Versauerung.

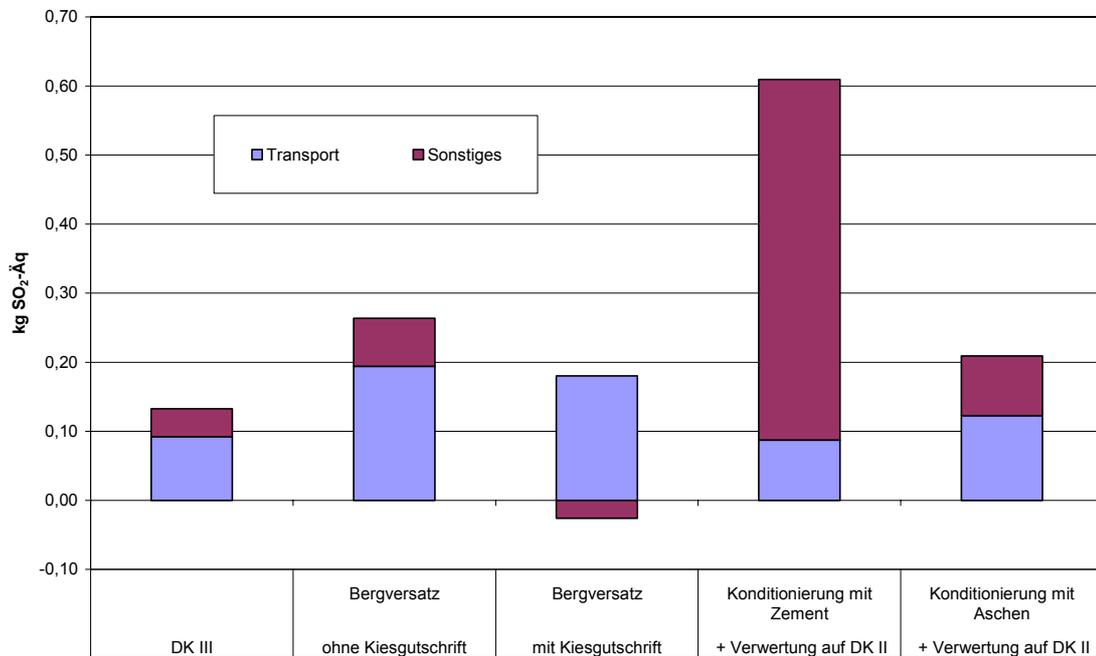


Abbildung 6-2 Entsorgung von 1 t Filterstaub aus der Abfallverbrennung: Ergebnis für das Versauerungspotenzial

Die Rangfolge der Ergebnisse ist dieselbe wie für den Treibhauseffekt. Für die Variante „Bergversatz mit Kiesgutschrift“ ergibt sich das Ergebnis wie bei den anderen Varianten auch durch die Addition der beiden Teilbalken. Der Unterschied zu den anderen Varianten liegt nur darin, dass die sonstigen Prozesse bedingt durch hohe Kiesgutschriften insgesamt einen negativen Wert, also eine Gutschrift, aufweisen. Das heißt, dass diese Variante je t Filterstaub mit ca. 0,17 kg SO₂-Äquivalenten zur Versauerung beiträgt.

Eutrophierung

Die nachfolgende Abbildung zeigt das Ergebnis für die Eutrophierung.

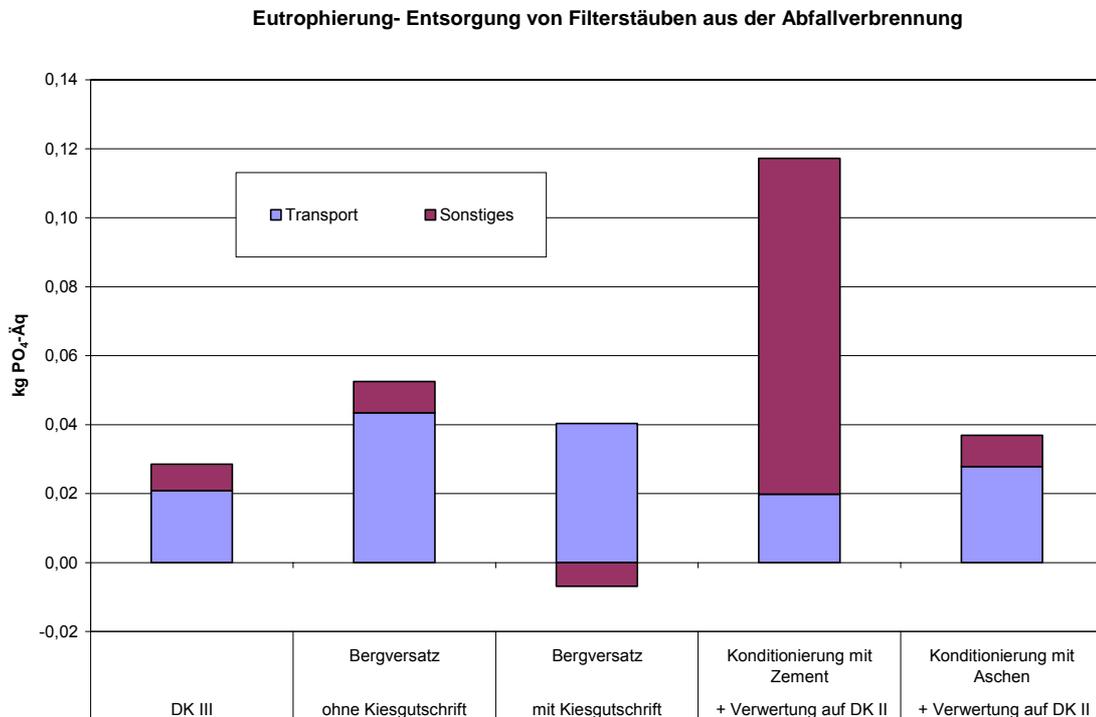


Abbildung 6-3 Entsorgung von 1 t Filterstaub aus der Abfallverbrennung: Ergebnis für die Eutrophierung

Die Rangfolge der Ergebnisse ist dieselbe wie für den Treibhauseffekt und die Versauerung. Für die Variante „Bergversatz mit Kiesgutschrift“ gelten für den negativen Balken die gleichen Erläuterungen, die zum Ergebnis der Versauerung gemacht wurden.

Feinstaub

Die nachfolgende Abbildung zeigt das Ergebnis für Feinstaub, das die gleiche Rangfolge wie für die Wirkungskategorien Treibhauseffekt, Versauerung und Eutrophierung aufweist.

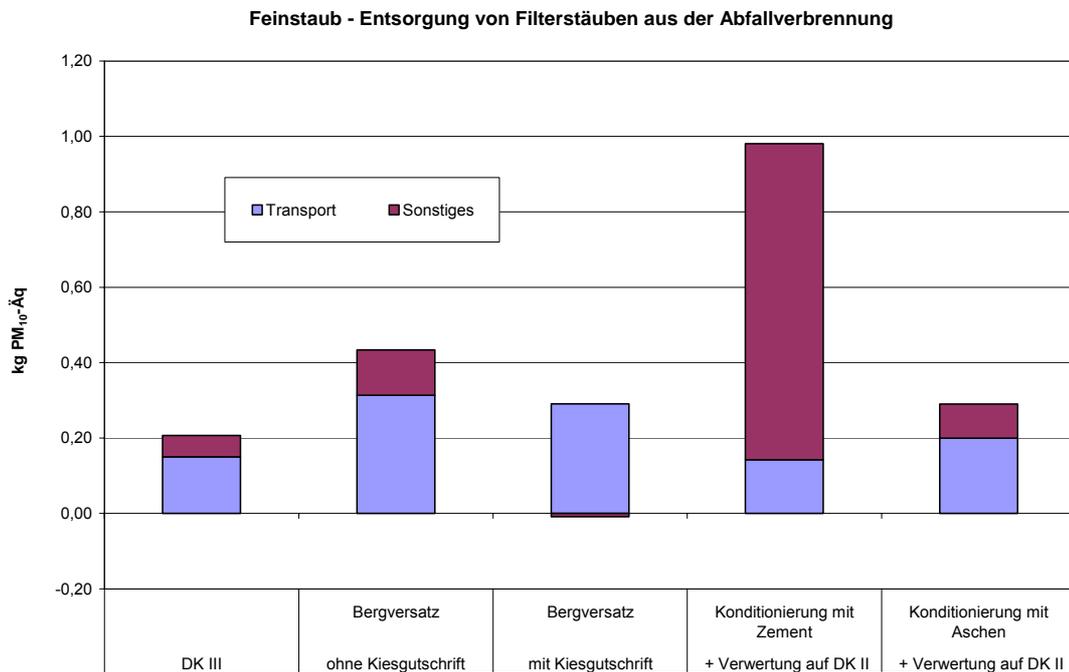


Abbildung 6-4 Entsorgung von 1 t Filterstaub aus der Abfallverbrennung: Ergebnis für Feinstaub

Energetische Ressourcen

Die nachfolgende Abbildung zeigt das Ergebnis für die energetischen Ressourcen, ausgedrückt als Kumulierter Energieverbrauch (KEA). Auch hier sind die Rangfolgen der Varianten dieselben wie bei den anderen dargestellten Wirkungskategorien.

Energetische Ressourcen (KEA) - Entsorgung von Filterstäuben aus der Abfallverbrennung

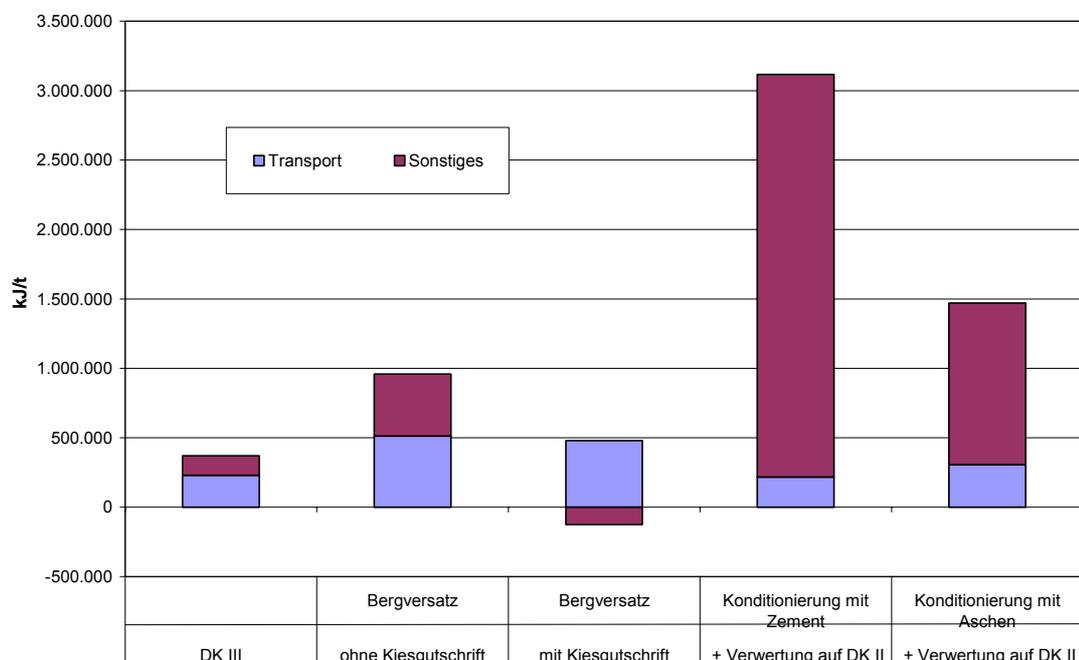


Abbildung 6-5 Entsorgung von 1 t Filterstaub aus der Abfallverbrennung: Ergebnis für die Energetischen Ressourcen (KEA)

Hierarchisierung

Die Ökobilanzergebnisse wurden gemäß der UBA-Methode hierarchisiert. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Einstufung nach den Kriterien distance-to-target, ökologische Gefährdung und Spezifischer Beitrag sowie die Ableitung der ökologischen Priorität.

Tabelle 6-1 Hierarchisierung der Ökobilanzergebnisse für die Filterstäube aus der Abfallverbrennung

	Spezifischer Beitrag	distance to target	Ökologische Gefährdung	Ökologische Priorität
Treibhauseffekt	D	A	A	groß
Versauerung	B	B	B	groß
Eutrophierung	B	B	B	groß
Feinstaub	A	B	B	groß
Fläche	E	B	A	mittel
POCP	E	B	D	gering
Energetische Ressourcen	D	B	C	mittel

Folgende 4 Wirkungskategorien haben laut der Hierarchisierung eine große ökologische Priorität und sind in der Tabelle farbig markiert: Treibhauseffekt, Versauerung, Eutrophierung und Feinstaub. Ihre Ergebnisse werden in der zusammenfassenden Darstellung aufgegriffen und gehen in die Gesamtbewertung gemeinsam mit den Ergebnissen der anderen Analysen ein. Die Ergebnisse der Wirkungskategorien mit geringerer und mittlerer ökologischer Priorität (Fläche, POCP, Energetische Ressourcen) werden nicht weiter verfolgt, da zusätzlich zum Ergebnis der Hierarchisierung nicht erkennbar ist, dass diese Wirkungskategorien bei der vorliegenden Fragestellung eine relevante Bedeutung haben.

Für die anderen Abfälle hat die Hierarchisierung ähnliche Ergebnisse erzielt, so dass für alle Abfallarten die Wirkungskategorien Treibhauseffekt und Versauerung detaillierter betrachtet werden. Je nach Abfallart gehören weiterhin die Wirkungskategorien Eutrophierung, Feinstaub, Energieverbrauch und Verbrauch metallischer Ressourcen zu den Kategorien mit großer Priorität. Die Ergebnisse der Hierarchisierung sind für alle Abfallarten im Anhang 5 dargestellt.

Zusammenfassende Darstellung

Die zusammenfassende Darstellung der Ökobilanz für die Wirkungskategorien mit großer Priorität zeigt die nachfolgende Abbildung. Die Detailergebnisse befinden sich im Anhang.

Ökobilanzergebnis: Filterstäube aus der Abfallverbrennung

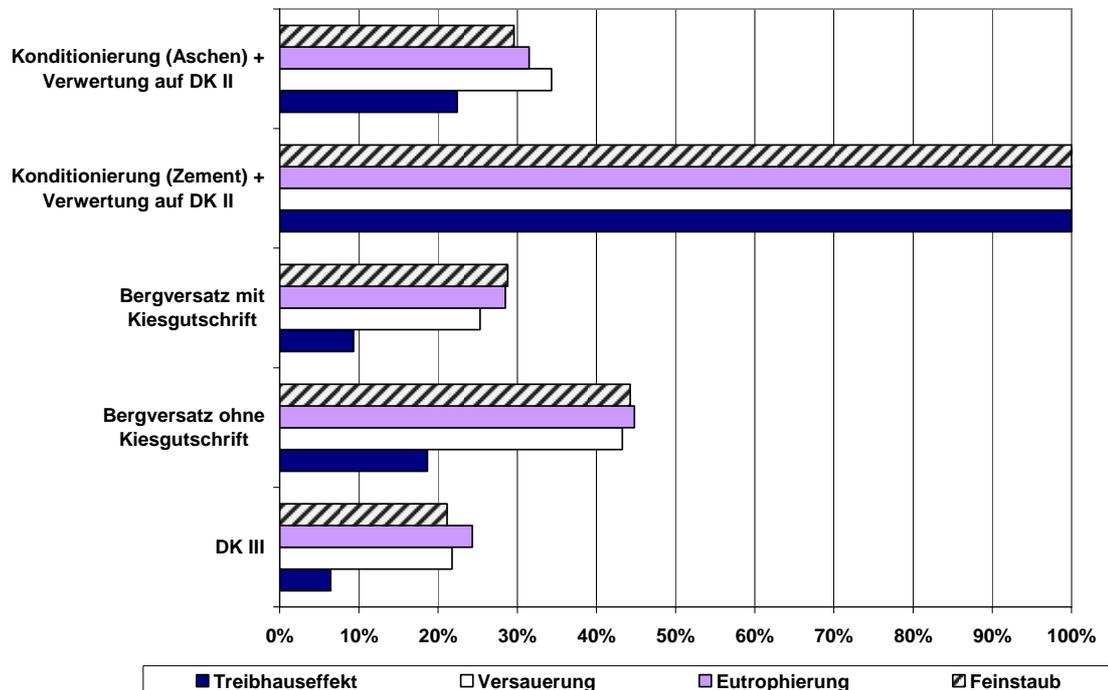


Abbildung 6-6 Zusammenfassende Darstellung der Ökobilanzergebnisse für die Entsorgung von Filterstäuben aus der Abfallverbrennung

Die Abbildung zeigt die relativen Ökobilanzergebnisse für die einzelnen Wirkungskategorien bezogen auf den Maximalwert jeder einzelnen Wirkungskategorie. Die Variante „Konditionierung mit Zement und Verwertung auf DK II“ weist beispielsweise für alle Wirkungskategorien die höchsten Werte auf, die dementsprechend alle mit 100 % dargestellt sind. Die niedrigsten Werte weist für alle Wirkungskategorien die Deponie (DK III) auf. Etwas ungünstiger schneiden die anderen Varianten ab.

Die nächste Abbildung zeigt das Ergebnis der Stoffstromanalyse für die verschiedenen Varianten.

6.1.2 Ergebnis der Stoffstromanalyse

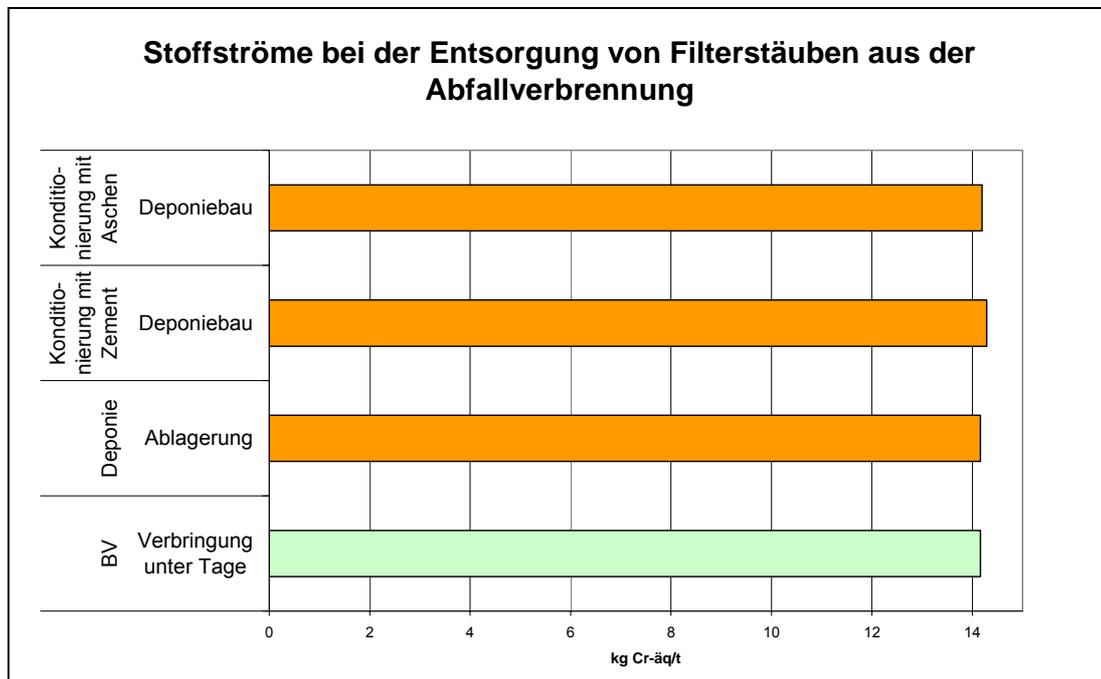


Abbildung 6-7 Ergebnisse der Stoffstromanalyse für die Entsorgung von 1 t Filterstaub

Der untere grüne Balken stellt die Entsorgung von 1 t Filterstaub im Bergversatz dar. Die gesamte Abfallmenge mit einem Schadstoffgehalt von rund 14 Cr-äq/t wird unter Tage verbracht. Die grüne Farbe des Balkens steht für einen langfristig sicheren Schadstoffeinschluss.

Die anderen orangefarbenen Balken stellen die Entsorgungsvarianten Deponierung (DK III) und Konditionierung mit Verwertung im Deponiebau dar. Ihnen wurde die Farbe Orange zugeordnet, da die Entsorgung nur mittelfristig einen sicheren Schadstoffeinschluss gewährleisten kann.

Die Ergebnisse für die beiden Untervarianten der Konditionierung (mit Zement bzw. mit Aschen) unterscheiden sich nur geringfügig, da die unterschiedlichen Schadstoffeinträge über die Bindemittel im Vergleich zum Schadstoffgehalt der Abfälle nur gering sind. Aus diesem Grund wird bei der Darstellung der anderen Abfälle in der Graphik nicht weiter differenziert.

6.2 Feste Abfälle aus der Abfallverbrennung

6.2.1 Ergebnis der Ökobilanz

Die nachfolgende zusammenfassende Darstellung zeigt die Ökobilanzergebnisse für die Wirkungskategorien mit einer großen ökologischen Priorität. Die Detailergebnisse sowie die Dokumentation zur Hierarchisierung befinden sich im Anhang.

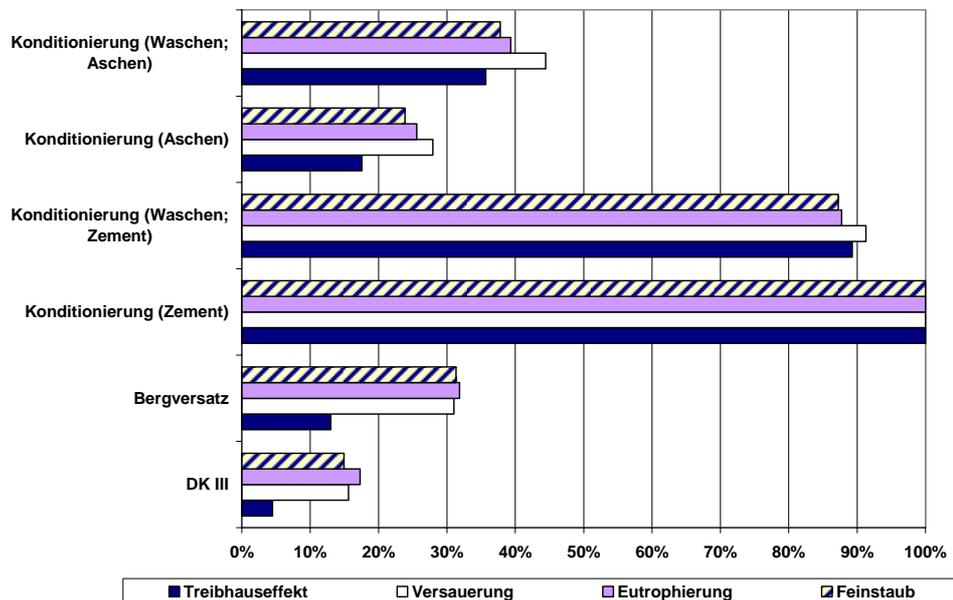


Abbildung 6-8 Zusammenfassende Darstellung der Ökobilanzergebnisse für die Entsorgung von festen Abfällen aus der Abfallverbrennung

Das Ergebnis ähnelt stark dem Ergebnis für die Filterstäube aus der Abfallverbrennung. Die Konditionierung mit Zement weist die höchsten Umweltlasten auf. Eine Waschstufe verbessert die Ökobilanz nicht wesentlich. An dieser Stelle sei noch einmal darauf hingewiesen, dass aus der Modellierung der Konditionierung keine Aussage über ihre Funktionsfähigkeit abgeleitet werden kann. Für alle in dieser Studie untersuchten Abfälle ist es fraglich, ob eine Konditionierung in der Praxis zu einer befriedigenden Stabilisierung führt. Dies gilt insbesondere für die vorliegenden Rückstände aus der Rauchgasreinigung, bei denen aufgrund des hohen Salzgehalts die Konditionierung ein besonders schwieriges Unterfangen ist.

Das günstigste ökobilanzielle Ergebnis weist die Deponierung auf, gefolgt von den Varianten Bergversatz und Konditionierung mit Aschen und Kalk.

6.2.2 Ergebnis der Stoffstromanalyse

Das Ergebnis der Stoffstromanalyse zeigt die nachfolgende Abbildung.

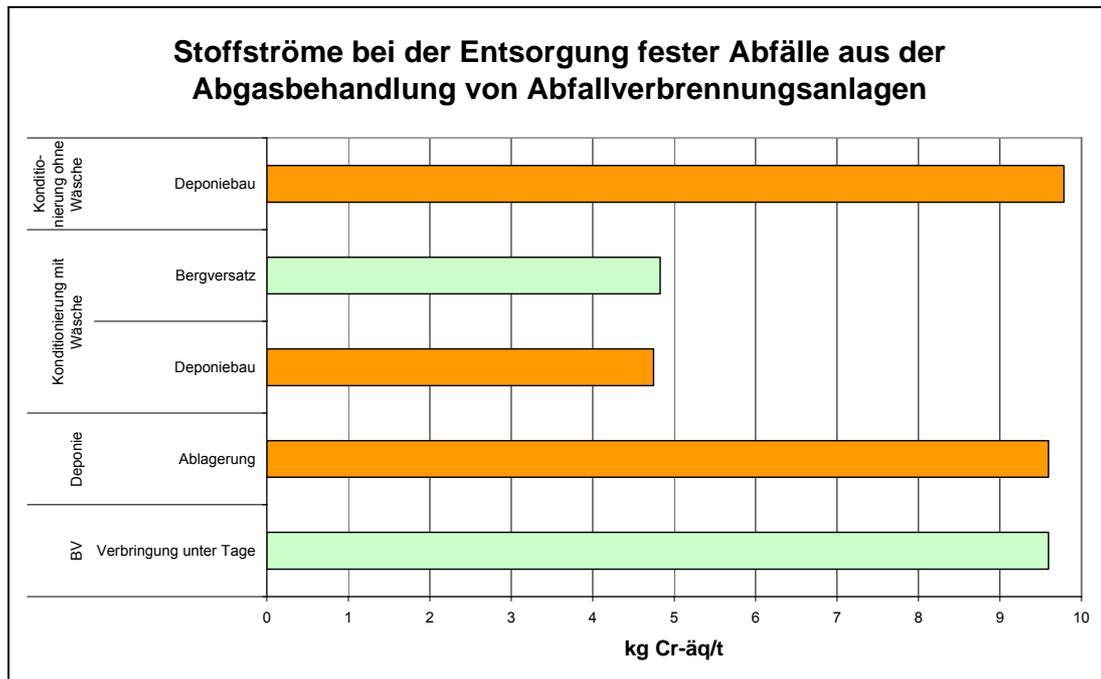


Abbildung 6-9 Ergebnisse der Stoffstromanalyse für die Entsorgung von 1 t fester Abfälle aus der Abgasbehandlung von Abfallverbrennungsanlagen

Die Abbildung veranschaulicht, dass ein langfristig sicherer Einschluss nur bei den Varianten Bergversatz bzw. teilweise bei der Variante Konditionierung mit Wäsche und Entsorgung der Feinfraktion im Bergversatz stattfindet. Die anderen Varianten beinhalten alle einen mittelfristig sicheren Einschluss. Die Variante „Konditionierung mit Wäsche und nachfolgender Entsorgung im Deponiebau (Grobfraktion) und Bergversatz (Feinfraktion) ist mit zwei Balken dargestellt: Der orange Balken „Deponiebau“ stellt die mittelfristig sichere Entsorgung der Grobfraktion in der Deponie dar. Der grüne Balken „Bergversatz“ stellt die langfristig sichere Entsorgung der Feinfraktion im Bergversatz dar.

6.3 Kupferhaltige Galvanikschlämme

6.3.1 Ergebnis der Ökobilanz

Die nachfolgende zusammenfassende Darstellung zeigt die Ökobilanzergebnisse für die Wirkungskategorien mit einer großen ökologischen Priorität. Die Detailergebnisse sowie die Dokumentation zur Hierarchisierung befinden sich im Anhang.

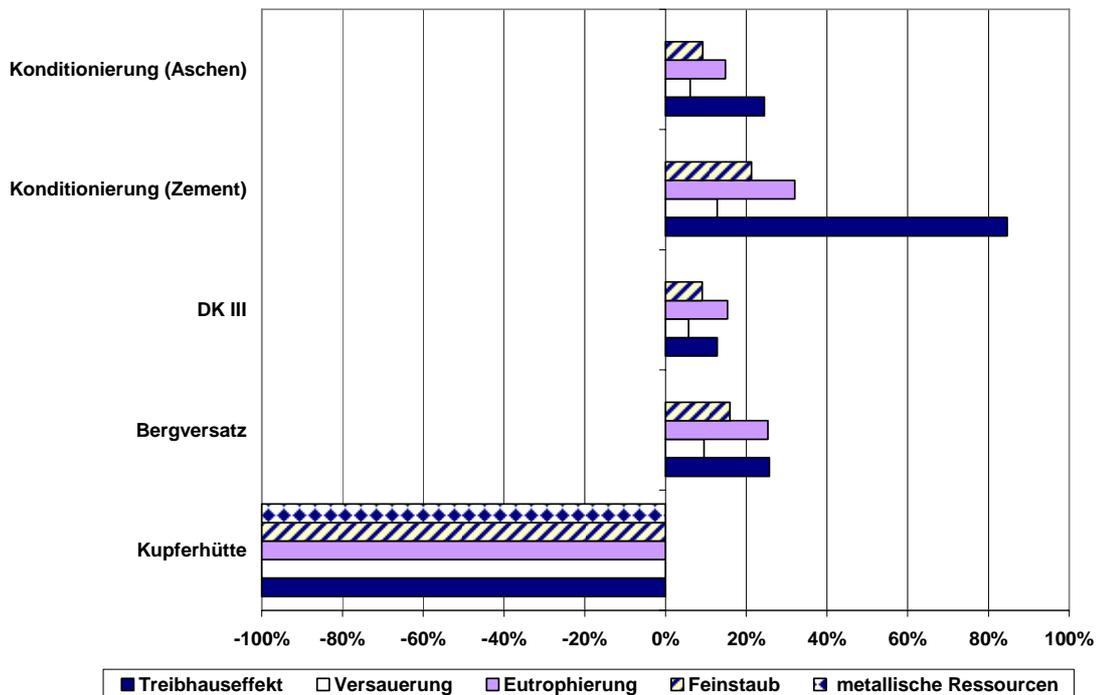


Abbildung 6-10 Zusammenfassende Darstellung der Ökobilanzergebnisse für die Entsorgung von Galvanikschlämmen

Die Abbildung verdeutlicht, dass die Kupferhütte in allen Wirkungskategorien mit großer Priorität zu einer hohen Umweltentlastung (negative Werte bedeuten, dass eine Umweltentlastung stattfindet) führt. Dies ist im Wesentlichen bedingt durch die Gutschriften für die Substitution von Primärkupfer und Primärnickel aufgrund der Aufarbeitung von Sekundärkupfer und Sekundärnickel. Für die anderen Varianten ergibt sich das gleiche Ranking wie bei den zuvor dargestellten Abfallarten.

6.3.2 Ergebnis der Stoffstromanalyse

Das Ergebnis der Stoffstromanalyse zeigt die nachfolgende Abbildung:

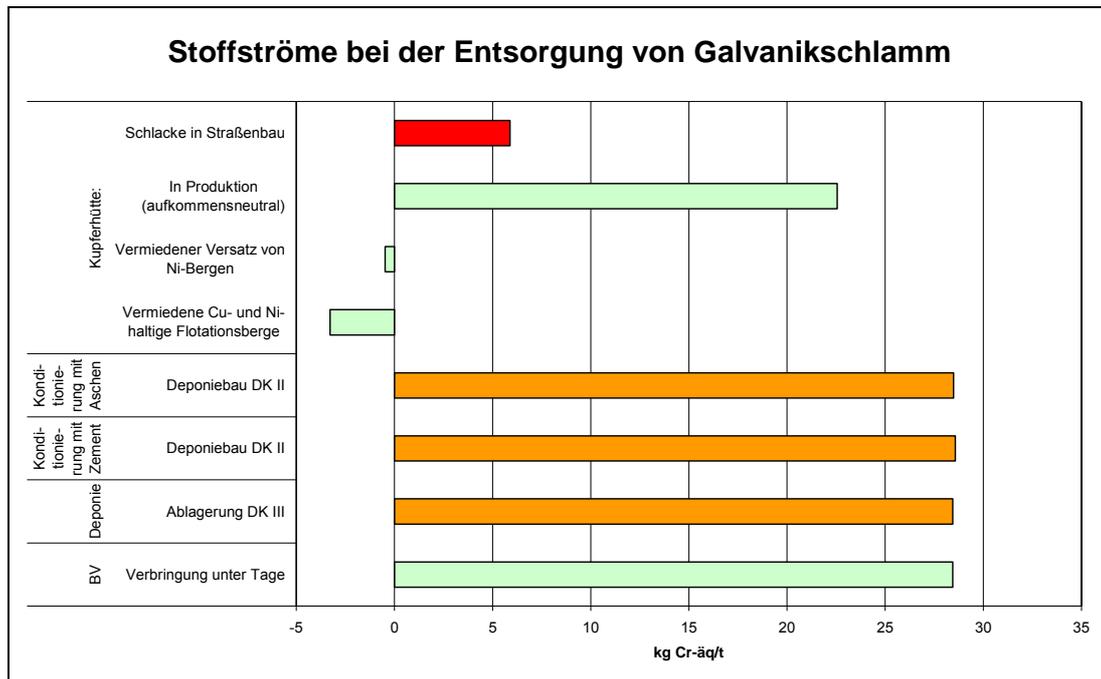


Abbildung 6-11 Ergebnisse der Stoffstromanalyse für die Entsorgung von 1 t Galvanikschlamm

Für die Entsorgungsvarianten Bergversatz, Deponierung und Konditionierung sind die gleichen Ergebnisse zu sehen wie bei den vorab dargestellten Abfallarten. Neu hingegen ist die Darstellung der Entsorgung der Kupferhütte. Hier sind folgende Stoffströme relevant: ein Teil der Schadstoffe, die im Galvanikschlamm enthalten sind, verlässt die Kupferhütte als Bestandteil der Schlackefraktion, die u.a. im Straßenbau eingesetzt wird. Hier ist nur ein kurzfristig sicherer Einschluss zu erwarten, so dass der entsprechende Balken rot gekennzeichnet ist. Ein weiterer Bestandteil der Schadstoffe (Kupfer und Nickel) gelangt in die Produktion und ist bezüglich des Schadstoffeintrags in die Umwelt aufkommensneutral, da hier Primärkupfer substituiert wird. Dementsprechend kann dieser Stoffstrompfad als ebenso wirksam wie eine langfristig sichere Senke betrachtet werden und wird mit grün gekennzeichnet. Eine Gutschrift wird für vermiedene Schadstoffeinträge in die Umwelt vergeben und ebenso mit grün gekennzeichnet: die vermiedenen Kupfer- und Nickeleinträge in die Umwelt durch den vermiedenen Bergbau und die dadurch vermiedenen Bergehalde und den vermiedenen Versatz von Abraum.

6.4 Elektrostahlwerksstäube

6.4.1 Ergebnis der Ökobilanz

Die nachfolgende zusammenfassende Darstellung zeigt die Ökobilanzergebnisse für die Wirkungskategorien mit einer großen ökologischen Priorität. Die Detailergebnisse sowie die Dokumentation zur Hierarchisierung befinden sich im Anhang.

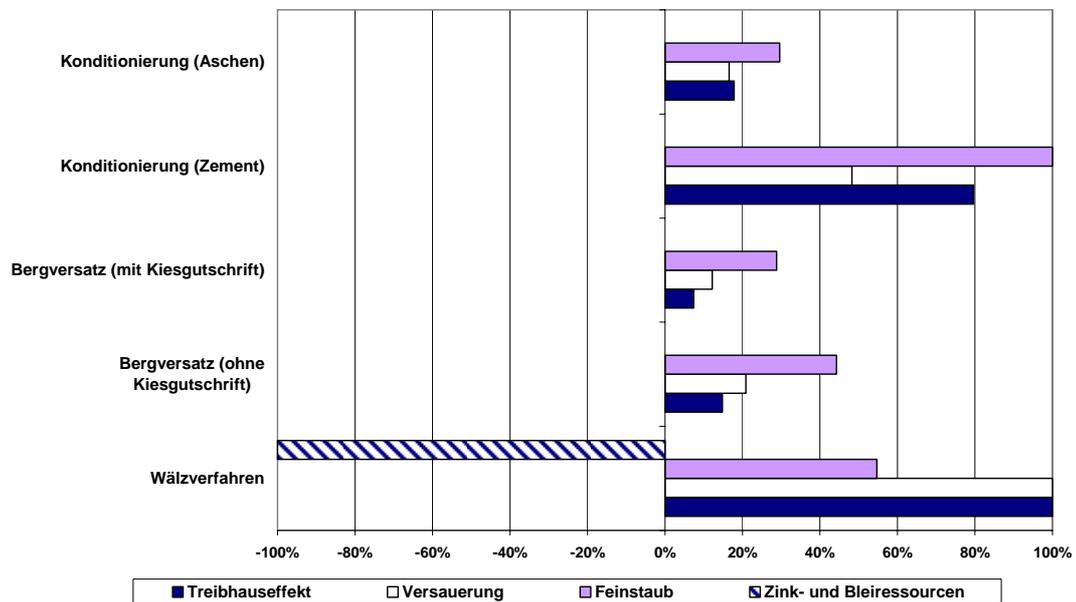


Abbildung 6-12 Zusammenfassende Darstellung der Ökobilanzergebnisse für die Entsorgung von Elektrostahtwerkstäuben

Hinsichtlich der Wirkungskategorie „Verbrauch von Zink- und Bleiressource“ schneidet erwartungsgemäß das Wälzverfahren durch die hohen Gutschriften am besten ab. In den anderen Wirkungskategorien sieht es anders aus: Durch die hohen Energieaufwendungen weist das Wälzverfahren für den Treibhauseffekt und die Versauerung die ungünstigsten Ergebnisse aus. Aus Sicht dieser Wirkungskategorien schneiden der Bergversatz und die Konditionierung mit Aschen deutlich günstiger ab.

6.4.2 Ergebnis der Stoffstromanalyse

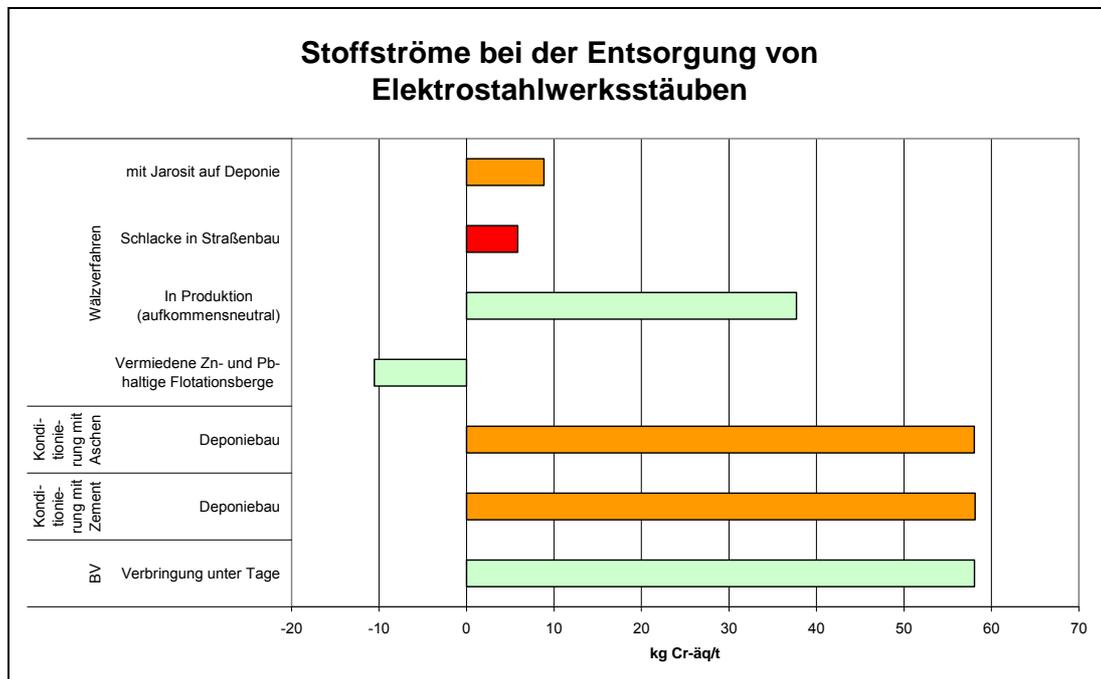


Abbildung 6-13 Ergebnisse der Stoffstromanalyse für 1 t Elektrostahlwerksstäube

Das Ergebnis der Stoffstromanalyse ähnelt dem Ergebnis für die kupferhaltigen Galvanikschlämme. Auch hier sind die Varianten mit vollständiger oder teilweiser langfristiger sicherer Entsorgung die Varianten Bergversatz und die Recyclingvariante (Wälzverfahren).

6.5 Stäube aus der Edelstahlproduktion

6.5.1 Ergebnis der Ökobilanz

Die nachfolgende zusammenfassende Darstellung zeigt die Ökobilanzergebnisse für die Wirkungskategorien mit einer großen ökologischen Priorität. Die Detailergebnisse sowie die Dokumentation zur Hierarchisierung befinden sich im Anhang.

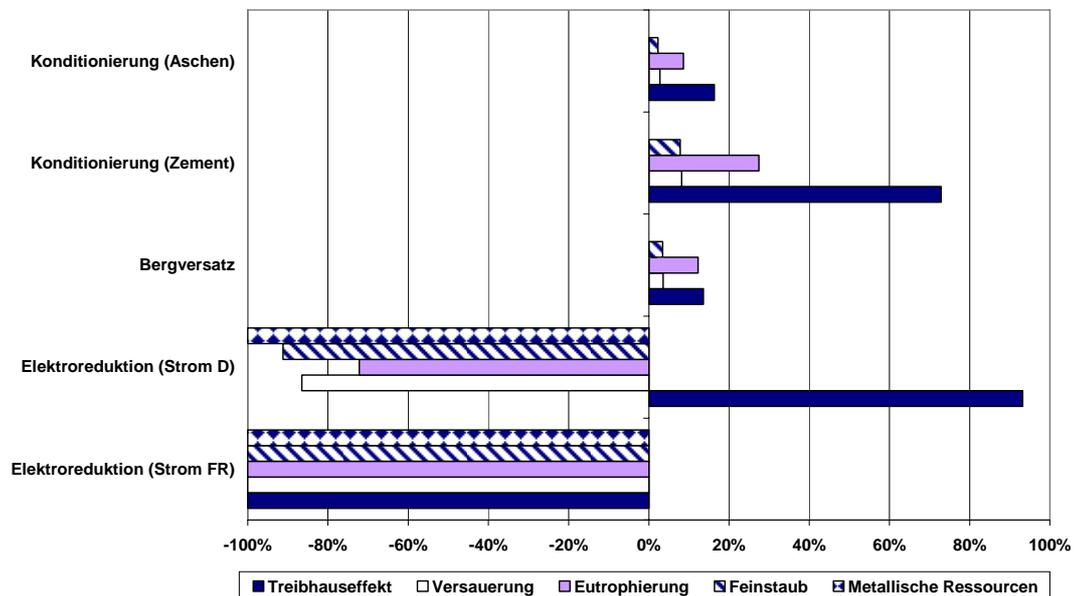


Abbildung 6-14 Zusammenfassende Darstellung der Ökobilanzergebnisse für die Entsorgung von Stäuben aus der Edelstahlproduktion

Das Ergebnis des ökobilanziellen Vergleichs ist sehr stark von den Energieaufwendungen des Recyclingprozesses geprägt. Wenn für die Recyclinganlage ein französischer Strommix mit einem hohen Anteil an Atom- und Wasserkraft angesetzt wird (die Anlage steht in Frankreich!), bei dem wenig CO₂ emittiert wird, schneidet die Recyclingvariante sehr gut ab und es ergibt sich das gleiche Bild wie beim Recyceln der kupferhaltigen Galvanikschlämme. Wenn jedoch als Sensitivität ein deutscher Strommix mit höheren Anteilen an Steinkohle und Braunkohle angesetzt wird (in Deutschland gibt es derzeit keine derartige Anlage!), führen die damit verbundenen CO₂-Emissionen zu einem insgesamt höheren Treibhauseffekt als die Konditionierungsvarianten oder der Bergversatz.

6.5.2 Ergebnis der Stoffstromanalyse

Im Vergleich zu den anderen Stoffstromgraphiken ist hier ein gelber Balken hinzugekommen, der die Toxizität aus den nuklearen Abfällen abbildet, die bei der Stromerzeugung für das Recyclingverfahren anfallen. Nukleare Abfälle sind in diesem Projekt nur bei der Entsorgung von Edelstahlstäuben im Elektroreduktionsverfahren relevant. Bei allen anderen Abfällen und den anderen Entsorgungswegen ist der Verbrauch von Atomstrom deutlich geringer. Die Graphik zeigt zwei Werte: die Toxizität nach 4 Jahren und die deutlich geringere Toxizität nach 1.000 Jahren.

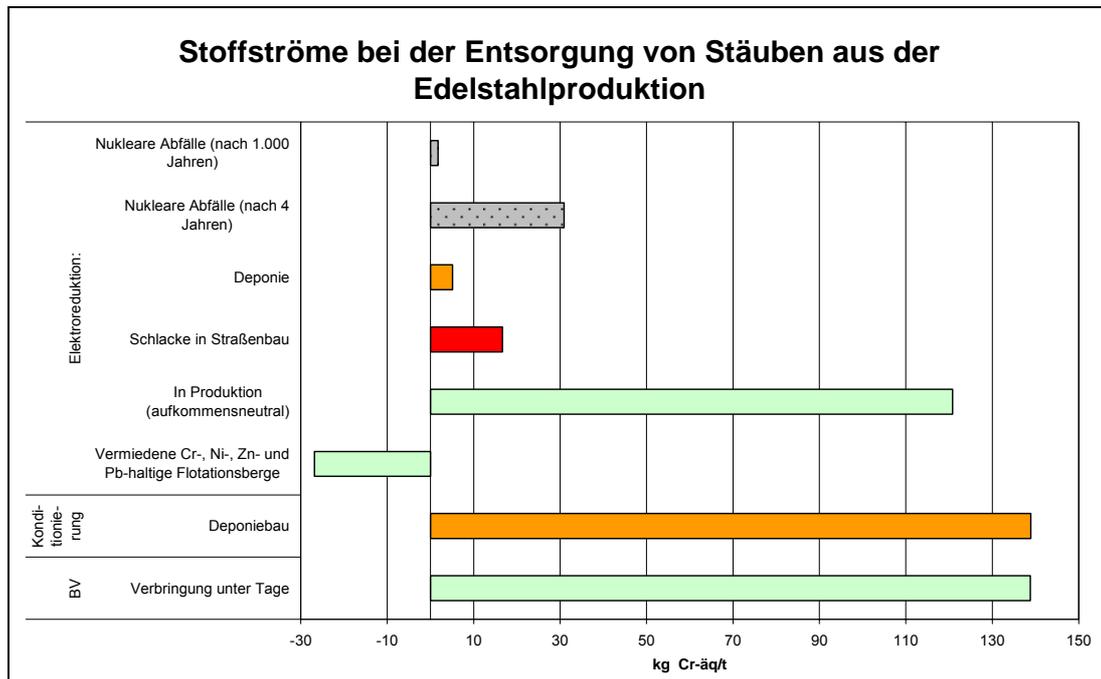


Abbildung 6-15 Ergebnisse der Stoffstromanalyse für 1 t Stäube aus der Edelstahlproduktion
Abgesehen von der Berücksichtigung der nuklearen Abfälle zeigt die Stoffstromanalyse das gleiche Bild wie bei den anderen Abfällen, bei denen Metall recycelt wird: Die Varianten Bergversatz und Metallrecycling weisen die höchste langfristige Sicherheit auf.

6.6 Rost- und Kesselaschen aus der Abfallverbrennung (19 01 12)

6.6.1 Ergebnis der Ökobilanz

Die nachfolgende zusammenfassende Darstellung zeigt die Ökobilanzergebnisse für die Wirkungskategorien mit einer großen ökologischen Priorität. Die Detailergebnisse sowie die Dokumentation zur Hierarchisierung befinden sich im Anhang.

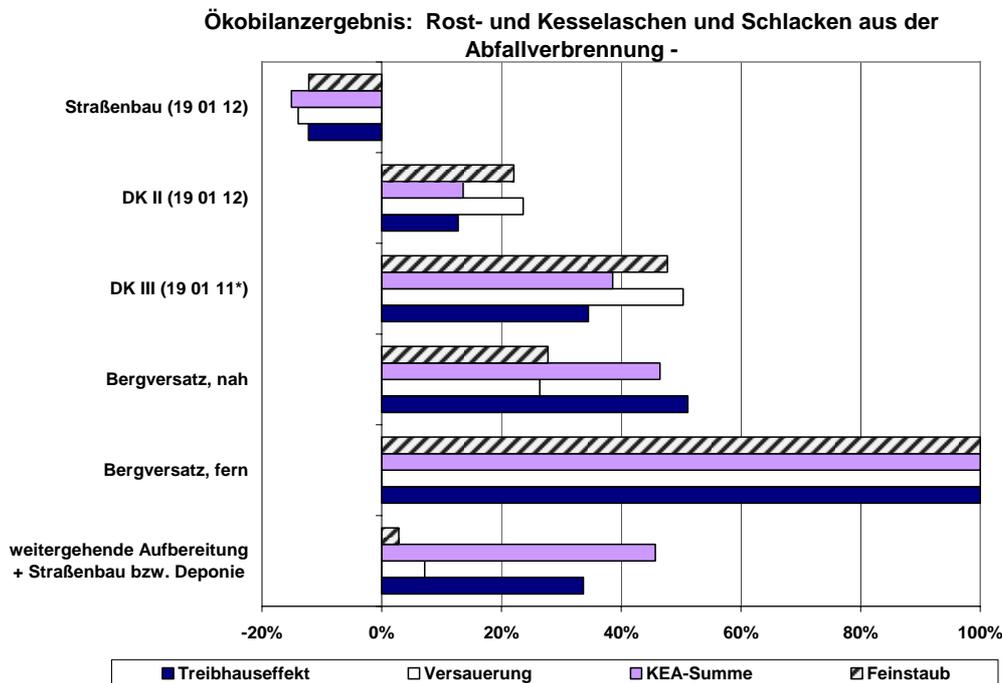


Abbildung 6-16 Zusammenfassende Darstellung der Ökobilanzergebnisse für die Entsorgung von Rost- und Kesselasche und Schlacken aus der Abfallverbrennung

Ökobilanziell schneidet die Variante Straßenbau am besten ab, da hier entsprechende Kiesgutschriften bilanziert sind. Die Deponierung führt erwartungsgemäß zu höheren Belastungen in den 4 betrachteten Wirkungskategorien. Die weitergehende Aufbereitung liegt in den Ergebnissen in der gleichen Größenordnung wie die Deponierungs- und Bergversatzvarianten. Sie modelliert, dass der Großteil der Schlacke im Straßenbau verwertet wird, ein kleiner Teil mit höherer Schadstoffbelastung deponiert wird und für die weitergehende Aufbereitung ein vermehrter Stromverbrauch gegeben ist. Nicht berücksichtigt wird in der Bilanz aufgrund der schlechten Datengrundlage eine verstärkte Fe- und NE-Metallabscheidung, die bei der weitergehenden Aufbereitung aufgrund der aufwendigeren Trenntechnik zu erwarten ist. Wenn die Datengrundlage die Bilanzierung einer verstärkten Metallabscheidung ermöglichen würde, könnte die weitergehende Schlackeaufbereitung ökobilanziell deutlich besser abschneiden. Die möglichen Auswirkungen einer verstärkten Metallabscheidung werden darum in einer Sensitivitätsanalyse abgebildet.

Ähnlich günstig wie die Deponierung schneidet der „Bergversatz, nah“ ab, bei dem die Aschenaufbereitung in unmittelbarer Nähe des Bergversatzes stattfindet. Die Variante „Bergversatz, fern“ spielt in der Praxis derzeit keine Rolle. Hier wird modelliert, dass die Aschen im Schnitt 500 km transportiert werden und dann mit Bergversatz entsorgt werden.

Abschließend zeigt die nachfolgende Abbildung die Sensitivitätsbetrachtung, bei der die weitergehende Schlackenaufbereitung zu einer verstärkten Metallabscheidung

gegenüber der herkömmlichen Aufbereitung führt. Es zeigt sich, dass in diesem Falle die Metallgutschriften das Ergebnis dominieren und die erweiterte Aufbereitung eine deutlich bessere Ökobilanz aufweist als die anderen Varianten.

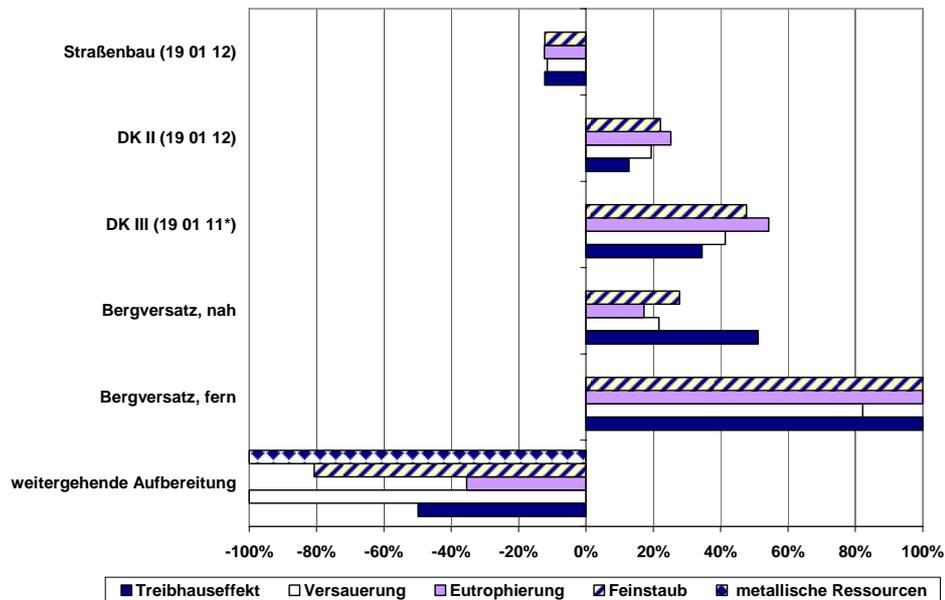


Abbildung 6-17 Sensitivität: Ökobilanzergebnisse für die Entsorgung von Rost- und Kesselasche und Schlacken aus der Abfallverbrennung bei einer verbesserten Metallabscheidung bei der weitergehenden Aufbereitung

6.6.2 Ergebnis der Stoffstromanalyse

Die nachfolgende Abbildung zeigt das Ergebnis der Stoffstromanalyse:

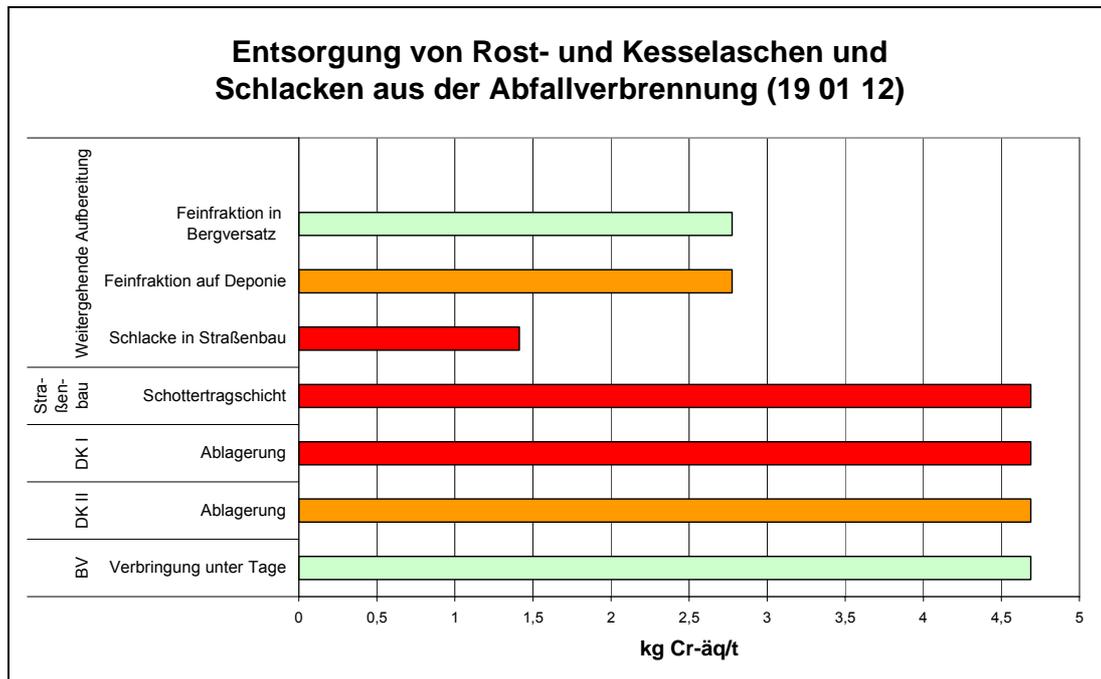


Abbildung 6-18 Ergebnisse der Stoffstromanalyse für 1 t Rost- und Kesselasche und Schlacken aus der Abfallverbrennung (19 01 12)

Das Ergebnis der Stoffstromanalyse ist erwartungsgemäß, dass lediglich der Bergversatz bzw. die Verbringung einer Teilfraktion im Bergversatz zu einer teilweisen langfristigen Sicherheit führen. Mit der Verwertung im Straßenbau bzw. mit dem Ablagern auf DK I bzw. Altdeponien ohne Basisabdichtung kann nur eine kurzfristige Sicherheit erzielt werden. Die Verbringung auf eine DK II-Deponie führt zu einer mittelfristigen Sicherheit.

Die Sensitivitätsbetrachtung für eine verbesserte Metallabscheidung bei weitergehender Aufbereitung zeigt die folgende Abbildung.

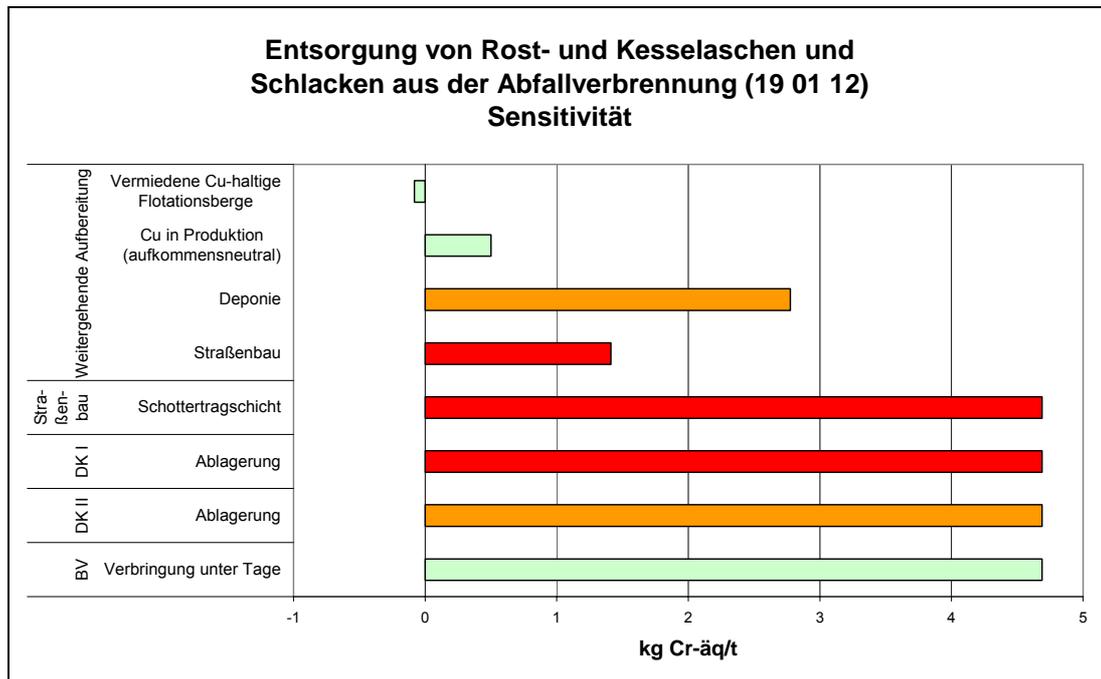


Abbildung 6-19 Sensitivität: Stoffstromanalyse für 1 t Rost- und Kesselasche und Schlacken aus der Abfallverbrennung (19 01 12) bei einer verstärkten Metallabscheidung bei der weitergehenden Schlackeaufbereitung.

Die Abbildung zeigt, dass bei einer verstärkten Metallabscheidung in der weitergehenden Aufbereitung eine gewisse Schadstofffracht der Umwelt entzogen wird, was gleichrangig mit einer langfristig sicheren Entsorgung ist. Im Vergleich zu den anderen bilanzierten Abfällen mit Metallrecycling (kupferhaltige Galvanikschlämme, Stäube aus der Stahlproduktion) sind diese der Umwelt entzogenen Schadstofffrachten deutlich kleiner, da die anderen Abfälle höhere Metallanteile aufweisen. Jedoch ist zugleich zu beachten, dass es sich bei den Rost- und Kesselaschen um sehr hohe absolute Mengenströme handelt, so dass in der Gesamtsumme beachtliche Metallmengen in die Produktion zurückgeführt werden können.

6.7 Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken, die gefährliche Stoffe enthalten (19 01 11*)

Für den Abfall 19 01 11* gilt grundsätzlich das gleiche wie für den Abfall 19 01 12. Die Ökobilanz ist, abgesehen von der Wahl der Deponieklasse, identisch. Unterschiede ergeben sich lediglich bei der Stoffstromanalyse in der Wahl der Deponieklasse und in der Höhe der Toxizität, so dass hier die Ergebnisse für die Stoffstromanalyse noch einmal graphisch dargestellt werden.

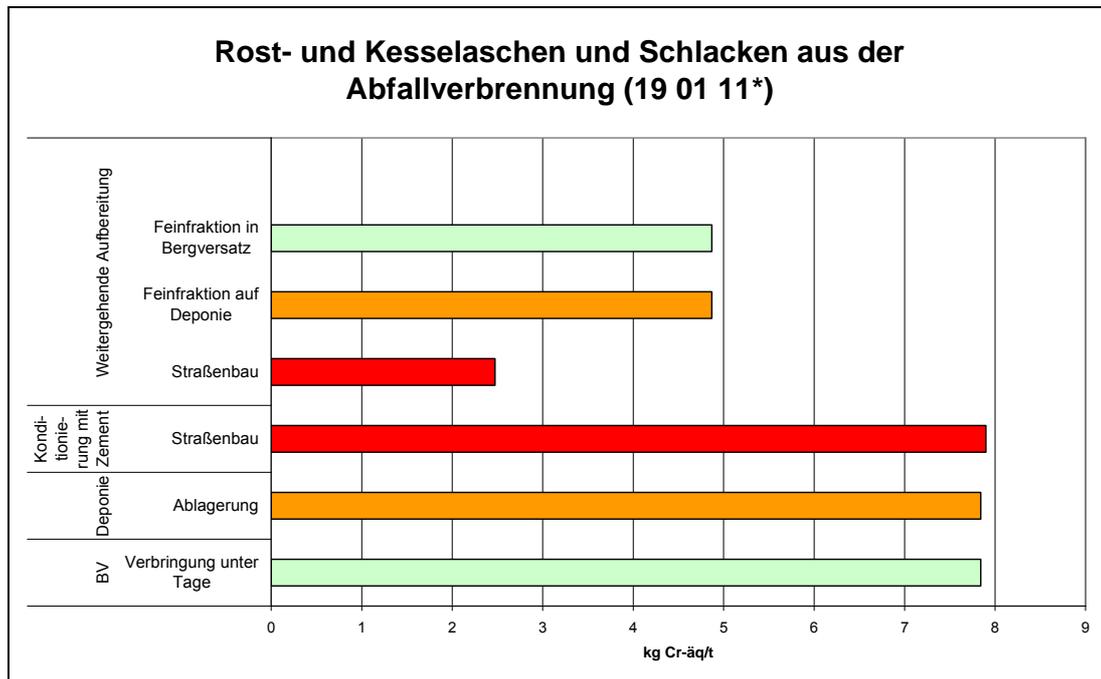


Abbildung 6-20 Ergebnisse der Stoffstromanalyse für 1 t Rost- und Kesselasche und Schlacken aus der Abfallverbrennung (19 01 11*)

7 Gesamtbewertung für die ausgewählten Abfälle und Verfahren

In diesem Kapitel wird die entwickelte Bewertungsmethode (Kapitel 5) auf die ausgewählten Abfallarten und ihre Entsorgungsvarianten angewandt.

Die Ergebnisse der beiden geprüften sozialen Indikatoren „Schutz vor Bergschäden“ und „Schonung von Ressourcen für zukünftige Generationen“ erfolgt hier zusammenfassend:

- Der Entsorgungsweg Bergversatz führt zum „Schutz von Bergschäden“. Dieser Bewertung ist die Prämisse zugrunde gelegt, dass, falls keine Abfälle für den Versatz eingesetzt würden, ein schnelles Versetzen von Primärmaterialien aus wirtschaftlichen Gründen häufig nicht erfolgen würde. Aus diesem Grund wird die ressourcenschonende Wirkung des Bergversatzes nicht zusätzlich berücksichtigt.
- Die Entsorgungswege des Metallrecyclings führen zu einem relevanten Beitrag bei der „Schonung von Ressourcen für zukünftige Generationen“.

7.1 Filterstäube aus der Abfallverbrennung

Die Gesamtbewertung für die Filterstäube aus der Abfallverbrennung zeigt die nachfolgende Tabelle:

Tabelle 7-1 Gesamtbewertung für die Filterstäube aus der Abfallverbrennung

	langfristige Sicherheit	metallische Ressourcen	"klassische" Ökobilanz	als Entsorgungsweg:
Bergversatz	1	-	2	empfehlenswert
DK III	3	-	1	nicht empfehlenswert
Kond. (Zement) + DK II	3	-	3	nicht empfehlenswert
Kond. (Aschen) + DK II	3	-	4	nicht empfehlenswert

Die Tabelle zeigt zunächst die Teilergebnisse für die neue Wirkungskategorie und die Ökobilanz. Hinsichtlich der langfristigen Sicherheit liegt die Variante Bergversatz auf Platz 1, da sie eine langfristig sichere Entsorgung darstellt. Die anderen Varianten werden auf Platz 3 eingestuft. Die Wirkungskategorie metallische Ressourcen entfällt, da es keine Variante mit Metallrecycling gibt. Für die klassische Ökobilanz wurde folgendes Ranking gemacht: Deponie DK III auf Platz 1, nachfolgend Bergversatz, Konditionierung mit Zement und DK II, Konditionierung mit Aschen und DK II. Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Prioritäten der einzelnen Wirkungskategorien werden folgende Entsorgungswege empfohlen:

- Der Bergversatz wird aufgrund der langfristigen Sicherheit und des relativ guten Ökobilanzergebnisses (Platz 2) empfohlen.

- Aufgrund der nicht gegebenen langfristigen Sicherheit und der hohen Toxizität der Filterstäube werden alle weiteren Entsorgungswege nicht empfohlen. Auch ein gutes Ökobilanzergebnis kann die fehlende langfristige Sicherheit nicht aufwiegen.

7.2 Feste Abfälle aus der Abfallverbrennung

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Gesamtbewertung für die festen Abfälle aus der Abfallverbrennung.

Tabelle 7-2 Gesamtbewertung für die festen Abfälle aus der Abfallverbrennung

	langfristige Sicherheit	metallische Ressourcen	"klassische" Ökobilanz	als Entsorgungsweg:
Bergversatz	1	-	2	empfehlenswert
DK III	4	-	1	nicht empfehlenswert
Kond. (Zement) + DK II	4	-	4	nicht empfehlenswert
Kond. (Zement) + DK II	4	-	2	nicht empfehlenswert
Feinfraktion in Bergversatz; Grobfraktion auf DK II	2	-	3	bedingt empfehlenswert

Die Empfehlungen für den Bergversatz und für die Konditionierungs- und Deponievarianten sind identisch mit denen für die Filterstäube der Abfallverbrennung. Neu hinzugekommen ist die Variante „Feinfraktion in Bergversatz; Grobfraktion auf DK II“, bei der mittels einer Waschstufe eine kleine schadstoffangereicherte Fraktion im Bergversatz entsorgt wird und eine große schadstoffabgereicherte Grobfraktion deponiert wird. Bei dieser Variante wird die Toxizität der Deponiefraktion etwa halbiert, indem die Feinfraktion langfristig sicher entsorgt wird. Die Empfehlung lautet deshalb „bedingt empfehlenswert“.

7.3 Kupferhaltige Galvanikschlämme

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Gesamtbewertung für die kupferhaltigen Galvanikschlämme.

Tabelle 7-3 Gesamtbewertung für die kupferhaltigen Galvanikschlämme

	langfristige Sicherheit	metallische Ressourcen	"klassische" Ökobilanz	als Entsorgungsweg:
Bergversatz	1	4	2	bedingt empfehlenswert
Kupferhütte	1	1	1	empfehlenswert
Kond. (Zement) + DK II	3	4	4	nicht empfehlenswert
Kond. (Aschen) + DK II	3	4	2	nicht empfehlenswert

Als empfehlenswert wird die Verwertung in der Kupferhütte angesehen, weil sie durch die Substitution von Primärkupfer und die Vermeidung von kupferhaltigen Berge- und Aufbereitungshalden langfristig zusätzliche Schadstoffeinträge in die Umwelt vermeidet. Weiterhin werden metallische Ressourcen geschont und in der Ökobilanz wird ein sehr gutes Ergebnis erzielt.

Als bedingt empfehlenswert wird der Bergversatz eingestuft. Zwar garantiert der Bergversatz die langfristige Sicherheit, jedoch findet hier keine adäquate Ressourcenschonung statt. Für die Konditionierungs- und Deponievarianten gilt das gleiche wie für die vorab dargestellten Abfälle (nicht empfehlenswert).

7.4 Elektrostahlwerksstäube

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Gesamtbewertung für die Elektrostahlwerksstäube:

Tabelle 7-4 Gesamtbewertung für die Elektrostahlwerksstäube

	langfristige Sicherheit	metallische Ressourcen	"klassische" Ökobilanz	als Entsorgungsweg:
Bergversatz	1	4	1	bedingt empfehlenswert
Wälzverfahren	1	1	4	empfehlenswert
Kond. (Zement) + DK II	3	4	4	nicht empfehlenswert
Kond. (Aschen) + DK II	3	4	2	nicht empfehlenswert

Die Empfehlung kommt zum gleichen Ergebnis wie bei den kupferhaltigen Galvanikschlammern. Der Unterschied liegt jedoch im Teilergebnis der klassischen Ökobilanz. Aufgrund der hohen Energieaufwendungen des Wälzverfahrens im Vergleich zur Energieeinsparung durch die Substitution von Primärerzen schneidet das Wälzverfahren in der klassischen Ökobilanz relativ schlecht ab. Da die langfristige Sicherheit jedoch eine deutlich höhere Priorität hat, wird in der Gesamtbewertung eine klare Empfehlung für das Wälzverfahren ausgesprochen. Für Elektrostahlwerksstäube ist jedoch nicht auszuschließen, dass bei einer Einzelfallbetrachtung, z. B.

für den Fall, dass der Metallgehalt unter dem Durchschnitt liegt, der Versatz zur empfehlenswerten Entsorgungsvariante wird.

7.5 Stäube aus der Edelstahlproduktion

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Gesamtbewertung für die Stäube aus der Edelstahlproduktion.

Tabelle 7-5 Gesamtbewertung für die Stäube aus der Edelstahlproduktion

	langfristige Sicherheit	metallische Ressourcen	"klassische" Ökobilanz	als Entsorgungsweg:
Bergversatz	1	4	2	bedingt empfehlenswert
Elektroreduktionsverf.	1	1	1	empfehlenswert
Kond. (Zement) + DK II	3	4	4	nicht empfehlenswert
Kond. (Aschen) + DK II	3	4	2	nicht empfehlenswert

Für die Bewertung gilt das Gleiche wie für die kupferhaltigen Galvanikschlämme.²¹

7.6 Rost- und Kesselaschen und Schlacken aus der Abfallverbrennung (19 01 12 sowie 19 01 11*)

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Gesamtbewertung für Rost- und Kesselaschen und Schlacken aus der Abfallverbrennung (19 01 12).

²¹ Die Bewertung wurde für das Elektroreduktionsverfahren mit dem Standort in Frankreich gemacht. Wenn eine derartige Anlage in Deutschland betrieben würde, ergäbe sich aufgrund des deutschen Strommix eine deutlich höhere Treibhausbelastung und es käme damit zu einer schlechteren Ökobilanz. Dennoch würde auch dann analog zu den Elektrostahlwerksstäuben ein „empfehlenswert“ für das Elektroreduktionsverfahren ausgesprochen.

Tabelle 7-6 Gesamtbewertung für Rost- und Kesselaschen und Schlacken aus der Abfallverbrennung (19 01 12)

	langfristige Sicherheit	metallische Ressourcen	"klassische" Ökobilanz	als Entsorgungsweg:
Basisrechnung: keine vermehrte Metallabscheidung bei weitergehender Aufbereitung				
Bergversatz, nah	1	4	3	empfehlenswert -
Bergversatz, fern	1	4	5	bedingt empfehlenswert
DK II	3	4	3	Einzelfallbewertung
weiterg. Aufbereitung mit Straßenbau + DK II	4	4	3	nicht empfehlenswert
weiterg. Aufbereitung mit Straßenbau + Bergversatz	3	4	4	bedingt empfehlenswert
Straßenbau	5	4	2	nicht empfehlenswert
Sensitivität: vermehrte Metallabscheidung				
weiterg. Aufbereitung mit Straßenbau + DK II	4	1	1	Einzelfallbewertung
weiterg. Aufbereitung mit Straßenbau + Bergversatz	3	1	1	bedingt empfehlenswert

Die Tabelle zeigt deutlich, wie komplex eine Bewertung ist, wenn zahlreiche Verfahrenskombinationen in die Bewertung mit aufgenommen werden. Hier werden zunächst einmal die Basisrechnungen aufgeführt, bei denen aufgrund der schlechten Datengrundlage nicht schlüssig untermauert werden kann, dass die weitergehende Schlackeaufbereitung zu einer deutlich vermehrten Metallabscheidung führt. Die zwei unteren Varianten bilden die Sensitivitätsanalyse ab, bei der eine weitergehende Aufbereitung mit einer vermehrten Metallabscheidung bilanziert wird. Weiterhin wird für die Varianten mit einer weitergehenden Aufbereitung unterschieden nach dem Verbleib der mengenmäßig kleineren Fein- bzw. Schlammfraktion (Deponie oder Bergversatz).

Diese zahlreichen Unterscheidungen führen insgesamt zu acht Untervarianten.

Nach dem Kriterium mit höchster Priorität, der langfristigen Sicherheit, wird für den Bergversatz, sofern er standortnah liegt, eine eindeutige positive Gesamtempfehlung ausgesprochen. Für den Bergversatz in weiter Entfernung wird aufgrund der geringeren spezifischen Toxizität im Vergleich zu den vorab aufgeführten Abfällen und unter Abwägung des schlechten Rankings bei der klassischen Ökobilanz ein „bedingt empfehlenswert“ ausgesprochen.

Die Varianten mit den ungünstigsten Bewertungen (Platz 4 und 5) hinsichtlich der langfristigen Sicherheit werden als nicht empfehlenswert eingestuft. Hierbei handelt es sich um den Straßenbau sowie um die weitergehende Aufbereitung, die die Grobfraktion in den Straßenbau und die Feinfraktion auf die Deponie leitet.

Eine Mittelstellung nehmen die Verfahren mit einer mittelfristigen bzw. einer teilweisen langfristigen Sicherheit ein. Dies sind die Deponie, für die eine Einzelfallbewertung empfohlen wird, sowie die Variante mit weitergehender Aufbereitung, bei der die Feinfraktion langfristig sicher im Bergversatz endgelagert wird. Für letztere wird ein „bedingt empfehlenswert“ ausgesprochen, da bei dieser Variante immerhin rund die Hälfte der Chrom-Äquivalente langfristig sicher entsorgt wird.

Hinsichtlich der Metallabscheidung zeigt die Tabelle, dass die weitergehenden Aufbereitungsverfahren, die eine vermehrte Metallabscheidung in der Praxis leisten können, grundsätzlich günstigere Bewertungen in den Teilergebnissen erzielen. Die Gesamtempfehlung ändert sich dadurch jedoch nicht immer, da die vermehrte Metallabscheidung nur einen kleinen Beitrag zum langfristigen Entzug von Schadstoffen aus der Umwelt leistet und für die Bewertung der langfristigen Sicherheit die entscheidende Frage ist, wo die aufbereiteten Grob- und Feinfraktionen abschließend entsorgt werden. Für die Variante „Verbringung der Grobfraktion in den Straßenbau und der Feinfraktion auf eine Deponie“ wird eine Einzelfallentscheidung als sinnvoll angesehen.

Für die Abfallart 19 01 11* gilt grundsätzlich das Gleiche wie für die Abfallart 19 01 12. Der Hauptunterschied liegt lediglich in der Gesamttoxizität, die im Durchschnitt bei der Abfallart 19 01 11* etwas höher liegt.

7.7 Böden und Steine (17 05 03*) sowie Bauschutt (17 01 06*), die gefährliche Stoffe enthalten

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Gesamtbewertung für die Abfallarten 17 05 03* und 17 01 06*.

Tabelle 7-7 Gesamtbewertung für Böden und Steine sowie Bauschutt, die gefährliche Stoffe enthalten

	langfristige Sicherheit	metallische Ressourcen	"klassische" Ökobilanz	als Entsorgungsweg:
Bergversatz, nah	1	-	3	empfehlenswert
Bergversatz, fern	1	-	4	bedingt empfehlenswert
DK II/III	2	-	3	bedingt empfehlenswert
Straßenbau	3	-	1	nicht empfehlenswert

Die Bewertung baut auf den Ergebnissen für die Rost- und Kesselaschen aus der Abfallverbrennung auf, da die hier genannten Entsorgungswege die gleichen sind. Es wird jedoch berücksichtigt, dass die Toxizität pro Tonne Abfall im Durchschnitt bei den Böden und beim Bauschutt meist deutlich niedriger liegt als bei den Rost- und Kesselaschen aus der Abfallverbrennung (siehe Kapitel 4 und 6). Häufig kann bei diesen Abfallarten nur im Einzelfall entschieden werden, da die Belastung mit

gefährlichen Abfällen je nach Ursache zu meistens nicht vergleichbaren Schadstofffrachten führt.

Die Empfehlungen für den ‚Bergversatz nah‘ (empfehlenswert) und den Straßenbau (nicht empfehlenswert) befinden sich in Übereinstimmung mit denen für die Abfälle aus der Abfallverbrennung und bedürfen angesichts der Abfallarten keiner Überprüfung im Einzelfall. Der ‚Bergversatz fern‘ wird angesichts der aufwendigen Transporte als bedingt empfehlenswert eingestuft. Hier muss im Einzelfall, in Abhängigkeit von der Schadstoffbelastung zwischen Deponie und Bergversatz abgewägt werden. Für den Bergversatz auch bei weiten Transporten spricht die Tatsache, dass es sich um eine Verwertung handelt, die bei den sozialen Indikatoren noch einen Vorteil gegenüber der Deponierung aufweist.

Die Deponie wird im vorliegenden Fall ebenso als bedingt empfehlenswert eingestuft. Bei anderen toxischeren Abfällen, für die zudem metallurgische Recyclingverfahren existieren, wurde die Deponie hingegen als nicht empfehlenswert eingestuft. Angesichts der im Normalfall niedrigeren Toxizität und angesichts des Fehlens von metallurgischen Recyclingwegen wird die Deponierung von Böden und Steinen sowie von Bauschutt mit gefährlichen Inhaltsstoffen hingegen als eine bedingt empfehlenswerte Beseitigungsoption angesehen, die allerdings, wie oben beschrieben, im Einzelfall zu überprüfen und konkret im Vergleich zu der Verwertungsoption Bergversatz zu bewerten ist.

8 Umsetzungskonzept für eine nachhaltige Entsorgung anorganischer Abfälle

8.1 Bewertung des Metallrecyclings

Aussagen zum ökologischen Vergleich von Entsorgungsvarianten mit und ohne Metallrecycling lassen sich aus den drei untersuchten Abfällen – kupferhaltige Galvanikschlämme, Stäube aus der Edelstahlproduktion und Stahlwerksstäube – ableiten. Eine besonders günstige Ökobilanz sowie positive Ergebnisse der Stoffstromanalyse wurden für die Verwertung der kupfer- und nickelhaltigen Galvanikschlämme erzielt. Der Hauptgrund hierfür liegt darin, dass die durch das Recycling substituierten Kupfererz- und Nickelerzaufbereitungsschritte sehr energieintensive Prozesse sind. Eine Mittelstellung nehmen die chrom- und nickelhaltigen Stäube aus der Edelstahlproduktion ein. Hier gilt ebenso wie beim Kupfer, dass die recycelten Metalle hohe Energieaufwendungen bei der Primärerzeugung substituieren. Jedoch ist der Recyclingprozess im Vergleich zum Kupferrecycling sehr energieintensiv. Je nachdem, wie der hier benötigte Strom bereitgestellt wird, fällt die Treibhausbelastung beim Recycling höher oder niedriger als bei der Primärerzeugung aus. Am ungünstigsten schneidet das Recycling der zinkhaltigen Stahlwerksstäube ab. Hier wird lediglich Zinkoxid substituiert, dessen Bereitstellung mit vergleichsweise niedrigen Energieaufwendungen verbunden ist und das genauso wie das primäre Zinkerz noch energieaufwendig weiter aufbereitet werden muss. Zusätzlich macht sich der hohe Energieaufwand der Wälzanlage bemerkbar.

Die drei Beispiele zeigen, dass sich keine einfache Aussage dazu ableiten lässt, ab welchem Metallgehalt ein Metallrecycling anderen Entsorgungsverfahren vorzuziehen ist. Eine Schweizer Studie von Neosys [neosys 2001] hat dennoch eine derartige Bewertung für Metallhydroxidschlämme auf der Basis von Ökobilanzergebnissen abgeleitet. Die Basis der Bewertung war die Aggregation der Ökobilanzergebnisse auf einen einzelnen Wert, ausgedrückt in Umweltbelastungspunkten. Diese Aggregation auf einen einzelnen Wert liefert zwar ein handhabbares Ergebnis, wird jedoch der Komplexität der Materie nur bedingt gerecht. Aus diesem Grunde vertritt das deutsche Umweltbundesamt die Position, dass eine Aggregation der Ökobilanz auf einen einzelnen Wert nicht sinnvoll ist und arbeitet stattdessen mit der Hierarchisierung nach Prioritäten. Auf dieses Verfahren sowie zusätzlich auf die Methodik der Stoffstromanalyse baut die vorliegende Studie auf (vgl. Darstellung der UBA-Methode in Kap. 5.2.3).

Als Schlussfolgerung für die Bewertung des Metallrecyclings ist festzuhalten, dass keine pauschale Aussage möglich ist, sondern eine umfassende Gesamtbewertung für jede Abfallart und ihre verschiedenen Entsorgungsvarianten durchgeführt werden muss. Die Teilbewertungen für die einzelnen Abfälle sind in Kap. 6 dargestellt und in Kap. 7 kurz zusammengeführt.

8.2 Stoffströme der ausgewählten Abfallarten im Vergleich zu anderen umweltrelevanten Schadstoffstoffströmen

In Kapitel 2.4 wurde die Bedeutung der Toxizität ausgewählter Abfallströme im Vergleich zu anderen umweltrelevanten Schwermetallstoffströmen herausgearbeitet. Es wurde beispielhaft für Blei, Zink und Cadmium abgeschätzt, welche Schadstofffracht die 50 ausgewählten Abfälle im Verhältnis zu den Jahresverbräuchen dieser Metalle in Deutschland und im Verhältnis zu den jährlichen Schwermetalleinträgen in die Oberflächengewässer beinhalten. Das Ergebnis war folgendes:

- In den 50 ausgewählten Abfällen sind rund 9 % der Bleimenge enthalten, die in Deutschland als Primärerz eingesetzt wird.
- In den 50 ausgewählten Abfällen sind rund 21 % der Zinkmenge enthalten, die in Deutschland als Primärmaterial in der Zinkverhüttung eingesetzt wird.
- In den 50 ausgewählten Abfällen ist rund 34-mal so viel Blei enthalten wie in den Schwermetalleinträgen in Oberflächengewässer in der BRD.
- In den 50 ausgewählten Abfällen ist rund 16-mal so viel Zink enthalten wie in den Schwermetalleinträgen in Oberflächengewässer in der BRD.

Aus diesen Zahlen sind zwei wesentliche Schlussfolgerungen zu ziehen:

1. Die Gewährleistung einer sicheren Entsorgung, bei der möglichst geringe Emissionen über den Wasserpfad auftreten, hat für alle Schwermetalle eine absolute Priorität. Wenn nur ein kleiner Teil der in den Abfällen enthaltenen Schwermetalle über unkontrollierte Auswaschungen in das Grundwasser gelangt, werden die gesamten Schwermetalleinträge in Oberflächengewässer deutlich ansteigen.
2. An zweiter Stelle steht der Ressourcenaspekt. Die ausgewählten Abfälle beinhalten im Vergleich zum gesamtwirtschaftlichen Metallverbrauch relevante Mengen.

Die erste Kernaussage wird im Folgenden für die detaillierter bilanzierten und bewerteten Abfallgruppen näher beleuchtet. Die nachfolgende Tabelle zeigt für die 9 bilanzierten Abfallarten die entsorgten Mengen und ihre Toxizität. Die Toxizität wird in Chrom-Äquivalenten ausgedrückt, die im Rahmen dieses Projekts aus dem Konzept der Geringfügigkeitsschwellen hergeleitet wurden (vgl. Erläuterungen in Kapitel 5).

Tabelle 8-1 Abschätzung der Gesamtfracht an Chrom-Äquivalenten von den detaillierter betrachteten Abfällen (bezogen auf anorganische Schadstoffe)

AVV-Nr.	Abfallart	Entsorgte Menge t	Anzahl Proben der relevanten Metalle	Cr-äq pro t Abfall		Jährliche Cr-äq	
				kg Cr-äq/t		t	
				Median	Mittelwert	Median	Mittelwert
10 02 07*	Stäube aus der Edelstahlproduktion	40.000	11	138,8	183,7	5.552	7.348
	Elektrostahlwerksstäube	150.000	7	58,0	152,5	8.700	22.875
11 01 09*	Schlämme und Filterkuchen, die gefährliche Stoffe enthalten	703.000	100 - 200	6,9	28,8	4.851	20.246
17 01 06*	Bauschutt, der gefährliche Stoffe enthält	1.240.000	600 - 700	0,3	2,0	347	2.418
17 05 03*	Boden und Steine, die gefährliche Stoffe enthalten	4.587.000	ca. 1.500	0,2	1,6	963	7.523
19 01 07*	Feste Abfälle aus der Abgasbehandlung von Abfallverbrennungsanlagen	350.000	150 - 250	6,6	9,6	2.310	3.360
19 01 11*	Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken, die gefährliche Stoffe enthalten	244.000	30	2,2	7,8	537	1.903
19 01 12	Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken aus der Abfallverbrennung (nbü)	3.300.000	ca. 100	1,5	4,7	4.950	15.510
19 01 13*	Filterstaub aus der Abfallverbrennung	360.000	300 - 500	11,1	14,2	3.996	5.112
Summe						32.206	86.295

Die Toxizität wurde anhand der mittleren Schadstoffbelastung (ausgedrückt als Median- und Mittelwert) auf Basis der Stoffdaten in ABANDA (vgl. hierzu Kapitel 2.2) und auf Basis der Geringfügigkeitsschwellenwerte abgeschätzt. Die Toxizität organischer Stoffe wurde hierbei nicht betrachtet, da das Projekt überwiegend auf anorganische Abfälle zielt und nicht auf organische Abfälle, die überwiegend für den Bergversatz nicht geeignet sind bzw. bei der Betrachtung der langfristigen Sicherheit nicht den gleichen Stellenwert aufweisen (vergleiche Kapitel 5). Die Abfallmengen entsprechen, soweit nicht anders vermerkt, der entsorgten Menge in 2003. Bei dem Abfall 10 02 07* wurden die Mengen für die Stäube aus der Edelstahlproduktion und die Elektrostahlwerksstäube nach der Schätzung von [Lahmeyer 1999] angesetzt. Neuere detaillierte Zahlen liegen nicht vor, da zahlreiche Stäube aus der Eisen- und Stahlproduktion und aus Gießereien unter der AVV-Nr. 10 02 07* zusammengefasst werden. Die Galvanikschlämme fallen zusammen mit anderen Schlämmen unter die AVV-Nr. 11 01 09* (Schlämme und Filterkuchen, die gefährliche Stoffe enthalten). Sowohl die Abfallmengen als auch die Toxizitätswerte beziehen sich auf die gesamte Abfallgruppe und nicht nur auf Galvanikschlämme.

Die Tabelle zeigt, dass rund 32.000 t Chrom-Äquivalente in den näher betrachteten Abfallarten enthalten sind (bezogen auf den Medianwert; bezogen auf den Mittelwert sind es rund 86.000 t). Da bei unterschiedlichen Datengrundlagen, wie sie den hier herangezogenen Datenkollektiven zugrunde liegen, die Werte häufig besonders im unteren und oberen Bereich unsicher sind (Ausreißer, unterschiedliche Nachweisgrenzen), ist der Mittelwert häufig nicht als valide anzusehen. Deshalb sind hier besser die Mediane heranzuziehen, auch wenn diese gegenüber dem Mittelwert grundsätzlich etwas geringer sind [vgl. Öko-Institut 2007].

Bei diesen Zahlen handelt es sich um eine orientierende Schätzung. Die größte Datenunsicherheit liegt bei den Schwermetallgehalten der Abfälle. Die Median- bzw. Mittelwertbildung beruht für die einzelnen Abfälle auf einer höchst unterschiedlichen Probenzahl, die von 7 bis 500 reicht (siehe Tabelle 8-1). Zur Ermittlung einer Größenordnung, wie sie in diesem Projektkontext benötigt wird, ist diese Probenzahl ausreichend.

Die nächste Tabelle zeigt die Schwermetalleinträge in Oberflächengewässer in Deutschland in 2002 und die daraus errechneten Chrom-Äquivalente.

Tabelle 8-2 Schwermetalleinträge in Oberflächengewässer in t/a und in Cr-_{äq}/a nach [UBA 2004]

Schwermetall	Eintrag in Oberflächengewässer in 2002 t/a	spez. Cr- _{äq} t/t	Toxizität in Cr- _{äq} t
Hg	4,7	35	165
Cd	12	14	168
Zn	3.187	0,12	385
Pb	296	1	296
Cr	283	1	283
Ni	614	0,5	307
As	114	0,7	80
Cu	683	0,5	342
Summe			2.024

Der jährliche Eintrag in Oberflächengewässer durch Schwermetalle beträgt damit rund 2.000 t Cr-_{äq}.

Von Bedeutung ist der Vergleich zwischen den Chrom-Äquivalenten in den näher betrachteten Abfällen (rund 32.000 t Cr-_{äq} für die Medianwerte und rund 86.000 t

Cr_{-äq} für die Mittelwerte) und den Chrom-Äquivalenten, die mit den jährlichen Schwermetallmengen in Oberflächengewässer (rund 2.000 t Cr_{-äq}) eingetragen werden. Zwischen diesen Größen liegt der Faktor 16 bzw. 43. Das bedeutet, dass in den vertieft betrachteten Abfällen die Schadstofffracht, ausgedrückt in Chrom-Äquivalenten, 16- bis 43-mal höher ist als die Schadstofffracht, die mit dem Schwermetalleintrag in Oberflächengewässer verbunden ist. Anders ausgedrückt: Wenn nur 2-6 % der betrachteten Abfälle so entsorgt werden, dass ihr Schadstoffinhalt vollständig ins Grundwasser gelangt, wird sich der bundesweite Schadstoffeintrag in Gewässer verdoppeln. Damit wird offensichtlich, dass für die Abfallentsorgung die langfristige Sicherheit von entscheidendem Einfluss ist. Eine alleinige Bewertung der Entsorgungsverfahren mit den klassischen Wirkungskategorien der Ökobilanz reicht nicht aus, um diese Umweltauswirkung in ihrer ganzen Bedeutung abzubilden.

Aussagekräftig ist auch der Vergleich der Abfallarten untereinander. Die höchsten absoluten Gesamtfrachten an Chrom-Äquivalenten sind für die Medianwerte in den Elektrostahlwerksstäuben (10 02 07*), den Schlämmen und Filterkuchen, die gefährliche Stoffe enthalten (11 01 09*), den Rost- und Kesselaschen aus der Abfallverbrennung (19 01 12), den Stäuben aus der Edelstahlproduktion (10 02 07*), dem Filterstaub aus der Abfallverbrennung (19 01 13*) und den festen Abfällen aus der Abgasbehandlung von Abfallverbrennungsanlagen (19 01 07*) enthalten. Das bedeutet, dass aus Umweltsicht nicht nur die Abfälle mit hoher spezifischer Toxizität relevant sind, sondern auch Abfälle mit geringerer spezifischer Toxizität und hohem Massenaufkommen wie beispielsweise die Rost- und Kesselaschen aus der Abfallverbrennung.

Vor diesem Hintergrund wurde nach der Bewertung der ausgewählten Abfälle das gesamte AVV-Verzeichnis noch einmal für die für dieses Projekt relevanten Abfallkriterien (Abfälle mit Schwermetallbelastung, geringem TOC und geringem PAK, Abfälle mit einem relevanten Massenaufkommen, Abfälle mit mittlerer bis hoher spezifischer Toxizität) analysiert, mit der Fragestellung, welche weiteren bisher nicht detailliert betrachteten Abfallströme eine relevante absolute Schadstofffracht aufweisen und in das Umsetzungskonzept mit aufgenommen werden sollten.

Tabelle 8-3 Abschätzung der Gesamtfracht an Chrom-Äquivalenten von weiteren nicht detaillierter betrachteten Abfällen (bezogen auf anorganische Schadstoffe)

AVV-Nr.	Abfallart	Entsorgte Menge in 2005 t	Anzahl Proben für relevante Metalle	Cr-äq pro t Abfall		Jährliche Cr-äq t	
				kg Cr-äq/t Median	Mittelwert	Median	Mittelwert
19 03 06*	Als gefährlich eingestufte verfestigte Abfälle*	231.900	3	0,3	0,3	60	78
17 05 07*	Gleisschotter, der gefährliche Stoffe enthält	893.200	18 - 19	0,5	0,5	402	477
19 07 02*	Deponiesickerwasser das gefährliche Stoffe enthält	519.200	7 - 9	1,6	8,0	828	4.172
10 02 13*	Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten (u.a. Gichtgasschlämme)	66.100	5 - 8	27,8	29,8	1.840	1.972
10 03 08*	Salzschlacken aus der Zweitschmelze (aus der thermischen Aluminium-Metallurgie)	240.900	4 - 5	3,9	4,4	950	1.058
11 02 02*	Schlämme aus der Zink-Hydrometallurgie (einschließlich Jarosit, Goethit)	198.100	1 - 16	6,3	12,5	1.248	2.474
19 02 05*	Schlämme aus der physikalisch-chemischen Behandlung, die gefährliche Stoffe enthalten	204.400	100 - 300	2,1	35,7	433	7.304
Summe						5.760	17.534

Die Summe der Chrom-Äquivalente in diesen Abfällen liegt bezogen auf den Medianwert bei rund 6.000 t Cr-äq. Es ist kein Abfall dabei, der durch eine sehr hohe Gesamtfracht im Vergleich zu den detaillierter betrachteten Abfällen auffällt. Damit zeigt sich, dass mit der ursprünglichen Auswahl der detaillierter zu betrachtenden Abfälle alle besonders relevanten Abfälle erfasst wurden. Dennoch wird für die zusätzlich aufgeführten Abfälle empfohlen, bei der Entscheidung ihrer Entsorgungswege ähnlich vorzugehen wie bei der Bewertung der detaillierter betrachteten Abfälle. Denn auch wenn die Schadstofffracht in den hier aufgeführten Abfällen kleiner ist als bei den detaillierter betrachteten Abfällen, beinhalten sie eine Gesamttoxizität

von rund 6.000 t Cr_{-aq}, was etwa dem Dreifachen des Schwermetalleintrags in Oberflächengewässer in Deutschland entspricht.

8.3 Empfehlungen für die Entsorgungspraxis

Vor dem Hintergrund der herausragenden Bedeutung des Umweltkriteriums „langfristige Sicherheit“ ist die bisherige Entsorgungspraxis zu überdenken. Für die Gesamtbewertung der Entsorgung werden folgende Empfehlungen gegeben:

- Angesichts der hohen (anorganischen) Schadstofffrachten in den betrachteten Abfällen, die die Schadstoffeinträge in Gewässer um ein Vielfaches überschreiten, ist es aus Gründen des langfristigen Schutzes der Oberflächengewässer, des Grundwassers und der Böden, der Ökosysteme sowie der menschlichen Gesundheit dringend geboten, der langfristigen Entsorgungssicherheit höchste Priorität zu geben.
- Für eine langfristig sichere Entsorgung sind Zeiträume von 1.000 und mehr Jahren relevant. Die bisher angewandten Auslaugtests sind ungeeignet, um das Auslaugverhalten über einen solch langen Zeitraum abzubilden.
- Der Bergversatz ist eine langfristig sichere Entsorgungsvariante. Den gleichen Effekt wie der Bergversatz (langfristige Entnahme von Schadstoffen aus den Umweltkreisläufen) hat das Metallrecycling, indem es die Gewinnung von metallischen Rohstoffen aus natürlichen Erzen reduziert.
- Die Deponierung kann allenfalls eine mittelfristige Entsorgungssicherheit gewährleisten.
- Mit der Verwertung im Straßenbau, der breiten Streuung von Schadstoffen über große Flächen und der begrenzten Lebensdauer von Straßenaufbauten kann allenfalls eine kurzfristige Sicherheit erreicht werden.
- Folgende Abfallströme tragen nach den orientierenden Abschätzungen absolut gesehen die größten Schadstofffrachten (je Abfallart 1.000–9.000 Cr_{-aq}):
 - Elektrostahlwerksstäube (10 02 07*)
 - Stäube aus der Edelstahlproduktion (10 02 07*)
 - Rost- und Kesselaschen aus der Abfallverbrennung (19 01 12)
 - Filterstaub aus der Abfallverbrennung (19 01 13*)
 - Feste Abfälle aus der Abgasbehandlung von Abfallverbrennungsanlagen (19 01 07*)
 - Schlämme und Filterkuchen, die gefährliche Stoffe enthalten (11 01 09*)

- Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten (u. a. Gichtgasschlämme) (10 02 13*)
- Schlämme aus der Zink-Hydrometallurgie (einschließlich Jarosit, Goethit) (19 02 05*)
- Als Abfälle mit einer absoluten Toxizität von 300–1.000 Cr._{aq} wurden u. a. identifiziert:
 - Salzschlacken aus der Zweitschmelze (aus der thermischen Aluminium-Metallurgie)
 - Boden und Steine, die gefährliche Abfälle enthalten (17 05 03*)
 - Deponiesickerwasser, das gefährliche Stoffe enthält (19 07 02*)
 - Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken aus der Abfallverbrennung, die gefährliche Stoffe enthalten (19 01 11*)
 - Bauschutt, der gefährliche Stoffe enthält (17 01 06*)
 - Gleisschotter, der gefährliche Stoffe enthält (17 05 07*)

Um die Erkenntnisse dieser Studie in der abfallwirtschaftlichen Praxis zu implementieren, ist ein Konzept aus Information, Schulung und Motivation der beteiligten Akteure erforderlich. Neben dem Gesetzgeber und den Genehmigungsbehörden sind dies auch die Abfallerzeuger und -entsorger. Ein erster Schritt hierzu wurde durch die intensiven Diskussionen in den Sitzungen des Begleitarbeitskreises und die Diskussion der Zwischenergebnisse getan. Darüber hinaus soll durch Veröffentlichungen in der Fachpresse und durch Vorträge auf einschlägigen Fachtagungen die Verbreitung der Endergebnisse sichergestellt werden. Gezielt werden die betroffenen Bundes- und Landesbehörden auf die Studie, die im Internet kostenlos zur Verfügung gestellt wird, hingewiesen und über deren wichtigste Ergebnisse informiert. Dabei wird angeregt werden, dass durch eine Schulung der zuständigen Mitarbeiter sichergestellt wird, dass die Erkenntnisse aus diesem Forschungsprojekt in der Praxis umgesetzt werden.

9 Fazit

Die Ergebnisse der Studie zeigen deutlich, dass der Ausschleusung von Schadstoffen in langfristig sichere Senken in der Praxis der Abfallwirtschaft eine größere Bedeutung zukommen muss. Andernfalls kann schon die Freisetzung nur eines kleinen Teils der Schadstoffe zu einer erheblichen Mehrbelastung der Gewässer führen. Es wird deutlich, dass dieser wichtigen Anforderung an die Abfallwirtschaft im Untersuchungskontext, der Entsorgung von überwiegend mineralischen Abfällen mit hoher Schadstoffbelastung, eine deutlich höhere Gewichtung zukommt als den klassischen Wirkungsindikatoren der Ökobilanz.

Langfristig sichere Senken können nur die Verbringung unter Tage (Untertagedepotien oder Versatzbergwerke mit Sicherheitsnachweis gemäß Versatzverordnung) und ein hochwertiges Recycling von metallischen Ressourcen darstellen. Für das Recycling gilt das nur, wenn damit die Einsparung der Primärrohstoffgewinnung und der damit verbundenen Freisetzung der entsprechenden Schadstofffrachten einhergeht.

Aufgrund der Bedeutung der mit den untersuchten Abfallmengen transportierten Schadstofffrachten und deren besonderer Bedeutung für den Boden- und Gewässerschutz ergibt sich die Notwendigkeit, eine langfristige Planung der langzeitsicheren Senken zu gewährleisten. Hierzu bedarf es einer Erhebung über das zur Verfügung stehende Volumen solcher Senken und eine Planung der Stoffflüsse für die relevanten gefährlichen Abfälle. Das gilt auch für Abfälle, die zwar nicht als gefährlich eingestuft sind, die aber aufgrund der großen Mengen in der Summe eine erhebliche Schadstofffracht beinhalten können, wie beispielsweise die Aschen und Schlacken aus der Müllverbrennung. Zur Schonung der langfristig sicheren Senken kann speziell bei diesen Abfallarten eine Behandlung mit dem Ziel, besonders schadstoffhaltige Fraktionen abzutrennen und entsprechend sicher zu entsorgen, auf lange Sicht ein nachhaltiges Entsorgungskonzept darstellen. Zusätzlich sollte für solche Abfallarten aufgrund der erheblichen Gesamtschadstofffrachten eine Diskussion über eine grundlegende Neubewertung der zulässigen bzw. der Regelentsorgungswege beginnen, um Boden und Grundwasser nachhaltig und langfristig zu schützen. Die Entsorgungspraxis in Österreich und in der Schweiz bietet hierzu Ansätze.

Es ist wichtig, dass diese Erkenntnisse in der Gesetzgebungs-, Genehmigungs- und Entsorgungspraxis umgesetzt werden. Die derzeit im Umbruch befindliche Abfallwirtschaft auf ihrem Weg zu einer vorsorgenden und nachhaltigen Stoffstromwirtschaft bietet die notwendigen Voraussetzungen dafür, diese Anforderungen zu bewältigen.

10 Literaturverzeichnis

- ABANDA <http://www.nrw-luawebapps.de/aida/steuer.php>
- Adel-
hardt/Antrekowit
sch 1998 Adelhardt, W.; Antrekowitsch, H.: Stoffmengenflüsse und Energiebedarf bei der Gewinnung ausgewählter mineralischer Rohstoffe – Teilstudie Chrom, Geologisches Jahrbuch Sonderhefte, Reihe H, Heft SH 3, Hannover 1998
- AG-BREF o.J. AG-BREF Oberflächentechnik: Entwurf des deutschen Beitrags zu den besten verfügbaren Techniken bei der „Behandlung metallischer und nichtmetallischer Oberflächen mit chemischen und elektrochemischen Verfahren“
- AIDA 2006 Landesamt für natur, Umwelt- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen: AIDA – Informationsplattform Abfall in NRW; <http://www.nrw-luawebapps.de/aida/>
- AIDA 2007 Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Informationsplattform Abfall in Nordrhein-Westfalen – AIDA Internatauftritt Stand 4.5.2007 www.nrw-luawebapps.de/aida/
- ARGE KWTB
2001 Arbeitsgemeinschaft Kreislaufwirtschaftsträger Bau: Monitoring-Bericht Bauabfälle (Folgebericht, Teil 2 – Erhebung: 1998), Berlin/Düsseldorf/Duisburg 2001
- ARGE KWTB
2003 Arbeitsgemeinschaft Kreislaufwirtschaftsträger Bau: 3. Monitoring-Bericht Bauabfälle (Erhebung: 2000), Berlin/Düsseldorf/Duisburg 2003
- ARGE KWTB
2005 Arbeitsgemeinschaft Kreislaufwirtschaftsträger Bau: 4. Monitoring-Bericht Bauabfälle (Erhebung 2002), Berlin 2005
- Arthur Edwards
2003 Arthur P., Edwards J.: ISASMELT - A quiet revolution. Proceedings of european metallurgical conference (EMC) 2003. S. 11-26.
- AVV 2001 Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnis-Verordnung – AVV) v. 10.12.2001, BGBl. I S. 3379, zuletzt geändert am 15.07.2006, BGBl. I S. 1619
- B.U.S. 2006 B.U.S. Steel Services GmbH: Homepage www.bus-steel.com
- Baccini 1988 Baccini, P.: Sonderabfallentsorgung in der Schweiz – Leitbild und Konsequenzen für eine technische Abfallverordnung, in: Lechner, Kemmerling 1988
- Baccini et al.
1985 Baccini, P.; Baechler, M.; Brunner, P.H., Hensler, G.: Von der Entsorgung zum Stoffhaushalt: die Steuerung anthropogener Stoffflüsse als multidisziplinäre Aufgabe (From waste management to material balances: the control of anthropogenic material fluxes as a multidisciplinary task), Müll und Abfall 4: 99-108, 1985.
- Baccini et al.
1988 Baccini, P. et al. (Hrsg.): The landfill – reactor and final stage, Gerzensee 1988
- Baccini et al.
1993 Baccini, P. et al.: Deponierung fester Rückstände aus der Abfallwirtschaft. Endlager-Qualität am Beispiel der Müllschlacke, in: EAWAG, Eidg. Anstalt für Wasserversorgung. Abwasserreinigung und Gewässerschutz, Abteilung Abfallwirtschaft und Stoffhaushalt, Zürich 1993

- Baccini, Bader 1996 Baccini P.; Bader, H.: Regionaler Stoffhaushalt: Erfassung, Bewertung und Steuerung, Spektrum Akademischer Verlag, 1996
- Baccini, Brunner 1991 Baccini, P.; Brunner, P. H.: Metabolism of the Anthroposphere, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 1991.
- BAT 2001 European commission: Integrated pollution prevention and control - Best available techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel, December 2001
- BDE 2005 Anlagenliste der Sonderabfallverbrennungsanlagen, Stand 23.3.2005
- Behnsen 2001 Hartmut Behnsen, Kali + Salz Entsorgung GmbH, Kassel
Abfallverwertung und -beseitigung im Kali- und Steinsalzbergbau, Heft 88 der Schriftenreihe GDMB Gesellschaft für Bergbau, Metallurgie, Rohstoff- und Umwelttechnik, Clausthal-Zellerfeld 2001
- Berzelius 2006 Homepage der Fa. Berzelius: www.berzelius.de
- BGR 2005a Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BRG): Rohwirtschaftliche Steckbriefe für Metall und Nichtmetallrohstoffe, Anlage 2 zum Bericht zur aktuellen rohstoffwirtschaftlichen Situation und zu möglichen rohstoffpolitischen Handlungsoptionen, Stand 12. Juli 2005; Download im September 2006 von
<http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Energie/rohstoffpolitik.html>
- BGR 2005b Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe: Bundesrepublik Deutschland Rohstoffsituation 2004. Rohstoffwirtschaftliche Länderstudien Heft XXXIII, Hannover, Oktober 2005
- BIfU 2002 Abschlussbericht Verwertung von MV Rostschlacke in Bauvorhaben. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Augsburg 2002
- BMU 2004 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Hintergrundinformationen zu der neuen Deponieverwertungsverordnung, Stand Dezember 2004;
<http://www.bmu.de/abfallwirtschaft/doc/print/6854.php>
- BMU 2006 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Kurzbeschreibung der geförderten Pilotprojekte im Internet unter
http://www.bmu.de/foerderprogramme/pilotprojekte_inland/doc/print/36507.php
- BMU 2007a Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Begründung zur Verordnung über den Einbau von mineralischen Ersatzbaustoffen in technischen Bauwerken und zur Änderung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung, Arbeitsentwurf, Bonn, 13. November 2007
- BMU 2007b Bundesministerium für Umwelt: www.bmu.de/Abfallwirtschaft, Bonn 2007
- Bongard, Kneib 1995 Bongard, B., Kneib, W.D.: Inventarisierung von technogenen Substraten und Charakterisierung technisch hergestellter Böden. Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit – Bodenschutz- Forschungsbericht 107 03 007/04, UBA-FB 95-050, Umweltbundsamt Berlin, August 1995
- Both et al. 1996 Both, G. et al.: Bewertung der geplanten Industrieabfalldeponie in Luxemburg und alternative Konzepte zur Vermeidung, Verwertung und Behandlung von Sonderabfällen, Öko-Institut e.V., Darmstadt 1996

- Brand 1998 Brand, G. et al.: Methode der ökologischen Knappheit – Ökofaktoren, 1997 Infrac. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Schriftenreihe Umwelt Nr. 297, Bern 1998.
- Brasser Brasser, T. et al.: Erprobung und Anpassung ökotoxikologischer Methoden zur Bewertung UTD-relevanter Abfall-Eluate – Abschlussbericht. Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, GRS – A-2592, Braunschweig, Datum unbekannt
- Brunner 1992 Brunner, P.: Wo stehen wir auf dem Weg zur „Endlagerqualität“? Österreichische Wasserwirtschaft, Heft 9/10, 1992
- Brunner 2004 Brunner, P.: Von der Abfallwirtschaft zum Ressourcenmanagement, Synthesebericht der vier Projekte zur Ausrichtung der österreichischen Abfallwirtschaft nach stofflichen Gesichtspunkten. Projekt ABASG II, im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, April 2004
- Brunner et al. 1987 Brunner, P.H. et al.: Die Umweltverträglichkeit von Entsorgungsanlagen – Einführung in die Methodik der Stoffflussanalyse, EAWAG, Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz, Abteilung Abfallwirtschaft und Stoffhaushalt, Dübendorf (Schweiz), September 1987
- Brunner, Rechberger 2004 Brunner, P., Rechberger, H.: Practical handbook of material flow analysis, CRC/Lewis, 2004
- Brunner, Moench 1986 Brunner, P.H.; Moench, H.: The flux of metals through a municipal solid waste incinerator, Waste Management Res 4: 147-160, 1986.
- Citron 2006 Homepage der Citron AG: <http://www.citron.ch/>
- Czetsch 2002 Czetsch, A.: Thermische Bodenbehandlung – Probleme und Grenzen am Beispiel der Vakuumdestillation, in: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz: Bodenbehandlung – Stand der Technik und neue Entwicklungen, Fachtagung am 11.06.2002, Augsburg 2002
- DB 2006 DB Netz AG: Rücklauf vom 02.06.2006
- Dehoust et al. 1992 Dehoust, G. et al.: Sicherheitsbetrachtung für eine Industrieabfalldeponie in Luxemburg, in Zusammenarbeit mit dem Büro für Hydrogeologie und Umwelt GmbH, Aachen und dem Institut für Ökosystemforschung, Freiburg; Darmstadt/Freiburg, 1992
- Dehoust et al. 1993 Dehoust, G.; Both, G.; Jenseit, W.; Petitjean, T.; Rausch, L.; Gebhardt, P.: Systemvergleich Restabfallbehandlung Hessen: Vergleichende Untersuchung zu den Umweltauswirkungen unterschiedlicher Verfahren der Restabfallbehandlung; in Zusammenarbeit mit ITU GmbH, im Auftrag der Hessischen Landesanstalt für Umwelt - HLFU, Wiesbaden; Darmstadt 1993
- Dehoust et al. 1998 Dehoust, G. et al.: Systemvergleich unterschiedlicher Verfahren der Restabfallbehandlung der Stadt Münster, Öko-Institut Darmstadt, 1998

- Dehoust et al. 2003 Dehoust, G.; Hermann, A.; Rheinberger, U.: Liberalisierung in der Abfallwirtschaft – ökologische und ökonomische Auswirkungen einer Liberalisierung der Abfallwirtschaft am Beispiel der Restmüllentsorgung; in Zusammenarbeit mit BASF, im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz; Darmstadt/Berlin, 2003
- DepV 2002 Verordnung über Deponien und Langzeitlager vom 24.7.2002 (BGBl. 2002, 2807)
- DepV 2002 Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung - DepV) vom 24. Juli 2002, BGBl I 2002, S. 2807, zuletzt geändert durch Art. 1 Abs. 5 Gesetz vom 26.11.2002, BGBl I, S. 4417.
- DepVerwV 2005 Verordnung über die Verwertung von Abfällen auf Deponien über Tage (Deponieverwertungsverordnung – DepVerwV) v. 25.07.2005, BGBl. I Nr. 46, S. 2252
- DK 2005 Homepage der Firma DK Recycling und Roheisen GmbH, <http://www.dk-duisburg.de/Reststoffe/reststoffe01.htm> sowie Telefonat vom 22.02.2005 mit Hr. Vogel, Abt. Einkauf
- Eberle, Rudek 2006 Eberle, S. H.; Rudek, R.: Der Förderschwerpunkt „Sickerwasserprognose“ des BMFT und des BMU/UBA - Konzept und erste Ergebnisse, Karlsruhe 2006
- Ecobalance 2000 Ecobalance: Life cycle assessment of nickel products, final report, prepared for: nickel industry LCA group, Bethesda, USA, 2000 download im April 2007, <http://www.nickelinstitute.org>
- Ecologic 2005 Verbücheln, M.; Hansen, W.; Neubauer, A.; Beyer, P.; Leipprand, A.: Strategie für die Zukunft der Siedlungsabfallentsorgung (Ziel 2020), Studie von Ecologic – Institut für Internationale und Europäische Umweltpolitik - im Auftrag des Umweltbundesamts, FuE-Vorhaben 201 32 324, 2005
- EMPA 2002 Hugener, N.; Partl, M.: Elimination teerhaltiger Beläge in den Niederlanden, EMPA-Bericht 421 429 im Auftrag des BUWAL, 2002
- Enquete 1993 Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“: - Bewertungskriterien und Perspektiven für umweltverträgliche Stoffkreisläufe in der Industriegesellschaft“ des 12. Deutschen Bundestages: „Verantwortung für die Zukunft – Wege zum nachhaltigen Umgang mit Stoff- und Materialströmen“ Zwischenbericht, Economica Verlag, Bonn 1993.
- Enquete 1994 Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ des Deutschen Bundestages (Hrsg.): Die Industriegesellschaft gestalten – Perspektiven für einen nachhaltigen Umgang mit Stoff- und Materialströmen“. Economica-Verlag, Bonn 1994
- Enquete 1997 Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt – Ziele und Rahmenbedingungen einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung“ des 13. Deutschen Bundestages: Konzept Nachhaltigkeit – Fundamente für die Gesellschaft von morgen, Zwischenbericht, Deutscher Bundestag, Referat Öffentlichkeitsarbeit (Hrsg.), Bonn 1997.
- EU-Kommission 2003a Kommission der Europäischen Gemeinschaft: Eine thematische Strategie für Abfallvermeidung und -recycling. Brüssel 14.4.2003

- Fertl Mager 2000 Fertl, K.; Mager, T.: Entwicklung von Verfahren und Anlagen zur Aufbereitung von Strahlmitteln, SAPU Sandstrahl- und Anlagenbau GmbH, Abschlussbericht zum FuE-Vorhaben FKZ 147 0777 des Umweltbundesamts, März 2000
- FES 2001 Forschungs- und Entwicklungszentrum Sondermüll; Heindl, A.; Westermann, H.: Stabilisierungsverfahren für gefährliche Abfälle, November 2001
- FGSV 2001 Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Richtlinien für die umweltverträgliche Anwendung von industriellen Nebenprodukten und Recycling-Baustoffen im Straßenbau – RuA-StB 01, Ausgabe 2001
- FGSV 2002 Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen: Merkblatt über die Wiederverwertung von mineralischen Baustoffen als Recycling-Baustoffe im Straßenbau, FGSV 616/3, Ausgabe 2002
- FGSV 2004 Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen: Technische Lieferbedingungen für Baustoffgemische und Böden zur Herstellung von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau – TL SoB-StB, Stand 27.07.2004, rev. 02.09.2004
- Förstner 2006 Förstner, U.: Vorlesung „Methoden der Altlastensanierung: Verfestigung/Stabilisierung; <http://www.tu-harburg.de/ut/students/Foerstner/fo-Altlasten-vorl3-Stabilisierung.pdf> (Stand 2006)
- Förstner 2006 Förstner, U.: Vorlesung „Methoden der Altlastensanierung: Verfestigung/Stabilisierung; <http://www.tu-harburg.de/ut/students/Foerstner/fo-Altlasten-vorl3-Stabilisierung.pdf> (Stand 2006)
- Frey Brunner 2004 Frey, R.; Brunner, M.: Rückgewinnung von Schwermetallen aus Flugaschen der Müllverbrennung, in: Optimierung der Abfallverbrennung 1, Hrsg. Thomé-Kozmiensky, K.-J.; TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, Neuruppin, 2004
- Gara Schrimpf 1998 Gara, S.; Schrimpf, S.: Behandlung von Reststoffen und Abfällen in der Eisen- und Stahlindustrie, Umweltbundesamt Österreich, Monographien, Band 92, Wien 1998
- GEMIS 2006 Gesamtemissionsmodell Integrierter Systeme. GEMIS Version 4.3, 2006. Öko-Institut e.V., Darmstadt. download unter www.gemis.de
- Gerschler 2003 Gerschler L. J.: Immobilisierung von Altlasten und Abfällen. Hösel, G., in: Bilitewski, Bernd, Schenkel, W., and Schnurer, H. (Hrsg.). Müll-Handbuch: Sammlung und Transport, Behandlung und Ablagerung sowie Vermeidung und Verwertung von Abfällen. MHB 02/2003, Kennziffer 8134. Berlin, Erich Schmidt Verlag. 2003
- Gerschler 2003 Gerschler L. J.: Immobilisierung von Altlasten und Abfällen. Hösel, G., in: Bilitewski, Bernd, Schenkel, W., and Schnurer, H. (Hrsg.). Müll-Handbuch: Sammlung und Transport, Behandlung und Ablagerung sowie Vermeidung und Verwertung von Abfällen. MHB 02/2003, Kennziffer 8134. Berlin, Erich Schmidt Verlag. 2003
- GesBergV 1991 Bergverordnung zum gesundheitlichen Schutz der Beschäftigten (Gesundheitsschutz-Bergverordnung GesBergV) vom 31.7.1991

- Giegrich et al. 1999 Giegrich, J.; Fehrenbach, H.; Orlik, W.; Schwarz, M.: Ökologische Bilanzen in der Abfallwirtschaft, Studie vom Institut für Energie- und Umweltforschung im Auftrag des Umweltbundesamtes. UBA-Texte 10/99, 1999
- Grehl et al. 2005 Grehl; Meyer, H.; Nowotny, C.; Kralik, J.: Ecologic aspects in PGM refining, proceedings of EMC 2005, S. 269 - 279
- Grießhammer et al. 2006 Grießhammer, R. et al.: Integration of social aspects into LCA, Feasibility Study, Öko-Institut and Taskforce UNEP-SETAC, Freiburg 2006
- Grießhammer et al. 1994 Grießhammer, R.; Benzler, G.; Bunke, D.: Stoffstrommanagement und Instrumente - Monitoring des Studienprogramms der Enquête-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“; Klemmer, P.; in Zusammenarbeit mit RWI, Essen; Freiburg/Essen, 1994;
- GSES 2007 Internetauftritt der GSES Beteiligungsgesellschaft mbH Sondershausen, Stand 27. März 2007; www.gses.de
- GTS 2007 Grube Teutschenthal Sicherungs GmbH &co. KG, Elke Kellner per mail vom 2. März 2007
- Hagelücken et al. 2004 Hagelücken, C.; Buchert, M.; Stahl, H.: Stoffströme der Platingruppenmetalle – Systemanalyse und Maßnahmen für eine nachhaltige Optimierung der Stoffströme der Platingruppenmetalle“, Umicore AG & Co. KG in Kooperation mit Öko-Institut e.V. (Förderung durch BMBF), Hanau 2004
- Hagelücken et al. 2005 Hagelücken C., Buchert M., Stahl H., unter Mitwirkung von S.Chakraborty T. N. M. S. B. S.: Stoffströme der Platingruppenmetalle: Systemanalyse und Maßnahmen für eine nachhaltige Optimierung der Stoffströme der Platingruppenmetalle. Umicore AG & Co.KG and Öko-Institut e.V. (Hrsg.). Clausthal-Zellerfeld, GDMB Medienverlag. 2005
- Hagemann 2006 Hagemann, S. et al.: Gasfreisetzung aus chemisch-toxischen Abfällen in Untertagedeponien. Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Braunschweig, Januar 2006
- Hahn 2002 Hahn, J.: Abfallwirtschaft als Schadstoffsенke und Rohstoffressourcen, Umweltbundesamt, Berlin 2002
- Hansmann et al. 2001 Hansmann T., Frieden R., Roth J. L.: Recycling of zinc bearing residues with the PRIMUS®-process. Proceedings of european metallurgical conference (EMC) 2001. S. 57-68
- Hecker Friedrich 2003 Hecker E., Friedrich B. (2003): Recovery of lead and zinc from QSL- and IS-slag using hollow electrode carbon insertion process. Proceedings of european metallurgical conference (EMC) 2003. S. 533-547
- Heindl/
Westermann
2001 Heindel, A., Westermann, H.: Stabilisierungsverfahren für gefährliche Abfälle – Chemische Betrachtung zum Langzeitverhalten; Forschungs- und Entwicklungszentrum Sondermüll, Rednitzhembach 2001
- Hellmann 2001 Kurt Hellmann und Peter Marggraf, Bergamt Bad Salzungen, Bergrechtliche Aspekte bei der Beurteilung der Langzeitsicherheit, erschienen in Exkursionsführer und Veröffentlichungen GGW, Berlin, 211 (2001), Aspekte der Langzeitsicherheit bei der Nachnutzung und Stilllegung von Kali- und Salzbergwerken, Herausgeber: Rauche, Thoma, Hartmann
- Heraeus 2006 Homepage der W.C.Heraeus GmbH
<http://www.wc-heraeus.com/precious-metal-recycling>

- Hilbrans/
Hinrichs 1999 Hilbrans, H.; Hinrichs, W.: Stoffmengenflüsse und Energiebedarf bei der Gewinnung ausgewählter mineralischer Rohstoffe – Teilstudie Nickel, Geologisches Jahrbuch Sonderhefte, Reihe H, Heft SH 7, Hannover 1999
- Hinweise AVV
2005 Hinweise zur Anwendung der Abfallverzeichnis-Verordnung vom 9.8.2005, BAanz. Nr. 148a (Beilage) S.1
- HK 2006 Hüttenwerke Kayser, Homepage <http://www.hk-ag.com/start.html>
- HLUG 2003 Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie: Untersuchung von Galvanikschlämmen aus hessischen Betrieben, Wiesbaden 2003
- Hoffmann 2006 Hoffmann, J.: Entwicklung der biologischen Altlastensanierung in Deutschland, Umwelt meets Biotech – Biologische Verfahren – Chancen für die Umwelttechnologie, Tagung der HA Hessen Agentur GmbH, Frankfurt 23.05.2006
- Hoffmann et al.
2005 Hoffmann G., Kaszas-Savos M., Bilitewski B.: Thermische Behandlung von Sonderabfällen mit dem Ziel der Schwermetallrückgewinnung. Müll und Abfall. 2005 /37(12). S. 610-614. 2005
- Huber 1998 Huber, H. et al.: Langfristiges Emissionsverhalten von MVA-Schlacke. In Wasser und Boden 2, S. 14-18 (1998)
- Hummel 1997 Hummel, H.-U.: Recycling von Gipsplatten, Beitrag zum Darmstädter Massivbau-Seminar 1997, Band 18, Darmstadt 1997
- IMRA 1991 MBT Umwelttechnik: Immobilisierung von Rauchgasreinigungs-Rückständen aus Kehrsicht-Verbrennungsanlagen. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) und andere Ämter und Verbände, Schlussbericht-Kurzfassung, April 1991, Zürich
- Initiative Zink
2006 Wirtschaftsvereinigung Metalle e.V; Initiative Zink; Homepage www.initiative-zink.de
- K+S 2007 Internetauftritt der K+S Entsorgung GmbH, Kassel, Stand 13. März 2007; www.ks-entsorgung.com
- K+S 2007a Persönliche Mitteilung K+S Entsorgung GmbH, Kassel, 26. Februar 2007
- Karpov et al.
2004 Karpov, S.; Boutoussov, M.; Hermann, L.: Inertisierung von Flug- und Filteraschen mit dem Pellet-Verfahren, in: Optimierung der Abfallverbrennung 1, Hrsg. Thomé-Kozmiensky, K.-J.; TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, Neuruppin, 2004
- Kerney 2003 Kerney, U.: Zink-Recycling im Harz - aktuelle Entwicklungen, Erzmetall 56.6/7 (2003): S. 357-362
- Kind 1991 Hans Joachim Kind,
Die Untertagedeponie Herfa-Neurode
Glückauf 127 (1991) Nr. 19/20, Seiten 922-926
- Klein 2002 Klein, R.: Wasser-, Stoff- und Energiebilanz von Deponien aus Müllverbrennungsschlacken. Dissertation an der Technischen Universität München, Fakultät Chemie, München 17.4.2002
- Klemt 1997 Klemt, K.: Die Verwendung der heute am Markt befindlichen aufbereiteten Abbruchmaterialien, Beitrag zum Darmstädter Massivbau-Seminar 1997, Band 18, Darmstadt 1997

- Köhler et al. 1992 Köhler, H.; Krapp, L.; Braun, M.: Konzepte und Handlungsprioritäten zur Sicherung und Sanierung von Altablagerungen, Deponien und Grundwasser im Großraum Bitterfeld/Wolfen. In: Hille, J.; Ruske, R.; Scholz, J.; Walkow, F. (Hrsg.): Bitterfeld: Modellhafte ökologische Bestandsaufnahme einer kontaminierten Industrieregion – Beiträge der 1. Bitterfelder Umweltkonferenz. ESV, Berlin, S. 203-210, 1992
- Kramer Eckert 2005 Kramer H., Eckert K.: Recycling Ni, Co, Cu, Mo, V, W and PMs at Nickelhütte Aue GmbH. N.N. (Hrsg.). Proceedings of european metallurgical conference (EMC) 2005. S. 1021-1024.
- Krass 2004 Krass, K.; Brüggemann, M.; Görener, E.: Anfall, Aufbereitung und Verwertung von Recycling-Baustoffen und industriellen Nebenprodukten im Wirtschaftsjahr 2001 - Teil 2: Industrielle Nebenprodukte, Straße + Autobahn 2004 (5), 275-281.
- Krüger et al. 2001 Institut für Metallhüttenkunde und Elektrometallurgie der RWTH Aachen: Sachbilanz Zink, Wissenschaftsverlag Mainz, Aachen 2001
- LAB 1998 Länderausschuss Bergbau: Anforderungen an die stoffliche Verwertung von Abfällen im Bergbau über Tage – Technische Regeln für den Einsatz von bergbaufremden Abfällen im Bergbau über Tage, Stand Okt. 1998
- LAGA 1994 Ländergemeinschaft Abfall: Merkblatt über die Entsorgung von Abfällen aus Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle, LAGA-Mitteilung 19, 1994
- LAGA 1997a Ländergemeinschaft Abfall: Maßstäbe und Kriterien für die energetische Verwertung von Abfällen in Zementwerken, 31. Oktober 1997; http://www.gewerbeaufsicht.baden-wuerttemberg.de/Vorschriften/Abfr/6_1.pdf
- LAGA 1997b Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA): Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen – Technische Regeln – Stand 06.11.1997; Mitteilung der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall 20, 4. Aufl., Erich Schmidt Verlag, Berlin 1998
- LAGA 2003 Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA): Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen – Technische Regeln – Allgemeiner Teil; Mitteilung der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall 20, Überarbeitung, Endfassung v. 06.11.2003 (Standort AO3)
- LAGA 2004 Länderarbeitsgemeinschaft Abfall: Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen: Teil II: Technische Regeln für die Verwertung – 1.2 Bodenmaterial (TR Boden), Stand: 05.11.2004
- Lahmeyer 1998 ERM Lahmeyer International GmbH: Aufkommen und Entsorgung von Galvanikschlämmen, Forschungsvorhaben 29735503, Auftraggeber Umweltbundesamt Berlin; 1998
- Lahmeyer 1999 ERM Lahmeyer International GmbH: Aufkommen und Entsorgung von Stahlwerksstäuben, Forschungsvorhaben 29735503, Auftraggeber Umweltbundesamt Berlin; 1999
- LAWA 2004 Länderarbeitsgemeinschaft Wasser: Ableitung von Geringfügigkeitschwellenwerten für das Grundwasser, Düsseldorf 2004
- Lechner, Kemmerling 1988 Lechner, Kemmerling (Hrsg.): Zukunftsorientierte Sonderabfallentsorgung, Technische Universität Wien, 1988

- Leidinger 2005 Leidinger, W.; Beyer, J.: Möglichkeiten und Grenzen verschiedener Methoden der Sonderabfallverbrennung, in: UWSF – Z Umweltchem Ökotox 17 (2) 59-63 (2005)
- LfU 1994 Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg: Immobilisierung von Altlasten, Handbuch Altlasten und Grundwasserschadensfälle Nr. 15, 1994
- LfU 1994 Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg: Immobilisierung von Altlasten, Handbuch Altlasten und Grundwasserschadensfälle Nr. 15, 1994
- LfU B.-W. 2004 Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg: Schlacken aus Hausmüllverbrennungsanlagen in Baden-Württemberg, Karlsruhe 2004
- LfU Bayern 2001 Bayerisches Landesamt für Umweltschutz: Verwertung von mineralischen Abfällen in Asphaltmischanlagen – Arbeitspapier, Stand Sept. 2001
- LfU Bayern 2003a Bayerisches Landesamt für Umweltschutz: Kontaminierte Bausubstanz – Erkundung, Bewertung, Entsorgung – Arbeitshilfe kontrollierter Rückbau, Augsburg 2003
- LfU Bayern 2003b Bayerisches Landesamt für Umweltschutz: Anforderungen an die Entsorgung von Gleisschotter, Merkblatt, Stand August 2003
- Löschau Thomé-Kozmiensky 2005 Lösch, M., Thomé-Kozmiensky, K.: Möglichkeiten und Grenzen der Verwertung von Sekundärabfällen aus der Abfallverbrennung, in: Optimierung der Abfallverbrennung 2, Hrsg. Thomé-Kozmiensky, K.-J.; TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, Neuruppin, 3/2005
- Löschau Thomé-Kozmiensky 2005 Lösch, M., Thomé-Kozmiensky, K.: Möglichkeiten und Grenzen der Verwertung von Sekundärabfällen aus der Abfallverbrennung, in: Optimierung der Abfallverbrennung 2, Hrsg. Thomé-Kozmiensky, K.-J.; TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, Neuruppin, 3/2005
- Lotter 1999 Lotter, S.; Stegmann, R.: Stand der Technik und Wissenschaft bei der Dekontamination von Altlasten; in: Altlastensanierung in Hamburg, Fachtagung 27./28.09.1999
- LUA 2005a Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen: Leistungsbuch Altlasten und Flächenentwicklung 2004/2005, Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz, Bd. 20, Essen 2005
- LUA 2005b Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen: Abfalldatenblatt Galvanikschlämme, Stand 22.06.2005
- Lück 2004 Lück, T.: Die weitergehende Aufbereitung von Müllverbrennungsschlacke nach dem Verfahren der Scherer + Kohl GmbH, in: Optimierung der Abfallverbrennung 1, Hrsg. Thomé-Kozmiensky, K.-J.; TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, Neuruppin, 2004.
- Magel Magel, G. et al.: Abiotische H₂-Produktion in MV-Monodeponien am Beispiel Waldenring. BayFORREST Forschungsvorhaben F 188, Ludwig-Maximilian-Universität München, Datum unbekannt
- Mansfeld 2004 Mansfeld, T. et al.: Deponierte Hochofengasschlämme – Eine Gefahr für die Umwelt? In Altlasten Spektrum 2/2004, S. 103-107

MEAB 2004	Märkische Entsorgungsanlagen-Betriebsgesellschaft mbH (MEAB): Verwertung auf Deponien, Vortrag auf dem Workshop zur Verordnung über die Verwertung von Abfällen über Tage am 25./26. März in Bonn (Ordner bei PK)
Metallgesellschaft 1995	Metallgesellschaft AG: Metallstatistik 1984-1995, 82. Jahrgang, Frankfurt 1995
Meurer Buntenschbach 2001	Meurer U., Buntenschbach S.: Recycling processes for residues of the steel industry - Treatment of stainless steel production residues and alloy recycling. N.N. (Hrsg.). Proceedings of european metallurgical conference (EMC) 2001. S. 239-257.
Mineralplus 2005	Hußmann, J. (Mineralplus, Gladbeck): Filterstäube in Asphaltfüllern, Vortrag 7 auf dem 7. VGB Workshop „Produkte aus der thermischen Abfallverwertung“ am 20.10. 2005 in Eschbach bei Freiburg
Mineralplus 2005	Hußmann, J. (Mineralplus, Gladbeck): Filterstäube in Asphaltfüllern, Vortrag 7 auf dem 7. VGB Workshop „Produkte aus der thermischen Abfallverwertung“ am 20.10. 2005 in Eschbach bei Freiburg
Mostbauer et al. 1994	Mostbauer, P.; Ziegler, C.; Lechner, P.: Möglichkeiten und Grenzen der Immobilisierung von Abfällen; Abfallwirtschaft - Studien der Wiener Umweltschutzabteilung (MA 22); 1994; download unter http://www.wien.gv.at/umweltschutz/pool/pdf/grenzen.pdf
MUF-RLP 2004	Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz: Leitfaden Bauabfälle, Mainz 2004
MUNLV 2000	Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV): Arbeitshilfe „Stoffflussanalyse bei abfallrechtlichen Beurteilungsfragen“, Düsseldorf, 23. Oktober 2000
NA 2005	Norddeutsche Affinerie AG: Menschen und Umwelt 2005, Umwelterklärung der Norddeutschen Affinerie AG
NA 2005	Norddeutsche Affinerie AG: Menschen und Umwelt 2005, Umwelterklärung der Norddeutschen Affinerie AG
NDHE 2007	Internetauftritt der NDH Entsorgungsbetreibergesellschaft mbH, Bleicherode, Stand 27. März 2007, www.ndhe.de
neosys 2001	NEOSYS Ag (ehem. Dr Graf AG): Verwertung versus Deponierung von Metallhydroxidschlamm, Studienbericht 91.4101, Auftraggeber BUWA, 2001
Nhütte Aue 2006	Homepage der Nickelhütte Aue: http://www.nickelhuette-aue.de
Nickelinstitute 2003	Nickelinstitute: Life Cycles Assessment Data: Table R10: Benefication: Gate-to-Gate-Breakdown, revised 6 November, 2003, download im April 2007, http://www.nickelinstitute.org
Obermeier Winter 2004	Obermeier, T.; Winter, T.: Erfahrung mit der Stabilisierung und Verfestigung von Abfällen; RWE Umwelt Ost, Vortrag auf dem Workshop zur Verordnung über die Verwertung von Abfällen über Tage am 25./26. März in Bonn

- Öko 2004 Dehoust, G.; Küppers, P.; Schmidt, G.; Neu, C.: Obertägige Verwertung immobilisierter Abfälle versus Versatz von Abfällen in Bergwerken – Vergleichende ökologische Bewertung unter besonderer Berücksichtigung der Langzeitsicherheit, im Auftrag der Grube Teutschenthal Sicherungs GmbH & Co. KG, der Glückauf Sondershausen Entwicklungs- und Sicherungs GmbH, der K + S Entsorgung GmbH, der NDH Entsorgungsbetreiber GmbH sowie der Umwelt, Entsorgung und Verwertung GmbH, Öko-Institut 2004
- Öko 2005 Dehoust, G.; Schüler, D.; Buchert, M.; Hermann, A.; Backes, A.; Haindl, A.; Weber, B.: Grundlagenuntersuchung zum Abfallwirtschaftsplan Saarland – Teilplan Sonderabfälle, Öko-Institut e.V. in Zusammenarbeit mit pro Terra Umweltschutz- und Managementberatung GmbH, im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Saarland, 2005
- Öko 2007 Grieshammer, R. et al: Prosa – Product Sustainability Assessment, Leitfaden, Öko-Institut 2007
- Öko-Institut 1993 Dehoust, G. et al.: Begutachtung der geplanten Sonderabfalldeponie im Regierungsbezirk Arnsberg, Öko-Institut e.V. 1993
- Öko-Institut 2007 Dehoust, G. et al.: Aufkommen, Verbleib und Qualität mineralischer Abfälle und Materialien, Öko-Institut, Darmstadt 2007
- Olper Maccagni 2005 Olper M., Maccagni M.: Zn production from zinc bearing secondary materials - The combined Indutec®/Ezinex® process. Proceedings of european metallurgical conference (EMC) 2005. S. 491-499.
- Pätzold 1997 Pätzold, H.: Wiederverwendung von Asphalt, Nienburg 1997 (<http://www.ab.fh-hannover.de/bauing/projekte/asphalt/index.htm>)
- Paul Wurth 2006 Homepage der Paul Wurth S.A., Luxemburg: www.paulwurth.com und www.primorec.com
- Pomberger 2003 Pomberger, R.: Ersatzbrennstoffverwertung in der österreichischen Zementindustrie – Beispiel des Projekts Thermo-Team, in Ersatzbrennstoffe 3, 403-411, Hrsg. Thomé-Kozmiensky, K.-J.; TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, Neuruppin, 2003
- Prognos 2002 Prognos AG: Leitfaden zur energetischen Verwertung von Abfällen in Zement-, Kalk- und Kraftwerken in Nordrhein-Westfalen, im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, September 2003
- Reimann 1990 Reimann, D. O. : Reststoffe aus thermischen Abfallverwertungsanlagen. In: Beihefte zu Müll und Abfall; Reststoffe aus der Rauchgasreinigung, Erich Schmidt Verlag Berlin 1990, ISBN: 3 503 02 8889
- Rentz et al. 1999 Rentz, O.; Hährle, S.; Schultmann, F.: Report on best available techniques in german zinc and lead production, Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung, Universität Karlsruhe, Auftraggeber: Umweltbundesamt, Forschungsprojekt 109 05 996, 1999
- Rentz et al. 2001 Rentz, O.; Engels, B.; Schultmann, F.: Untersuchung von Batterieverwertungsverfahren und –anlagen hinsichtlich ökologisch und ökonomischer Relevanz unter besonderer Berücksichtigung des Cadmiumproblems, Auftraggeber: Umweltbundesamt, Forschungsprojekt 299 35 330, Juli 2001

- Roos 1993 Roos, H.-J.: Herkunft, Behandlung und Verwertung bedeutsamer anorganischer Rückstände aus industriellen Produktionsprozessen. LUA Materialien Nr. 8/93, Düsseldorf, November 1993
- Rötschke 2004 Rötschke, H.: Der Einsatz stabilisierter oder verfestigter Abfälle in einer Deponie; Mitteldeutsche Sanierungs- und Entsorgungsgesellschaft mbH (MDSE); Vortrag auf dem Workshop zur Verordnung über die Verwertung von Abfällen über Tage am 25./26. März in Bonn
- RP Gießen 2002 Regierungspräsidium Gießen: Bodenaushub, Vollzugshandbuch der Abfallwirtschaft – Arbeitshilfe Verwertung Nr. 3, Stand 01.01.2002
- Ruhr-Zink 2006 Homepage der Firma Ruhr-Zink GmbH: www.ruhr-zink.de
- RWTH-IME 1995 Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Institut für Metallhüttenwesen und Elektrometallurgie: Sachbilanz einer Ökobilanz der Kupfererzeugung aus primären und sekundären Vorstoffen, sowie der Verarbeitung von Kupfer und Kupferlegierungen zu Halbzeug und ausgewählten Produkten, Aachen 1995
- Saage Hasche 2003 Saage, E.; Hasche, U.: Optimization of the Waelz process at the B.U.S. Zinkrecycling Freiberg GmbH. Proceedings of EMC 2003, S. 481-490
- Saage Hasche 2004 Saage, E.; Hasche, U.: Optimization of the Waelz process at the B.U.S. Zinkrecycling Freiberg GmbH. Erzmetall 57.3 S. 138-42, 2004
- Sabbas et al. 1998 Sabbas, T., Mostbauer, P., Lechner, P.: Deponien – Prozesse und Faktoren jenseits der Nachsorge, Wien 1998
- SAPI 2000 Fertl, K.: Entwicklung von Verfahren und Anlagen zur Aufbereitung von Strahlmitteln. Abschlussbericht FuE-Vorhaben mit dem Förderkennzeichen 147 0777, Umweltbundesamt Berlin
- Schmidt 2000 Schmidt, R.: Untersuchungen zur Verwertung und Beseitigung industrieller mineralischer Reststoffe aus der Rauchgasreinigung. Dynamische Brennversuche im halbtechnischen Maßstab. Dissertation an der Mathematisch-Naturwissenschaftlich-Technischen Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Halle 2000
- Schmidt Leclair 1996 Institut für Umweltechnologie und Umweltanalytik e.V. Duisburg: Ökologischer Vergleich verschiedener Behandlungsverfahren zur Inertisierung und Verwertung von HVM-Rückständen/Abfällen. Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben 10310902, Duisburg 1996
- Silbe 1997 Silbe, K.: Kosten-Nutzen-Betrachtung im Hinblick auf die Wiederverwertung von Abbruchmaterialien zur Herstellung von Beton, Vortrag im Rahmen des Darmstädter Massivbau-Seminars „Kreislaufgerechtes Bauen im Massivbau“, Darmstadt 1997
- Sitz et al. 2003 Sitz, P., et al.: Verschlussbauwerke für Endlager und Untertagedeponien; in: Forschungszentrum Karlsruhe, Untertägige Entsorgung – Sechstes Statusgespräch zu FuE-Vorhaben auf dem Gebiet der Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen am 27. und 28. Mai 2003 in Karlsruhe, Wissenschaftliche Berichte, FZKA-PTE Nr. 8, S. 135-150

- Soeren 2000 Soeren, L.: Mineralbildungsvorgänge im Hydratationsprozess CaO-reicher Braunkohlenfilterasche unter Einwirkung erhöhter Temperaturen und deren Auswirkungen auf materialtechnologische Eigenschaften, Dissertation an der Universität Innsbruck, Institut für Mineralogie und Petrographie, 08/2000
- Sofra Heinz 2003 Sofra, J.; Heinz, A.: Effective treatment of zinc bearing dusts & residues – solution ausmelt technology, Proceedings of EMC 2003, S. 491 - 505
- SRU 1990 Sachverständigenrat für Umweltfragen der Bundesregierung: Sondergutachten „Abfallwirtschaft“, Bonn 1990
- Stark 2006 Homepage der Firma H.C. Stark: www.hcstark.de
- StBA 2004 Statistisches Bundesamt: Umwelt – Abfallentsorgung 2002, Fachserie 19 / Reihe 1, Wiesbaden 2004
- StBA 2005 Statistisches Bundesamt: Umwelt – Abfallentsorgung 2003, Fachserie 19 / Reihe 1, Wiesbaden 2005
- StBA 2006 Statistisches Bundesamt: Umwelt – Abfallentsorgung 2004, Fachserie 19 / Reihe 1, Wiesbaden 2006
- Stief 1988 Stief, K.: Strategies in depositing solid wastes, in Baccini et al. 1988
- Suchomel 1994 Suchomel, H.: Schlackemengen und –merkmale aus der Sonderabfallverbrennung mit Drehrohrofen bei flüssigem Schlackeabzug, in: Beihefte zu Müll und Abfall, 31, 1994
- Sundqvist 1997 Sundqvist, J.-O.: Life cycle assessment and solid waste – stage 2. AFR-Report 173, Hrsg.: Schwedische Umweltschutzagentur, Stockholm 1997
- TA Abfall 1991 Zweite allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA Abfall), Teil 1: Technische Anleitung zur Lagerung, chemisch/Physikalisch, biologischen Behandlung, Verbrennung und Ablagerung von besonders überwachtungsbedürftigen Abfällen vom 12.3.1991 (GMBI. Nr. 8 S. 139)
- Tabasaran 1997 Tabasaran, Oktay (Hrsg.): Abfallwirtschaft, Abfalltechnik: Sonderabfälle, Ernst & Sohn Verlag, Berlin 1997
- Tittel 2002 Tittel, R.: Bodenwäsche – Probleme und Grenzen, in: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz: Bodenbehandlung – Stand der Technik und neue Entwicklungen, Fachtagung am 11.06.2002, Augsburg 2002
- Tomoda et al. 2005 Tomoda, Matsuno M., Nakamura T., Takasu T.: Detoxification and recycling of fly ash from waste melting systems. N.N. (Hrsg.). Proceedings of european metallurgical conference (EMC) 2005. S. 1221-1236.
- TÜV Nord 2007 TÜV Nord EnSys Hannover GmbH & Co. KG: Expertise zur Beurteilung des Stabilitätsverhaltens von Abfällen nach der Behandlung, Sachverständiger: Dr. Grüßing, Auftraggeber: Arbeitskreis Bergversatz, Hannover, 5.9.2007
- UBA 1997 Umweltbundesamt: Umweltdatenbank Online, Fassung von August 2006, download unter <http://www.env-it.de/umweltdaten/public/document/downloadImage.do?ident=4919> (Stand 1997)

- UBA 2004 Umweltbundesamt: Schwermetalleinträge der Flußgebiete Deutschlands, Fassung von August 2006, download unter http://www.umweltbundesamt.de/wasser/themen/ow_s5_3.htm
- UBA 2006 <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten/daten/tba.htm>, Stand 20.8.2003
- Umicore 2004 Edelmetall-Marktbericht 2004
- Umweltschutz-
bw Betrieblicher Umweltschutz in Baden-Württemberg: www.umweltschutz-bw.de, (download April 2007)
- vdz 2002 Verein Deutscher Zementwerke e. V.: Zementrohstoffe in Deutschland: Geologie, Massenbilanz, Fallbeispiele. Verlag bau + Technik Düsseldorf, 2002
- vdz 2003 Verein Deutscher Zementwerke e. V.: Umweltdaten der deutschen Zementindustrie 2002, www.vdz-online.de
- VERDI 2006 Verdi: Müllreport, 11/2006
- VersatzV 2002 Verordnung über den Versatz von Abfällen unter Tage vom 24.7.2002 (BGBl. I S. 2833)
- VersatzV 2004 Verordnung über den Versatz von Abfällen unter Tage (Versatzverordnung – VersatzV) vom 24. Juli 2002 (BGBl. I S. 2833) zuletzt geändert am 12. August 2004 (BGBl. I S. 2190)
- VGB o.J. VGB PowerTech: Bericht zur Kreislaufwirtschaft von Produkten aus der thermischen Abfallverwertung
- Warrelmann
2002 Warrelmann, J.: Biologische Sanierungsverfahren; in: Umweltbundesamt: Leitfaden „Biologische Verfahren zur Bodensanierung, FKZ 1491064, Berlin 2002
- Werthmann
2006 Schreiben von Herrn Werthmann, Kali und Salz Entsorgung GmbH vom 22.8.2006
- Wienberg et al.
1989 Wienberg, R. et al.: Verfestigung, Stabilisierung und Einbindung organischer Schadstoffe aus Deponien; in: Thomé-Kozmiensky (Hrsg.), Atlanten 3, 227-259, EF-Verlag, Berlin 1989
- Wienberg et al.
1990 Wienberg, R. et al.: Zur Verfestigung von Abfällen und den Prüfverfahren für verfestigte Abfälle; in: Thomé-Kozmiensky (Hrsg.), Behandlung von Sonderabfall vor dem Hintergrund der TA Abfall, 407-427, EF-Verlag, Berlin 1990
- Wilke 1991 Wilke, F. L.: Untertageverbringung von Sonderabfällen in Stein- und Braunkohleformationen, Materialien zur Umweltforschung (herausgegeben vom Rat von Sachverständigen für Umweltfragen), Verlag Metzler-Poeschel, Stuttgart 1991.
- Zeschmar-Lahl
2003 Zeschmar-Lahl, B.: Schwermetallentfrachtung am Limit. Stoffflussanalyse zeigt Grenzen der mechanischen Restabfallaufbereitung im Hinblick auf die selektive Abtrennung und Konzentrierung von Schwermetallen und Chlor, Müllmagazin Nr. 4/2003
- Zeschmar-Lahl
2004 Zeschmar-Lahl, B.: Stoffflussanalyse als Instrument zur Optimierung der Abfallbehandlung; in: Kossina, I (Hrsg.): Abfallwirtschaft für Wien, TK Verlag Thomé-Kozmiensky, 2004

- Zimmermann 1995 Zimmermann, P.: Time-frames for landfills in LCA, AFR-Report 98, Hrsg.: Schwedische Umweltschutzagentur, Stockholm 1995
- Zunkel 2001 Zunkel A. D.: Recovering zinc and lead from electric arc furnace dust - A 2001 processing and technology status update. N.N. (Hrsg.). Proceedings of european metallurgical conference (EMC) 2001. S. 227-237.
- Zwahr 2006 Zwahr, H.: Eigenschaften mineralischer Abfälle – Stand der Aufbereitungstechnik und Untersuchungsverfahren von MVA-Schlacken; BMU-Workshop zu den Anforderungen an die ordnungsgemäße und schadlose Verwertung mineralischer Abfälle, Bonn 13./14.02.2006.

Anhänge

Anhang	Inhalt
1	Dokumentation der drei Workshops
2/3	Beschreibung der Abfalleigenschaften
4	Beschreibung der Verwertungsverfahren
5	Bewertungsgrundlagen, Abfallgruppen und Sachbilanzdokumentation
6	Bewertungsergebnisse der einzelnen Verfahren

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



**Methodenentwicklung für die ökologische Bewertung
der Entsorgung gefährlicher Abfälle unter und über
Tage und Anwendung auf ausgewählte Abfälle**

Anhang 1: Dokumentation der Workshops

Darmstadt, den 30.11.2007

Forschungsvorhaben

gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und
Forschung, Förderkennzeichen 02C1345, unterstützt durch
Drittmittel von vier Versatzbergwerken und teilfinanziert aus
Eigenmitteln des Öko-Instituts

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt
bei den Autoren

Öko-Institut e.V.
Büro Darmstadt
Rheinstraße 95
D-64295 Darmstadt
Telefon +49 (0) 6151 - 8191 - 0
Fax +49 (0) 6151 - 8191 - 33

Geschäftsstelle Freiburg
Postfach 50 02 40
D-79028 Freiburg
Hausadresse
Merzhauser Straße 173
D-79100 Freiburg
Telefon +49 (0) 7 61 - 4 52 95-0
Fax +49 (0) 7 61 - 452 95-88

Büro Berlin
Novalisstraße 10
D-10115 Berlin
Telefon +49 (0) 30 - 28 04 86-80
Fax +49 (0) 30 - 28 04 86-88

Anhang 1: Dokumentation der Ergebnisse der drei Workshops

Anhang A1-1: Dokumentation der Auftaktveranstaltung

Öko-Institut e.V.

24.11.2005

Forschungsprojekt „Methodenentwicklung für die ökologische Bewertung der Entsorgung radioaktiver Abfälle unter und über Tage und Anwendung auf ausgewählte Abfälle“, BMBF-Förderkennzeichen 02C1345

Ergebnisnotiz der Auftaktveranstaltung

Ort: Öko-Institut e.V., Rheinstr.95, 64295 Darmstadt

Zeit: 24.11.2005, 11:00 bis 14:15 Uhr

Teilnehmer: (siehe separat beigefügte Teilnehmerliste)

Ergebnisse:

Problem: Sollen bei dem Projekt geltende rechtliche Beschränkungen (Begriffe: Entsorgung, Verwertung, Beseitigung) bei der Auswahl der Abfälle mit ausschlaggebend sein?

Lösung: Es macht mehr Sinn, die Abfälle/Entsorgungswege ohne Rücksicht auf bestehende rechtliche Beschränkungen rein ökobilanziell zu betrachten. Es ist wichtig, dies auch für solche Abfälle/Entsorgungswege zu ermitteln, die derzeit aus rechtsformalen Gründen nicht infrage kommen. Ergibt diese Betrachtung, dass solch ein Entsorgungsweg bei dieser Bewertung vorteilhaft ist, könnte dies auf einen Änderungsbedarf des rechtlichen Rahmens hinweisen.

Problem: Die Vielfalt der Abfälle/Entsorgungswege macht standardisiertes Vorgehen schwierig.

Lösung: Dem wird Rechnung getragen, indem in solchen Fällen den untersuchten Abfällen spezifisch angepasste Bewertungswege entwickelt werden.

Vorschläge und Hinweise zu Abfällen/Entsorgungswegen, die aufgrund der aktuellen Situation in der Untersuchung zusätzlich betrachtet/diskutiert bzw. gestrichen werden sollten:

- Die Strahlmittelrückstände sollen zusätzlich in die Liste aufgenommen werden.

- Die „Shredder-leicht“-Abfälle spielen für das vorliegende Projekt praktisch keine Rolle und sollten aus der Liste entfernt werden.
- Abfälle aus der Bioverbrennung (werden erfasst), PAK-haltige bzw. Teer-haltige Abfälle (wegen TOC/Handhabung auch in der untertägigen Entsorgung schwierige Abfälle), chromhaltige Schlämme aus Gerbereien mit den Entsorgungswegen Verbrennung/MBA/Aufsalzung (mengenmäßig nicht relevant) werden diskutiert und verworfen.
- Rekultivierung von Bergehalden: sollte für das Projekt nicht relevant sein, Konsequenzen aus Tongrubenurteil werden berücksichtigt.
- Die hier adressierten Abfälle spielen in der Zementindustrie keine Rolle als Brennstoffersatz, können aber als Ersatz für mineralische Rohstoffe eingesetzt werden. Dann sind die Effekte der Schadstoffverdünnung und der Verlagerung in den Abluftstrom von Bedeutung.
- Verwertung von Filterkuchen, Organikschlämmen (ölhaltige Werkstattabfälle) und von Galvanikschlämmen.
- Immobilisierung: Entsorgungsweg sehr wichtig; Stichworte Abfälle die elementares Hg enthalten, Clark-II/As-haltige Böden aus Sanierung ehemaliger Rüstungsproduktionsstätten, Immobilisierung von Filterstäuben; BDE wird gebeten, entsprechende Kontakte zu Mitgliedsfirmen herzustellen;

Zur Immobilisierung: Verweis auf EU-Aktivitäten zu Mixing Waste: Hoffnung, dass das Projekt auf dieser Ebene zur Aufrechterhaltung hoher Standards bei der Abfallentsorgung beitragen kann.

EU Abfallrahmenrichtlinie: Das Projekt sollte die Umweltwirkungen des gesamten Verfahrens/Entsorgungswegs untersuchen, nicht nur den Immobilisierungsschritt.

Weitere Aktivitäten:

- Einbeziehung der Diskussionsgruppe bei der Entwicklung der Bewertungsschemata (im zweiten Projektteil).
- Bitte um Einbringen von Vorschlägen und Bereitschaft zur Hilfe bei der Beschaffung von Daten sowie beim Knüpfen von Kontakten.

Projektträger: Der Projektträger macht deutlich, dass es sich nicht um ein Auftragsprojekt handelt, sondern um ein unabhängiges Forschungsprojekt, für das ein Förderzuschuss gewährt wird. Er dankt den beteiligten Unternehmen für ihre aktive Beteiligung.

Verfasser: Gerhard Schmidt

Anhang A1-2: Dokumentation des zweiten Workshops

Öko-Institut e.V.

21.09.2006

Forschungsprojekt „Methodenentwicklung für die ökologische Bewertung der Entsorgung toxischer Abfälle unter und über Tage und Anwendung auf ausgewählte Abfälle“, BMBF-Förderkennzeichen 02C1345

Ergebnisnotiz Workshop 2

Ort: Öko-Institut e.V., Rheinstr.95, 64295 Darmstadt

Zeit: 3.8.2006, 11:00 bis 15:30 Uhr

Teilnehmer: (siehe separat angefügte Teilnehmerliste)

Anlagen: Vortragsfolien als pdf-Dateien

Änderungen: Änderungsinformationen am Textende!

Ergebnisse (Nummerierung gemäß Tagesordnung):

1 Begrüßung

-

2 Vorstellung der Teilnehmer

-

3 Präsentation der Zwischenergebnisse zum Themenbereich Abfallarten

3.1 Abfallanalysen – Schadstoffgehalte, chemisch-physikalische Eigenschaften und Gefahrenmerkmale (Bearbeiter: P. Gebhardt)

- Zur Thematik Gasentwicklung aus den Abfällen sollten zusätzlich zu Wasserstoff, Methan und Kohlendioxid auch Ammoniak und Kohlenmonoxid hinzugenommen werden, da diese bei einigen Entsorgungswegen eine wichtige Rolle spielen können. Kohlenmonoxid wird dabei nicht durch chemische Reaktion gebildet, sondern befindet sich adsorptiv gebunden in den Abfällen.

3.2 Entsorgte Mengen der ausgewählten Abfälle (Bearbeiter: P. Küppers)

- Beim Abfall 19 01 13* („Abfälle aus der Verbrennung von Abfällen: Filterstaub, der gefährliche Stoffe enthält“) und beim Entsorgungsweg „Zementwerk“ wurden Zweifel an der Zuordnung und den Mengen geäußert. Die nochmalige Ü-

berprüfung der Daten ergab, dass die Zuordnung korrekt ist und dieser Weg im angegebenen Umfang in Baden-Württemberg und NRW gegangen wird.

3.3 Besonders relevante Abfallströme hinsichtlich der Schwermetallfrachten (Bearbeiterin: D. Schüler)

- **Schadstofffrachten:** Die angegebenen Luftemissionen in der BRD beziehen sich auf mehr als 10 Jahre alte Daten, wie sie auf dem UBA-Server verfügbar sind. Da sich die Frachten in der Struktur mittlerweile drastisch verändert haben, soll überprüft werden, ob aktuellere Daten beim UBA verfügbar sind. Es wird darauf hingewiesen, dass mittlerweile rückläufige Frachten den Trend der Grundaussage (sehr hohe Bedeutung der in den Abfällen enthaltenen Mengen im Vergleich zu Schwermetallstoffströmen in die Luft bzw. Gewässer) bei der Verwendung neuerer Daten eher noch verstärken.
- **Mitverbrennung:** Da die Daten der entsorgten Mengen an Abfällen überwiegend aus 2003/2004 stammen, geben sie die mittlerweile erheblich angestiegene Bedeutung der Mitverbrennung nicht angemessen wieder. Es wird vermutet, dass der Anteil der Mitverbrennung inzwischen hochrelevant ist. Dieser Effekt sollte daher in jedem Fall mit erwähnt werden, damit kein falsches Bild entsteht. Da es nicht Aufgabe dieses Projektes sein kann, diesen speziellen Effekt in der nötigen Tiefe aufzuklären, wird vorgeschlagen, hierfür ein spezielles Forschungsprojekt aufzulegen (z.B. beim UBA).
- **Schadstoffgehalte der Abfälle:** Die Schätzung der in den Abfällen enthaltenen Schadstoffmengen basieren auf dem Median der jeweils zu jeder Schlüsselnummer vorliegenden Analysen. Es wird diskutiert, welchen Einfluss die daraus entstehenden Unsicherheiten (Bandbreite der Abfallzusammensetzung, Messproblematik Königswasseraufschluss vs. Gesamtgehalt, Alterung und Lagerungsverlauf des Abfalls) haben können.
- **Abfallart 19 01 12 (Aschen aus der Müllverbrennung):** Es wird darauf hingewiesen, dass dieser Abfall kein Sonderabfall ist. Für einige Aschen gilt jedoch, dass sie dennoch eher wie ein besonders überwachungsbedürftiger (bü) Abfall gehandhabt werden sollten, weil Art und Zusammensetzung kaum von 19 01 11* abweichen. Die Vertreter der ITAD weisen darauf hin, dass Aschen aus der Hausmüllverbrennung bereits gut reguliert sind und dass deshalb eine Betrachtung im Rahmen dieser Studie nicht erforderlich sei.

3.4 Auswahl der 9 vertiefend zu betrachtenden Abfälle (Bearbeiterin: D. Schüler)

- **Gichtgasschlämme, nicht bü, 10 02 14 (Folie 3.4-2):** Die Auswahl dieses Abfalls wird wegen des teilweise hohen Schadstoffgehalts auf jeden Fall als sinnvoll betrachtet.
- **Feste Abfälle aus der Abgasbehandlung aus der Abfallverbrennung 19 01 07* (Folie 3.4-3):** Diese Abfallart sollte zusätzlich aufgenommen werden. Es gibt viele Parallelen zum Abfall 19 01 13*, jedoch Unterschiede bezüglich der Gasbildung und Schwierigkeiten bei der Verfestigung durch den hohen Salzgehalt (z.B. 80 % Calciumchlorid-Dihydrat). Es wird darauf hingewiesen, dass dieser Abfallstrom in vielen Anlagen gemeinsam mit 19 01 13* unter der Abfallschlüsselnummer 19 01 07* als Gemisch entsorgt wird.
Es wurde angemerkt, dass nicht der Gehalt an Gesamtchlor entscheidend sei, sondern der wasserlösliche Anteil des Chlors im Abfall.
- **Aschen aus der Hausmüll- und Sonderabfallverbrennung 19 01 11*/19 01 12 (Folie 3.4-4):** Die beiden Abfälle sind sehr ähnlich. Es gibt unterschiedliche Auffassungen, ob nur 19 01 11* oder beide Abfälle betrachtet werden sollen. Wie unter 3.3 bereits angemerkt, sind die Vertreter der ITAD der Meinung, dass eine Untersuchung der Aschen aus der Hausmüllverbrennung (19 01 12) nicht erforderlich ist, da diese bereits umgehend geregelt sind.
- **Belastete Böden 17 05 03* (Folie 3.4-6):** Zusätzlich sollte Arsen mit bedacht werden, das aufgrund der hohen Mobilität häufig in belasteten Böden auftritt.

4. Auswahl von Szenarien

4.1 Überblick über die ausgewählten Szenarien bzw. Verfahrenskombinationen (Bearbeiterin: D. Schüler)

(Generelle Anmerkung: Die Foliennummerierung begann in der versendeten Entwurfsversion mit zweifach vergebener Nummer 1. Um die Änderungen nachvollziehbar zu halten, wurde die Titelseite in 4.1-0 umbenannt.)

- **Filterstäube aus der Abfallverbrennung 19 01 13* (Folie 4.1-1):** Bei Depositionierung (Weg 2) kann die Deponieklasse IV (UTD) wegen Ähnlichkeit zu Bergversatz in Salzformationen entfallen. Die Verwertung im Zementwerk (siehe auch TO 3.2) spielt, außer in wenigen Ausnahmefällen, keine Rolle. Sie soll entfallen. Insbesondere soll nicht der Eindruck erweckt werden, bei der Entsorgung im Zementwerk handele sich um einen üblichen Entsorgungsweg für Filterstäube aus der Abfallverbrennung.

- **Aschen aus der Müllverbrennung 19 01 12 (Folie 4.1-2):** Eine NE-Abtrennung spielt bei allen Schlackenaufbereitungsverfahren eine Rolle, wenn auch mit unterschiedlichem Aufwand und Erfolg. Auch beim Bergversatz und der Deponierung findet eine Fe/NE-Abscheidung statt.
- **Aschen aus der Sonderabfallverbrennung 19 01 11* (Folie 4.1-3):** Auch hier ist bei allen Wegen der vorausgehende Schritt der Metallabtrennung zu berücksichtigen. Die Benennung als „Aschen aus der Sonderabfallverbrennung“ ist irreführend, da diese Abfallart auch in MVA entsteht.
- **Gichtgasschlämme 10 02 13*/10 02 14 (Folie 4.1-6):** Es wurde von den Teilnehmern eingeschätzt, dass dieser Abfall für den Bergversatz aus verschiedenen Gründen (hoher Metallgehalt; hoher Aufwand für die Trocknung, sofern kein Spülversatz erfolgt) nicht relevant ist. Der Abfall soll daher nicht vertieft betrachtet werden. Alle vorgeschlagenen Szenarien für Gichtgasschlämme entfallen damit.
- **Belastete Böden 17 05 03* (Folie 4.1-7):** Ein hoher PAK-Gehalt der Abfälle ist ein Problem im Bergversatz wegen Geruch und Arbeitsschutz (Grenzwert für Benzo-a-pyren von 50 ppm). Von daher soll der Fokus nicht wie vorgesehen auf Böden mit hohen organischen Belastungen gelegt werden, sondern auf Böden mit der Belastung mit Schwermetallen und organischen Stoffen. Belastete Böden aus dem Galvanik-Bereich sollen betrachtet werden, wenn entsprechende Daten recherchiert werden können. Folgende Szenarien sollen hierbei betrachtet werden:
 1. Bergversatz
 2. Immobilisierung und Verwendung im Deponiebau
 3. Deponieklasse IIIEs entfallen die Betrachtung der thermischen Behandlung und der biologischen Behandlung.
- **Kohlenteerhaltige Bitumengemische 17 03 01* (Folie 4.1-8):** Aus Sicht der Teilnehmer ist dieser Abfall nicht für den Bergversatz relevant. Er wird daher nicht vertieft betrachtet und alle vorgeschlagenen Szenarien entfallen.
- **Galvanikschlämme 11 01 09* (Folie 4.1-9):** Hier wird diskutiert, welche Verfahren relevant sind. Insgesamt sind die Abfallmengen stark rückläufig. Der Bergversatz ist häufig zu teuer wegen hoher Aufwendungen für die Trocknung. Die UTD ist theoretisch denkbar (in gebundener Form, getrocknet oder im Spülverfahren). Insgesamt wird dennoch dafür plädiert, diesen Abfall in der Auswahl zu behalten.

4.2 Abschließende Festlegung der zu betrachtenden Abfälle und Szenarien (Bearbeiter: G. Dehoust)

Auf folgende Abfälle für eine vertiefte Betrachtung hat sich der Teilnehmerkreis verständigt:

1. Filterstäube aus der Abfallverbrennung (19 01 13*),
2. Aschen aus der Sonderabfallverbrennung (19 01 11*),
3. Elektrostahlwerksstäube (10 02 07*),
4. Stäube aus der Edelstahlproduktion (10 02 07*),
5. Belastete Böden (17 05 03*) – hier werden eventuell zwei verschiedene Böden betrachtet - ,
6. Galvanikschlämme (11 01 09*), eventuell mit Schwermetallen und PAK belasteter Bauschutt (17 01 06*),
7. feste Abfälle aus der Abgasbehandlung aus der Abfallverbrennung (19 01 07*).
8. Aschen aus der Hausmüllverbrennung (19 01 12) werden nochmals unter Berücksichtigung der Anmerkung der Vertreter geprüft.

Weitere Anregungen des Teilnehmerkreises werden gerne noch seitens des Öko-Instituts entgegengenommen.

5. Bewertungsschema

5.1 Entwurf eines Bewertungsschemas (Bearbeiter: G. Dehoust / D. Schüler)

Der Entwurf eines Bewertungsschemas wurde vorgestellt. Zum Entwurf wurde folgendes angemerkt:

- **Dioxine (Folien 5.1-7 und 5.1-8):** Die „Geringfügigkeitsschwellen“ (GFS), die herangezogen werden, um die Toxizität der unterschiedlichen Schadstoffe zu gewichten, beinhalten keinen Wert für Dioxine. Hier sollte die Bewertungsmethode so gestaltet werden, dass die Dioxine dennoch berücksichtigt werden können.

Eine Überprüfung der Datenlage zu Dioxingehalten im Eluat bei den näher betrachteten Abfällen im Nachgang zum Workshop hatte zum Ergebnis, dass nur für die Abfallarten „Aschen aus der Hausmüllverbrennung“ und „feste Abfälle aus der Abgasbehandlung aus der Abfallverbrennung“ Analysen vorliegen und zwar jeweils nur 2 Analysen. Die Datenlage ist daher als sehr schlecht zu be-

zeichnen. Dies dürfte insbesondere darauf zurückzuführen sein, dass Dioxine als schwer wasserlöslich gelten und daher bei Analysen im Eluat in der Regel nicht berücksichtigt werden.

Inzwischen wurde bei Herrn Dr. Leuchs (LUA NRW) und Herrn Dr. Dieter (U-BA), zwei Mitgliedern des Unterausschusses „Geringfügigkeitsschwellen“ nachgefragt, wieso für Dioxine kein GFS ermittelt wurde. Beide teilten mit, dass die Geringfügigkeitsschwellen anhand einer Schadstoffliste der Länderbehörden für Schadstoffe im Grundwasser abgeleitet worden sind. Da Dioxine so wenig wasserlöslich sind, dass sie im Grundwasser nicht gefunden werden, oder zumindest sehr selten, wurde es nicht als erforderlich angesehen, dafür GFS abzuleiten.

- **Zeithorizont (Folien 5.1-3 und 5.1-6):** Es wird darauf hingewiesen, dass die Auswahl sehr langer Zeiträume die Gefahr birgt, dass die Ergebnisse zu abstrakt und nicht fassbar werden.

6. Termine

Ein dritter Workshop mit Vorstellung des Entwurfs der Ergebnisse wird je nach Arbeitsstand im Zeitraum Mitte Dezember bis Ende Januar vorgesehen.

7. Sonstiges

-



Verfasser: Gerhard Schmidt

Änderungen:

1. 21.9.06 gegenüber der Version vom 14.8.06: Änderung des Titels (Forschungsprojekt) sowie der Abschnitte 3.3 (Abfallart 19 01 12 (Aschen aus der Müllverbrennung), 3.4 (Aschen aus der Hausmüll- und Sonderabfallverbrennung 19 01 11*/19 01 12) und 4.2 (HMV-Aschen in Nummer 8)

Anhang A1-3: Dokumentation des dritten Workshops

1 Protokoll des Workshops 3 am 15.5.07

Anwesende: siehe anhängende Teilnehmerliste

PTKA (Pitterich): Die Förderung des Fördergebiets wird nach aktueller Planung des BMBF auslaufen. Begonnene Vorhaben sollen zu Ende geführt werden. In einem Arbeitskreis soll der weitere Forschungsbedarf diskutiert werden. Es wird die Beteiligung zweier Entsorgungsunternehmen in diesem Arbeitskreis angeregt.

1.1 Diskussionspunkte und Anregungen

Die Präsentation der Ergebnisse erfolgt auf Basis der vorher verschickten Powerpoint-Präsentation.

Generelle Anmerkung:

- Die Verwendung der Begriffe Immobilisierung/Stabilisierung sollte in Übereinstimmung mit den Begrifflichkeiten in den Rechtsvorschriften gehandhabt werden. Öko-Institut erläutert, dass in der Präsentation in Übereinstimmung mit früheren Arbeiten der Begriff „Immobilisierung“ als Oberbegriff verwendet wird. Es wird angeregt, die verwendete Begrifflichkeit dem Stand der aktuellen Diskussion anzupassen und gemäß AVV zu benennen. Im abschließenden Forschungsbericht sollte diese einheitlich durchgehalten werden. Es wird vorgeschlagen, den Begriff der „Konditionierung“ zu verwenden.

Anmerkungen zu der Präsentation:

- Es wird darauf hingewiesen, dass Abfälle mit hoher Salzfracht nicht stabilisierbar sind bei der Verfestigung zum Einsatz auf Deponien DK II/III. Falls dieser Entsorgungsweg weiterhin beibehalten wird, ist ein Hinweis erforderlich. Es wird auf eine umfangreiche Untersuchung an der Universität Leipzig verwiesen, deren Publikation im Herbst 2007 vorgesehen ist. Kesselstäube und Filterstäube sind unterschiedlich (aufgrund des CaCl_2 -Gehalts). Rauchgas-Rückstände mit mehr als 20-30% Salzgehalt sind so nicht stabilisierbar. Eine Studie des TÜV-Nord zur Immobilisierung wird von Herrn Blümmel (UEV) zur Verfügung gestellt.
- Es wird diskutiert, warum unterschiedliche Distanzen bei BV und Immobilisierung angesetzt werden. Beim Bergversatz sind die angesetzten 500 km als oberer Ansatz anzusehen. Die Entfernung von 200 km zur Immobili-

sierung ist gerechtfertigt, wenn ein dichteres Netz von Immobilisierungsanlagen modelliert wird. Beim Entsorgungspfad DK II werden 60 km Distanz als realistischer Wert vorgeschlagen.

- Es wird diskutiert, ob bei der Deponierung auch Gutschriften für die Profilierung analog zum Deponiebau vergeben werden sollten, da ein starker Überhang an Deponiekapazitäten besteht. Der Begleitkreis einigte sich darauf, hier keine Gutschriften zu vergeben.
- Bei den Sozialindikatoren II sollte berücksichtigt werden, dass die Konditionierung nicht die Toxizität beseitigt. Es sollte geprüft werden, ob beim offenen Umgang mit dem Abfallprodukt auf einer Deponie damit verbundene Gefahren systematisch berücksichtigt werden sollten.
- Es wurde darauf hingewiesen, dass Filteraschen auch als Bindemittel eingesetzt werden. In der Diskussion einigten sich die Beteiligten jedoch darauf, diesen „Verwertungsweg“ nicht näher zu betrachten.
- Es sollte überprüft werden, ob bei der Betrachtung der Entsorgungswege auf Deponien auch die Staubbelastung berücksichtigt werden sollte. Es wird auf den grundsätzlichen ökobilanziellen Vergleich KOWI (Kopenhagen) verwiesen (2 Jahre alt, Herr Kersting stellt die Untersuchung zur Verfügung).
- Es wird auf die Berücksichtigung der Ablagerung von stichfesten Galvanikschlamm auf Deponien DK III hingewiesen, da dieser Weg relevant ist. Dieser Pfad sollte zusätzlich aufgenommen werden.
- Es wird der Begriff der weitergehenden Schlackenaufbereitung diskutiert und auf die in einer VGB/ITAD-Publikation beschriebene trockene Aufbereitung und das Verfahren der Sandflotation (NL) verwiesen. Die Festlegung einer Grenze zwischen „normaler“ und „weitergehender“ Aufbereitung ist nicht eindeutig festlegbar. Es wird diskutiert, ob die trockene oder die nasse Aufbereitung besser ist, dies könnte beispielhaft berücksichtigt werden. Die Datenlage über die Verfahren ist nach Erfahrungen des UBA auch europaweit nicht gut, daher sei der Stand der bestverfügbaren Technik BAT nicht ermittelbar. Die diskutierten Anlagen in NL sind nicht gemeldet. Als realistische Transportdistanz bei Schlacke zur Aufbereitung sollte ca. 80 km, von der Aufbereitung zur Strassenbaustelle ca. 50 km gewählt werden.

Weitere Anregungen:

- Es wird der Vorschlag diskutiert, beim Einsatz auf Deponien DK II bestehende und Altdeponien zu unterscheiden. Es wird berichtet, dass die Deponierung von eigentlich dafür ungeeigneten Abfällen praktiziert werde,

wenn der wasserlösliche Anteil wegen der Anwendung der pH(stat)-Analyse nicht ausgewiesen werde.

- Die Annahmebedingungen von UTV lassen die Deponierung von Schlämmen zu, wenn diese ausreichend gefiltert vorliegen (Filterschlamm).
- Für die Schlacken aus der Müllverbrennung wird diskutiert, ob der Ansatz für die Feinfraktion/Feinstschlamm-Fraktion von 15% bei der weitergehenden Aufbereitung zu niedrig gewählt ist. Es wird diskutiert, ob im Bergversatz überhaupt eine ausreichende Kapazität bestehe, um einen Anteil von 15% der MVA-Schlacken aufzunehmen. Das Ergebnis der Diskussion war, dass keine Kapazitätseinschränkungen bestehen.
- Es wird angeregt, die Bewertungen noch einmal grundsätzlich daraufhin zu prüfen, ob sie nicht grundsätzliche Fehlschlüsse enthalten. Es wird auf ähnliche Fehlschlüsse bei der Bewertung (Beispiel Altreifen) verwiesen. Das Öko-Institut weist darauf hin, dass dies erfolgt sei und keine Fehlschlüsse gefunden wurden. Das schließt nicht aus, dass die Dynamik der Technik und der Entwicklung der Abfallwirtschaft berücksichtigt werden müssen und Bewertungen verändern können.

1.2 Sonstige Anregungen

- Eine neue Schweizer Studie zum Metallrecycling sollte nach Hr. Kallenbach vom UBA berücksichtigt werden.
- Als Begrifflichkeit sollte einheitlich „gefährlicher“ und „nicht gefährlicher“ Abfall verwendet werden, ältere Bezeichnungen (z.B. „besonders überwachungsbedürftig“) sollten vermieden werden.
- Abschließend wird über die Dispersion der Ergebnisse diskutiert. Es werden Vorträge angeregt, beim UBA haben sich Fachgespräche bewährt. Die Ergebnisse sollten beim Statusgespräch des Projektträgers vorgestellt werden. Vom BMU wird angeregt, die Ergebnisse über den ATA-Verteiler zu verbreiten und zusätzlich auf der übernächsten ATA-Sitzung vorzustellen.

Protokoll: Gerhard Schmidt (Öko-Institut e.V.)

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Öko-Institut e.V.
Institut für angewandte Ökologie
Institute for Applied Ecology

Methodenentwicklung für die ökologische Bewertung der Entsorgung gefährlicher Abfälle unter und über Tage und Anwendung auf ausgewählte Abfälle

Anhänge 2 und 3

Beschreibung der Abfalleigenschaften

Darmstadt, den 30.11.2007

Forschungsvorhaben

gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung, Förderkennzeichen 02C1345, unterstützt durch Drittmittel von vier Versatzbergwerken und teilfinanziert aus Eigenmitteln des Öko-Instituts

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren

Öko-Institut e.V.
Büro Darmstadt
Rheinstrasse 95
D-64295 Darmstadt
Telefon +49 (0) 6151 - 8191 - 0
Fax +49 (0) 6151 - 8191 - 33

Geschäftsstelle Freiburg
Postfach 50 02 40
D-79028 Freiburg
Hausadresse
Merzhauser Straße 173
D-79100 Freiburg
Telefon +49 (0) 7 61 - 4 52 95-0
Fax +49 (0) 7 61 - 452 95-88

Büro Berlin
Novalisstraße 10
D-10115 Berlin
Telefon +49 (0) 30 - 28 04 86-80
Fax +49 (0) 30 - 28 04 86-88

Inhaltsverzeichnis

Anhang 2: Beschreibung der Abfallarten, die im Forschungsvorhaben näher betrachtet wurden	1
A2-1: Vorbemerkung	1
A2-2 Daten zu den einzelnen Abfallarten	3
Anhang 3: Beschreibung der Abfallarten, die nicht vertiefend betrachtet wurden.....	36
A3-1 Vorbemerkung.....	36
A3-2 Daten zu den einzelnen Abfallschlüsselnummern	39
Literatur zu den Anhängen 2 und 3.....	118

Tabellenverzeichnis

Tabelle.1-1 Kriterien zur Einstufung nach H 13 gem. den Hinweisen zur Anwendung der AVV.....	2
Tabelle 1-2 Eluatgehalte der Abfallart 10 02 07.....	5
Tabelle 1-3 Feststoffgehalte der Abfallart 10 02 07	6
Tabelle 1-4 Feststoffgehalte von Stäuben aus einem Oxygenstahlwerk	7
Tabelle 1-5 Eluatgehalte Stäuben aus zwei verschiedenen Oxygenstahlwerken.....	7
Tabelle 1-6 Feststoffgehalte von Stäuben aus Elektrostahlwerken zur Produktion von Massenstählen	8
Tabelle 1-7 Eluatgehalte von Stäuben aus Elektrostahlwerken zur Produktion von Massenstählen	8
Tabelle 1-8 Feststoffgehalte von Stäuben aus Elektrostahlwerken, die Chrom-Nickel-Stähle erzeugen	9
Tabelle 1-9 Eluatgehalte eines Staubes aus einem Elektrostahlwerk, das Chrom-Nickel-Stähle erzeugt.....	9
Tabelle 1-10 Eluatgehalte der Abfallart 11 01 09.....	11
Tabelle 1-11 Feststoffgehalte der Abfallart 11 01 09	12
Tabelle 1-12 Eluatgehalte der Abfallart 17 01 06.....	14
Tabelle 1-13 Feststoffgehalte der Abfallart 17 01 06	15
Tabelle 1-14 Eluatgehalte der Abfallart 17 05 03.....	17
Tabelle 1-15 Feststoffgehalte der Abfallart 17 05 03	18
Tabelle 1-16 Eluatgehalte der Abfallart 19 01 07.....	20
Tabelle 1-17 Feststoffgehalte der Abfallart 19 01 07	21
Tabelle 1-18 Gasbildungspotential von 10 Schlackeproben einer Sonderabfallverbrennungsanlage	23

Tabelle 1-19	Eluatgehalte der Abfallart 19 01 11.....	24
Tabelle 1-20	Feststoffgehalte der Abfallart 19 01 11	25
Tabelle 1-21	Gasbildungspotential von 64 Schlackeproben aus 6 verschiedenen Hausmüllverbrennungsanlagen	27
Tabelle 1-22	Gasbildungspotential von MVA-Aschen aus verschiedenen Quellen 28	
Tabelle 1-23	Eluatgehalte der Abfallart 19 01 12.....	28
Tabelle 1-24	Feststoffgehalte der Abfallart 19 01 12	29
Tabelle 1-25	Eluatgehalte der Abfallart 19 01 13.....	32
Tabelle 1-26	Feststoffgehalte der Abfallart 19 01 13	33
Tabelle 1-27	Eluatgehalte von Filterstäuben aus Biomasseheizkraftwerken.....	34
Tabelle 1-28	Feststoffgehalte von Filterstäuben aus Biomasseheizkraftwerken	35
Tabelle 1-29	Feststoffgehalte eines Filterstaubes aus einer Sonderabfallverbrennungsanlage	36
Tabelle 2-1	Kriterien zur Einstufung nach H 13 gem. den Hinweisen zur Anwendung der AVV	37
Tabelle 2-2	Eluatgehalte der Abfallart 06 03 13.....	39
Tabelle 2-3	Feststoffgehalte der Abfallart 06 03 13	40
Tabelle 2-4	Eluatgehalte der Abfallart 06 03 14.....	41
Tabelle 2-5	Feststoffgehalte der Abfallart 06 03 14	41
Tabelle 2-6	Eluatgehalte der Abfallart 06 03 15.....	42
Tabelle 2-7	Feststoffgehalte der Abfallart 06 03 15	43
Tabelle 2-8	Eluatgehalte der Abfallart 10 01 04.....	44
Tabelle 2-9	Feststoffgehalte der Abfallart 10 01 04	44
Tabelle 2-10	Eluatgehalte der Abfallart 10 01 14.....	46
Tabelle 2-11	Feststoffgehalte der Abfallart 10 01 14	46
Tabelle 2-12	Eluatgehalte der Abfallart 10 01 14.....	47
Tabelle 2-13	Feststoffgehalte der Abfallart 10 01 14	48
Tabelle 2-14	Eluatgehalte der Abfallart 10 01 16.....	49
Tabelle 2-15	Feststoffgehalte der Abfallart 10 01 16	50
Tabelle 2-16	Eluatgehalte der Abfallart 10 01 17.....	51
Tabelle 2-17	Feststoffgehalte der Abfallart 10 01 17	51
Tabelle 2-18	Eluatgehalte der Abfallart 10 01 18.....	52
Tabelle 2-19	Feststoffgehalte der Abfallart 10 01 18	53
Tabelle 2-20	Eluatgehalte der Abfallart 10 01 20.....	54
Tabelle 2-21	Feststoffgehalte der Abfallart 10 01 20	55
Tabelle 2-22	Eluatgehalte der Abfallart 10 02 13.....	56
Tabelle 2-23	Feststoffgehalte der Abfallart 10 02 13	57
Tabelle 2-24	Eluatgehalte der Abfallart 10 02 14.....	58
Tabelle 2-25	Feststoffgehalte der Abfallart 10 02 14	59
Tabelle 2-26	Eluatgehalte der Abfallart 10 05 05.....	60

Tabelle 2-27	Feststoffgehalte der Abfallart 10 05 05	61
Tabelle 2-28	Feststoffgehalte der Abfallart 10 05 05 nach [Okunev, A. 2005].....	61
Tabelle 2-29	Feststoffgehalte der Abfallart 10 05 06	63
Tabelle 2-30	Feststoffgehalte der Abfallart 10 05 06 nach [Okunev, A. 2005].....	63
Tabelle 2-31	Eluatgehalte der Abfallart 10 08 15.....	65
Tabelle 2-32	Feststoffgehalte der Abfallart 10 08 15	66
Tabelle 2-33	Eluatgehalte der Abfallart 10 08 17.....	67
Tabelle 2-34	Feststoffgehalte der Abfallart 10 08 17	68
Tabelle 2-35	Eluatgehalte der Abfallart 10 11 09.....	69
Tabelle 2-36	Feststoffgehalte der Abfallart 10 11 09	70
Tabelle 2-37	Eluatgehalte der Abfallart 10 11 13.....	71
Tabelle 2-38	Feststoffgehalte der Abfallart 10 11 13	72
Tabelle 2-39	Eluatgehalte der Abfallart 10 11 15.....	73
Tabelle 2-40	Feststoffgehalte der Abfallart 10 11 15	74
Tabelle 2-41	Feststoffgehalte der Abfallart 10 11 17	76
Tabelle 2-42	Eluatgehalte der Abfallart 11 01 08.....	78
Tabelle 2-43	Feststoffgehalte der Abfallart 11 01 08	79
Tabelle 2-44	Eluatgehalte der Abfallart 11 02 02.....	80
Tabelle 2-45	Feststoffgehalte der Abfallart 11 02 02	81
Tabelle 2-46	Eluatgehalte der Abfallart 11 02 05.....	82
Tabelle 2-47	Feststoffgehalte der Abfallart 11 02 05	83
Tabelle 2-48	Eluatgehalte der Abfallart 12 01 16.....	85
Tabelle 2-49	Feststoffgehalte der Abfallart 12 01 16	85
Tabelle 2-50	Eluatgehalte der Abfallart 16 08 02.....	87
Tabelle 2-51	Feststoffgehalte der Abfallart 16 08 02	87
Tabelle 2-52	Eluatgehalte der Abfallart 16 08 07.....	89
Tabelle 2-53	Eluatgehalte der Abfallart 16 11 01.....	90
Tabelle 2-54	Feststoffgehalte der Abfallart 16 11 01	91
Tabelle 2-55	Eluatgehalte der Abfallart 16 11 03.....	92
Tabelle 2-56	Feststoffgehalte der Abfallart 16 11 03	93
Tabelle 2-57	Eluatgehalte der Abfallart 16 11 05.....	94
Tabelle 2-58	Feststoffgehalte der Abfallart 16 11 05	95
Tabelle 2-59	Eluatgehalte der Abfallart 17 03 01.....	96
Tabelle 2-60	Feststoffgehalte der Abfallart 17 03 01	97
Tabelle 2-61	Eluatgehalte von kohlenteehaltigen Bitumengemischen	97
Tabelle 2-62	Feststoffgehalte von kohlenteehaltigen Bitumengemischen.....	98
Tabelle 2-63	Eluatgehalte der Abfallart 17 05 05.....	99
Tabelle 2-64	Feststoffgehalte der Abfallart 17 05 05	100
Tabelle 2-65	Eluatgehalte der Abfallart 17 05 07.....	101
Tabelle 2-66	Feststoffgehalte der Abfallart 17 05 07	102
Tabelle 2-67	Eluatgehalte der Abfallart 19 01 05.....	103

Tabelle 2-68	Feststoffgehalte der Abfallart 19 01 05	104
Tabelle 2-69	Eluatgehalte der Abfallart 19 01 06.....	105
Tabelle 2-70	Feststoffgehalte der Abfallart 19 01 06	106
Tabelle 2-71	Eluatgehalte der Abfallart 19 01 15.....	107
Tabelle 2-72	Feststoffgehalte der Abfallart 19 01 15	108
Tabelle 2-73	Eluatgehalte der Abfallart 19 02 04.....	109
Tabelle 2-74	Feststoffgehalte der Abfallart 19 02 04	110
Tabelle 2-75	Eluatgehalte der Abfallart 19 02 05.....	111
Tabelle 2-76	Feststoffgehalte der Abfallart 19 02 05	112
Tabelle 2-77	Eluatgehalte der Abfallart 19 03 06.....	114
Tabelle 2-78	Feststoffgehalte der Abfallart 19 03 06	115
Tabelle 2-79	Eluatgehalte der Abfallart 19 07 02.....	116
Tabelle 2-80	Feststoffgehalte der Abfallart 19 07 02	117

Anhang 2: Beschreibung der Abfallarten, die im Forschungsvorhaben näher betrachtet wurden

A2-1: Vorbemerkung

Dieser Anhang enthält eine ausführliche Beschreibung der im Rahmen des Forschungsprojektes näher betrachteten 9 Abfallarten nach Schadstoffgehalten im Eluat und im Feststoff, chemisch-physikalischen Eigenschaften und Gefahrenmerkmalen.

Eine wesentliche Datengrundlage für die Ermittlung der Schadstoffgehalte stellte die Abfallanalysedatenbank ABANDA des Landesumweltamtes Nordrhein-Westfalen dar [ABANDA]. Zur Ergänzung von Datenlücken oder zur Prüfung der Plausibilität wurden darüber hinaus zahlreiche Literaturquellen ausgewertet.

Bei der Parameterauswahl wurden insbesondere karzinogene Parameter, toxische Parameter und Parameter, die in der Bergversatzverordnung in Zusammenhang mit dem Vorrang zur Rückgewinnung von Metallen genannt werden berücksichtigt. Zur Beschreibung der physikalisch/chemischen Eigenschaften wurden Parameter, wie z.B. Glühverlust, Festigkeitsparameter, Heizwert und Dichteparameter herangezogen.

Zur Bestimmung von Gefahrenmerkmalen wurden u.a. die in der Abfallverzeichnisverordnung (AVV) für einige gefahrenrelevante Abfalleigenschaften (H3 bis H8, H10 und H11) genannten konkreten Gefahrenmerkmale mit Angabe des Flammpunktes bzw. Konzentrationsgrenzen herangezogen. Darüber hinaus wurden Konzentrationswerte der „Hinweise zur Anwendung der Abfallverzeichnis-Verordnung“, in denen die gefahrenrelevante Abfalleigenschaften H 13¹ und H 14² genauer definiert werden berücksichtigt [Hinweise AVV 2005]. Die Einstufung nach H 13 erfolgt anhand der Kriterien in der folgenden Tabelle.

¹ H13: Stoffe und Zubereitungen, die nach Beseitigung auf irgendeine Art die Entstehung eines anderen Stoffes bewirken können, z.B. ein Auslaugprodukt, das eine der Eigenschaften H1 bis H 12 aufweist.

² H 14: umweltgefährlich

Tabelle.1-1 Kriterien zur Einstufung nach H 13 gem. den Hinweisen zur Anwendung der AVV

Eluatkriterien zur Abgrenzung nach H13	
Antimon	> 0,07 mg/l
Arsen	> 0,2 mg/l
Barium	> 10 mg/l
Blei	> 1 mg/l
Cadmium	> 0,1 mg/l
Chrom ges.	> 1 mg/l
Kupfer	> 5 mg/l
Molybden	> 1 mg/l
Nickel	> 1 mg/l
Quecksilber	> 0,02 mg/l
Selen	> 0,05 mg/l
Zink	> 5 mg/l
Fluorid	> 15 mg/l
Feststoffkriterien	
Kohlenwasserstoffe	> 8.000 mg/kg

Im Hinblick auf die Gefahrenrelevanz von organischen Inhaltsstoffen enthalten die Hinweise zur Anwendung der Abfallverzeichnisverordnung konkrete Vorgaben zur Einstufung anhand des Gehaltes an Benzo(a)pyren (Schwellenwert: 50 mg/kg), Benzol (Schwellenwert: 1000 mg/kg) und PCB (Schwellenwert: 10 mg/kg für die 6 PCB-Kongonere nach Ballschmiter). Allgemein gültige Grenzwerte, beispielsweise nach PCB-Abfallverordnung [PCB AbfallV 2000], wurden ebenfalls abgeprüft.

Dieselbe Vorgehensweise wurde im Rahmen des „Hazard Check“ gewählt, einem DV Hilfsmittel zur Gefährlichkeitseinstufung von Abfällen, das in die Datenbank ABANDA integriert ist. Die Einstufung erfolgte sowohl für die Mediane als auch für die 80 Percentile.

Die Datenlage wird wie folgt bewertet:

< 5 Analysen:	schlecht
5-15 Analysen:	mäßig
15-30 Analysen:	gut
> 30 Analysen:	sehr gut

Zum Gasbildungspotential von Abfällen, die überwiegend untertägig abgelagert bzw. verwertet werden, lagen bis vor kurzem nur relativ wenige Erkenntnisse vor. Von den im Rahmen dieses Forschungsvorhabens betrachteten Abfällen waren insbesondere Flugaschen und Aschen aus der Müllverbrennung relativ gut untersucht. Eine tiefer gehende systematische Analyse mit einer wesentlich breiteren Auswahl von Abfällen, wurde im Januar 2006 von der GRS vorgelegt [Hagemann 2006]. In der Untersuchung wurden u.a. Salze und Flugaschen sowie Aschen aus der Müllverbrennung, Strahlmittelrückstände, Abfälle aus der thermischen Aluminiummetal-

lurgie und ein Gemisch aus Bauschutt und Boden untersucht. Damit deckte die Untersuchung Abfallarten ab, die mengenmäßig weit über 95% der unter Tage deponierten Abfälle ausmachen. Grundsätzlich lässt sich sagen, dass Gasentwicklungsprozesse bei nahezu allen untersuchten Proben zu beobachten waren, wenn auch in stark unterschiedlicher Intensität. Dabei war die Bildung von Wasserstoffgas dominierend. Methan und Kohlendioxid ließen sich ebenfalls in signifikanten Mengen nachweisen.

Die Bildung von Wasserstoffgas ist insbesondere auf Metallkorrosionsprozesse zurückzuführen, wobei hier insbesondere Aluminium von Relevanz sind. Die Reaktion läuft dabei prinzipiell nach folgendem Muster ab:



Während unter neutralen Bedingungen Aluminium schnell von gut haftenden und dichten Oxidschichten eingehüllt werden, lösen sich diese in stärker alkalischen Lösungen unter Bildung von Hydroxokomplexen auf und hinterlassen ungeschützte Metalloberflächen, die weiter angegriffen werden. Ist ausreichend Chlorid vorhanden, wird die Oxid-Schutzschicht auf Al-Partikeln selbst bei neutralen pH-Werten instabil [Hagemann 2006].

A2-2 Daten zu den einzelnen Abfallarten

10 02 07* feste Abfälle aus der Abgasbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten

Dieser Abfallschlüsselnummer werden insbesondere Stahlwerksstäube zugeordnet. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens werden Stäube aus drei verschiedenen Herkunftsbereichen näher betrachtet. Daher werden neben den Daten für die Schlüsselnummer 10 02 07 auch Daten zur Zusammensetzung von Oxygenstahlstäube, Elektrostahlstäube und Edelstahlstäube dargestellt. Für alle drei Abfallarten existieren unterschiedliche Recyclingmethoden.

Gemisch aller festen Abfälle, die unter 10 02 07 erfasst werden

Zusammensetzung:

Hauptbestandteil des Abfalls ist Eisen-/III)-Oxid mit einem Massenanteil von ca. 38 %. Auch Kalium- und Calciumoxid sind von Bedeutung (Massenanteile 10 - 20 %). Die Anteile an Magnesiumoxid, Natriumoxid und Siliciumdioxid liegen deutlich unter 10 %. Zink und Blei weisen ebenfalls bedeutende Massenanteile auf (siehe Tabelle Tabelle 1-3).

Datenlage: überwiegend gut bis sehr gut

Konsistenz: fest

Gefahrenmerkmale:

Mediane:

Gem. AVV ist der Abfall als „sehr giftig“ (H6), „kanzerogen“ (H7) und „teratogen“ (H10), nach den Hinweisen zur Anwendung der AVV ist er als umweltgefährlich aufgrund seiner Toxizität für Wasserorganismen einzustufen (H14). Darüber hinaus ist er aufgrund seines Molybdengehaltes im Eluat nach den Hinweisen zur Anwendung der AVV als gefährlich einzustufen (H13).

80-Percentile:

Gem. AVV ist der Abfall als „sehr giftig“ (H6), „kanzerogen“ (H7) und „teratogen“ (H10), nach den Hinweisen zur Anwendung der AVV ist er als umweltgefährlich aufgrund seiner Toxizität für Wasserorganismen einzustufen (H14). Darüber hinaus ist er aufgrund seines Molybden- und Bleigehaltes im Eluat nach den Hinweisen zur Anwendung der AVV als gefährlich einzustufen (H13).

Gasbildungspotential:

Zum Gasbildungspotential von Stahlwerksstäuben sind keine Untersuchungen bekannt. Aufgrund der relativ hohen Chloridgehalte im Bereich von 1,4 % und des im alkalischen Bereich liegenden pH-Wertes im Eluat von 10,7 ist ein relevantes Gasbildungspotential zu erwarten, zumal der Aluminiumoxidanteil im Bereich von 1% liegt.

Eluatgehalte:

Tabelle 1-2 Eluatgehalte der Abfallart 10 02 07

Parameter	Einheit	N	Min	Max	Mittelw.	20 Per- centil	Median	80 Per- centil
pH-Wert		124	4,0	13,0	10,0	7,3	10,7	12,3
Leitfähigkeit	µS/cm	39	216	53.500	11.790	5.640	8.200	13.264
Chlorid	mg/l	41	1	32.100	1.645	26	436	2.250
Sulfat	mg/l	41	2,26	6.600	1.288	95	619	1.500
Fluorid	mg/l	74	0,01	64,2	11,50	4,86	8,97	14,46
Nitrat	mg/l	16	0,1	21,0	6,4	1,0	6,4	10,0
Ammonium	mg/l	19	0,2	2590,0	428	1,6	5,6	122
Cyanid (ges)	mg/l	55	0,003	1,00	0,06	0,01	0,05	0,05
As	mg/l	74	0,0001	0,6	0,034	0,002	0,005	0,020
Sb	mg/l	15	0,001	0,13	0,03	0,009	0,02	0,05
Se	mg/l	6	0,001	0,3	0,062	0,001	0,016	0,050
Cd	mg/l	92	0,0003	134	2,23	0,002	0,01	0,02
Cr ges	mg/l	80	0,002	14,3	1,19	0,01	0,06	0,59
Cr VI	mg/l	67	0,004483	829	13,96	0,02	0,10	2,818
Cu	mg/l	82	0,002	53	0,93	0,01	0,03	0,06
Ni	mg/l	80	0,002	56	1,24	0,01	0,02	0,08
Pb	mg/l	98	0,001	599	15,19	0,02	0,13	4,9
Hg	mg/l	67	0,0001	5,4	0,09	0,0002	0,0010	0,002
Tl	mg/l	12	0,001	19,4	1,62	0,0044	0,01	0,01
Zn	mg/l	97	0,001	771	30,14	0,04	0,37	2,3
V	mg/l	9	0,01	5	0,59	0,034	0,05	0,05
Sn	mg/l	28	0,001	12,1	0,70	0,038	0,1	0,1
PCB	mg/l	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
PAK	mg/l	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
TOC	mg/l	14	1,5	355	64,9	11,6	50,0	73,1
Phenolindex	mg/l	5	0,02	1	0,26	0,06	0,1	0,28
DOC	mg/l	27	6,3	313	58,4	19,8	29,2	72,6

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k. A.: keine Angaben

Feststoffgehalte:

Tabelle 1-3 Feststoffgehalte der Abfallart 10 02 07

Parameter	Einheit	N	Min	Max	Mittelw.	20 Per- centil	Median	80 Per- centil
As	mg/kg	76	0,0	988	119,3	13,3	49,2	127,0
Sb	mg/kg	63	1,0	2.880	365	28,2	100	493
Selen	mg/kg	8	0,1	175	22,5	0,1	0,2	2,6
Cd	mg/kg	91	0,1	47.912	831	15	100	332
Thallium	mg/kg	51	0,1	7.313	178,1	0,5	2,2	25,0
Cr ges	mg/kg	89	2,0	155.000	16.740	239	2.665	14.620
Cr VI	mg/kg	5	0,2	56	14,4	0,3	0,3	23,2
Ni	mg/kg	85	1,0	41.100	4.381	85	197	2.000
Pb	mg/kg	126	0,4	183.645	15.678	1.571	9.605	20.750
Hg	mg/kg	58	0,0	441	20,8	0,1	1,8	10,9
Cu	mg/kg	87	0,3	6.022	1.553	384	1.192	2.841
Zn	mg/kg	123	1,0	398.400	89.470	4.128	45.390	186.070
Fe	mg/kg	83	2.000,0	742.000	198.976	24.000	149.000	348.240
Sn	mg/kg	53	5,00	6.191	475	12	200	569
V	mg/kg	22	15,00	600	266	45,2	183,5	500
PCB (LAGA)	mg/kg	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
PCB	mg/kg	18	0,006	0,1	0,02	0,01	0,01	0,03
PAK	mg/kg	10	0,20	23,0	5,1	0,89	2,34	6,54
BaP	mg/kg	8	0,010	0,4	0,20	0,06	0,25	0,29
PCDD/F	µg/kg	26	0,07	6,3	0,85	0,19	0,42	0,84
2378 TCDD	µg/kg	6	0,002	0,02	0,01	0,007	0,02	0,02
TOC	%	61	0,05	18,5	3,51	0,56	1,49	5,7
MKW	mg/kg	23	10,00	22.740	2.632,3	75,9	352,0	3.052,0
BTEX	mg/kg	4	0,05	0,50	0,22	0,07	0,17	0,35
LHKW	mg/kg	2	0,15	0,50	0,33	0,22	0,33	0,43
EOX	mg/kg	8	0,10	670,0	142,5	1,06	4,90	271,2
Cyanide ges.	mg/kg	23	0,02	16,1	1,23	0,1	0,50	0,78
Trockensubs.	%	39	34	100,00	92,1	84,6	98,4	99,8
Schüttdichte	g/cm ³	33	0,25	1,6	0,80	0,67	0,79	0,95
Stampfdichte	g/cm ³	32	0,31	2,05	1,12	0,96	1,17	1,33
Heizwert	kJ/kg	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
Glühverlust	%	104	0,01	84,0	11,4	1,3	6,8	19,0
Flügelscherf.	kN/m ²	1	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k. A.: keine Angaben

Stäube aus Oxygenstahlwerken

Die Daten für Feststoffgehalte von Stäuben aus Oxygenstahlwerken stammen aus einem österreichischen Stahlwerk. Im Vergleich zu Elektro- und Edelstahlwerkstäuben sowie zu den Medianen der Schlüsselnummer 10 02 07 sind die Schwermetallkonzentrationen relativ gering. Die Daten zu Eluatwerten stammen aus zwei verschiedenen Stahlwerken in Österreich und Deutschland.

Tabelle 1-4 Feststoffgehalte von Stäuben aus einem Oxygenstahlwerk

Parameter	Einheit	N	Min	Max	Mittelw.	20 Per-centil	Median	80 Per-centil
As	mg/kg	3	0,1	125	55,4	16,5	41	91
Cd	mg/kg	3	19	51	30	19,8	21	39
Cr ges	mg/kg	3	5,0	591	328	159	390	511
Ni	mg/kg	3	1,0	64	39	21,4	52	59,2
Pb	mg/kg	3	1.555	4.047	2.405	1.568	1.588	3.079
Hg	mg/kg	3	0,1	74	29	5,2	12,8	49,5
Cu	mg/kg	3	76	256	144	86	101	194
Zn	mg/kg	3	1,0	68.040	27.947	6.320	15.800	47.144
Sn	mg/kg	2	19	577	298	131	298	465
PAK	mg/kg	2	3,1	10,7	6,9	4,6	6,9	9,2
TOC	%	3	0,3	4,8	2,4	1,0	2,0	3,7
Schüttdichte	g/cm ³	3	0,7	1,3	1,0	0,8	1,0	1,2
Glühverlust	%	3	0,01	1,5	1,0	0,6	1,5	1,5

Quelle: Auszug aus der Datenbank ABANDA des LUA NRW.

Tabelle 1-5 Eluatgehalte Stäuben aus zwei verschiedenen Oxygenstahlwerken

Parameter	Einheit	N	Min	Max	Mittelw.	20 Per-centil	Median	80 Per-centil
Cd	mg/l	4	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Cr ges	mg/l	3	0,02	0,05	0,03	0,02	0,03	0,04
Pb	mg/l	4	0,1	5,8	2,5	1,0	2,1	3,9

Quelle: Auszug aus der Datenbank ABANDA des LUA NRW.

Stäube aus der Elektrostahlproduktion

Die Daten für Elektrostahl stammen von zwei verschiedenen Stahlwerken in Deutschland zur Produktion von Mass Stahl. Die Stäube weisen insbesondere hohe Werte an Zink und Blei auf.

Tabelle 1-6 Feststoffgehalte von Stäuben aus Elektrostahlwerken zur Produktion von Massenstählen

Parameter	Einheit	N	Min	Max	Mittelw.	20 Per-centil	Median	80 Per-centil
As	mg/kg	7	1,7	977	439	54	128	951
Cd	mg/kg	7	90	47.912	7.061	135	342	395
Cr ges	mg/kg	7	2.334	5.293	3.828	2.822	3.429	5.041
Ni	mg/kg	6	129	271	203	165	190	271
Pb	mg/kg	8	6.817	39.943	23.205	11.810	20.212	36.508
Hg	mg/kg	7	5,2	441	126	17,4	80,4	147
Cu	mg/kg	6	1.358	3.000	2.473	2.314	2.596	2.979
Zn	mg/kg	8	73.680	385.924	206.705	86.324	214.846	293.699
Fe	mg/kg	1	300.000	300.000	300.000	300.000	300.000	300.000
Sn	mg/kg	5	272	1.431	597	345	363	731
PCB	mg/kg	3	0,007	0,020	0,011	0,007	0,007	0,015
TOC	%	5	0,7	9,1	3,2	1,6	2,2	3,6
Trockensubs.	%	1	99,8	99,8	99,8	99,8	99,8	99,8
Schüttdichte	g/cm ³	1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Glühverlust	%	6	0,4	27,3	7,1	2,6	2,6	7,4

Quelle: Auszug aus der Datenbank ABANDA des LUA NRW.

Tabelle 1-7 Eluatgehalte von Stäuben aus Elektrostahlwerken zur Produktion von Massenstählen

Parameter	Einheit	N	Min	Max	Mittelw.	20 Per-centil	Median	80 Per-centil
As	mg/l	2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Cd	mg/l	4	0,01	1,0	0,5	0,01	0,5	1,0
Cr ges	mg/l	2	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Ni	mg/l	2	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Pb	mg/l	4	0,1	3,5	2,0	0,5	2,1	3,5
Hg	mg/l	4	0,002	0,0035	0,026	0,002	0,0034	0,0035
TOC	mg/l	2	13,1	70	41,6	24,5	41,6	58,6

Quelle: Auszug aus der Datenbank ABANDA des LUA NRW.

Stäube aus der Edelstahlproduktion

Ausgewählt wurden Chrom-Nickel-haltige Stäube aus Elektrostahlwerken. Entsprechend sind die Nickel- und Chromgehalte in den Analysen sehr hoch.

Tabelle 1-8 Feststoffgehalte von Stäuben aus Elektrostahlwerken, die Chrom-Nickel-Stähle erzeugen

Parameter	Einheit	N	Min	Max	Mittelw.	20 Per- centil	Median	80 Per- centil
As	mg/kg	11	10	200	118,7	100	100	200
Cd	mg/kg	11	0,3	200	131	100	100	200
Cr ges	mg/kg	10	19.000	155.000	105.683	95.166	113.500	129.400
Ni	mg/kg	11	2.000	38.437	22.894	17.500	24.000	28.600
Pb	mg/kg	11	1,6	20.000	8.791	1.200	4.000	17.000
Hg	mg/kg	1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Cu	mg/kg	11	800	3.900	2.505	1.800	2.600	3.400
Zn	mg/kg	11	1.005	120.000	70.091	32.000	77.00	99.000
Fe	mg/kg	10	289.000	402.000	335.130	291.00	328.050	380.460
Sn	mg/kg	11	10	300	170	100	200	200
TOC	%	1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Quelle: Auszug aus der Datenbank ABANDA des LUA NRW.

Tabelle 1-9 Eluatgehalte eines Staubes aus einem Elektrostahlwerk, das Chrom-Nickel-Stähle erzeugt

Parameter	Einheit	N	Min	Max	Mittelw.	20 Per- centil	Median	80 Per- centil
As	mg/l	1	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cd	mg/l	1	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Cr ges	mg/l	1	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8
Ni	mg/l	1	55.8	55.8	55.8	55.8	55.8	55.8
Pb	mg/l	1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Hg	mg/l	1	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002

Quelle: Auszug aus der Datenbank ABANDA des LUA NRW.

11 01 09* Schlämme und Filterkuchen, die gefährliche Stoffe enthalten

Zusammensetzung:

Dieser Abfallart werden insbesondere Galvanikschlämme zugeordnet. Je nach Metalloberflächenbehandlungsverfahren weisen die Schlämme eine unterschiedliche Zusammensetzung auf [Bongard, Kneib 1995]. Hauptbestandteile des Abfalls sind Calciumsulfat (ca. 16%) und Calciumoxid (ca. 9%). Die Anteile an Calciumcarbont, Eisen-(III)-Oxid, Magnesiumoxid, Natriumoxid, Schwefeltrioxid und Siliciumdioxid liegen deutlich unter 10 %. Relativ hoch sind auch die Chrom-, Nickel und Kupfergehalte, die, je nach Herkunft, in Einzelproben sehr hohe Werte annehmen können. Auffällig sind auch noch der relativ hohe Phosphatanteil von 2,3 %, der Heizwert von ca. 5.000 kJ/kg sowie der Glühverlust von ca. 21%.

Datenlage: überwiegend sehr gut

Konsistenz: pastös

Gefahrenmerkmale:

Mediane:

Gem. AVV ist der Abfall als „sehr giftig“ (H6) und „kanzerogen“ (H7), nach den Hinweisen zur Anwendung der AVV ist er als umweltgefährlich aufgrund seiner Toxizität für Wasserorganismen einzustufen (H14).

80 Percentile:

Gem. AVV ist der Abfall als „sehr giftig“ (H6) und „kanzerogen“ (H7), nach den Hinweisen zur Anwendung der AVV ist er als umweltgefährlich aufgrund seiner Toxizität für Wasserorganismen einzustufen (H14). Darüber hinaus ist er aufgrund seines Antimon- und Selengehaltes im Eluat nach den Hinweisen zur Anwendung der AVV als gefährlich einzustufen (H13).

Gasbildungspotential:

Zum Gasbildungspotential von Galvanikschlämmen sind keine Untersuchungen bekannt. Grundsätzlich ist eine Gasbildung nicht auszuschließen.

Eluatgehalte:

Tabelle 1-10 Eluatgehalte der Abfallart 11 01 09

Parameter	Einheit	N	Min	Max	Mittelw.	20 Per- centil	Median	80 Per- centil
pH-Wert		637	4,3	12,8	8,3	7,7	8,2	9,0
Leitfähigkeit	µS/cm	235	293	63.900	5.019	1.584	3.440	6.664
Chlorid	mg/l	433	0,02	18.209	850	68	327	1.053
Sulfat	mg/l	395	0,07	13.335	1.051	110	610	1.800
Fluorid	mg/l	443	0,01	1200,0	10,32	0,50	2,60	10,00
Nitrat	mg/l	257	0,1	4200	141,8	0,5	5,0	67,0
Ammonium	mg/l	357	0,003	330,0	11,2	0,1	2,6	15,0
Cyanid (ges)	mg/l	315	0,002	800	4,5	0,01	0,05	0,15
As	mg/l	497	0,0001	0,5	0,03	0,001	0,004	0,05
Sb	mg/l	78	0,001	4,72	0,22	0,002	0,02	0,5
Se	mg/l	37	0,001	0,5	0,11	0,01	0,01	0,11
Cd	mg/l	556	0,0002	45	0,12	0,002	0,01	0,02
Cr ges	mg/l	486	0,001	115	0,87	0,01	0,05	0,34
Cr VI	mg/l	403	0,009	1304	3,78	0,01	0,03	0,12
Cu	mg/l	578	0,0004	1578	4,33	0,02	0,1	0,48
Ni	mg/l	604	0,001	622	2,2	0,03	0,13	0,70
Pb	mg/l	558	0,001	57	0,24	0,01	0,05	0,1
Hg	mg/l	419	0,00002	3,8	0,03	0,0003	0,001	0,005
Tl	mg/l	70	0,001	10,0	0,24	0,005	0,01	0,15
Zn	mg/l	589	0,0007	449	2,61	0,02	0,09	0,6
V	mg/l	58	0,001	0,5	0,06	0,01	0,05	0,1
Sn	mg/l	189	0,001	17,4	0,24	0,0025	0,01	0,1
PCB	mg/l	1	0,60	0,60	0,60	0	0,60	0,60
PAK	mg/l	13	0,17	1800	140	0,20	0,26	1,40
TOC	mg/l	322	0,0	1360	79,5	13,0	45,0	115
Phenolindex	mg/l	37	0,01	20	1,1	0,01	0,1	0,2
DOC	mg/l	24	2	525	89,5	4	20,2	117

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

Feststoffgehalte:

Tabelle 1-11 Feststoffgehalte der Abfallart 11 01 09

Parameter	Einheit	N	Min	Max	Mittelw.	20 Per- centil	Median	80 Per- centil
As	mg/kg	147	0,002	249	17,9	1,0	7,1	16,5
Sb	mg/kg	52	0,1	11.040	636	3,0	26	1.052
Selen	mg/kg	18	0,1	200	15,2	0,1	1,0	2,3
Cd	mg/kg	183	0,0	21.000	523	1	2	19
Thallium	mg/kg	44	0,1	10	1,6	0,5	1,0	2,0
Cr ges	mg/kg	220	0,1	300.000	29.424	311	12.921	41.868
Cr VI	mg/kg	19	0,03	35	2,8	0,2	0,4	1,5
Ni	mg/kg	226	0,01	260.000	17.625	152	3.430	40.000
Pb	mg/kg	192	0,01	107.000	1.534	23	126	736
Hg	mg/kg	117	0,001	520	5,3	0,1	0,2	1,0
Cu	mg/kg	225	0,5	670.400	33.987	160	2.824	24.340
Zn	mg/kg	226	0,1	688.000	66.281	314	8.600	151.223
Fe	mg/kg	133	1,0	580.000	63.437	3.232	30.000	100.600
Sn	mg/kg	63	0,5	200.000	24.181	9	115	38.000
V	mg/kg	50	0,2	50	14	5,0	5,0	23
PCB (LAGA)	mg/kg	7	0,1	3,0	1,9	0,9	2,3	3,0
PCB	mg/kg	41	0,006	1,0	0,22	0,01	0,10	0,60
PAK	mg/kg	27	0,001	36,0	4,1	0,34	1,60	5,02
BaP	mg/kg	28	0,00001	0,2	0,05	0,001	0,04	0,10
PCDD/F	µg/kg	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
2378 TCDD	µg/kg	1	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
TOC	%	266	0,01	33,0	4,03	0,86	2,40	6,70
MKW	mg/kg	155	0,01	34.500	2.192,0	64,7	636,0	3.207,4
BTEX	mg/kg	17	0,05	17,20	2,33	0,06	0,25	1,79
LHKW	mg/kg	11	0,01	10,10	1,28	0,01	0,15	0,22
EOX	mg/kg	120	0,08	1.000	54,1	1,00	5,25	48,6
Cyanide ges.	mg/kg	176	0,01	14.370	572,4	0,3	5,00	620
Trockensubs.	%	359	3,00	99,3	41,8	29,8	39,2	52,3
Schüttdichte	g/cm ³	7	0,59	1,1	0,77	0,64	0,64	0,99
Stampfdichte	g/cm ³	3	0,75	1,14	0,88	0,75	0,76	0,99
Heizwert	kJ/kg	12	1.000	20.600	7.708	1.333	5.000	11.120
Glühverlust	%	540	1,71	84,8	22,7	14,2	21,1	29,6
Flügelscherf.	kN/m ²	32	4,9	136	34,8	16,1	25,0	53,9

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k. A.: keine Angaben

17 01 06* Gemische aus oder getrennte Fraktionen von Beton, Ziegeln, Fliesen und Keramik, die gefährliche Stoffe enthalten

Zusammensetzung:

Hauptbestandteil ist Siliciumdioxid (ca. 63%). Aluminium,- Calcium- und Eisen(III)oxid sind in Anteilen unter 5% vorhanden. Auffällig ist der relativ hohe Heizwert einiger Proben, der allerdings nicht für die Abfallart repräsentativ sein kann, zumal der relativ gut untersuchte Glühverlust niedrig ist.

Datenlage: überwiegend sehr gut

Konsistenz: fest

Gefahrenmerkmale:

Mediane:

Der Abfall ist aufgrund seines Selengehaltes im Eluat nach den Hinweisen zur Anwendung der AVV als gefährlich einzustufen (H13).

80 Percentile:

Der Abfall ist er aufgrund seines Antimon- und Selengehaltes im Eluat nach den Hinweisen zur Anwendung der AVV als gefährlich einzustufen. Eine weitere Einstufung der Gefährlichkeit erfolgt aufgrund seiner Gehalte an PCB und 2,3,7,8 TCDD.

Gasbildungspotential:

Untersuchungen zum Gasbildungspotential von Abfällen, die dieser Abfallart zu geordnet werden, sind nicht bekannt. Zum Aluminiumoxidgehalt dieser Abfallart liegen Analysen vor, die Gehalte im Bereich von 4 % ausweisen. Der pH-Gehalt liegt im leicht alkalischen Bereich, der Chloridgehalt ist relativ niedrig. Ein hohes Gasbildungspotential ist aufgrund dieser Daten nicht zu erwarten. Grundsätzlich ist eine Gasbildung aber auch nicht auszuschließen.

Eluatgehalte:

Tabelle 1-12 Eluatgehalte der Abfallart 17 01 06

Parameter	Einheit	N	Min	Max	Mittelw.	20 Per- centil	Median	80 Per- centil
pH-Wert		485	0,8	13,0	9,1	7,5	8,7	11,2
Leitfähigkeit	µS/cm	436	17	47.100	1.368	166	593	1.944
Chlorid	mg/l	194	0,01	16.200	149	3	10	20
Sulfat	mg/l	186	0,01	8.250	297	17	69	332
Fluorid	mg/l	494	0,01	354,0	2,78	0,20	0,51	1,00
Nitrat	mg/l	0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ammonium	mg/l	96	0,010	13,0	1,1	0,0	0,2	0,8
Cyanid (ges)	mg/l	394	0,000	560	3,2	0,01	0,01	0,05
As	mg/l	734	0,0000	12,0	0,06	0,002	0,007	0,02
Sb	mg/l	83	0,001	1,28	0,09	0,005	0,01	0,1
Se	mg/l	5	0,0005	1,0	0,57	0,14	0,68	1,00
Cd	mg/l	768	0,0000	31	0,13	0,001	0,00	0,01
Cr ges	mg/l	515	0,000	570	1,87	0,01	0,01	0,06
Cr VI	mg/l	536	0,001	1500	3,84	0,01	0,03	0,05
Cu	mg/l	834	0,000018	500	0,75	0,007	0,02	0,05
Ni	mg/l	756	0,000	90	0,6	0,01	0,02	0,05
Pb	mg/l	827	0,000	71	0,23	0,01	0,01	0,1
Hg	mg/l	699	0,00000	0,5	0,00	0,0002	0,001	0,001
Tl	mg/l	168	0,0001	2,0	0,05	0,001	0,005	0,02
Zn	mg/l	824	0,000019	644	2,00	0,01	0,02	0,1
V	mg/l	104	0,0001	6,19	0,17	0,0092	0,015	0,1
Sn	mg/l	70	0,001	10,0	0,24	0,005	0,01	0,1
PCB	mg/l	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,00
PAK	mg/l	70	0,05	4850	136	0,17	1,85	17,34
TOC	mg/l	480	0,1	768	34,0	4,0	11,0	36
Phenolindex	mg/l	6	0,01	0,73	0,1	0,01	0,015	0,08
DOC	mg/l	23	0,1	87	26,1	5,748	20,6	34

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

Feststoffgehalte:

Tabelle 1-13 Feststoffgehalte der Abfallart 17 01 06

Parameter	Einheit	N	Min	Max	Mittelw.	20 Per- centil	Median	80 Per- centil
As	mg/kg	651	0,010	2.774	28,3	3,0	8,0	16,0
Sb	mg/kg	36	0,0	585	66	3,0	11	73
Selen	mg/kg	8	0,4	480	67,6	2,7	8,5	20,2
Cd	mg/kg	715	0,0	5.200	13	0	1	2
Thallium	mg/kg	132	0,0	36	2,3	0,2	0,5	2,0
Cr ges	mg/kg	648	0,0	59.000	183	12	23	46
Cr VI	mg/kg	4	0,01	5	1,3	0,1	0,1	2,1
Ni	mg/kg	636	0,00	7.590	65	10	21	42
Pb	mg/kg	737	0,00	63.500	615	19	66	230
Hg	mg/kg	682	0,000	1.500	6,8	0,1	0,2	0,7
Cu	mg/kg	690	0,0	5.500	153	12	36	124
Zn	mg/kg	743	0,0	161.287	1.753	54	140	551
Fe	mg/kg	2	12,0	100.000	50.006	20.010	50.006	80.002
Sn	mg/kg	13	5,0	5.552	557	5	24	288
V	mg/kg	17	10,0	1.570	166	33,3	73,1	116
PCB (LAGA)	mg/kg	109	0,0	472,0	14,2	0,2	1,0	11,2
PCB	mg/kg	332	0,001	1.227,0	8,09	0,01	0,10	0,53
PAK	mg/kg	897	0,001	19.100,0	142,8	1,16	9,40	74,25
BaP	mg/kg	709	0,00010	280,0	5,00	0,066	0,50	3,70
PCDD/F	µg/kg	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
2378 TCDD	µg/kg	3	0,72	42,23	14,90	1,14	1,76	26,04
TOC	%	366	0,00	54,0	2,99	0,46	1,77	4,20
MKW	mg/kg	1156	1,00	290.000	2.985,2	20,0	152,0	2.400,0
BTEX	mg/kg	193	0,00	888,30	14,25	0,05	0,22	0,63
LHKW	mg/kg	136	0,00	192,00	2,63	0,01	0,10	1,00
EOX	mg/kg	517	0,08	500	10,4	0,50	1,00	3,9
Cyanide ges.	mg/kg	410	0,00	32.600	113,5	0,1	0,20	1
Trockensubs.	%	644	46,10	100,0	90,1	85,7	91,5	96,7
Schüttdichte	g/cm ³	9	0,70	1,5	1,17	0,99	1,18	1,37
Stampfdichte	g/cm ³	7	0,82	1,65	1,30	1,07	1,43	1,48
Heizwert	kJ/kg	16	65	15.000	5.131	1.400	3.400	9.890
Glühverlust	%	441	0,01	99,3	8,4	2,6	4,9	10,7
Flügelscherf.	kN/m ²	1	25,0	25	25,0	25,0	25,0	25,0
Einaxiale Druckfestig- keit	kN/m ²	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k. A.: keine Angaben

17 05 03* Boden und Steine, die gefährliche Stoffe enthalten

Zusammensetzung:

Hauptbestandteile des Abfalls mit Massenanteilen von ca. 60 % ist Siliciumdioxid. Aluminiumoxid, Eisen-/III)-oxid, Calciumcarbonat, Calciumoxid, Kaliumoxid, Mangan-(II)-oxid und Schwefeltrioxid sind mit Anteilen von 1-5 % enthalten.

Datenlage: überwiegend sehr gut

Konsistenz: fest

Gefahrenmerkmale:

Mediane: keine

80-Perzentile:

Der Abfall ist aufgrund seines Antimongehaltes im Eluat nach den Hinweisen zur Anwendung der AVV als gefährlich einzustufen.

Gasbildungspotential:

Ein relevantes Gasbildungspotential kann vorliegen, wenn der Gehalt an biologisch abbaubarer organischer Substanz verhältnismäßig hoch ist. Dies ist im Einzelfall zu prüfen. Der TOC-Gehalt des 80-Perzentil-Wertes legt aber nahe, dass bei der überwiegenden Anzahl der Proben kein relevantes Gasbildungspotential zu erwarten ist.

Hagenmann ermittelte bei einem Gemisch aus quecksilberhaltigem Bauschutt und Boden eine Wasserstofffreisetzungsrates von 2,5 m³/Mg. Die CO₂-Freisetzung ergab einen Wert von 0,21 m³/Mg, die CH₄-Freisetzung lag bei 0,001 m³/Mg [Hagemann 2006).

Eluatgehalte:

Tabelle 1-14 Eluatgehalte der Abfallart 17 05 03

Parameter	Einheit	N	Min	Max	Mittelw.	20 Per- centil	Median	80 Per- centil
pH-Wert		2335	0,9	13,0	8,3	7,5	8,0	8,9
Leitfähigkeit	µS/cm	2159	3,1	44.000	658	101	190	535
Chlorid	mg/l	1006	0,002	8.544	61	2	5	14
Sulfat	mg/l	1069	0,01	35.600	185	10	34	149
Fluorid	mg/l	950	0,0005	39,2	1,58	0,32	0,76	1,12
Nitrat	mg/l	455	0,01	588	8,7	35	0,5	1,8
Ammonium	mg/l	418	0,003	2678	9,4	0,0	0,1	1,0
Cyanid (ges)	mg/l	894	0,001	3300	4,26	0,01	0,01	0,05
As	mg/l	1560	0,00001	70,0	0,21	0,002	0,006	0,030
Sb	mg/l	120	0,001	1	0,07	0,002	0,01	0,076
Se	mg/l	119	0,0003	2,8	0,110	0,001	0,010	0,050
Cd	mg/l	1578	0,0001	53,0	0,15	0,001	0,00	0,01
Cr ges	mg/l	1237	0,0001	220,00	0,96	0,003	0,01	0,05
Cr VI	mg/l	937	0,00005	130	0,80	0,01	0,03	0,06
Cu	mg/l	1655	0,0002	84,6	0,25	0,006	0,01	0,05
Ni	mg/l	1573	0,0001	380	0,7	0,01	0,01	0,05
Pb	mg/l	1700	0,00005	610	0,83	0,01	0,01	0,1
Hg	mg/l	1440	0,00001	2,0	0,01	0,0002	0,0005	0,001
Tl	mg/l	503	0,0001	5,0	0,04	0,001	0,002	0,01
Zn	mg/l	1652	0,00003	720	1,48	0,01	0,03	0,1
V	mg/l	162	0,001	1	0,05	0,005	0,01	0,05
Sn	mg/l	138	0,001	2,6	0,11	0,005	0,01	0,1
PCB	mg/l	13	0,000000 1	14,00	2,71	5,27	0,01	0,10
PAK	mg/l	185	0,0002	102600	645	0,23	1,45	20,2
TOC	mg/l	952	0,002	1072	22,5	3,2	7,6	23,2
Phenolindex	mg/l	67	0,005	6000	89,6	0,01	0,02	0,1
DOC	mg/l	60	0,1	270	28,0	4,82	12,19	35,2

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

Feststoffgehalte:

Tabelle 1-15 Feststoffgehalte der Abfallart 17 05 03

Parameter	Einheit	N	Min	Max	Mittelw.	20 Per- centil	Median	80 Per- centil
As	mg/kg	1475	0,1	8.100	42,8	4,5	10,0	22,0
Sb	mg/kg	70	0,0	513	32	4,9	5	23
Selen	mg/kg	62	0,1	1.900	58,1	3,0	5,0	10,0
Cd	mg/kg	1517	0,002	17.000	29	0,3	0,8	3
Thallium	mg/kg	475	0,01	790	2,7	0,2	0,5	1,0
Cr ges	mg/kg	1436	0,1	86.000	233	14	27	69
Cr VI	mg/kg	22	0,02	31	7,6	0,1	0,5	17,4
Ni	mg/kg	1452	0,1	12.800	75	11	24	52
Pb	mg/kg	1529	0,1	58.000	515	21	82	403
Hg	mg/kg	1392	0,001	247	2,2	0,1	0,2	1,0
Cu	mg/kg	1491	0,1	83.000	495	13	39	154
Zn	mg/kg	1514	0,01	110.000	1.429	54	158	661
Fe	mg/kg	66	1	120.000	24.643	12.660	21.000	30.230
Sn	mg/kg	57	0,01	601	35	5	5	24
V	mg/kg	50	0,1	200	30	11,8	21,7	41
PCB (LAGA)	mg/kg	135	0,003	90	4,0	10,8	0,3	1,0
PCB	mg/kg	740	0,0001	124,0	1,26	0,02	0,10	0,51
PAK	mg/kg	1755	0,0001	34.810	143	1,63	12,7	78,9
BaP	mg/kg	1454	0,00001	392	3,8	0,1	0,64	4,0
PCDD/F	µg/kg	35	0,02	48,2	8,79	0,48	5,50	20,2
2378 TCDD	µg/kg	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
TOC	%	855	0,0004	78,70	3,17	0,69	1,90	4,70
MKW	mg/kg	3590	0,01	113.012	1.847,0	23,0	160	1.640
BTEX	mg/kg	573	0,001	1.431	25,70	0,05	0,20	1,63
LHKW	mg/kg	336	0,0002	3.478	22,08	0,01	0,11	1,00
EOX	mg/kg	1044	0,01	2.643,3	8,7	0,50	1,00	2,0
Cyanide ges.	mg/kg	804	0,0000001	2.700	24,13	0,1	0,49	2,20
Trockensubs.	%	1982	24,00	100,00	86,3	81,0	87,0	93,0
Schüttdichte	g/cm ³	20	0,89	1,5	1,15	1,08	1,13	1,26
Stampfdichte	g/cm ³	18	1,06	1,79	1,50	1,42	1,53	1,59
Heizwert	kJ/kg	44	100	19.100	5.195	1.000	2.965	10.000
Glühverlust	%	912	0,1	95,9	6,3	2,2	4,4	8,9
Flügelscherf.	kN/m ²	8	3,5	125	31,6	5,3	19,3	40,0
Einaxiale Druckfestig- keit	kN/m ²	1	450	450	450	0	450	450

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k. A.: keine Angaben

19 01 07* Feste Abfälle aus der Abgasbehandlung

Zusammensetzung:

Hauptbestandteile des Abfalls sind Calciumoxid und Calciumsulfat. Daneben finden sich Calciumcarbonat; Natriumchlorid sowie Siliciumdioxid in relevanten Massenanteilen. Der Glühverlust ist mit ca. 13% relativ hoch.

Datenlage: überwiegend sehr gut

Konsistenz: fest

Gefahrenmerkmale:

Mediane:

Nach den Hinweisen zur Anwendung der AVV ist der Abfall als umweltgefährlich aufgrund seiner Toxizität für Wasserorganismen einzustufen (H 14). Darüber hinaus ist der Abfall aufgrund seines Bleigehaltes im Eluat nach den Hinweisen zur Anwendung der AVV als gefährlich einzustufen (H13).

80 Percentile:

Nach den Hinweisen zur Anwendung der AVV ist der Abfall als teratogen (H 10) und umweltgefährlich aufgrund seiner Toxizität für Wasserorganismen einzustufen (H 14). Darüber hinaus ist der Abfall aufgrund seines Antimon-, Blei- und Zinkgehaltes im Eluat nach den Hinweisen zur Anwendung der AVV als gefährlich einzustufen.

Gasbildungspotential:

Das Wasserstoffbildungspotential der Abfallart ist gering, kann aber in Einzelfällen relevante Freisetzungen ergeben. So ermittelte Hagemann bei insgesamt 4 festen Abfällen aus der Gasreinigung, die der Schlüsselnummer 19 01 07 zugeordnet wurden, nur an einer Probe ein relevantes Wasserstoffbildungspotential von $0,53 \text{ m}^3/\text{Mg}$. Die anderen Proben zeigten keine Wasserstoffbildung. Die CO_2 - bzw. CH_4 -Bildungsraten waren bei allen untersuchten Proben mit Durchschnittswerten von $0,04$ bzw. $0,002 \text{ m}^3/\text{Mg}$ relativ gering [Hagemann].

Liegen relevante Konzentrationen von Ammoniumsalzen im Abfall vor, kann dies in Verbindung mit Wasser zu einer NH_3 -Freisetzung führen. Ammoniumsalze können durch den Ammoniakbeitrag beim SNCR-Entstickungsverfahren³ in Verbindung mit einer sauren Waschstufe entstehen. Bei Anlagen mit Entstickungskatalysatoren und bei ausschließlich trockenen oder quasitrockenen Anlagen zur Abscheidung von sauren Rauchgasen verbleiben aufgrund des hohen pH-Wertes nur relativ geringe Mengen in den Rauchgasreinigungsrückständen. Analysedaten zur NH_3 -Freisetzung aus den betrachteten Abfällen sind nicht bekannt. Eine Abschätzung

³ SNCR-Verfahren: Selektive nicht katalytische Reduktion von Stickoxiden durch Eindüsung von Ammoniak in den Feuerraum

der Kali und Salz GmbH ergab, dass sich bei ungünstigen Bedingungen mit maximaler Ammoniakbindung in den Salzen in Kontakt mit Wasser Ammoniakkonzentrationen im Bereich von einigen Zehntelprozenten des Chloridgehaltes ergeben. Probleme hinsichtlich des Gesundheits- und Arbeitsschutzes sind nicht bekannt [Werthmann 2006].

Eluatgehalte:

Tabelle 1-16 Eluatgehalte der Abfallart 19 01 07

Parameter	Einheit	N	Min	Max	Mittelw.	20 Per- centil	Median	80 Per- centil
pH-Wert		296	3,9	13,1	10,6	8,4	11,9	12,4
Leitfähigkeit	µS/cm	91	810	122.400	39.241	9.750	38.500	61.700
Chlorid	mg/l	89	13	60.100	14.264	3.567	13.830	21.136
Sulfat	mg/l	87	5	16.783	1.705	844	1.207	1.888
Fluorid	mg/l	124	0,10	2715,0	28,11	1,10	3,52	7,00
Nitrat	mg/l	23	0,1	147,0	24,7	2,2	10,2	40,6
Ammonium	mg/l	27	0,1	34,0	3,3	0,2	0,9	2,5
Cyanid (ges)	mg/l	73	0,002	2,87	0,10	0,01	0,03	0,05
As	mg/l	133	0,0001	9,2	0,129	0,001	0,004	0,100
Sb	mg/l	38	0,0005	0,73	0,07	0,005	0,01	0,08
Se	mg/l	6	0,001	0,0	0,005	0,001	0,004	0,010
Cd	mg/l	163	0,00	57,1	1,50	0,001	0,01	0,10
Cr ges	mg/l	120	0,00	3,19	0,26	0,01	0,05	0,34
Cr VI	mg/l	96	0,01	2,5	0,14	0,01	0,05	0,1
Cu	mg/l	137	0,002	15,4	0,59	0,02	0,07	0,828
Ni	mg/l	132	0,00	5	0,22	0,01	0,02	0,20
Pb	mg/l	159	0,01	9851	79,43	0,08	1,10	29,2
Hg	mg/l	132	0,0001	27,4	0,28	0,0005	0,0020	0,0400
Tl	mg/l	43	0,001	2,0	0,27	0,01	0,1	0,5
Zn	mg/l	156	0,001	1.490	35,11	0,04	1,00	5,7
V	mg/l	6	0,03	0,09	0,05	0,03	0,05	0,05
Sn	mg/l	55	0,0005	1,7	0,28	0,009	0,1	0,76
PCB	mg/l	1	0,15	0,15	0,15	0,00	0,15	0,15
PAK	mg/l	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOC	mg/l	29	0,1	349	48,7	1,9	9,0	35,4
Phenolindex	mg/l	26	0,005	486	28,8	0,02	0,1	0,2
DOC	mg/l	39	0,1	542,94	56,2	8,288	21,56	60,5

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

Feststoffgehalte:

Tabelle 1-17 Feststoffgehalte der Abfallart 19 01 07

Parameter	Einheit	N	Min	Max	Mittelw.	20 Per- centil	Median	80 Per- centil
As	mg/kg	210	0,0	379	25,5	2,0	15,0	39,2
Sb	mg/kg	207	0,2	10.300	418	20,8	210	502
Selen	mg/kg	67	0,1	249	28,9	2,4	40,0	40,0
Cd	mg/kg	279	0,1	762	163	6	141	273
Thallium	mg/kg	170	0,0	58	4,6	0,5	1,0	10,0
Cr ges	mg/kg	150	1,0	610	92	4	50	148
Cr VI	mg/kg	58	0,1	300	15,0	0,3	0,5	5,0
Ni	mg/kg	208	1,0	3.429	65	5	27	70
Pb	mg/kg	320	0,3	15.000	3.102	286	2.761	5.132
Hg	mg/kg	220	0,0	5.498	73,0	1,0	10,0	31,2
Cu	mg/kg	193	1,0	35.012	763	32	439	910
Zn	mg/kg	265	0,6	61.310	8.749	566	7.400	14.922
Fe	mg/kg	38	100,0	24.000	8.208	2.360	8.500	13.000
Sn	mg/kg	158	1,00	3.029	382	20	247	650
V	mg/kg	26	1,00	55	16	2,0	10,5	27
PCB (LAGA)	mg/kg	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
PCB	mg/kg	37	0,000100	0,1	0,01	0,01	0,01	0,01
PAK	mg/kg	20	0,01	15,1	1,8	0,22	1,60	1,60
BaP	mg/kg	15	0,000	0,2	0,10	0,02	0,10	0,20
PCDD/F	µg/kg	131	0,0001	19,0	1,29	0,18	0,62	1,73
2378 TCDD	µg/kg	33	0,0011	4,10	0,86	0,138	0,34	1,43
TOC	%	159	0,01	26,40	2,09	0,18	0,99	2,43
MKW	mg/kg	32	0,01	1.310	69,2	10,0	10,0	50,0
BTEX	mg/kg	12	0,03	0,25	0,20	0,11	0,25	0,25
LHKW	mg/kg	10	0,01	0,15	0,11	0,05	0,15	0,15
EOX	mg/kg	26	0,08	60,0	6,2	1,00	1,95	6,0
Cyanide ges.	mg/kg	45	0,01	2,23	0,62	0,5	0,50	0,62
Trockensubs.	%	78	31,98	100,00	94,27	93,50	98,80	99,40
Schüttdichte	g/cm ³	80	0,29	1,1	0,55	0,40	0,50	0,63
Stampfdichte	g/cm ³	78	0,41	1,90	0,78	0,59	0,73	0,94
Heizwert	kJ/kg	0,00	0	0	0	0	0	0
Glühverlust	%	128	0,01	27,3	6,8	2,7	5,6	10,2
Flügelscherf.	kN/m ²	3	42,2	169,0	88,1	46,6	53,1	122,6
Einaxiale Druckfestig- keit	kN/m ²	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k. A.: keine Angaben

19 01 11* Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken, die gefährliche Stoffe enthalten

Zusammensetzung:

Bei Abfällen, die dieser Schlüsselnummer zugeordnet werden, handelt es sich insbesondere um Aschen aus Sonderabfallverbrennungsanlagen. MVA-Aschen bilden ein inhomogenes Stoffgemisch, bestehend aus Aschen (45%), Schmelzprodukten (ca. 40%), materialspezifischen Komponenten (ca. 10%) und Metallen bzw. Metalloxiden. Die Schmelzprodukte erscheinen als unregelmäßig geformte Gebilde, die sich aus einer silikatischen, glasigen Matrix zusammensetzen, in der kristalline Phasen zu erkennen sind. Die im Verbrennungsofen gebildeten Mineralphasen sind teilweise unter atmosphärischen Bedingungen nicht stabil. Unter teilweise exothermen Reaktionsbedingungen stellt sich ein neues Gleichgewicht ein, was bei Aschen, die auf Deponien abgelagert werden, zu einer Temperaturerhöhung führt. Aschen aus Müllverbrennungsanlagen kommen hinsichtlich Ihrer Gesteinszusammensetzung vulkanischem Gestein sehr nahe. [Klein, 2002]

Hauptbestandteile von Müllverbrennungsaschen sind Siliciumdioxid mit Massenanteilen von ca. 30 %. Daneben finden sich Calciumoxid (ca. 15%) sowie Aluminiumoxid und Eisen-(III)-oxid mit Massenanteilen unter 10%.

Der Glühverlust liegt bei ca. 2%. Er setzt sich zu ca. 60% aus organischem Kohlenstoff zusammen. Den Rest bilden Carbonate und Hydratwasser [Klein 2002].

Datenlage: überwiegend gut bis sehr gut

Konsistenz: fest

Gefahrenmerkmale:

Mediane:

Nach den Hinweisen zur Anwendung der AVV ist der Abfall als umweltgefährlich aufgrund seiner Toxizität für Wasserorganismen einzustufen (H14). Darüber hinaus ist er aufgrund seines Antimon- und Selengehaltes im Eluat nach den Hinweisen zur Anwendung der AVV als gefährlich einzustufen (H13). Die Probenanzahl der Selenuntersuchungen ist allerdings gering, so dass diese Einstufung unter Vorbehalt erfolgt.

80-Perzentile:

Gem. AVV ist der Abfall als „sehr giftig“ (H6) und „kanzerogen“ (H 7), nach den Hinweisen zur Anwendung der AVV ist er als umweltgefährlich aufgrund seiner Toxizität für Wasserorganismen einzustufen (H14). Darüber hinaus ist er aufgrund seines Antimon-, Molybden- und Selengehaltes im Eluat nach den Hinweisen zur Anwendung der AVV als gefährlich einzustufen.

Im Leuchtbakterientest erwies sich das Eluat von Abfallverbrennungsaschen als toxisch. Ebenfalls ergab sich im Hemmtest nach Offhaus eine Toxizität bei Abwasserbakterien [Brasser].

Gasbildungspotential:

Gegenüber dem Gasbildungspotential von Hausmüllverbrennungsanlagen ist das Gasbildungspotential von Aschen aus der Sonderabfallverbrennung deutlich geringer (siehe Tabelle 1-18). Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass der Sonderabfallverbrennung deutlich geringere Mengen an Aluminium zugeführt werden.

Tabelle 1-18 Gasbildungspotential von 10 Schlackeproben einer Sonderabfallverbrennungsanlage

Einheit	N	Min.	Max.	Mittelw.	20 Per-centil	Median	80 Per-centil
l/kg*72 h	10	0,30	5,50	2,30	0,56	0,56	3,96

Eluatgehalte

Tabelle 1-19 Eluatgehalte der Abfallart 19 01 11

Parameter	Einheit	N	Min	Max	Mittelw.	20 Per- centil	Median	80 Per- centil
pH-Wert		41	4,7	12,5	10,1	8,8	10,4	11,5
Leitfähigkeit	µS/cm	41	12	37.000	4.114	370	1.275	6.380
Chlorid	mg/l	14	10	49.075	8.895	31	388	17.220
Sulfat	mg/l	16	89,7	13.970	3.994	338	1.180	10.558
Fluorid	mg/l	21	0,09	7,0	0,95	0,20	0,50	0,96
Nitrat	mg/l	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
Ammonium	mg/l	8	0,02	1,9	0,4	0,0	0,1	0,6
Cyanid (ges)	mg/l	73	0,005	0,50	0,05	0,01	0,05	0,05
As	mg/l	28	0,0001	9,2	0,45	0,001	0,009	0,036
Sb	mg/l	6	0,001	1	0,50	0,010	0,51	1
Se	mg/l	3	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,
Cd	mg/l	132	0,0001	4,3	0,11	0,001	0,01	0,05
Cr ges	mg/l	104	0,001	1.450	16,7	0,01	0,02	0,10
Cr VI	mg/l	76	0,002	2,9	0,24	0,01	0,05	0,1
Cu	mg/l	125	0,002	596	5,35	0,01	0,02	0,1
Ni	mg/l	126	0,001	645	5,55	0,01	0,02	0,10
Pb	mg/l	133	0,001	97	1,6	0,01	0,04	0,2
Hg	mg/l	119	0,0001	1,0	0,01	0,0002	0,0010	0,0020
Tl	mg/l	41	0,001	1,0	0,13	0,005	0,05	0,1
Zn	mg/l	129	0,002	246	3,46	0,01	0,05	0,2
V	mg/l	49	0,005	2	0,24	0,01	0,1	0,2
Sn	mg/l	35	0,005	10,0	0,42	0,01	0,1	0,1
PCB	mg/l	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
PAK	mg/l	5	0,20	248	50,2	0,53	1,00	50,40
TOC	mg/l	7	1,0	13	4,6	1,6	2,4	7,0
Phenolindex	mg/l	1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
DOC	mg/l	10	1,4	60,1	21,1	4,6	12,8	31,4

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k. A.: keine Angaben

Feststoffgehalte:

Tabelle 1-20 Feststoffgehalte der Abfallart 19 01 11

Parameter	Einheit	N	Min	Max	Mittelw.	20 Per- centil	Median	80 Per- centil
As	mg/kg	27	0,1	82	21,1	1,3	13,8	31,9
Sb	mg/kg	24	0,3	2.450	368	5,0	62	566
Selen	mg/kg	5	0,6	4	1,5	0,7	1,0	2,0
Cd	mg/kg	29	0,5	406	46	1,0	3,0	21
Thallium	mg/kg	20	0,1	21	2,1	0,5	0,5	1,1
Cr ges	mg/kg	34	20,9	9.138	919	143	408	1.132
Cr VI	mg/kg	1	1,0	1	1,0	1,0	1,0	1,0
Ni	mg/kg	30	1,0	31.505	1.956	104	398	966
Pb	mg/kg	30	2,0	19.000	2.268	102	223	1.402
Hg	mg/kg	27	0,0	8	0,9	0,1	0,1	0,8
Cu	mg/kg	24	67,0	43.540	3.392	274	960	2.611
Zn	mg/kg	32	199,0	198.850	12.587	1.339	4.511	9.682
Fe	mg/kg	1	11.000	11.000	11.000	11.000	11.000	11.000
Sn	mg/kg	15	5,00	4.199	756	9	78	1.210
V	mg/kg	5	100	950	397	100,0	320,0	601
PCB (LAGA)	mg/kg	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
PCB	mg/kg	12	0,0006	0,5	0,11	0,01	0,03	0,10
PAK	mg/kg	31	0,00	4,3	0,8	0,05	0,20	1,60
BaP	mg/kg	15	0,001	0,5	0,05	0,01	0,02	0,04
PCDD/F	µg/kg	11	0,0001	0,2	0,04	0,001	0,01	0,07
2378 TCDD	µg/kg	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
TOC	%	64	0,01	12,55	2,23	0,10	0,95	4,48
MKW	mg/kg	14	8,00	170	51,5	19,2	24,0	64,0
BTEX	mg/kg	4	0,01	1,31	0,40	0,03	0,15	0,67
LHKW	mg/kg	5	0,01	0,27	0,10	0,02	0,03	0,17
EOX	mg/kg	10	0,20	2,0	1,4	0,90	1,43	2,0
Cyanide ges.	mg/kg	50	0,01	20,00	1,26	0,1	0,30	0,74
Trockensubs.	%	22	31,90	100,00	81,5	77,3	84,3	99,2
Schüttdichte	g/cm ³	13	0,38	1,6	1,05	0,76	1,03	1,39
Stampfdichte	g/cm ³	13	0,64	1,73	1,29	0,98	1,34	1,65
Heizwert	kJ/kg	4	500	3.130	1.158	500	500	1.552
Glühverlust	%	80	0,01	22,5	3,7	0,5	2,1	5,7
Flügelscherf.	kN/m ²	2	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
Axiale Verf.	%	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
Einax. Druckf.	kN/m ²	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k. A.: keine Angaben

19 01 12 Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 01 11 fallen

Zusammensetzung:

Dieser Schlüsselnummer werden überwiegend MVA-Aschen zugeordnet. Hauptbestandteile des Abfalls sind Siliciumdioxid und Calciumoxid mit Massenanteilen von jeweils 25 - 30 %. Daneben finden sich Aluminiumoxid, Eisen-(III)-oxid und Natriumchlorid mit Massenanteilen jeweils unter 10%. Der hohe Eisenanteil ist auf Reste von Eisenmetallen, die von der Metallabscheidung nicht erfasst wurden zurückzuführen. Unbehandelte MVA-Asche weist wesentlich höhere Eisenanteile auf [Bongard, Kneib 1995].

Aufgrund sinkender Schadstoffgehalte im Hausmüll ist davon auszugehen, dass die Schwermetallgehalte in MVA-Aschen tendenziell zurückgehen. Dies bestätigen Vergleiche zu älteren Quellen [z.B. Reimann 1990], die deutlich höhere Schwermetallgehalte in den MVA-Aschen ausweisen. Auch die Belastungen an PCDD/F sind in den vergangenen Jahren gesunken. [Bongard, Kneib 1995] geben für MVA-Asche PCDD/F-Gehalte von 60 – 600 ngTE/kg an. Nach den Daten aus ABANDA liegt der Median des PCDD/F-Wertes bei 10 ngTE/kg.

Müllverbrennungsasche weist eine geringere Widerstandskraft gegen Schlag auf als beispielsweise Kies. Bei in Schichten aufgebracht MVA-Asche vollzieht sich durch die in der Asche vorliegenden Kalk, Kieselsäure, Tonerde und Fe-Oxide ein schwacher Abbindevorgang, der zu einem Ansteigen der Festigkeit und Stabilität sowie zu einer Verringerung der Durchlässigkeit führt.[Bongard, Kneib 1995].

Datenlage: überwiegend sehr gut

Konsistenz: fest

Gefahrenmerkmale:

Mediane und 80 Percentile:

Nach den Hinweisen zur Anwendung der AVV ist der Abfall als umweltgefährlich aufgrund seiner Toxizität für Wasserorganismen einzustufen (H14).

Im Leuchtbakterientest erwies sich das Eluat von Abfallverbrennungsaschen als toxisch. Ebenfalls ergab sich im Hemmtest nach Offhaus eine Toxizität bei Abwasserbakterien [Braser].

Gasbildungspotential:

Schlacke aus Abfallverbrennungsanlagen, insbesondere frische Schlacke, verfügt über eine hohe Wasserstoffbildungsrate. Dies ist darauf zurückzuführen, dass das in der Schlacke enthaltene Aluminium unter Wasserstoffbildung zur Aluminiumhydroxid verwittert. Dieser Prozess läuft an feinen Aluminiumkörnern innerhalb kürzester

Zeit ab, wohingegen sich an größeren Körnern eine passivierende Hydroxidschicht bilden kann [BLfU 2002].

Hinsichtlich der maximal möglichen Wasserstoffbildungsraten von Hausmüllverbrennungsaschen wurden Versuche von Huber durchgeführt. Bei unbehandelter Schlacke konnte während der ersten 50 Tage ein rasches Ansteigen auf ca. 5 m³/Mg TS Schlacke verzeichnet werden. Nach 9 Monaten betrug die Bildungsrate 27 m³/Mg TS. [Huber 1998]. Zu deutlich geringeren Bildungsraten kommt Magel mit 0,44 m³/Mg bei Frischschlacke bzw. 0,26 m³/Mg bei 12 Jahre alter Schlacke [Magel].

Hagemann stellte bei insgesamt 8 Proben von Aschen aus Abfallverbrennungsanlagen Gasbildungspotentiale zwischen 0,16 und 12,2 m³/Mg Abfall fest. Das geringste Gasbildungspotential zeigte eine Schlacke, die zuvor entschrottet worden war. Die Versuche erstreckten sich über eine Dauer von 28 Tagen. Danach war das Gasbildungspotential noch nicht abgeschlossen, so dass langfristig mit noch höheren Gasbildungsraten zu rechnen ist. Signifikante Unterschiede zwischen Aschen aus der Hausmüllverbrennung und der Sonderabfallverbrennung wurden nicht beobachtet. Bei CO₂ ermittelte Hagemann eine Gasbildungsrate von durchschnittlich 0,25 m³/Mg, bei CH₄ lag der Wert bei 0,003 m³/Mg [Hagemann 2006].

Erhöhte Salzgehalte verstärken den Korrosionsprozess der Al-Legierungen und damit die Wasserstoffbildung. Die Reaktion des Aluminiums hat neben der Wasserstoffgasbildung eine Vergrößerung des Volumens zur Folge [Klein 2002].

Wird MVA-Schlacke im Bergversatz eingesetzt, erfolgen nach Aussagen von Betreibern regelmäßige Untersuchungen des Abfalls auf das Gasbildungspotential. Der Median von 64 untersuchten Proben von MVA-Aschen, die im Bergversatz eingesetzt wurden, betrug 7,4 l/kg (Probezeit: 72 Stunden).

Tabelle 1-21 Gasbildungspotential von 64 Schlackeproben aus 6 verschiedenen Hausmüllverbrennungsanlagen

Einheit	N	Min.	Max.	Mittelw.	20 Per-centil	Median	80 Per-centil
l/kg*72 h	64	0,80	32,20	8,56	5,4	7,35	11

In der folgenden Tabelle wurden die Gasbildungspotentiale von MVA-Aschen nochmals zusammenfasst.

Tabelle 1-22 Gasbildungspotential von MVA-Aschen aus verschiedenen Quellen

Probenbezeichnung	Gasbildungs- potenzial [l/kg]	[N]	Entgasungs- zeit	Quelle
unbeh. MVA-Asche	27	k.A.	9 Monate	Huber 1998
unbeh. MVA-Asche	0,44	k.A.	k.A.	Magel
MVA-Asche 9 Monate alt	0,26	k.A.	k.A.	Magel
MVA-Asche	0,16-12,2	8	28 d	Hagemann 2006
MVA-Asche	0,8-32,2	64	72 h	

k.A.: keine Angaben

Eluatgehalte:

Tabelle 1-23 Eluatgehalte der Abfallart 19 01 12

Parameter	Einheit	N	Min	Max	Mittelw.	20 Per- centil	Median	80 Per- centil
pH-Wert		268	6,0	13,3	11,0	10,0	11,1	12,4
Leitfähigkeit	µS/cm	43	90	23.800	5.401	1.177	2.790	9.560
Chlorid	mg/l	204	1	1.270	143	54	95	173
Sulfat	mg/l	206	2,5	2.210	313	65	205	400
Fluorid	mg/l	73	0,02	53,0	1,59	0,10	0,29	0,80
Nitrat	mg/l	43	0,01	43,0	3,0	0,1	0,5	1,6
Ammonium	mg/l	52	0,01	5,0	0,5	0,1	0,2	0,7
Cyanid (ges)	mg/l	50	0,001	0,38	0,02	0,01	0,01	0,02
As	mg/l	131	0,0001	0,2	0,009	0,001	0,005	0,008
Sb	mg/l	22	0,001	0,07	0,02	0,005	0,01	0,028
Se	mg/l	15	0,001	0,02	0,006	0,001	0,005	0,010
Cd	mg/l	173	0,00	48,0	0,28	0,001	0,00	0,01
Cr ges	mg/l	93	0,001	3,80	0,08	0,01	0,01	0,04
Cr VI	mg/l	99	0,001	8,5	0,13	0,001	0,01	0,05
Cu	mg/l	229	0,001	31	0,25	0,01	0,07	0,2
Ni	mg/l	124	0,001	2	0,04	0,01	0,01	0,05
Pb	mg/l	234	0,001	35	1,14	0,01	0,04	0,5
Hg	mg/l	96	0,0001	2,3	0,02	0,0002	0,0005	0,0006
Tl	mg/l	19	0,001	0,1	0,01	0,002	0,01	0,014
Zn	mg/l	173	0,001	2.400	14,01	0,01	0,05	0,1
V	mg/l	28	0,002	1	0,07	0,005	0,015	0,05
Sn	mg/l	26	0,005	7,0	0,33	0,006	0,025	0,1
PCB	mg/l	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
PAK	mg/l	2	0,24	2,00	1,12	0,59	1,12	1,65
TOC	mg/l	39	0,3	970	35,9	2,2	8,0	18,7
Phenolindex	mg/l	47	0,00001	0,22	0,04	0,01	0,02	0,05
DOC	mg/l	10	0,14	59	22,9	7,1	15,5	39,0

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k. A.: keine Angaben

Feststoffgehalte:

Tabelle 1-24 Feststoffgehalte der Abfallart 19 01 12

Parameter	Einheit	N	Min	Max	Mittelw.	20 Per- centil	Median	80 Per- centil
As	mg/kg	88	0,1	92	21,6	5,4	17,3	31,0
Sb	mg/kg	51	5,0	791	73	10,8	18	50
Selen	mg/kg	35	0,1	71	18,3	2,0	11,0	33,4
Cd	mg/kg	102	0,2	570	22	3	5	19
Thallium	mg/kg	51	0,1	93	4,2	0,5	0,7	2,0
Cr ges	mg/kg	93	0,3	10.000	514	57	175	456
Cr VI	mg/kg	15	0,1	100	7,5	0,1	0,3	1,7
Ni	mg/kg	111	2,0	25.780	502	57	124	345
Pb	mg/kg	109	1,0	50.000	1.761	138	415	2.096
Hg	mg/kg	62	0,01	38	2,2	0,1	0,4	1,9
Cu	mg/kg	113	3,0	65.450	3.063	381	1.075	3.085
Zn	mg/kg	106	11,0	53.000	4.097	1.125	2.635	5.256
Fe	mg/kg	19	18.000,0	230.000	62.967	39.000	46.000	70.500
Sn	mg/kg	22	2,39	1.974	391	71	167	367
V	mg/kg	42	5,00	3.200	217	26,0	47,0	88
PCB (LAGA)	mg/kg	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
PCB	mg/kg	7	0,001	0,1	0,03	0,01	0,02	0,06
PAK	mg/kg	6	0,00	4,2	1,4	0,01	0,01	4,22
BaP	mg/kg	12	0,00001	0,2	0,04	0,004	0,01	0,02
PCDD/F	µg/kg	7	0,0026	0,3	0,07	0,004	0,01	0,12
2378 TCDD	µg/kg	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
TOC	%	79	0,00003	6,00	1,62	0,60	1,14	2,81
MKW	mg/kg	16	0,84	720	102,0	10,0	35,0	141,0
BTEX	mg/kg	2	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
LHKW	mg/kg	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
EOX	mg/kg	70	0,10	3,4	1,3	0,50	1,15	2,0
Cyanide ges.	mg/kg	12	0,05	3,08	0,97	0,1	0,50	2,14
Trockensubs.	%	19	53,1	99,9	84,6	72,8	85,4	98,8
Schüttdichte	g/cm ³	5	0,40	1,5	0,87	0,40	1,04	1,13
Stampfdichte	g/cm ³	5	0,56	1,80	1,13	0,56	1,37	1,46
Heizwert	kJ/kg	4	100	100	100	100	100	100
Glühverlust	%	102	0,02	30,9	3,7	1,0	2,7	4,8
Flügelscherf.	kN/m ²	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
Axiale Verf.	%	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
Einax. Druckf.	kN/m ²	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k. A.: keine Angaben

19 01 13* Filterstaub, der gefährliche Stoffe enthält

Dieser Abfallart zugeordnet werden insbesondere Stäube aus Hausmüll- und Klärschlammverbrennungsanlagen, Biomasseheizkraftwerken und Sonderabfallverbrennungsanlagen.

Die folgenden Daten beziehen sich auf Analysen zu allen genannten Stäuben.

Im Anschluss daran werden auch Daten zu Biomassekraftwerken und Sonderabfallverbrennungsanlagen angegeben.

Zusammensetzung:

Hauptbestandteile des Abfalls sind Siliciumdioxid, Calciumoxid und Calciumsulfat jeweils mit Massenanteilen im Bereich von 16%. Daneben finden sich Natriumchlorid, Aluminiumoxid und Kaliumchlorid (Massenanteile zwischen 5 % und 10%). Eisen, Zink und Blei sind ebenfalls in relevanten Mengen enthalten (siehe Tabelle Feststoffgehalte).

Datenlage: überwiegend sehr gut

Konsistenz: fest

Gefahrenmerkmale:

Mediane:

Nach den Hinweisen zur Anwendung der AVV ist der Abfall als umweltgefährlich aufgrund seiner Toxizität für Wasserorganismen einzustufen (H14). Darüber hinaus ist er aufgrund seines Molybdengehaltes im Eluat nach den Hinweisen zur Anwendung der AVV als gefährlich einzustufen (H13).

80-Percentile:

Gem. AVV ist der Abfall als teratogen (H 10), nach den Hinweisen zur Anwendung der AVV ist er als umweltgefährlich aufgrund seiner Toxizität für Wasserorganismen einzustufen (H14). Darüber hinaus ist er aufgrund seines Molybden- und Bleigehaltes im Eluat nach den Hinweisen zur Anwendung der AVV als gefährlich einzustufen.

Untersuchungen auf die Phytotoxizität (Blattwachstumstest von Lemna minor) von Eluaten, die aus Filterstäuben von Sonderabfallverbrennungsanlagen gebildet wurden, ergaben im Gegensatz zu Eluaten aus Filterstäuben von Hausmüllverbrennungsanlagen ein akute Gefährdung. Die Untersuchungen wurden mit Salzlaugen durchgeführt, um Verhältnisse bei der Ablagerung im Salzgestein zu simulieren. Eine akute Toxizität trat schon bei einer Verdünnung des Eluates von 1:2.000 auf, so dass von den Autoren eine Vorbehandlung empfohlen wurde. Auch im Leuchtbakterientest (Microtox) und im Hemmtest (nach Offhaus) reagierte das Eluat toxisch.

Eine Genotoxizität des Eluates wurde ebenfalls nachgewiesen (Test Mutatox) [Brasser].

Bei Filterstäuben von Hausmüllverbrennungsanlagen wurde eine Ökotoxizität nur beim Leuchtbakterientest (Microtox) festgestellt [Brasser].

Gasbildungspotential:

Die Aussagen zum Gasbildungspotential von MVA-Aschen treffen grundsätzlich auch auf Filterstäube aus Abfallverbrennungsanlagen zu. Insbesondere in Stäuben aus Hausmüllverbrennungsanlagen ist Aluminium enthalten, das ein erhebliches Gasbildungspotential hervorruft.

Allerdings ist das Gasfreisetzungverhalten von Filterstäuben aus Abfallverbrennungsanlagen deutlich geringer als das von MVA-Aschen. Neun von 16 Proben zeigten bei Hagemann eine Gasfreisetzung von weniger als 0,5 m³/Mg. Bei den übrigen sieben Proben wurden Gasmengen von 0,5 bis 4 m³/Mg festgestellt. Ein spezifischer Unterschied der gebildeten Gasmenge zwischen Rückständen aus der Sonderabfallverbrennung und der Hausmüllverbrennung war nicht zu erkennen. Hauptreaktionsstoff war Wasserstoff. Kohlendioxid spielte mit Bildungsmengen von durchschnittlich 0,11 m³/Mg nur eine geringe Rolle. Auch die Freisetzungsrate von CH₄ ist mit durchschnittlich 0,012 m³/Mg sehr gering. Eine Konditionierung der Filterstäube bei den untersuchten Proben ergab eine Reduktion der Gasbildung im Bereich von 50 bis 85% [Hagemann 2006].

Nach Auskunft von Betreibern von Untertagedeponien und Versatzbergwerken führen diese regelmäßig Untersuchungen zum Gasbildungspotential von MVA-Filterstäuben durch. Daten von einem Unternehmen, das Filterstäbe im Bergversatz einsetzt, zeigen Wasserstoffbildungsraten bei MVA-Filterstäuben von 2,2 bis 6,5 m³/Mg für einen Zeitraum von 72 h. Es handelt sich um Mittelwerte aus 8 verschiedenen Verbrennungsanlagen. Die Werte liegen damit deutlich über den von Hagemann ermittelten Daten.

Beim Vorhandensein von Ammoniumsalzen in den Abfällen ist bei Kontakt mit Wasser mit der Freisetzung von Ammoniak zu rechnen (siehe hierzu auch die Ausführungen zu Nr. 19 01 07).

Eluatgehalte

Tabelle 1-25 Eluatgehalte der Abfallart 19 01 13

Parameter	Einheit	N	Min	Max	Mittelw.	20 Per- centil	Median	80 Per- centil
pH-Wert		485	4,9	13,6	10,8	9,4	11,2	12,3
Leitfähigkeit	µS/cm	154	36	74.500	25.635	8.864	22.800	41.120
Chlorid	mg/l	204	4	30.000	6.079	226	4.435	9.432
Sulfat	mg/l	188	1	16.500	2.609	1.028	2.208	3.400
Fluorid	mg/l	283	0,01	25,7	4,37	0,73	3,30	6,50
Nitrat	mg/l	57	0,1	184,0	12,0	0,5	1,0	10,0
Ammonium	mg/l	70	0,1	64,4	2,8	0,1	0,2	1,2
Cyanid (ges)	mg/l	143	0,004	0,20	0,03	0,01	0,01	0,05
As	mg/l	214	0,0001	48,0	0,289	0,001	0,004	0,040
Sb	mg/l	83	0,0001	71	0,94	0,005	0,01	0,05
Se	mg/l	27	0,001	0,5	0,026	0,001	0,005	0,010
Cd	mg/l	330	0,00	118,0	3,33	0,002	0,01	0,06
Cr ges	mg/l	263	0,00	27,60	0,54	0,01	0,06	0,45
Cr VI	mg/l	160	0,0001	58,4	1,16	0,01	0,10	0,5
Cu	mg/l	282	0,001	19,1	0,41	0,01	0,03	0,1
Ni	mg/l	222	0,00	457	2,20	0,01	0,02	0,10
Pb	mg/l	331	0,00	380	13,39	0,05	0,35	10,0
Hg	mg/l	272	0,0000	2,0	0,02	0,0003	0,0010	0,0021
Tl	mg/l	80	0,001	2,0	0,12	0,0046	0,01	0,1
Zn	mg/l	330	0,001	4.974	93,30	0,02	0,41	3,0
V	mg/l	31	0,001	10,6	0,66	0,05	0,05	0,07
Sn	mg/l	112	0,005	1,1	0,22	0,012	0,1	0,18
PCB	mg/l	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
PAK	mg/l	1	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58
TOC	mg/l	56	0,1	257	16,2	1,2	5,0	11,0
Phenolindex	mg/l	1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
DOC	mg/l	85	0,1	179	17,2	3,48	8,5	20,8

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k. A.: keine Angaben

Feststoffgehalte:

Tabelle 1-26 Feststoffgehalte der Abfallart 19 01 13

Parameter	Einheit	N	Min	Max	Mittelw.	20 Per- centil	Median	80 Per- centil
As	mg/kg	329	0,1	3.012	91,0	10,0	30,0	91,4
Sb	mg/kg	316	0,4	5.650	570	30,0	372	877
Selen	mg/kg	72	0,0	112	22,3	1,0	20,0	40,0
Cd	mg/kg	534	0,3	2.062	248	13	215	397
Thallium	mg/kg	255	0,1	93	4,9	0,5	1,0	5,1
Cr ges	mg/kg	273	1,0	3.600	348	118	216	448
Cr VI	mg/kg	79	0,1	2.112	52,6	0,2	1,0	26,6
Ni	mg/kg	354	1,0	3.707	199	42	88	210
Pb	mg/kg	596	2,6	53.500	5.590	763	4.542	8.504
Hg	mg/kg	324	0,0	478	8,8	0,1	1,2	8,6
Cu	mg/kg	303	11,0	18.320	1.481	509	1.011	1.859
Zn	mg/kg	509	90,0	201.261	19.891	4.569	17.270	30.646
Fe	mg/kg	49	4.000,0	279.000	40.796	9.680	20.000	47.280
Sn	mg/kg	234	0,30	17.400	1.004	145	637	1.341
V	mg/kg	56	4,00	3.267	174	22,0	53,0	110
PCB (LAGA)	mg/kg	1	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
PCB	mg/kg	60	0,000001	0,5	0,02	0,01	0,01	0,01
PAK	mg/kg	29	0,01	30,1	2,4	0,21	1,60	1,60
BaP	mg/kg	26	0,001	0,1	0,04	0,01	0,04	0,10
PCDD/F	µg/kg	161	0,0001	14,2	1,44	0,17	0,78	2,08
2378 TCDD	µg/kg	87	0,0001	1,03	0,06	0,001	0,03	0,09
TOC	%	213	0,01	22,50	1,49	0,19	0,80	2,00
MKW	mg/kg	70	0,10	498	36,8	5,0	10,0	45,6
BTEX	mg/kg	19	0,01	0,25	0,22	0,25	0,25	0,25
LHKW	mg/kg	15	0,01	0,15	0,14	0,15	0,15	0,15
EOX	mg/kg	38	0,20	70,0	9,9	0,50	1,04	15,6
Cyanide ges.	mg/kg	61	0,04	6,72	0,75	0,1	0,50	0,64
Trockensubs.	%	99	66,27	100,00	97,07	97,58	99,50	99,90
Schüttdichte	g/cm ³	108	0,13	1,5	0,66	0,44	0,58	0,88
Stampfdichte	g/cm ³	105	0,17	1,75	0,87	0,63	0,81	1,12
Heizwert	kJ/kg	11	100	100	100	100	100	100
Glühverlust	%	213	0,05	40,7	4,4	1,2	3,6	6,2
Flügelscherf.	kN/m ²	2	3,2	5,1	4,2	3,6	4,2	4,7
Axiale Verf.	%	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
Einax. Druckf.	kN/m ²	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k. A.: keine Angaben

Filterstäube aus Biomassekraftwerken

Die beiden folgenden Tabellen enthalten Analysenwerte zu Filterstäuben und Flugaschen aus insgesamt 5 verschiedenen Biomasseheizkraftwerken. Die Daten stammen von einem Unternehmen, das Abfälle im Bergversatz einsetzt. Die Schad-

stoffgehalte liegen im Bereich der Angaben aus ABANDA, die die gesamte Abfallart umfassen. Teilweise liegen die Werte aber signifikant höher, z.B. bei Arsen und Blei im Feststoff. Die Werte für PCDD/F liegen dagegen deutlich darunetr.

Das Gasbildungspotential ist im Vergleich zu MVA-Filterstäuben relativ gering. Es liegt bei 0,1 m³/Mg in einem Zeitraum von 72 h.

Tabelle 1-27 Eluatgehalte von Filterstäuben aus Biomasseheizkraftwerken

Parameter	Einheit	N	Min	Max	Mittelw.	20 Per- centil	Median	80 Per- centil
pH-Wert		34	11,6	12,9	12,3	12,1	12,3	12,5
Leitfähigkeit	µS/cm	34	2.780	50.000	23.805	16.120	24.000	30.200
Chlorid	mg/l	7	2050	12.600	8.744	4.540	9.530	12.580
Sulfat	mg/l	7	1050	2.980	1.974	1.192	1.910	2.832
Fluorid	mg/l	6	1,30	4,8	3,0	1,7	2,75	4,7
As	mg/l	2	0,0020	0,0040	0,0030	0,0024	0,0030	0,0036
Cd	mg/l	1	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Cr VI	mg/l	14	0,05	7	1,1	0,05	0,05	1,4
Cu	mg/l	28	0,005	0,25	0,08	0,03	0,09	0,11
Ni	mg/l	1	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Pb	mg/l	28	0,01	280	102	42,8	76,0	178,0
Hg	mg/l	1	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
Zn	mg/l	28	0,01	14	4,30	2,68	3,95	4,96

Feststoffgehalte:

Tabelle 1-28 Feststoffgehalte von Filterstäuben aus Biomasseheizkraftwerken

Parameter	Einheit	N	Min	Max	Mittelw.	20 Per- centil	Median	80 Per- centil
As	mg/kg	31	39,0	530	94,4	48,0	78,0	99,0
Sb	mg/kg	29	88,0	1.200	426	136	360	736
Selen	mg/kg	1	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Cd	mg/kg	31	25,0	300	127	77	120	170
Thallium	mg/kg	14	0,5	11	2,3	0,5	1,2	3,4
Cr ges	mg/kg	33	38,0	16.400	650	88	130	232
Cr VI	mg/kg	29	1,0	71	5,8	1,0	1,0	5,0
Ni	mg/kg	30	5,0	7.900	288	11	21	30
Pb	mg/kg	34	2.800	14.000	7.528	4.708	6.800	9.940
Hg	mg/kg	30	1,8	26	11,8	7,5	10,0	16,2
Cu	mg/kg	33	180	810	398	288	350	534
Zn	mg/kg	31	7.690	36.100	19.704	11.200	18.500	29.100
Fe	mg/kg	10	920,0	128.000	19.593	3.120	7.150	12.440
Sn	mg/kg	16	63,0	332	207	160	185	270
V	mg/kg	12	3,0	44	14	6,6	11,5	15
PCDD/F	µg/kg	13	0,00034	0,17	0,0048	0,0013	0,0041	0,0065
2378 TCDD	µg/kg	12	0,00008	0,0025	0,0007	0,0001	0,0004	0,0014
TOC	%	33,0	0,10	14,0	5,3	1,0	4,9	8,4
Trockensubs.	%	34	61,0	100,0	98,0	99,0	99,7	100
Glühverlust	%	34	1,0	18,0	6,3	2,0	4,5	12,4

Filterstäube aus Sonderabfallverbrennungsanlagen

Die folgende Tabelle enthält Daten zur Zusammensetzung eines Filterstaubes aus einer Sonderabfallverbrennungsanlage [Schmidt 2000]. Die Schwermetallkonzentrationen liegen deutlich über den Angaben aus ABANDA, die die gesamte Schlüsselnummer umfassen.

Tabelle 1-29 Feststoffgehalte eines Filterstaubes aus einer Sonderabfallverbrennungsanlage

Parameter	Einheit	Wert
As	mg/kg	82
Sb	mg/kg	645
Cd	mg/kg	166
Cr ges	mg/kg	1.603
Ni	mg/kg	1.244
Pb	mg/kg	9.337
Cu	mg/kg	5.084
Zn	mg/kg	35.621
Sn	mg/kg	923
V	mg/kg	831

Anhang 3: Beschreibung der Abfallarten, die nicht vertiefend betrachtet wurden

A3-1 Vorbemerkung

Das folgende Kapitel enthält eine Beschreibung der im Rahmen des Forschungsprojektes betrachteten Abfallarten nach Schadstoffgehalten im Eluat und im Feststoff, chemisch-physikalischen Eigenschaften und Gefahrenmerkmalen.

Eine wesentliche Datengrundlage für die Ermittlung der Schadstoffgehalte stellte die Abfallanalysedatenbank ABANDA des Landesumweltamtes Nordrhein-Westfalen dar [ABANDA]. Zur Ergänzung von Datenlücken oder zur Prüfung der Plausibilität wurden darüber hinaus verschiedene Literaturquellen ausgewertet.

Um die erfassten Daten auf ein überschaubares Maß zu reduzieren, wurden für die einzelnen Abfallarten nur bestimmte Schadstoffparameter in Feststoff und Eluat (DEV S4) dargestellt. Die Auswahl richtete sich dabei auf karzinogene Parameter (As, Cd, Cr, Ni, PCB, PAK), toxische Parameter (PB, Hg,) und Parameter, die in der Bergversatzverordnung in Zusammenhang mit dem Vorrang zur Rückgewinnung von Metallen genannt werden. Darüber hinaus wurde der Summenparameter TOC berücksichtigt. Soweit nicht anders genannt, wurde der Median (50-Perzentil) angegeben. Zur Beschreibung der physikalisch/chemischen Eigenschaften wurden Parameter, wie z.B. Glühverlust, Festigkeitsparameter, Heizwert und Dichteparameter herangezogen. Die Daten zu Eluat und Feststoffgehalt werden tabellarisch dargestellt.

Zur Bestimmung von Gefahrenmerkmalen wurden u.a. die in der Abfallverzeichnisverordnung (AVV) für einige gefahrenrelevante Abfalleigenschaften (H3 bis H8, H10 und H11) genannten konkreten Gefahrenmerkmale mit Angabe des Flammpunktes bzw. Konzentrationsgrenzen herangezogen. Darüber hinaus wurden Konzentrati-

onswerte der „Hinweise zur Anwendung der Abfallverzeichnis-Verordnung“, in denen die gefahrenrelevante Abfalleigenschaften H 13⁴ und H 14⁵ genauer definiert werden berücksichtigt [Hinweise AVV 2005]. Die Einstufung nach H 13 erfolgt anhand der Kriterien in der folgenden Tabelle.

Tabelle 1-1 Kriterien zur Einstufung nach H 13 gem. den Hinweisen zur Anwendung der AVV

Parameter	Eluatkriterien zur Abgrenzung nach H13
Antimon	> 0,07 mg/l
Arsen	> 0,2 mg/l
Barium	> 10 mg/l
Blei	> 1 mg/l
Cadmium	> 0,1 mg/l
Chrom ges.	> 1 mg/l
Kupfer	> 5 mg/l
Molybden	> 1 mg/l
Nickel	> 1 mg/l
Quecksilber	> 0,02 mg/l
Selen	> 0,05 mg/l
Zink	> 5 mg/l
Fluorid	> 15 mg/l
Feststoffkriterien	
Kohlenwasserstoffe	> 8.000 mg/kg

Im Hinblick auf die Gefahrenrelevanz von organischen Inhaltsstoffen enthalten die Hinweise zur Anwendung der Abfallverzeichnisverordnung konkrete Vorgaben zur Einstufung anhand des Gehaltes an Benzo(a)pyren (Schwellenwert: 50 mg/kg), Benzol (Schwellenwert: 1000 mg/kg) und PCB (Schwellenwert: 10 mg/kg für die 6 PCB-Kongonere nach Ballschmiter). Allgemein gültige Grenzwerte, beispielsweise nach PCB-Abfallverordnung [PCB AbfallV 2000], wurden ebenfalls abgeprüft.

Dieselbe Vorgehensweise wurde im Rahmen des „Hazard Check“ gewählt, einem DV Hilfsinstrument zur Gefährlichkeitseinstufung von Abfällen, das in die Datenbank ABANDA integriert ist. Die Einstufung erfolgte für die Mediane der Abfallinhaltsstoffe.

Die Datenlage wird wie folgt bewertet:

< 5 Analysen:	schlecht
5-15 Analysen:	mäßig
15-30 Analysen:	gut
> 30 Analysen:	sehr gut

Zum Gasbildungspotential von Abfällen, die überwiegend untertägig abgelagert bzw. verwertet werden, lagen bis vor kurzem nur relativ wenige Erkenntnisse vor. Von

⁴ H13: Stoffe und Zubereitungen, die nach Beseitigung auf irgendeine Art die Entstehung eines anderen Stoffes bewirken können, z.B. ein Auslaugprodukt, das eine der Eigenschaften H1 bis H 12 aufweist.

⁵ H 14: umweltgefährlich

den im Rahmen dieses Forschungsvorhabens betrachteten Abfällen waren insbesondere Flugaschen und Aschen aus der Müllverbrennung relativ gut untersucht. Eine tiefer gehende systematische Analyse mit einer wesentlich breiteren Auswahl von Abfällen, wurde im Januar 2006 von der GRS vorgelegt [Hagemann 2006]. In der Studie wurden u.a. Salze und Flugaschen sowie Aschen aus der Müllverbrennung, Strahlmittelrückstände, Abfälle aus der thermischen Aluminiummetallurgie und ein Gemisch aus Bauschutt und Boden untersucht. Damit deckte die Untersuchung Abfallarten ab, die mengenmäßig weit über 95% der unter Tage deponierten Abfälle ausmachen. Grundsätzlich lässt sich sagen, dass Gasentwicklungsprozesse bei nahezu allen untersuchten Proben zu beobachten waren, wenn auch in stark unterschiedlicher Intensität. Dabei war die Bildung von Wasserstoffgas dominierend. Methan und Kohlendioxid ließen sich ebenfalls in signifikanten Mengen nachweisen.

Während unter neutralen Bedingungen Aluminium schnell von gut haftenden und dichten Oxidschichten eingehüllt werden, lösen sich diese in stärker alkalischen Lösungen unter Bildung von Hydroxokomplexen auf und hinterlassen ungeschützte Metalloberflächen, die weiter angegriffen werden. Ist ausreichend Chlorid vorhanden, wird die Oxid-Schutzschicht auf Al-Partikeln selbst bei neutralen pH-Werten instabil [Hagemann 2006].

A3-2 Daten zu den einzelnen Abfallschlüsselnummern

06 03 13* feste Salze und Lösungen, die Schwermetalle enthalten

Zusammensetzung:

Der Abfall kann erhebliche Mengen an Calcium (5%) und Magnesium (3%) enthalten.

Datenlage: überwiegend gut

Konsistenz: fest

Gefahrenmerkmale:

Aufgrund des Antimon Gehaltes von 0,2 mg/l im Eluat ist der Abfall nach H13 gem. Entwurf AVV VwV als gefährlich einzustufen.

Gasbildungspotential:

Zum Gasbildungspotential der Abfallart sind keine Untersuchungen bekannt.

Eluatgehalte (Mediane)

Tabelle 1-2 Eluatgehalte der Abfallart 06 03 13

Parameter	Wert [mg/l]	Anzahl Proben [N]
As	0,2	18
Cd	0,1	29
Cr	0,375	8
Ni	1	29
Pb	0,16	29
Hg	0,002	27
PCB	k.A.	
PAK	3,28	9
TOC	4,5	2

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

Feststoffwerte (Mediane)

Tabelle 1-3 Feststoffgehalte der Abfallart 06 03 13

Parameter	Einheit	Wert	Anzahl Proben [N]
As	mg/kg	4,04	16
Cd	mg/kg	3	17
Cr	mg/kg	699	17
Ni	mg/kg	12,85	18
Pb	mg/kg	30	18
Hg	mg/kg	0,1	15
Cu	mg/kg	3,5	9
Zn	mg/kg	49	18
Fe	mg/kg	10.000	1
Sn	mg/kg	17	7
PCB	mg/kg	0,008	4
PAK	mg/kg	0,03	9
TOC	%	0,43	7
Trockensubstanz	%	96,75	14
Schüttdichte	g/cm ³	0,9	5
Stampfdichte	g/cm ³	1,1	5
Heizwert	kJ/kg	5.660	3
Glühverlust	%	6,6	12
Flügelscherfestigkeit	kN/m ²	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

06 03 14 feste Salze und Lösungen mit Ausnahme derjenigen, die unter 06 03 11 und 06 03 13 fallen

Zusammensetzung:

Hauptbestandteile der Abfälle sind Natriumsulfat, Kaliumchlorid und Natriumchlorid. Der Gesamtchloridgehalt liegt im Bereich von 25% (ABANDA).

Datenlage: überwiegend gut

Konsistenz: fest

Gefahrenmerkmale:

keine

Gasbildungspotential:

Zum Gasbildungspotential der Abfallart sind keine Untersuchungen bekannt.

Eluatgehalte (Mediane)

Tabelle 1-4 Eluatgehalte der Abfallart 06 03 14

Parameter	Wert [mg/l]	Anzahl Proben [N]
As	0,01	11
Cd	0,1	45
Cr	0,05	24
Ni	0,1	42
Pb	0,2	45
Hg	0,012	45
PCB	k.A.	
PAK	0,57	3
TOC	5	4

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

Feststoffwerte (Mediane)

Tabelle 1-5 Feststoffgehalte der Abfallart 06 03 14

Parameter	Einheit	Wert	Anzahl Proben [N]
As	mg/kg	0,1	15
Cd	mg/kg	1	18
Cr	mg/kg	3	18
Ni	mg/kg	4	18
Pb	mg/kg	5	18
Hg	mg/kg	0,2	16
Cu	mg/kg	6	15
Zn	mg/kg	25	18
Fe	mg/kg	1.000	2
Sn	mg/kg	8	8
PCB	mg/kg	k.A.	
PAK	mg/kg	0,8	1
TOC	%	5	17
Trockensubstanz	%	k.A.	11
Schüttdichte	g/cm ³	0,79	8
Stampfdichte	g/cm ³	0,93	7
Heizwert	kJ/kg	12.800	3
Glühverlust	%	21	13
Flügelscherfestigkeit	kN/m ²	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

06 03 15* feste Salze und Lösungen mit Ausnahme derjenigen, die unter 06 03 11 und 06 03 13 fallen

Zusammensetzung:

Neben den in den Tabellen angegebenen Daten liegen keine Angaben zur Zusammensetzung vor.

Datenlage:

Eluat: überwiegend mäßig

Feststoff: überwiegend schlecht

Konsistenz: fest

Gefahrenmerkmale:

Gem. AVV ist der Abfall als „sehr giftig“ und „kanzerogen“ sowie als „ökotoxikologisch“ gem. Entwurf der AVV VwV einzustufen.

Gasbildungspotential:

Zum Gasbildungspotential der Abfallart sind keine Untersuchungen bekannt.

Eluatgehalte (Mediane)

Tabelle 1-6 Eluatgehalte der Abfallart 06 03 15

Parameter	Wert [mg/l]	Anzahl Proben [N]
As	k.A.	
Cd	0,075	12
Cr	0,06	4
Ni	0,19	11
Pb	0,5	9
Hg	0,001	11
PCB	k.A.	
PAK	k.A.	
TOC	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

Feststoffwerte (Mediane)

Tabelle 1-7 Feststoffgehalte der Abfallart 06 03 15

Parameter	Einheit	Wert	Anzahl Proben [N]
As	mg/kg	k.A.	
Cd	mg/kg	2	1
Cr	mg/kg	16.100	1
Ni	mg/kg	k.A.	
Pb	mg/kg	295	1
Hg	mg/kg	k.A.	
Cu	mg/kg	24.900	1
Zn	mg/kg	9.060	1
Fe	mg/kg	714	1
Sn	mg/kg	k.A.	
PCB	mg/kg	k.A.	
PAK	mg/kg	0,5	1
TOC	%	k.A.	
Trockensubstanz	%	56	1
Schüttdichte	g/cm ³	k.A.	
Stampfdichte	g/cm ³	k.A.	
Heizwert	kJ/kg	k.A.	
Glühverlust	%	k.A.	
Flügelscherfestigkeit	kN/m ²	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

10 01 04* Filterstäube und Kesselstaub aus der Ölfeuerung

Zusammensetzung:

Filter- und Kesselstäube aus der Ölfeuerung weisen hohe TOC-Gehalte und Heizwerte auf. Der Kohlenstoffgehalt einer Probe wird in ABANDA mit 34,3% angegeben. Aus der Literatur liegen Daten zur Zusammensetzung einer Kesselascheprobe aus einer Anlage in Ägypten vor, die sehr hohe Schwermetallgehalte aufweist (Vanadium: 20,2 %, Ni, 21,5 %) [Amer 2004].

Weitere wesentliche Bestandteile sind Calcium und Natrium

Datenlage: schlecht

Konsistenz: fest

Gefahrenmerkmale:

Aufgrund des Arsen-, Cadmium-, Chrom- und Nickelgehaltes im Eluat ist der Abfall nach H13 gem. Entwurf AVV VwV als gefährlich einzustufen.

Gasbildungspotential:

Zum Gasbildungspotential der Abfallart sind keine Untersuchungen bekannt. Da im Schweröl keine nennenswerten Aluminiumanteile zu erwarten sind, ist mit einem relevanten Gasbildungspotential bei der hier betrachteten Abfallart nicht zu rechnen.

Eluatwerte (Mediane)

Tabelle 1-8 Eluatgehalte der Abfallart 10 01 04

Parameter	Wert [mg/l]	Anzahl Proben [N]
As	0,6	1
Cd	0,16	2
Cr	185	2
Ni	200	2
Pb	0,98	2
Hg	0,001	2
PCB	k.A.	
PAK	k.A.	
TOC	2.900	1

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

Feststoffwerte (Mediane)

Tabelle 1-9 Feststoffgehalte der Abfallart 10 01 04

Parameter	Einheit	Wert	Anzahl Proben [N]
As	mg/kg	348	2
Cd	mg/kg	22,1	2
Cr	mg/kg	7	1
Ni	mg/kg	499	2
Pb	mg/kg	113	2
Hg	mg/kg	5,5	2
Cu	mg/kg	59	2
Zn	mg/kg	1.077	2
Fe	mg/kg	k.A.	
Sn	mg/kg	k.A.	
PCB	mg/kg	4	1
PAK	mg/kg	173	1
TOC	%	17	2
Trockensubstanz	%	84,6	4
Schüttdichte	g/cm ³	0,15	1
Stampfdichte	g/cm ³	k.A.	
Heizwert	kJ/kg	11.000	3
Glühverlust	%	2,4	2
Flügelscherfestigkeit	kN/m ²	3,2	1

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

10 01 14* Rost- u. Kesselasche, Schlacken u. Kesselstaub aus der Abfallmitverbrennung, die gefährliche Stoffe ent- halten

Zusammensetzung:

Zu Schlacken und Aschen aus der Abfallmitverbrennung liegen relativ wenig Daten vor. Dies ist zum einen darauf zurückzuführen, dass die Mitverbrennung von Abfällen erst seit einigen Jahren in großem Umfang betrieben wird und andererseits darauf, dass der überwiegende Teil der Schlacken und Aschen als nicht besonders überwachungsbedürftig eingestuft wird (siehe Kap. Mengenströme).

Den Hauptbestandteil der Rost- und Kesselaschen bildet Siliciumdioxid (ca. 60%). Daneben sind Eisen (III)-oxid und Calciumcarbonat von Bedeutung. Aluminiumoxid liegt bei einem Anteil von ca. 2%.

Auffällig ist auch ein hoher Gehalt an unlöslichem HCl, der im Bereich von 16% liegt. Dieser dürfte auf die Abfallmitverbrennung zurückzuführen sein, da die Aschen und Schlacken aus der reinen Kohleverbrennung geringere Gehalte an unlöslichem HCl aufweisen.

Datenlage: überwiegend schlecht

Konsistenz: fest

Gefahrenmerkmale:

Nach den Hinweisen zur Anwendung der AVV ist der Abfall als umweltgefährlich aufgrund seiner Toxizität für Wasserorganismen einzustufen (H14).

Gasbildungspotential:

Wie schon im Kapitel zur Abfallart 19 01 12 beschrieben, weisen Rost- und Kesselaschen aus der Abfallverbrennung ein sehr hohes Gasbildungspotential auf. Untersuchungen zum Gasbildungspotential von Rost- und Kesselaschen aus der Abfallmitverbrennung sind nicht bekannt. Im Vergleich zu Rost- und Kesselasche aus der reinen Abfallverbrennung liegt der Anteil an Aluminium in den Rost- und Kesselaschen aus der Mitverbrennung deutlich niedriger. Insofern ist bei dieser Abfallart auch ein geringeres Gasbildungspotential zu erwarten. Trotzdem ist auch hier immer noch mit erheblichen Gasbildungsraten zu rechnen.

Eluatgehalte (Mediane)

Tabelle 1-10 Eluatgehalte der Abfallart 10 01 14

Parameter	Wert [mg/l]	Anzahl Proben [N]
As	0,001	2
Cd	0,01	2
Cr	k.A.	
Ni	0,09	2
Pb	0,06	2
Hg	k.A.	
PCB	k.A.	
PAK	k.A.	
TOC	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

Feststoffwerte (Mediane)

Tabelle 1-11 Feststoffgehalte der Abfallart 10 01 14

Parameter	Einheit	Wert	Anzahl Proben [N]
As	mg/kg	48	2
Cd	mg/kg	1,35	2
Cr	mg/kg	84	2
Ni	mg/kg	39,5	2
Pb	mg/kg	2.710	2
Hg	mg/kg	3,8	2
Cu	mg/kg	285	2
Zn	mg/kg	3.609	2
Fe	mg/kg	k.A.	
Sn	mg/kg	k.A.	
PCB	mg/kg	4	2
PAK	mg/kg	173	2
TOC	%	17	2
Trockensubstanz	%	k.A.	
Schüttdichte	g/cm ³	1,01	2
Stampfdichte	g/cm ³	1,18	2
Heizwert	kJ/kg	k.A.	
Glühverlust	%	3,20	2
Flügelscherfestigkeit	kN/m ²	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

10 01 15 Rost- u. Kesselasche, Schlacken u. Kesselstaub aus der Abfallmitverbrennung ohne 10 01 04

Zusammensetzung:

Die Hauptbestandteile der Abfallart bilden Siliciumdioxid (ca. 20%) und Calciumoxid (15%). Daneben sind Calciumcarbonat, Aluminiumoxid und Magnesiumoxid von Bedeutung.

Der Gehalt an unlöslichem HCl liegt bei ca. 9 %. Dieser dürfte auf die Abfallmitverbrennung zurückzuführen sein, da die Aschen und Schlacken aus der reinen Kohleverbrennung geringere Gehalte an unlöslichem HCl aufweisen. Die Mangan-gehalte sind mit ca. 2,1 % der untersuchten Proben (N= 3) relativ hoch.

Datenlage: überwiegend mäßig bis gut

Konsistenz: überwiegend fest

Gefahrenmerkmale: keine

Gasbildungspotential:

Siehe hierzu die Ausführungen zur Abfallart 10 01 14

Eluatgehalte (Mediane)

Tabelle 1-12 Eluatgehalte der Abfallart 10 01 14

Parameter	Wert [mg/l]	Anzahl Proben [N]
As	0,002	6
Cd	0,01	6
Cr	1,14	10
Ni	0,03	6
Pb	0,50	7
Hg	0,0020	5
PCB	k.A.	
PAK	0,08	2
TOC	4,3	2

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

Feststoffwerte (Mediane)

Tabelle 1-13 Feststoffgehalte der Abfallart 10 01 14

Parameter	Einheit	Wert	Anzahl Proben [N]
As	mg/kg	0,88	7
Cd	mg/kg	8,0	23
Cr	mg/kg	72	23
Ni	mg/kg	45,5	20
Pb	mg/kg	141	25
Hg	mg/kg	0,2	12
Cu	mg/kg	142	28
Zn	mg/kg	1.200	31
Fe	mg/kg	34.900	3
Sn	mg/kg	31	5
PCB	mg/kg	2,3	1
PAK	mg/kg	0,79	1
TOC	%	4,5	22
Trockensubstanz	%	86,1	2
Schüttdichte	g/cm ³	0,67	5
Stampfdichte	g/cm ³	0,83	5
Heizwert	kJ/kg	k.A.	
Glühverlust	%	17,30	14
Flügelscherfestigkeit	kN/m ²	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

10 01 16* Filterstäube aus der Abfallmitverbrennung, die gefährliche Stoffe enthalten

Zusammensetzung:

Wesentlicher Bestandteil der Abfallart ist Siliziumdioxid mit einem Massenanteil von ca. 51%. Daneben sind noch Calciumoxid, Calciumsulfat und Eisenoxid relevant. Zink ist mit Massenanteilen von 5 % vertreten. Auch der Aluminiumoxidanteil ist mit 3% relativ hoch.

Die Zusammensetzung von Filterstäuben aus der Abfallmitverbrennung ist der Abfallart 10 01 17 ähnlich.

Datenlage: überwiegend mäßig bis schlecht

Es ist dabei zu berücksichtigen, dass die Abfallmitverbrennung beispielsweise in Kraftwerken erst in den letzten Jahren verstärkt betrieben wurde.

Konsistenz: fest

Gefahrenmerkmale:

Nach den Hinweisen zur Anwendung der AVV ist der Abfall als umweltgefährlich aufgrund seiner Toxizität für Wasserorganismen einzustufen (H14).

Gasbildungspotential:

Wie schon im Kapitel zur Abfallart 19 01 13 beschrieben, weisen Filterstäube aus der Abfallverbrennung ein hohes Gasbildungspotential auf. Untersuchungen zum Gasbildungspotential von Filterstäuben aus der Abfallmitverbrennung sind nicht bekannt. Im Vergleich zu Filterstäuben aus der reinen Abfallverbrennung liegt der Anteil an Aluminium in den Filterstäuben aus der Mitverbrennung deutlich niedriger. Insofern ist bei dieser Abfallart auch ein geringeres Gasbildungspotential zu erwarten. Trotzdem ist auch hier immer noch mit erheblichen Gasbildungsraten zu rechnen.

Eluatgehalte (Mediane)

Tabelle 1-14 Eluatgehalte der Abfallart 10 01 16

Parameter	Wert [mg/l]	Anzahl Proben [N]
As	0,005	6
Cd	0,02	9
Cr	2,00	1
Ni	0,03	6
Pb	0,27	8
Hg	0,0010	4
PCB	k.A.	
PAK	k.A.	
TOC	3,6	1

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

Feststoffwerte (Mediane)

Tabelle 1-15 Feststoffgehalte der Abfallart 10 01 16

Parameter	Einheit	Wert	Anzahl Proben [N]
As	mg/kg	45	5
Cd	mg/kg	9,4	5
Cr	mg/kg	174	6
Ni	mg/kg	45	5
Pb	mg/kg	1.155	9
Hg	mg/kg	0,1	5
Cu	mg/kg	383	7
Zn	mg/kg	5.207	8
Fe	mg/kg	k.A.	
Sn	mg/kg	39	5
PCB	mg/kg	k.A.	
PAK	mg/kg	0,32	1
TOC	%	k.A.	
Trockensubstanz	%	99,7	2
Schüttdichte	g/cm ³	0,71	5
Stampfdichte	g/cm ³	0,84	5
Heizwert	kJ/kg	k.A.	
Glühverlust	%	6,5	8
Flügelscherfestigkeit	kN/m ²	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

10 01 17 Filterstäube aus der Abfallmitverbrennung mit Ausnahme derjenigen, die unter 10 01 16 fallen

Zusammensetzung:

Wesentlicher Bestandteil der Abfallart ist Siliziumdioxid mit einem Massenanteil von ca. 46 %. Daneben sind noch Calciumoxid, Calciumsulfat, Eisenoxid Calciumcarbonat relevant. Zink ist mit Massenanteilen von 3 % vertreten. Der Aluminiumoxidanteil ist mit ca 12 % relativ hoch.

Die Zusammensetzung ist der Abfallart 10 01 16 ähnlich. Dies trifft auch auf die Schadstoffgehalte zu. Aufgrund des Zinkgehaltes hätte eine Reihe von Abfällen ebenfalls als besonders überwachungsbedürftig eingestuft werden müssen.

Datenlage: überwiegend mäßig bis schlecht

Es ist zu berücksichtigen, dass die Abfallmitverbrennung beispielsweise in Kraftwerken erst in den letzten Jahren verstärkt betrieben wurde.

Konsistenz: fest

Gefahrenmerkmale:

Nach den Hinweisen zur Anwendung der AVV ist der Abfall als umweltgefährlich aufgrund seiner Toxizität für Wasserorganismen einzustufen (H14).

Gasbildungspotential:

Siehe hierzu die Ausführungen zur Abfallart 10 01 16

Eluatgehalte (Mediane)

Tabelle 1-16 Eluatgehalte der Abfallart 10 01 17

Parameter	Wert [mg/l]	Anzahl Proben [N]
As	0,01	12
Cd	0,001	11
Cr	0,05	10
Ni	0,01	12
Pb	0,03	12
Hg	0,0004	10
PCB	k.A.	
PAK	0,1	1
TOC	1,2	2

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

Feststoffwerte (Mediane)

Tabelle 1-17 Feststoffgehalte der Abfallart 10 01 17

Parameter	Einheit	Wert	Anzahl Proben [N]
As	mg/kg	78	6
Cd	mg/kg	12,7	8
Cr	mg/kg	228	11
Ni	mg/kg	58	6
Pb	mg/kg	2.300	13
Hg	mg/kg	0,38	6
Cu	mg/kg	219	8
Zn	mg/kg	2.916	7
Fe	mg/kg	k.A.	
Sn	mg/kg	79	4
PCB	mg/kg	k.A.	
PAK	mg/kg	2	2
TOC	%	2	5
Trockensubstanz	%	100	6
Schüttdichte	g/cm ³	0,84	3
Stampfdichte	g/cm ³	1,2	3
Heizwert	kJ/kg	k.A.	
Glühverlust	%	1,4	1
Flügelscherfestigkeit	kN/m ²	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

10 01 18* Abfälle aus der Abgasbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten

Zusammensetzung:

Zu den Hauptbestandteilen der Abfallart zählen Calciumoxid, Siliziumoxid, Calciumsulfat und Calciumcarbonat. Zink ist mit Massenanteilen von 3 % vertreten.

Datenlage: überwiegend mäßig

Konsistenz: fest

Gefahrenmerkmale:

Nach den Hinweisen zur Anwendung der AVV ist der Abfall als umweltgefährlich aufgrund seiner Toxizität für Wasserorganismen einzustufen (H14).

Gasbildungspotential:

Untersuchungen zum Gasbildungspotential von Abfällen aus der Abgasbehandlung von Kraftwerken und anderen Verbrennungsanlagen, die diesem Abfallschlüssel zugeordnet werden, sind nicht bekannt. Aufgrund der nicht unerheblichen Chlor- und Aluminiumanteile ist ein relevantes Gasbildungspotential nicht auszuschließen.

Eluatgehalte (Mediane)

Tabelle 1-18 Eluatgehalte der Abfallart 10 01 18

Parameter	Wert [mg/l]	Anzahl Proben [N]
As	0,01	13
Cd	0,01	14
Cr	0,01	7
Ni	0,02	14
Pb	0,10	14
Hg	0,0100	12
PCB	k.A.	
PAK	k.A.	
TOC	3,1	5

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

Feststoffwerte (Mediane)

Tabelle 1-19 Feststoffgehalte der Abfallart 10 01 18

Parameter	Einheit	Wert	Anzahl Proben [N]
As	mg/kg	19,5	14
Cd	mg/kg	15	13
Cr	mg/kg	135	13
Ni	mg/kg	43,8	12
Pb	mg/kg	537	17
Hg	mg/kg	1	13
Cu	mg/kg	154	13
Zn	mg/kg	2.575	17
Fe	mg/kg	1.000	1
Sn	mg/kg	25	10
PCB	mg/kg	0,006	2
PAK	mg/kg	2.625	2
TOC	%	2	14
Trockensubstanz	%	99,3	6
Schüttdichte	g/cm ³	0,68	7
Stampfdichte	g/cm ³	1,00	7
Heizwert	kJ/kg	k.A.	
Glühverlust	%	10,36	10
Flügelscherfestigkeit	kN/m ²	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

10 01 20* Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten

Zusammensetzung:

Der Abfall besteht zu einem sehr hohen Anteil aus Natriumchlorid (ca. 89%), bedingt durch die in der Abwasserbehandlung eingesetzten HCl und NaOH. In weiteren nennenswerten Bestandteilen ist Calciumsulfat enthalten

Datenlage:

Eluatwerte: überwiegend schlecht

Feststoffwerte: bei Schwermetallen überwiegend gut. Übrige: mäßig bis schlecht

Konsistenz: pastös

Gefahrenmerkmale: keine

Gasbildungspotential:

Untersuchungen zum Gasbildungspotential dieser Abfallart sind nicht bekannt.

Eluatgehalte (Mediane)

Tabelle 1-20 Eluatgehalte der Abfallart 10 01 20

Parameter	Wert [mg/l]	Anzahl Proben [N]
As	k.A.	
Cd	k.A.	
Cr	k.A.	
Ni	k.A.	
Pb	0,04	1
Hg	k.A.	
PCB	k.A.	
PAK	k.A.	
TOC	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

Feststoffwerte (Mediane)

Tabelle 1-21 Feststoffgehalte der Abfallart 10 01 20

Parameter	Einheit	Wert	Anzahl Proben [N]
As	mg/kg	6,6	35
Cd	mg/kg	0,5	30
Cr	mg/kg	10	7
Ni	mg/kg	5,0	31
Pb	mg/kg	33	30
Hg	mg/kg	0,5	30
Cu	mg/kg	7	10
Zn	mg/kg	25	6
Fe	mg/kg	k.A.	
Sn	mg/kg	k.A.	
PCB	mg/kg	k.A.	
PAK	mg/kg	12	1
TOC	%	1	4
Trockensubstanz	%	k.A.	
Schüttdichte	g/cm ³	0,77	2
Stampfdichte	g/cm ³	1,30	2
Heizwert	kJ/kg	k.A.	
Glühverlust	%	4,79	2
Flügelscherfestigkeit	kN/m ²	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

10 02 13* Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten

Dieser Abfallart werden insbesondere Gichtgasschlämme, die in der Abgasbehandlung der Eisen- und Stahlindustrie anfallen, zugeordnet. Der Gichtgasschlamm enthält die nass abgeschiedenen Feinteile, während der Gichtstaub sich aus den groben Restbestandteilen zusammensetzt [Bongard, Kneib 1995].

Zusammensetzung:

Nach ABANDA sind als Hauptbestandteile des Abfalls Siliciumdioxid, Eisen-(III)-Oxid und Kohlenstoff mit Anteilen von 15 – 20 % zu nennen. Zink ist mit relativ hohen Anteilen über 10% vertreten. Daneben finden sich Aluminiumoxid, Calciumcarbonat, Magnesiumoxid und Calciumoxid mit Massenanteilen unter 5 %. TOC und Glühverlust sind mit ca. 12 bis 15 % relativ hoch.

Der hohe TOC-Gehalt von ca. 14 % lässt sich durch Graphit, das sich im Hochofen durch den Zerfall von CO bildet, erklären. Der Siliciumdioxidanteil ist auf Quarzsandzuschläge im Hochofen zurückzuführen. [Mansfeld 2004]. Im Gegensatz zu ABANDA nennt Mansfeld auch relativ hohe Gehalte an Cyaniden in Gichtgas-

schlamm im Bereich von 300 – 5.500 mg/kg, die durch die Reaktion von Luftstickstoff mit Koks kohlenstoff entstehen.

[Bongard, Kneib 1995] nennen Eisen und C_{ges} mit einem Anteil von jeweils ca. 40% als Hauptbestandteile. Siliciumdioxid weist danach nur Anteile von 5-13% auf.

Datenlage: überwiegend schlecht bis mäßig

Konsistenz: pastös

Gefahrenmerkmale:

Gem. Entwurf der AVV VwV ist der Abfall als umweltgefährlich aufgrund seiner Toxizität gegenüber Wasserorganismen einzustufen (H14).

Gasbildungspotential:

Zum Gasbildungspotential von Gichtgasschlamm sind keine Untersuchungen bekannt. Aufgrund der relativ hohen Metallgehalte ist ein relevantes Gasbildungspotential nicht auszuschließen.

Eluatgehalte:

Tabelle 1-22 Eluatgehalte der Abfallart 10 02 13

Parameter	Einheit	Wert	Anzahl Proben [N]
As	mg/l	0,0001	2
Cd	mg/l	0,01	14
Cr ges	mg/l	0,03	13
Ni	mg/l	0,03	18
Pb	mg/l	0,03	19
Hg	mg/l	0,0003	9
PCB	mg/l	k.A.	
PAK	mg/l	k.A.	
TOC	mg/l	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

Feststoffgehalte:

Tabelle 1-23 Feststoffgehalte der Abfallart 10 02 13

Parameter	Einheit	Wert	Anzahl Proben [N]
As	mg/kg	59	3
Cd	mg/kg	58	4
Cr ges	mg/kg	160	3
Ni	mg/kg	30	3
Pb	mg/kg	4.643	4
Hg	mg/kg	1,3	3
Cu	mg/kg	32	3
Zn	mg/kg	117.590	4
Fe	mg/kg	k.A.	
Sn	mg/kg	853	2
PCB	mg/kg	0,05	2
PAK	mg/kg	21,5	3
TOC	%	13,7	6
Trocken- subst.	%	64,5	2
Schüttdichte	g/cm ³	0,85	2
Stampfdichte	g/cm ³	1,06	2
Heizwert	kJ/kg	k.A.	
Glühverlust	%	14,9	12
Flügelscherf.	kN/m ²	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

10 02 14 Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung mit Ausnahme derjenigen, die unter 10 02 13 fallen

Auch bei dieser Abfallart handelt es sich überwiegend um Gichtgasschlämme. Sie weisen teilweise etwas geringere Schwermetallkonzentrationen auf, unterscheiden sich in ihrer Zusammensetzung aber nicht wesentlich von den Nr. 10 02 13 zugeordneten Gichtgasschlämmen. Beide Abfallarten sind aufgrund ihrer Schadstoffgehalte als „gefährlich“ einzustufen.

Zusammensetzung:

Hauptbestandteile des Abfalls sind Eisen-(III)-Oxid, Natriumchlorid, Calciumoxid und Siliciumdioxid mit Massenanteilen von 12 – 17 %. Daneben finden sich Calciumsulfat, Aluminiumoxid und Calciumcarbonat, mit Massenanteilen von 1 bis 8 %. Auffällig ist auch der relativ hohe Phosphatgehalt von ca. 4,5%. Glühverlust und Zinkgehalt sind geringer als bei Abfällen, die der Schlüsselnummer 10 02 13 zugeordnet werden (siehe Tabelle Feststoffgehalte).

Datenlage: schlecht bis mäßig

Konsistenz: pastös

Gefahrenmerkmale:

Nach den Hinweisen zur Anwendung der AVV ist der Abfall als umweltgefährlich aufgrund seiner Toxizität für Wasserorganismen einzustufen (H14). Darüber hinaus ist er aufgrund seines Mineralölkohlenwasserstoffgehaltes im Eluat nach den Hinweisen zur Anwendung der AVV als gefährlich einzustufen. Aufgrund der schlechten Datenlage erfolgt die Einstufung unter Vorbehalt.

Gasbildungspotential:

Zum Gasbildungspotential von Gichtgasschlammern sind keine Untersuchungen bekannt. Aufgrund der relativ hohen Metallgehalte ist ein relevantes Gasbildungspotential nicht auszuschließen.

Eluatgehalte:

Tabelle 1-24 Eluatgehalte der Abfallart 10 02 14

Parameter	Einheit	Wert	Anzahl Proben [N]
As	mg/l	0,003	6
Cd	mg/l	0,01	10
Cr ges	mg/l	0,01	9
Cu	mg/l	0,02	10
Ni	mg/l	0,02	10
Pb	mg/l	0,01	10
Hg	mg/l	0,001	7
PCB	mg/l	k.A.	
PAK	mg/l	k.A.	
TOC	mg/l	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

Feststoffgehalte:

Tabelle 1-25 Feststoffgehalte der Abfallart 10 02 14

Parameter	Einheit	Median	Anzahl Proben [N]
As	mg/kg	10,0	6
Cd	mg/kg	12	6
Cr ges	mg/kg	146	6
Ni	mg/kg	55	6
Pb	mg/kg	2.476	6
Hg	mg/kg	3,7	6
Cu	mg/kg	279	6
Zn	mg/kg	16.756	6
Fe	mg/kg	k.A.	
Sn	mg/kg	462	6
PCB (LAGA)	mg/kg	k.A.	
PCB	mg/kg	0,02	2
PAK	mg/kg	86,7	2
TOC	%	1,60	4
Trocken- subst.	%	94,9	4
Schüttdichte	g/cm ³	0,59	3
Stampfdichte	g/cm ³	0,78	3
Heizwert	kJ/kg	k.A.	
Glühverlust	%	4,9	6
Flügelscherf.	kN/m ²	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

10 05 03* Filterstaub

Daten zu dieser Abfallart liegen in ABAND nicht vor. Laut nordrhein-westfälischer Abfallstatistik fielen von dieser Abfallart im Jahr 2003 in NRW lediglich 74 Mg an. Bundesweit war das Aufkommen mit ca. 300 Mg ebenfalls relativ gering. Daten zur Abfallzusammensetzung liegen auch aus anderen Quellen nicht vor.

10 05 05* feste Abfälle aus der Abgasbehandlung

Zusammensetzung:

Hauptbestandteile des Abfalls sind Siliciumdioxid, Calciumoxid und Magnesiumoxid. Herkunftsbedingt weisen die Abfälle hohe Zinkgehalte im Bereich von 2,5% auf.

Weitere Daten zu wesentlichen Abfallbestandteilen liegen nicht vor.

Datenlage: schlecht.

Konsistenz: überwiegend fest

Gefahrenmerkmale:

Nach den Hinweisen zur Anwendung der AVV ist der Abfall als umweltgefährlich aufgrund seiner Toxizität für Wasserorganismen einzustufen (H14). Darüber hinaus ist er gem. AVV als kanzerogen einzustufen (H7). Die Einstufung erfolgt aufgrund der schlechten Datenlage unter Vorbehalt.

Gasbildungspotential:

Untersuchungen zum Gasbildungspotential von Abfällen, die dieser Abfallart zu geordnet werden, sind nicht bekannt. Aufgrund des hohen Metallgehaltes ist aber ein erhebliches Gasbildungspotential nicht auszuschließen.

Eluatgehalte (Mediane)

Tabelle 1-26 Eluatgehalte der Abfallart 10 05 05

Parameter	Wert [mg/l]	Anzahl Proben [N]
As	0,001	1
Cd	0,01	1
Cr	0,12	1
Ni	0,04	1
Pb	0,07	1
Hg	0,0001	1
PCB	k.A.	
PAK	k.A.	
TOC	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

Feststoffwerte (Mediane)

Tabelle 1-27 Feststoffgehalte der Abfallart 10 05 05

Parameter	Einheit	Wert	Anzahl Proben [N]
As	mg/kg	12	1
Cd	mg/kg	12,2	1
Cr	mg/kg	944	1
Ni	mg/kg	101	1
Pb	mg/kg	1.841	1
Hg	mg/kg	0,6	1
Cu	mg/kg	521	1
Zn	mg/kg	24.744	1
Fe	mg/kg	k.A.	
Sn	mg/kg	21	1
PCB	mg/kg	0,006	1
PAK	mg/kg	k.A.	
TOC	%	k.A.	
Trockensubstanz	%	k.A.	
Schüttdichte	g/cm ³	k.A.	
Stampfdichte	g/cm ³	k.A.	
Heizwert	kJ/kg	k.A.	
Glühverlust	%	9,3	1
Flügelscherfestigkeit	kN/m ²	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

Eine andere Quelle nennt für die Abfallart folgende Zusammensetzung [Okunev, A. 2005]:

Tabelle 1-28 Feststoffgehalte der Abfallart 10 05 05 nach [Okunev, A. 2005]

Parameter	Einheit	Wert
Schwefel	%	1,0
Eisen	%	15,1
Cu	%	1,65
Zn	%	6,63

Im Vergleich hierzu sind die Daten aus ABANDA zu Zink und Kupfer deutlich höher

10 05 06* Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung

Zusammensetzung:

Der untersuchte Abfall besteht zu ca. 42% aus Blei und zu 23% aus Zink. Ein weiterer wesentlicher Bestandteil des Abfalls ist Chlor.

Weitere Daten zu wesentlichen Abfallbestandteilen liegen nicht vor.

Datenlage: schlecht.

Konsistenz: fest

Gefahrenmerkmale:

nach der AVV ist der Abfall als „reizend“, „gesundheitsschädlich“, „sehr giftig“, „kanzerogen“, „teratogen“ „ökotoxikologisch“ (H14) einzustufen. Die Einstufung erfolgt aufgrund der schlechten Datenlage unter Vorbehalt.

Gasbildungspotential:

Untersuchungen zum Gasbildungspotential von Abfällen, die dieser Abfallart zu geordnet werden, sind nicht bekannt. Aufgrund des hohen Metallgehaltes ist aber ein erhebliches Gasbildungspotential nicht auszuschließen.

Eluatgehalte (Mediane)

Zu den Eluatgehalten liegen keine Daten vor

Feststoffwerte (Mediane)

Tabelle 1-29 Feststoffgehalte der Abfallart 10 05 06

Parameter	Einheit	Wert	Anzahl Proben [N]
As	mg/kg	k.A.	
Cd	mg/kg	2300	1
Cr	mg/kg	k.A.	
Ni	mg/kg	k.A.	
Pb	mg/kg	421.000	1
Hg	mg/kg	k.A.	
Cu	mg/kg	2.100	1
Zn	mg/kg	239.000	1
Fe	mg/kg	k.A.	
Sn	mg/kg	k.A.	
PCB	mg/kg	k.A.	
PAK	mg/kg	k.A.	
TOC	%	k.A.	
Trockensubstanz	%	k.A.	
Schüttdichte	g/cm ³	k.A.	
Stampfdichte	g/cm ³	k.A.	
Heizwert	kJ/kg	k.A.	
Glühverlust	%	k.A.	
Flügelscherfestigkeit	kN/m ²	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

Eine andere Quelle nennt für die Abfallart folgende Zusammensetzung [Okunev, A. 2005]:

Tabelle 1-30 Feststoffgehalte der Abfallart 10 05 06 nach [Okunev, A. 2005]

Parameter	Wert	Wert
Schwefel	%	5,3
Eisen	%	29,8
Cu	%	2,6
Zn	%	22,5

Die Angaben zu Kupfer und Zink decken sich mit den Daten aus der ABANDA-Datenbank relativ gut.

10 08 08* Salzschlacken (Erst- und Zweitschmelze)

Laut statistischer Auswertung entfielen von den ca. 730 Mg, die von der Abfallart 10 08 08 im Jahr 2003 in der BRD angefallen sind, ca. 60% auf NRW. In ABANDA sind allerdings keine Daten zur Zusammensetzung der Abfallart enthalten. Auch aus anderen Quellen liegen keine Daten zur Zusammensetzung vor.

10 08 15* Filterstaub, der gefährliche Stoffe enthält

Zusammensetzung:

Ein wesentlicher Bestandteil des Abfalls ist Kaliumchlorid. Daneben enthält die Abfallart hohe Anteile an Chrom, Eisen und Zink, jeweils im Bereich von 2%.

Datenlage: schlecht.

Konsistenz: fest

Gefahrenmerkmale:

Nach der AVV ist der Abfall als „sehr giftig“ und „kanzerogen“, nach den Hinweisen zur Anwendung der AVV als „ökotoxikologisch“ (H14) einzustufen. Aufgrund des Arsen- und Quecksilbergehaltes im Eluat ist der Abfall nach H13 gem. Entwurf AVV VwV als gefährlich einzustufen. Die Einstufung erfolgt aufgrund der schlechten Datenlage unter Vorbehalt.

Gasbildungspotential:

Untersuchungen zum Gasbildungspotential von Abfällen, die dieser Abfallart zu geordnet werden, sind nicht bekannt. Daten zum Aluminiumgehalt, aus dem sich ein eventuelles Gasbildungspotential schließen lassen würde, sind ebenfalls nicht bekannt.

Eluatgehalte (Mediane)

Tabelle 1-31 Eluatgehalte der Abfallart 10 08 15

Parameter	Wert [mg/l]	Anzahl Proben [N]
As	0,50	2
Cd	0,01	2
Cr	0,05	2
Ni	0,01	2
Pb	0,10	2
Hg	17	2
PCB	k.A.	
PAK	k.A.	
TOC	3,8	1

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

Feststoffwerte (Mediane)

Tabelle 1-32 Feststoffgehalte der Abfallart 10 08 15

Parameter	Einheit	Wert	Anzahl Proben [N]
As	mg/kg	k.A.	
Cd	mg/kg	k.A.	
Cr	mg/kg	26.310	2
Ni	mg/kg	151	2
Pb	mg/kg	1.597	2
Hg	mg/kg	k.A.	
Cu	mg/kg	k.A.	
Zn	mg/kg	21.668	2
Fe	mg/kg	23.000	1
Sn	mg/kg	k.A.	
PCB	mg/kg	k.A.	
PAK	mg/kg	k.A.	
TOC	%	k.A.	
Trockensubstanz	%	k.A.	
Schüttdichte	g/cm ³	k.A.	
Stampfdichte	g/cm ³	k.A.	
Heizwert	kJ/kg	k.A.	
Glühverlust	%	0,40	
Flügelscherfestigkeit	kN/m ²	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

10 08 17* Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten

Zusammensetzung:

Eisen (III)oxid stellt mit ca. 27% einen wesentlichen Bestandteil des Abfalls dar. Natriumsulfat und unlösliches HCl sind ebenfalls zu relevanten Anteilen enthalten. Neben den hohen Chrom- Nickel- und Zinkgehalten ist der Vanadiumgehalt im Bereich von 4,5% hervorzuheben.

Datenlage: überwiegend schlecht.

Konsistenz: fest

Gefahrenmerkmale:

Nach der AVV ist der Abfall als „sehr giftig“, und „kanzerogen“, nach den Hinweisen zur Anwendung der AVV als „ökotoxikologisch“ (H14) einzustufen. Aufgrund des Blei- und Chromgehaltes im Eluat ist der Abfall nach H13 gem. Entwurf AVV VwV als gefährlich einzustufen.

Die Einstufung erfolgt aufgrund der schlechten Datenlage unter Vorbehalt.

Gasbildungspotential:

Untersuchungen zum Gasbildungspotential von Abfällen, die dieser Abfallart zu geordnet werden, sind nicht bekannt. Zum Aluminiumoxidgehalt dieser Abfallart liegt eine Analyse vor, die sehr geringe Gehalte ausweist. Ein erhebliches Gasbildungspotential ist aufgrund dieser Daten nicht zu erwarten.

Eluatgehalte (Mediane)

Tabelle 1-33 Eluatgehalte der Abfallart 10 08 17

Parameter	Wert [mg/l]	Anzahl Proben [N]
As	0,01	1
Cd	0,02	1
Cr	2456,00	1
Ni	873,00	2
Pb	1,74	1
Hg	0,0001	1
PCB	k.A.	
PAK	k.A.	
TOC	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

Feststoffwerte (Mediane)

Tabelle 1-34 Feststoffgehalte der Abfallart 10 08 17

Parameter	Einheit	Wert	Anzahl Proben [N]
As	mg/kg	27,5	2
Cd	mg/kg	16	2
Cr	mg/kg	20.631	2
Ni	mg/kg	16.484	2
Pb	mg/kg	2.856	2
Hg	mg/kg	0,1	2
Cu	mg/kg	353	2
Zn	mg/kg	11.109	2
Fe	mg/kg	k.A.	
Sn	mg/kg	5	2
PCB	mg/kg	k.A.	
PAK	mg/kg	10	1
TOC	%	10	2
Trockensubstanz	%	87,5	1
Schüttdichte	g/cm ³	0,6	1
Stampfdichte	g/cm ³	0,76	1
Heizwert	kJ/kg	k.A.	
Glühverlust	%	21,2	2
Flügelscherfestigkeit	kN/m ²	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

10 11 09* Gemengeabfall mit gefährlichen Stoffen vor dem Schmelzen

Zusammensetzung:

Hauptbestandteil des Abfalls ist Siliciumdioxid mit Massenanteilen über 60%. Daneben sind noch Calciumcarbonat und Magnesiumoxid in relevanten Mengen vorhanden.

Datenlage: überwiegend schlecht

Konsistenz: unbekannt

Gefahrenmerkmale:

keine

Gasbildungspotential:

Untersuchungen zum Gasbildungspotential von Abfällen, die dieser Abfallart zugeordnet werden, sind nicht bekannt.

Eluatgehalte (Mediane)

Tabelle 1-35 Eluatgehalte der Abfallart 10 11 09

Parameter	Wert [mg/l]	Anzahl Proben [N]
As	0,02	2
Cd	0,002	5
Cr	0,04	4
Ni	0,03	5
Pb	0,10	5
Hg	0,001	5
PCB	k.A.	
PAK	k.A.	
TOC	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

Feststoffwerte (Mediane)

Tabelle 1-36 Feststoffgehalte der Abfallart 10 11 09

Parameter	Einheit	Wert	Anzahl Proben [N]
As	mg/kg	4,7	2
Cd	mg/kg	0,8	2
Cr	mg/kg	9,0	2
Ni	mg/kg	22,5	2
Pb	mg/kg	7,0	3
Hg	mg/kg	0,09	2
Cu	mg/kg	9,0	2
Zn	mg/kg	469	2
Fe	mg/kg	k.A.	
Sn	mg/kg	k.A.	
PCB	mg/kg	k.A.	
PAK	mg/kg	k.A.	
TOC	%	k.A.	
Trockensubstanz	%	k.A.	
Schüttdichte	g/cm ³	1,05	1
Stampfdichte	g/cm ³	1,91	1
Heizwert	kJ/kg	k.A.	
Glühverlust	%	8,32	5
Flügelscherfestigkeit	kN/m ²	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

10 11 13* Glaspolier- und Glasschleifschlämme, die gefährliche Stoffe enthalten

Zusammensetzung:

Die Abfälle dieser Schlüsselnummer weisen relativ hohe Heizwerte mit einer Spannweite von 1.000 bis 16.000 kJ/kg auf. Von den Daten in den Tabellen abgesehen, liegen keine weiteren Informationen zur Zusammensetzung vor.

Datenlage:

Eluat: überwiegend schlecht bis mäßig.

Feststoff: überwiegend schlecht

Konsistenz: pastös

Gefahrenmerkmale:

Anhand der vorliegenden Eluatwerte lassen sich keine Gefahrenmerkmale erkennen. Zwar liegen zu Feststoffwerten keine Analysedaten vor, doch lässt sich anhand der relativ niedrigen Eluatwerte schließen, dass das Auftreten von Gefahrenmerkmalen, die sich durch Schadstoffgehalte im Feststoff ergeben können, eher unwahrscheinlich sind.

Gasbildungspotential:

Untersuchungen zum Gasbildungspotential von Abfällen, die dieser Abfallart zu geordnet werden, sind nicht bekannt.

Eluatgehalte (Mediane)

Tabelle 1-37 Eluatgehalte der Abfallart 10 11 13

Parameter	Wert [mg/l]	Anzahl Proben [N]
As		
Cd	0,0024	5
Cr	0,08	6
Ni	0,00	6
Pb	1,50	7
Hg	0,0010	5
PCB	k.A.	
PAK	k.A.	
TOC	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

Feststoffwerte (Mediane)

Tabelle 1-38 Feststoffgehalte der Abfallart 10 11 13

Parameter	Einheit	Wert	Anzahl Proben [N]
As	mg/kg	k.A.	
Cd	mg/kg	k.A.	
Cr	mg/kg	k.A.	
Ni	mg/kg	k.A.	
Pb	mg/kg	k.A.	
Hg	mg/kg	k.A.	
Cu	mg/kg	k.A.	
Zn	mg/kg	k.A.	
Fe	mg/kg	k.A.	
Sn	mg/kg	k.A.	
PCB	mg/kg	k.A.	
PAK	mg/kg	k.A.	
TOC	%	k.A.	
Trockensubstanz	%	70,00	10
Schüttdichte	g/cm ³	k.A.	
Stampfdichte	g/cm ³	k.A.	
Heizwert	kJ/kg	13.450	7
Glühverlust	%	70,00	10
Flügelscherfestigkeit	kN/m ²	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

10 11 15* feste Abfälle aus der Abgasbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten

Zusammensetzung:

Hauptbestandteil des Abfalls ist Natriumsulfat mit Mengenanteilen von ca. 35%. Auch Magnesiumsulfat, Calciumsulfat und Calciumoxid sind mit relevanten Anteilen vorhanden.

Datenlage: überwiegend mäßig bis gut.

Konsistenz: fest

Gefahrenmerkmale:

Nach der AVV ist der Abfall als „sehr giftig“, „kanzerogen“ und teratogen, nach den Hinweisen zur Anwendung der AVV als „ökotoxikologisch“ (H14) einzustufen. Aufgrund des Arsen-, Blei- und Cadmiumgehaltes im Eluat ist der Abfall nach H13 gem. Entwurf AVV VwV als gefährlich einzustufen.

Gasbildungspotential:

Untersuchungen zum Gasbildungspotential von Abfällen, die dieser Abfallart zu geordnet werden, sind nicht bekannt. Zum Aluminiumoxidgehalt dieser Abfallart liegen Analysen vor, die sehr geringe Gehalte ausweisen. Ein erhebliches Gasbildungspotential ist aufgrund dieser Daten nicht zu erwarten.

Eluatgehalte (Mediane)

Tabelle 1-39 Eluatgehalte der Abfallart 10 11 15

Parameter	Wert [mg/l]	Anzahl Proben [N]
As	2,20	9
Cd	1,10	9
Cr	0,01	7
Ni	0,07	9
Pb	1,10	9
Hg	0,0004	7
PCB	k.A.	
PAK	k.A.	
TOC	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

Feststoffwerte (Mediane)

Tabelle 1-40 Feststoffgehalte der Abfallart 10 11 15

Parameter	Einheit	Wert	Anzahl Proben [N]
As	mg/kg	764	27
Cd	mg/kg	118,5	18
Cr	mg/kg	410	19
Ni	mg/kg	11	18
Pb	mg/kg	6.625	30
Hg	mg/kg	0,1	17
Cu	mg/kg	26	18
Zn	mg/kg	270	18
Fe	mg/kg	k.A.	
Sn	mg/kg	55	12
PCB	mg/kg	0	1
PAK	mg/kg	k.A.	
TOC	%	0,055	16
Trockensubstanz	%	97,30	6
Schüttdichte	g/cm ³	0,45	7
Stampfdichte	g/cm ³	0,67	7
Heizwert	kJ/kg	k.A.	
Glühverlust	%	3,05	16
Flügelscherfestigkeit	kN/m ²	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

10 11 17* Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten

Zusammensetzung:

Zur Zusammensetzung liegen nur sehr wenig Daten vor. Siliciumdioxid macht mit Anteilen von ca. 30% den Hauptbestandteil aus. Der TOC-Anteil ist mit ca. 10% relativ hoch.

Datenlage: überwiegend schlecht

Konsistenz: pastös

Gefahrenmerkmale:

Nach den Hinweisen zur Anwendung der AVV ist der Abfall als „ökotoxikologisch“ (H14) einzustufen.

Gasbildungspotential:

Untersuchungen zum Gasbildungspotential von Abfällen, die dieser Abfallart zu geordnet werden, sind nicht bekannt.

Eluatgehalte (Mediane)

Zu den Eluatgehalten liegen keine Daten vor.

Feststoffwerte (Mediane)

Tabelle 1-41 Feststoffgehalte der Abfallart 10 11 17

Parameter	Einheit	Wert	Anzahl Proben [N]
As	mg/kg	k.A.	
Cd	mg/kg	k.A.	
Cr	mg/kg	k.A.	
Ni	mg/kg	k.A.	
Pb	mg/kg	2.182	1
Hg	mg/kg	k.A.	
Cu	mg/kg	k.A.	
Zn	mg/kg	5.755	1
Fe	mg/kg	k.A.	
Sn	mg/kg	k.A.	
PCB	mg/kg	k.A.	
PAK	mg/kg	k.A.	
TOC	%	9,5	1
Trockensubstanz	%	k.A.	
Schüttdichte	g/cm ³	k.A.	
Stampfdichte	g/cm ³	k.A.	
Heizwert	kJ/kg	k.A.	
Glühverlust	%	k.A.	
Flügelscherfestigkeit	kN/m ²	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

10 11 19* Feste Abfälle aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten

Laut statistischer Auswertung fielen ca. 75% der in der BRD im Jahr 2003 angefallenen 360 Mg in Bayern an. In NRW wurde diese Abfallart im Bezugsjahr nicht erzeugt. Die Datenbank ABANDA enthält keine Daten zur Zusammensetzung der Abfallart. Auch aus anderen Quellen liegen keine Daten zur Zusammensetzung vor.

11 01 08* Phosphatierschlämme

Zusammensetzung:

Hauptbestandteil von Phosphatierschlämmen ist Eisen (III)oxid mit Anteilen im Bereich von 25%. Der Eisengehalt liegt bei 21%. Natriumoxid und Calciumoxid sind ebenfalls in nennenswerten Anteilen enthalten. Auffällig sind auch der hohe Zinkgehalt und der relativ hohe Heizwert.

Datenlage: überwiegend gut bis sehr gut

Konsistenz: pastös

Gefahrenmerkmale:

Nach der AVV ist der Abfall insbesondere aufgrund seines hohen Nickelgehaltes als „kanzerogen“ einzustufen. Darüber hinaus ist er nach den Hinweisen zur Anwendung der AVV als „ökotoxikologisch“ (H14) einzustufen.

Gasbildungspotential:

Untersuchungen zum Gasbildungspotential von Abfällen, die dieser Abfallart zu geordnet werden, sind nicht bekannt. Zum Aluminiumoxidgehalt dieser Abfallart liegen Analysen vor, die sehr geringe Gehalte ausweisen. Ein erhebliches Gasbildungspotential ist aufgrund dieser Daten nicht zu erwarten.

Eluatgehalte (Mediane)

Tabelle 1-42 Eluatgehalte der Abfallart 11 01 08

Parameter	Wert [mg/l]	Anzahl Proben [N]
As	0,0032	11
Cd	0,010	67
Cr	0,01	61
Ni	0,19	67
Pb	0,05	67
Hg	0,0010	58
PCB	k.A.	
PAK	1,60	1
TOC	63,1	7

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

Feststoffwerte (Mediane)

Tabelle 1-43 Feststoffgehalte der Abfallart 11 01 08

Parameter	Einheit	Wert	Anzahl Proben [N]
As	mg/kg	3,1	12
Cd	mg/kg	1,3	43
Cr	mg/kg	142	44
Ni	mg/kg	1227	42
Pb	mg/kg	69	34
Hg	mg/kg	0,5	29
Cu	mg/kg	90	34
Zn	mg/kg	54.680	53
Fe	mg/kg	209.000	30
Sn	mg/kg	53	24
PCB	mg/kg	0,3	3
PAK	mg/kg	3	8
TOC	%	0,9	37
Trockensubstanz	%	58,90	8
Schüttdichte	g/cm ³	0,86	2
Stampfdichte	g/cm ³	1,1	2
Heizwert	kJ/kg	4.740	1
Glühverlust	%	16,55	70
Flügelscherfestigkeit	kN/m ²	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

11 02 02* Schlämme aus der Zink-Hydrometallurgie (einschließlich Jarosit, Goethit)

Zusammensetzung:

Daten zur Zusammensetzung liegen nur sehr eingeschränkt vor. Auffällig ist der relativ hohe Heizwert verbunden mit einem hohen Glühverlust sowie der sehr hohe Eisengehalt von ca. 25%, den ein Probe aufwies.

Datenlage: überwiegend schlecht bis mäßig.

Konsistenz: pastös

Gefahrenmerkmale:

Nach der AVV ist der Abfall als „sehr giftig“, „kanzerogen“ und teratogen, nach den Hinweisen zur Anwendung der AVV als „ökotoxikologisch“ (H14) einzustufen. Aufgrund des Arsen-, Blei- und Cadmiumgehaltes im Eluat ist der Abfall nach H13 gem. Entwurf AVV VwV als gefährlich einzustufen.

Gasbildungspotential:

Untersuchungen zum Gasbildungspotential von Abfällen, die dieser Abfallart zu geordnet werden, sind nicht bekannt.

Eluatgehalte (Mediane)

Tabelle 1-44 Eluatgehalte der Abfallart 11 02 02

Parameter	Wert [mg/l]	Anzahl Proben [N]
As		
Cd	0,002	10
Cr	0,02	12
Ni	0,07	8
Pb	0,02	10
Hg	0,0015	10
PCB	k.A.	
PAK	k.A.	
TOC	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

Feststoffwerte (Mediane)

Tabelle 1-45 Feststoffgehalte der Abfallart 11 02 02

Parameter	Einheit	Wert	Anzahl Proben [N]
As	mg/kg	k.A.	
Cd	mg/kg	0,69	16
Cr	mg/kg	95	1
Ni	mg/kg	1850	1
Pb	mg/kg	38	12
Hg	mg/kg	2,5	3
Cu	mg/kg	5.000	3
Zn	mg/kg	159	16
Fe	mg/kg	249.000	1
Sn	mg/kg	k.A.	
PCB	mg/kg	k.A.	
PAK	mg/kg	k.A.	
TOC	%	1,700	3
Trockensubstanz	%	45	16
Schüttdichte	g/cm ³	k.A.	
Stampfdichte	g/cm ³	k.A.	
Heizwert	kJ/kg	17.400	1
Glühverlust	%	28,65	18
Flügelscherfestigkeit	kN/m ²	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

Eine andere schon etwas ältere Quelle nennt für Jarosit-Schlamm insbesondere hohe Gehalte der Schwermetalle As (1.500 – 2500 mg/kg) und Pb (20.000-30.000 mg/kg) [EUREKA 1993]

11 02 05* Abfälle aus Prozessen der Kupfer-Hydrometallurgie, die gefährliche Stoffe enthalten

Zusammensetzung:

Über die in den Tabellen enthaltenen Daten hinaus liegen keine weiteren Informationen zur Zusammensetzung vor.

Datenlage: überwiegend schlecht

Konsistenz: fest

Gefahrenmerkmale:

Es liegen keine Gefahrenmerkmale vor. Aufgrund der schlechten Datenlage erfolgt die Einstufung unter Vorbehalt.

Gasbildungspotential:

Untersuchungen zum Gasbildungspotential von Abfällen, die dieser Abfallart zugeordnet werden, sind nicht bekannt.

Eluatgehalte (Mediane)

Tabelle 1-46 Eluatgehalte der Abfallart 11 02 05

Parameter	Wert [mg/l]	Anzahl Proben [N]
As	k.A.	
Cd	0,02	1
Cr	k.A.	
Ni	0,02	1
Pb	6,0	1
Hg	0,002	1
PCB	k.A.	
PAK	k.A.	
TOC	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

Feststoffwerte (Mediane)

Tabelle 1-47 Feststoffgehalte der Abfallart 11 02 05

Parameter	Einheit	Wert	Anzahl Proben [N]
As	mg/kg	k.A.	
Cd	mg/kg	k.A.	
Cr	mg/kg	k.A.	
Ni	mg/kg	k.A.	
Pb	mg/kg	k.A.	
Hg	mg/kg	k.A.	
Cu	mg/kg	k.A.	
Zn	mg/kg	k.A.	
Fe	mg/kg	k.A.	
Sn	mg/kg	k.A.	
PCB	mg/kg	k.A.	
PAK	mg/kg	k.A.	
TOC	%	k.A.	
Trockensubstanz	%	k.A.	
Schüttdichte	g/cm ³	k.A.	
Stampfdichte	g/cm ³	k.A.	
Heizwert	kJ/kg	k.A.	
Glühverlust	%	2,5	1
Flügelscherfestigkeit	kN/m ²	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

12 01 16* Strahlmittelabfälle, die gefährliche Stoffe enthalten

Der Einsatzbereich von Strahlmitteln in der Metalloberflächenbehandlung und die Palette der eingesetzten Strahlmittel ist sehr breit. Grundsätzlich wird unterschieden zwischen mineralischen Strahlmitteln, z.B. Aluminiumsilikat, Granatsand, Glasperlen und metallischen Strahlmitteln, wie z.B. Stahlguß, -kies, -draht- und -schrot.

Zusammensetzung:

Hauptbestandteil des Abfalls ist Siliciumdioxid mit einem Massenanteil von ca. 35 %. Mit Anteilen von deutlich unter 10 % sind Eisen-(III)-Oxid, Aluminiumoxid, Calciumoxid und Calciumsulfat enthalten. Je nach Einsatzbereich und Strahlmittelart können in verbrauchten Strahlmitteln hohe Gehalte an Eisenmetallen, Zink, Blei und Chrom aber auch organischen Stoffen enthalten sein [SAPI 2000]. Durch die organischen Stoffe lässt sich auch der relativ hohe Heizwert erklären (siehe Tabelle Feststoffgehalte).

Datenlage: überwiegend sehr gut

Konsistenz: fest

Gefahrenmerkmale: keine

Gasbildungspotential:

Bei den eingesetzten Strahlmitteln Sand und Glas ist kein erhebliches Gasbildungspotential zu erwarten. Allerdings könnte sich ein solches in speziellen Anwendungsfällen ergeben, beispielsweise, wenn Aluminiumbleche abgestrahlt werden. Der Aluminiumgehalt in der Abfallart liegt mit ca. 4 % relativ hoch. Allerdings liegt das Aluminium überwiegend als Oxid vor. Das Gasbildungspotential ist daher im Einzelfall zu bestimmen.

Untersuchungen an einem Glasstrahlmittelrest und einem Strahlmittelrückstand ergaben große Wasserstofffreisetzungsraten von 11 bzw. 4,6 m³/Mg während an einem anderen Strahlmittelrückstand keine Wasserstofffreisetzung beobachtet werden konnte. Alle drei Abfallproben wurden allerdings der Schlüsselnummer 06 04 05 zugeordnet. Zwei weitere verbrauchte Strahlsande wiesen ebenfalls relativ geringe Wasserstofffreisetzungsraten von 0,2 bzw. 0,7 m³/Mg auf. Die durchschnittliche CO₂-Freisetzung aller 5 untersuchten Proben lag bei 0,1, m³/Mg, die durchschnittliche CH₄-Freisetzung bei 0,01 m³/Mg [Hagemann].

Eluatgehalte:

Tabelle 1-48 Eluatgehalte der Abfallart 12 01 16

Parameter	Einheit	Wert	Anzahl Proben [N]
As	mg/l	0,004	232
Cd	mg/l	0,01	310
Cr ges	mg/l	0,02	278
Ni	mg/l	0,02	281
Pb	mg/l	0,05	314
Hg	mg/l	0,001	251
PCB	mg/l	0,60	1
PAK	mg/l	1,52	8
TOC	mg/l	12,8	128

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

Feststoffgehalte:

Tabelle 1-49 Feststoffgehalte der Abfallart 12 01 16

Parameter	Einheit	Wert	Anzahl Proben [N]
As	mg/kg	12,0	93
Cd	mg/kg	1,2	111
Cr ges	mg/kg	117	111
Ni	mg/kg	89	108
Pb	mg/kg	300	117
Hg	mg/kg	0,1	88
Cu	mg/kg	125	107
Zn	mg/kg	600	115
Fe	mg/kg	31.600	37
Sn	mg/kg	27	14
PCB	mg/kg	0,29	48
PAK	mg/kg	15,5	58
TOC	%	0,67	106
Trockensubs.	%	99,1	140
Schüttdichte	g/cm ³	1,5	5
Stampfdichte	g/cm ³	2,0	4
Heizwert	kJ/kg	14.077	7
Glühverlust	%	1,4	156
Flügelscherf.	kN/m ²	3,2	9

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

16 08 02* gebrauchte Katalysatoren, die gefährliche Übergangsmetalle oder deren Verbindungen enthalten

Zusammensetzung:

Die Datenlage zur Zusammensetzung von gebrauchten Katalysatoren, die einer Entsorgung zugeführt werden, ist insgesamt relativ schlecht.

Das Trägermaterial von Edel- und Nichtedelmetallkatalysatoren besteht meistens aus Oxiden des Aluminiums, Siliziums oder des Titans. Bei Nichtedelmetallkatalysatoren macht das Trägermaterial mehr als 90% der Gesamtmasse aus [Hassan, 2000].

Die Gefahren, die mit der Ablagerung von Katalysatoren verbunden sind, können sowohl aus dem Katalysatormaterial als auch aus Prozessverunreinigungen resultieren. Gefahrenrelevant sind insbesondere Schwermetalle. In Nichtedelmetallkatalysatoren werden u. a. Vanadium, Eisen, Nickel, Kobalt, Zink, Kupfer und Molybden eingesetzt. Sie werden nur teilweise wieder aufbereitet. Insbesondere Katalysatoren, die bei organischen Synthesen in der chemischen Industrie eingesetzt werden, fallen in sehr unterschiedlicher Zusammensetzung an. Aufgrund der relativ kleinen Stückzahlen gleicher Katalysatoren, werden diese mehr als bei anderen Gruppen beseitigt [Hassan, 2000].

Zeolithkatalysatoren aus dem Hydrotreating von schweren Erdölfraktionen, einem der größten Verbraucher von Katalysatoren, können mit Verunreinigungen aus dem Rohöl, wie z.B. Eisen, Nickel und Vanadium verunreinigt sein [Hassan, 2000].

Hauptbestandteile eines untersuchten Katalysators waren Siliciumoxid (ca. 50%) und unlösliches HCl (49%). Vanadium (1,4%) sowie in geringeren Mengen Wolfram und Titan waren noch in relevanten Mengen vorhanden.

Datenlage: schlecht

Konsistenz: fest

Gefahrenmerkmale:

Es liegen keine Gefahrenmerkmale vor. Aufgrund der schlechten Datenlage erfolgt die Einstufung unter Vorbehalt.

Gasbildungspotential:

Untersuchungen zum Gasbildungspotential von Abfällen, die dieser Abfallart zugeordnet werden, sind nicht bekannt. Bei Katalysatoren, die Aluminium enthalten, ist die Freisetzung von Wasserstoff bei Kontakt mit Wasser möglich.

Eluatgehalte (Mediane)

Tabelle 1-50 Eluatgehalte der Abfallart 16 08 02

Parameter	Wert [mg/l]	Anzahl Proben [N]
As	k.A.	
Cd	0,1	2
Cr	0,02	1
Ni	0,025	2
Pb	0,10	0
Hg	0,0014	2
PCB	k.A.	
PAK	k.A.	
TOC	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

Feststoffwerte (Mediane)

Tabelle 1-51 Feststoffgehalte der Abfallart 16 08 02

Parameter	Einheit	Wert	Anzahl Proben [N]
As	mg/kg	77	1
Cd	mg/kg	k.A.	
Cr	mg/kg	4	1
Ni	mg/kg	43	1
Pb	mg/kg	171	1
Hg	mg/kg	k.A.	
Cu	mg/kg	13	1
Zn	mg/kg	80	1
Fe	mg/kg	k.A.	
Sn	mg/kg	51	1
PCB	mg/kg	k.A.	
PAK	mg/kg	k.A.	
TOC	%	0,02	1
Trockensubstanz	%	k.A.	
Schüttdichte	g/cm ³	k.A.	
Stampfdichte	g/cm ³	k.A.	
Heizwert	kJ/kg	k.A.	
Glühverlust	%	0,29	1
Flügelscherfestigkeit	kN/m ²	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

16 08 05* gebrauchte Katalysatoren, die Phosphorsäure enthalten

Laut statistischer Auswertung entfielen von den ca. 750 Mg, die von der Abfallart 16 08 05 im Jahr 2003 in der BRD angefallen sind, ca. 25% auf NRW und 75 % auf Bayern. In ABANDA sind keine Daten zur Zusammensetzung der Abfallart enthalten. Auch aus anderen Quellen liegen keine Daten zur Zusammensetzung vor.

16 08 07* gebrauchte Katalysatoren, die durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind

Zusammensetzung:

Von wenigen Eluatanalysen abgesehen, liegen zur Zusammensetzung keine Daten vor.

Datenlage: überwiegend schlecht

Konsistenz: fest

Gefahrenmerkmale:

Es liegen keine Gefahrenmerkmale vor. Die Einstufung erfolgt aufgrund der schlechten Datenlage unter Vorbehalt

Gasbildungspotential:

Untersuchungen zum Gasbildungspotential von Abfällen, die dieser Abfallart zugeordnet werden, sind nicht bekannt.

Eluatgehalte (Mediane)

Tabelle 1-52 Eluatgehalte der Abfallart 16 08 07

Parameter	Wert [mg/l]	Anzahl Proben [N]
As	k.A.	
Cd	0,0001	1
Cr	k.A.	
Ni	0,0025	1
Pb	0,001	1
Hg	0,0001	1
PCB	k.A.	
PAK	k.A.	
TOC	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

16 11 01* Auskleidungen und feuerfeste Materialien auf Kohlenstoffbasis aus metallurgischen Prozessen, die gefährliche Stoffe enthalten

Zusammensetzung:

Von Analysenwerten abgesehen, liegen zur Zusammensetzung keine Daten vor.

Datenlage: überwiegend mäßig

Konsistenz: fest

Gefahrenmerkmale: keine

Gasbildungspotential:

Untersuchungen zum Gasbildungspotential von Abfällen, die dieser Abfallart zu geordnet werden, sind nicht bekannt.

Eluatgehalte (Mediane)

Tabelle 1-53 Eluatgehalte der Abfallart 16 11 01

Parameter	Wert [mg/l]	Anzahl Proben [N]
As	0,0076	9
Cd	0,005	9
Cr	0,02	9
Ni	0,02	9
Pb	0,03	9
Hg	0,001	9
PCB	k.A.	
PAK	0,0049	1
TOC	10,5	2

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

Feststoffwerte (Mediane)

Tabelle 1-54 Feststoffgehalte der Abfallart 16 11 01

Parameter	Einheit	Wert	Anzahl Proben [N]
As	mg/kg	26,4	7
Cd	mg/kg	0,75	7
Cr	mg/kg	63	7
Ni	mg/kg	16	7
Pb	mg/kg	8	7
Hg	mg/kg	0,07	7
Cu	mg/kg	1.120	7
Zn	mg/kg	63	7
Fe	mg/kg	k.A.	
Sn	mg/kg	k.A.	
PCB	mg/kg	0,501	2
PAK	mg/kg	0,05	1
TOC	%	2,0	2
Trockensubstanz	%	k.A.	
Schüttdichte	g/cm ³	k.A.	
Stampfdichte	g/cm ³	k.A.	
Heizwert	kJ/kg	k.A.	
Glühverlust	%	1,4	5
Flügelscherfestigkeit	kN/m ²	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

16 11 03* andere Auskleidungen und feuerfeste Materialien aus metallurgischen Prozessen, die gefährliche Stoffe enthalten

Zusammensetzung:

Hauptbestandteile sind Siliciumdioxid (ca. 42%) und unlösliches HCl (22%). Daneben sind Aluminium,- Calcium- und Magnesiumoxid in relevanten Mengen vorhanden.

Datenlage:

Eluat: überwiegend gut

Feststoff: überwiegend mäßig

Konsistenz: fest

Gefahrenmerkmale: keine

Gasbildungspotential:

Untersuchungen zum Gasbildungspotential von Abfällen, die dieser Abfallart zu geordnet werden, sind nicht bekannt. Zum Aluminiumoxidgehalt dieser Abfallart liegt eine Analyse vor, die Gehalte im Bereich von 10% ausweist. Der pH-Gehalt liegt im leicht alkalischen Bereich, der Chloridgehalt ist relativ niedrig. Ein hohes Gasbildungspotential ist aufgrund dieser Daten nicht zu erwarten. Grundsätzlich ist eine Gasbildung aber auch nicht auszuschließen.

Eluatgehalte (Mediane)

Tabelle 1-55 Eluatgehalte der Abfallart 16 11 03

Parameter	Wert [mg/l]	Anzahl Proben [N]
As	0,0085	28
Cd	0,0075	32
Cr	0,05	31
Ni	0,05	34
Pb	0,05	33
Hg	0,0007	27
PCB	k.A.	
PAK	k.A.	
TOC	5,0	17

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

Feststoffwerte (Mediane)

Tabelle 1-56 Feststoffgehalte der Abfallart 16 11 03

Parameter	Einheit	Wert	Anzahl Proben [N]
As	mg/kg	14	11
Cd	mg/kg	4,8	13
Cr	mg/kg	98	8
Ni	mg/kg	96,9	9
Pb	mg/kg	203	10
Hg	mg/kg	0,1	9
Cu	mg/kg	516	8
Zn	mg/kg	230	8
Fe	mg/kg	3.760	2
Sn	mg/kg	2.437	2
PCB	mg/kg	0,2	3
PAK	mg/kg	1,75	5
TOC	%	0,500	10
Trockensubstanz	%	97,00	13
Schüttdichte	g/cm ³	1,26	1
Stampfdichte	g/cm ³	1,44	1
Heizwert	kJ/kg	k.A.	
Glühverlust	%	0,955	26
Flügelscherfestigkeit	kN/m ²	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

16 11 05* Auskleidungen und feuerfeste Materialien aus nichtmetallurgischen Prozessen, die gefährliche Stoffe enthalten

Zusammensetzung:

Hauptbestandteil ist Siliciumdioxid (ca. 44%). Aluminium,- und Magnesiumoxid weisen mit Anteilen von knapp 20% ebenfalls relevante Mengenanteile auf. Daneben ist unlösliches HCl von Bedeutung.

Datenlage: überwiegend sehr gut

Konsistenz: fest

Gefahrenmerkmale: keine

Gasbildungspotential:

Untersuchungen zum Gasbildungspotential von Abfällen, die dieser Abfallart zu geordnet werden, sind nicht bekannt. Zum Aluminiumoxidgehalt dieser Abfallart liegt eine Analyse vor, die Gehalte im Bereich von 20% ausweist. Der pH-Gehalt liegt im leicht alkalischen Bereich, der Chloridgehalt ist relativ niedrig. Ein hohes Gasbildungspotential ist aufgrund dieser Daten nicht zu erwarten. Grundsätzlich ist eine Gasbildung aber auch nicht auszuschließen.

Eluatgehalte (Mediane)

Tabelle 1-57 Eluatgehalte der Abfallart 16 11 05

Parameter	Wert [mg/l]	Anzahl Proben [N]
As	0,006	102
Cd	0,002	107
Cr	0,105	96
Ni	0,020	112
Pb	0,01	108
Hg	0,0002	99
PCB	k.A.	
PAK	1,24	1
TOC	17,0	2

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

Feststoffwerte (Mediane)

Tabelle 1-58 Feststoffgehalte der Abfallart 16 11 05

Parameter	Einheit	Wert	Anzahl Proben [N]
As	mg/kg	7	98
Cd	mg/kg	0,7	99
Cr	mg/kg	34	98
Ni	mg/kg	17	96
Pb	mg/kg	14,50	98
Hg	mg/kg	0,1	91
Cu	mg/kg	10,00	97
Zn	mg/kg	22	99
Fe	mg/kg	10.800	4
Sn	mg/kg	17	11
PCB	mg/kg	0,03	10
PAK	mg/kg	0,46	10
TOC	%	0,1	14
Trockensubstanz	%	99,90	77
Schüttdichte	g/cm ³	1,63	1
Stampfdichte	g/cm ³	1,88	1
Heizwert	kJ/kg	k.A.	
Glühverlust	%	1,22	22
Flügelscherfestigkeit	kN/m ²	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

17 03 01* Kohlenteerhaltige Bitumengemische

Zusammensetzung:

Detaillierte Angaben zur Zusammensetzung liegen nicht vor.

Datenlage: schlecht

Konsistenz: fest

Gefahrenmerkmale:

Der Abfall ist aufgrund seines BaP-Gehaltes im Eluat nach den Hinweisen zur Anwendung der AVV als gefährlich einzustufen.

Gasbildungspotential:

Über das Gasbildungspotential von kohlenteerhaltigen Bitumengemischen sind keine Untersuchungen bekannt.

Eluatgehalte:

Tabelle 1-59 Eluatgehalte der Abfallart 17 03 01

Parameter	Einheit	Wert	Anzahl Proben [N]
As	mg/l	k.A.	
Cd	mg/l	0,02	4
Cr ges	mg/l	0,04	2
Ni	mg/l	0,04	4
Pb	mg/l	0,06	6
Hg	mg/l	0,001	4
PCB	mg/l	k.A.	
PAK	mg/l	190,00	1
TOC	mg/l	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

Feststoffgehalte:

Tabelle 1-60 Feststoffgehalte der Abfallart 17 03 01

Parameter	Einheit	Wert	Anzahl Proben [N]
As	mg/kg	k.A.	
Cd	mg/kg	0,4	1
Cr ges	mg/kg	k.A.	
Ni	mg/kg	k.A.	
Pb	mg/kg	k.A.	
Hg	mg/kg	0,1	1
Cu	mg/kg	k.A.	
Zn	mg/kg	k.A.	
Fe	mg/kg	k.A.	
Sn	mg/kg	k.A.	
PCB	mg/kg	k.A.	
PAK	mg/kg	176	4
TOC	%	1,69	2
Trockensubs.	%	k.A.	
Schüttdichte	g/cm ³	k.A.	
Stampfdichte	g/cm ³	k.A.	
Heizwert	kJ/kg	k.A.	
Glühverlust	%	4,5	2
Flügelscherf.	kN/m ²	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

Weitere Daten

Die beiden folgenden Tabellen enthalten Analysenergebnisse, die von Proben teerhaltiger Asphalte aus einem Unternehmen, das Bergversatz betreibt, stammen. Über die in den Tabellen genannten Schadstoffgehalte hinaus sind noch Analysedaten für Aluminium aus zwei Proben bekannt. Die Konzentration lag im Bereich von 1%.

Tabelle 1-61 Eluatgehalte von kohlenteeerhaltigen Bitumengemischen

Parameter	Einheit	Wert	Anzahl Proben [N]
Cd	mg/l	0,00	2
Cr VI	mg/l	0,01	2
Pb	mg/l	0,01	2
Phenolindex	mg/l	0,01	9

Feststoffgehalte:

Tabelle 1-62 Feststoffgehalte von kohlenteehaltigen Bitumengemischen

Parameter	Einheit	Wert	Anzahl Proben [N]
As	mg/kg	6,9	11
Cd	mg/kg	1,0	3
Cr ges	mg/kg	33	11
Ni	mg/kg	30	11
Pb	mg/kg	41	11
Hg	mg/kg	1,0	10
Cu	mg/kg	25	11
Zn	mg/kg	140	11
Fe	mg/kg	12.000	1
Sn	mg/kg	6	2
PAK	mg/kg	386,0	11

17 05 05* Baggergut, das gefährliche Stoffe enthält

Zusammensetzung:

Von Analyseergebnissen zu Schadstoffgehalten abgesehen, liegen sehr wenig Daten zur Zusammensetzung vor. Der Glühverlust ist bei zwei Proben mit ca. 25% relativ hoch. Aufgrund der geringen Probenzahl kann nicht beurteilt werden, ob der Wert repräsentativ ist.

Datenlage: überwiegend mäßig

Konsistenz: pastös bis fest

Gefahrenmerkmale: keine

Gasbildungspotential:

Untersuchungen zum Gasbildungspotential von Abfällen, die dieser Abfallart zugeordnet werden, sind nicht bekannt.

Eluatgehalte (Mediane)

Tabelle 1-63 Eluatgehalte der Abfallart 17 05 05

Parameter	Wert [mg/l]	Anzahl Proben [N]
As	0,01	5
Cd	0,002	10
Cr	0,01	8
Ni	0,01	8
Pb	0,01	9
Hg	0,0001	6
PCB	k.A.	
PAK	0,1	1
TOC	6,3	1

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

Feststoffwerte (Mediane)

Tabelle 1-64 Feststoffgehalte der Abfallart 17 05 05

Parameter	Einheit	Wert	Anzahl Proben [N]
As	mg/kg	10,58	8
Cd	mg/kg	0,97	8
Cr	mg/kg	120	7
Ni	mg/kg	50	7
Pb	mg/kg	250	7
Hg	mg/kg	1,21	8
Cu	mg/kg	171	6
Zn	mg/kg	1.675	6
Fe	mg/kg	k.A.	
Sn	mg/kg	k.A.	
PCB	mg/kg	1,68	7
PAK	mg/kg	27	7
TOC	%	5,100	2
Trockensubstanz	%	65,2	5
Schüttdichte	g/cm ³	k.A.	
Stampfdichte	g/cm ³	k.A.	
Heizwert	kJ/kg	k.A.	
Glühverlust	%	24,8	2
Flügelscherfestigkeit	kN/m ²	0,5	1

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

17 05 07 Gleisschotter, der gefährliche Stoffe enthält

Zusammensetzung:

Von den in den Tabellen enthaltenen Analysendaten abgesehen, liegen keine Angaben über die Zusammensetzung der Abfallart vor.

Datenlage: schlecht

Konsistenz: fest

Gefahrenmerkmale: keine

Gasbildungspotential:

Untersuchungen zum Gasbildungspotential von Abfällen, die dieser Abfallart zu geordnet werden, sind nicht bekannt und aufgrund der Zusammensetzung dieser Abfallart auch nicht zu erwarten.

Eluatgehalte (Mediane)

Tabelle 1-65 Eluatgehalte der Abfallart 17 05 07

Parameter	Wert [mg/l]	Anzahl Proben [N]
As	0,02	1
Cd	k.A.	
Cr	0,02	1
Ni	0,10	1
Pb	0,0020	1
Hg	k.A.	
PCB	k.A.	
PAK	8,5	1
TOC	0,02	1

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

Feststoffwerte (Mediane)

Tabelle 1-66 Feststoffgehalte der Abfallart 17 05 07

Parameter	Einheit	Wert	Anzahl Proben [N]
As	mg/kg	10,9	1
Cd	mg/kg	0,54	2
Cr	mg/kg	48	2
Ni	mg/kg	47,4	2
Pb	mg/kg	136	2
Hg	mg/kg	0,21	2
Cu	mg/kg	127	2
Zn	mg/kg	241	2
Fe	mg/kg	k.A.	
Sn	mg/kg	k.A.	
PCB	mg/kg	k.A.	
PAK	mg/kg	k.A.	
TOC	%	k.A.	
Trockensubstanz	%	83,00	1
Schüttdichte	g/cm ³	k.A.	
Stampfdichte	g/cm ³	k.A.	
Heizwert	kJ/kg	k.A.	
Glühverlust	%	8,55	2
Flügelscherfestigkeit	kN/m ²	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

19 01 05* Filterkuchen aus der Abgasbehandlung

Zusammensetzung:

Der Abfall besteht zu hohen Anteilen aus Calciumsulfat (ca. 25%). Daneben sind Calciumoxid und Calciumcarbonat sowie Siliciumdioxid in relevanten Massenanteilen vorhanden. Der Glühverlust ist mit ca. 13% relativ hoch.

Datenlage: überwiegend sehr gut

Konsistenz: fest

Gefahrenmerkmale:

Nach den Hinweisen zur Anwendung der AVV ist der Abfall als umweltgefährlich aufgrund seiner Toxizität für Wasserorganismen einzustufen (H14).

Gasbildungspotential:

Untersuchungen zum Gasbildungspotential wurden an einer Probe aus der Abgasreinigung einer Sonderabfallverbrennungsanlage sowie einem Filterkuchen mit nicht näher bezeichneter Herkunft, der der Schlüsselnummer 19 0 1 07 zugeordnet wurde, von Hagemann durchgeführt. Bei beiden Proben war das Gasbildungspotential sehr gering (H_2 : 0,005 m³/Mg, CO_2 : 0,045 m³/Mg, CH_4 : 0,0005 m³/Mg).

Eluatgehalte (Mediane)

Tabelle 1-67 Eluatgehalte der Abfallart 19 01 05

Parameter	Wert [mg/l]	Anzahl Proben [N]
As	0,002	69
Cd	0,01	77
Cr	0,02	55
Ni	0,02	67
Pb	0,05	
Hg	0,0015	76
PCB	k.A.	2
PAK	0,20	3
TOC	5,0	17

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

Feststoffwerte (Mediane)

Tabelle 1-68 Feststoffgehalte der Abfallart 19 01 05

Parameter	Einheit	Wert	Anzahl Proben [N]
As	mg/kg	15	104
Cd	mg/kg	59	119
Cr	mg/kg	47	84
Ni	mg/kg	48,5	99
Pb	mg/kg	1.735	151
Hg	mg/kg	114,95	132
Cu	mg/kg	278	90
Zn	mg/kg	6.296	143
Fe	mg/kg	12.315	19
Sn	mg/kg	199	68
PCB	mg/kg	0,006	
PAK	mg/kg	2	12
TOC	%	1	88
Trockensubstanz	%	60,10	25
Schüttdichte	g/cm ³	0,55	18
Stampfdichte	g/cm ³	0,76	17
Heizwert	kJ/kg	100	4
Glühverlust	%	13,50	88
Flügelscherfestigkeit	kN/m ²	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

19 01 06* Wässrige flüssige Abfälle aus der Abgasbehandlung und andere wässrige flüssige Abfälle

Zusammensetzung:

Hauptbestandteil der Abfallart ist Calciumchlorid (65%). Daneben ist noch Natriumchlorid in Mengenanteilen deutlich unter 5% relevant. Auffällig ist noch der relativ hohe Glühverlust des Trockenrückstandes.

Datenlage: überwiegend schlecht

Konsistenz: flüssig

Gefahrenmerkmale: keine

Gasbildungspotential:

Untersuchungen zum Gasbildungspotential von Abfällen, die dieser Abfallart zu geordnet werden, sind nicht bekannt. Aufgrund des relativ geringen Aluminiumoxidgehaltes sind relevante Gasbildungsraten bei dieser Abfallart nicht zu erwarten.

Eluatgehalte (Mediane)

Tabelle 1-69 Eluatgehalte der Abfallart 19 01 06

Parameter	Wert [mg/l]	Anzahl Proben [N]
As	0,001	6
Cd	0,01	9
Cr	0,42	8
Ni	0,50	8
Pb	0,30	13
Hg	0,010	8
PCB	k.A.	
PAK	k.A.	
TOC	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

Feststoffwerte (Mediane)

Tabelle 1-70 Feststoffgehalte der Abfallart 19 01 06

Parameter	Einheit	Wert	Anzahl Proben [N]
As	mg/kg	2,6	6
Cd	mg/kg	1	7
Cr	mg/kg	25	7
Ni	mg/kg	18	7
Pb	mg/kg	10	7
Hg	mg/kg	52	7
Cu	mg/kg	22	7
Zn	mg/kg	309	7
Fe	mg/kg	1.500	1
Sn	mg/kg	21	5
PCB	mg/kg	0,01	2
PAK	mg/kg	2	1
TOC	%	0,050	5
Trockensubstanz	%	62,46	4
Schüttdichte	g/cm ³	k.A.	
Stampfdichte	g/cm ³	k.A.	
Heizwert	kJ/kg	k.A.	
Glühverlust	%	26,10	4
Flügelscherfestigkeit	kN/m ²	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

19 01 15* Kesselstaub, der gefährliche Stoffe enthält

Zusammensetzung:

Hauptbestandteil des Abfalls ist Siliciumdioxid. Daneben machen Calciumoxid, Calciumsulfat und Aluminiumoxid wesentliche Bestandteile aus. Auffällig ist der relativ hohe Zinkgehalt im Bereich über 1%.

Datenlage:

Eluat: überwiegend mäßig

Feststoff: überwiegend gut

Konsistenz: fest

Gefahrenmerkmale:

Nach den Hinweisen zur Anwendung der AVV ist der Abfall als umweltgefährlich aufgrund seiner Toxizität für Wasserorganismen einzustufen (H14). Darüber hinaus ist er aufgrund seines Bleigehaltes im Eluat als gefährlich einzustufen.

Gasbildungspotential:

Untersuchungen zum Gasbildungspotential von Abfällen, die dieser Abfallart zu geordnet werden, sind nicht bekannt. Aufgrund der bekannten Gasbildungspotentiale bei MVA-Aschen und MVA-Filterstäuben ist ein relevantes Gasbildungspotential bei Kesselaschen aus der Abfallbehandlung zu erwarten.

Eluatgehalte (Mediane)

Tabelle 1-71 Eluatgehalte der Abfallart 19 01 15

Parameter	Wert [mg/l]	Anzahl Proben [N]
As	0,002	13
Cd	0,03	17
Cr	0,10	10
Ni	0,02	11
Pb	1,20	16
Hg	0,001	11
PCB	k.A.	
PAK	k.A.	
TOC	1,4	2

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

Feststoffwerte (Mediane)

Tabelle 1-72 Feststoffgehalte der Abfallart 19 01 15

Parameter	Einheit	Wert	Anzahl Proben [N]
As	mg/kg	12,7	22
Cd	mg/kg	75	29
Cr	mg/kg	215	16
Ni	mg/kg	133	21
Pb	mg/kg	3.080	37
Hg	mg/kg	0,26	21
Cu	mg/kg	672	20
Zn	mg/kg	12.305	34
Fe	mg/kg	20.500	2
Sn	mg/kg	329	17
PCB	mg/kg	0,03	5
PAK	mg/kg	0,15	6
TOC	%	0,72	22
Trockensubstanz	%	99,7	10
Schüttdichte	g/cm ³	0,85	14
Stampfdichte	g/cm ³	1,3	12
Heizwert	kJ/kg	k.A.	
Glühverlust	%	1,3	16
Flügelscherfestigkeit	kN/m ²	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

19 02 04* vorgemischte Abfälle, die wenigstens einen gefährlichen Abfall enthalten

Zusammensetzung:

Hauptbestandteile des Abfalls sind Siliciumdioxid, Calciumcarbonat, Calciumoxid, Eisen (III)oxid, Calciumsulfat, Aluminiumoxid und Natriumchlorid. Auffällig ist der hohe Heizwert von 16.900 kJ/kg. An einer Probe wurde in Flammpunkt von 10°C ermittelt.

Datenlage: überwiegend mäßig

Konsistenz: fest

Gefahrenmerkmale:

Nach der AVV ist der Abfall als „sehr giftig“, und „kanzerogen“, nach den Hinweisen zur Anwendung der AVV als „ökotoxikologisch“ (H14) einzustufen. Aufgrund des Bleigehaltes im Eluat ist der Abfall nach H13 gem. Entwurf AVV VwV als gefährlich einzustufen.

Gasbildungspotential:

Untersuchungen zum Gasbildungspotential von Abfällen, die dieser Abfallart zu geordnet werden, sind nicht bekannt.

Eluatgehalte (Mediane)

Tabelle 1-73 Eluatgehalte der Abfallart 19 02 04

Parameter	Wert [mg/l]	Anzahl Proben [N]
As	0,0061	10
Cd	0,02	11
Cr	0,27	7
Ni	0,16	11
Pb	1,26	12
Hg	0,0015	10
PCB	k.A.	
PAK	k.A.	
TOC	105,0	1

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

Feststoffwerte (Mediane)

Tabelle 1-74 Feststoffgehalte der Abfallart 19 02 04

Parameter	Einheit	Wert	Anzahl Proben [N]
As	mg/kg	38,45	14
Cd	mg/kg	48	13
Cr	mg/kg	2.732	13
Ni	mg/kg	501,5	16
Pb	mg/kg	3.750	21
Hg	mg/kg	1,6	12
Cu	mg/kg	754	17
Zn	mg/kg	9.166	23
Fe	mg/kg	31.400	2
Sn	mg/kg	157	9
PCB	mg/kg	3,05	4
PAK	mg/kg	2,89	8
TOC	%	4,42	16
Trockensubstanz	%	96,20	4
Schüttdichte	g/cm ³	0,86	5
Stampfdichte	g/cm ³	0,97	5
Heizwert	kJ/kg	16.900	36
Glühverlust	%	11,20	11
Flügelscherfestigkeit	kN/m ²	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

19 02 05* Schlämme aus der physikalisch-chemischen Behandlung, die gefährliche Stoffe enthalten

Zusammensetzung:

Hauptbestandteile des Abfalls sind Calciumoxid, Eisen (III)oxid und Calciumsulfat mit Anteilen von jeweils ca. 10%. Deutlich geringere Anteile fallen auf Siliciumdioxid und Calciumcarbonat (ca. 2%). Auffällig ist ein relativ hoher Heizwert und ein relativ geringer Flammpunkt von ca. 55°C. Teilweise können nennenswerte Anteile an Edelmetallen enthalten sein. So lag beispielsweise der Goldanteil einer Probe bei 322 mg/kg.

Datenlage: überwiegend sehr gut

Konsistenz: pastös

Gefahrenmerkmale:

Nach den Hinweisen zur Anwendung der AVV ist der Abfall als „ökotoxikologisch“ (H14) einzustufen.

Gasbildungspotential:

Untersuchungen zum Gasbildungspotential von Abfällen, die dieser Abfallart zu geordnet werden, sind nicht bekannt. Aufgrund des relativ geringen Aluminiumoxidgehaltes ist kein relevantes Gasbildungspotential zu erwarten.

Eluatgehalte (Mediane)

Tabelle 1-75 Eluatgehalte der Abfallart 19 02 05

Parameter	Wert [mg/l]	Anzahl Proben [N]
As	0,005	380
Cd	0,01	420
Cr	0,02	290
Ni	0,075	420
Pb	0,05	420
Hg	0,001	387
PCB	k.A.	
PAK	26,79	4
TOC	34,0	247

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

Feststoffwerte (Mediane)

Tabelle 1-76 Feststoffgehalte der Abfallart 19 02 05

Parameter	Einheit	Wert	Anzahl Proben [N]
As	mg/kg	8,4	196
Cd	mg/kg	3	217
Cr	mg/kg	533	227
Ni	mg/kg	427	242
Pb	mg/kg	180	231
Hg	mg/kg	0,44	185
Cu	mg/kg	300	208
Zn	mg/kg	5.000	255
Fe	mg/kg	44.000	80
Sn	mg/kg	93	116
PCB	mg/kg	0,5	9
PAK	mg/kg	2	48
TOC	%	2,1	228
Trockensubstanz	%	47,30	250
Schüttdichte	g/cm ³	0,70	23
Stampfdichte	g/cm ³	0,89	18
Heizwert	kJ/kg	7.700	11
Glühverlust	%	17,85	352
Flügelscherfestigkeit	kN/m ²	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

19 03 04* als gefährlich eingestufte teilweise stabilisierte Abfälle

Dieser Abfallart kann ein weites Spektrum von Einzelabfällen, die teilweise stabilisiert wurden zugeordnet werden. Obwohl die Abfallart in Nordrhein-Westfalen anfällt, weist die Datenbank ABANDA hierzu keine Analysen aus. Auch aus anderen Quellen sind keine Daten zur Zusammensetzung verfügbar.

19 03 06* als gefährlich eingestufte verfestigte Abfälle

Zusammensetzung:

Die Abfallart besteht zu ca. 65% aus Natriumsulfat. Zweiter Hauptbestandteil ist organisch gebundener Kohlenstoff (TOC)

Datenlage: überwiegend schlecht

Konsistenz: fest

Gefahrenmerkmale: keine

Gasbildungspotential:

Untersuchungen zum Gasbildungspotential von Abfällen, die dieser Abfallart zu geordnet werden, sind nicht bekannt. Aufgrund des relativ geringen Aluminiumoxidgehaltes ist kein relevantes Gasbildungspotential zu erwarten.

Eluatgehalte (Mediane)

Tabelle 1-77 Eluatgehalte der Abfallart 19 03 06

Parameter	Wert [mg/l]	Anzahl Proben [N]
As	0,0001	2
Cd	0,01	2
Cr	k.A.	
Ni	k.A.	
Pb	0,01	2
Hg	k.A.	
PCB	k.A.	
PAK	k.A.	
TOC	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

Feststoffwerte (Mediane)

Tabelle 1-78 Feststoffgehalte der Abfallart 19 03 06

Parameter	Einheit	Wert	Anzahl Proben [N]
As	mg/kg	0,1	3
Cd	mg/kg	0,5	3
Cr	mg/kg	18	3
Ni	mg/kg	18	3
Pb	mg/kg	5	3
Hg	mg/kg	0,1	3
Cu	mg/kg	385	3
Zn	mg/kg	105	7
Fe	mg/kg	k.A.	
Sn	mg/kg	5	1
PCB	mg/kg	k.A.	
PAK	mg/kg	5	2
TOC	%	10,9	9
Trockensubstanz	%	99,73	7
Schüttdichte	g/cm ³	0,92	3
Stampfdichte	g/cm ³	0,99	3
Heizwert	kJ/kg	k.A.	
Glühverlust	%	8,7	9
Flügelscherfestigkeit	kN/m ²	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

19 07 02* Deponiesickerwasser, das gefährliche Stoffen enthält

Zusammensetzung:

Hauptbestandteile der Abfallart bilden Natriumchlorid (ca. 40%) und Natriumsulfat (ca. 20%). Magnesiumsulfat, Calciumsulfat und Kaliumchlorid machen wesentlich geringere Mengenanteile aus.

Datenlage: überwiegend mäßig bis schlecht

Konsistenz: fest

Gefahrenmerkmale: keine

Gasbildungspotential:

Untersuchungen zum Gasbildungspotential von Abfällen, die dieser Abfallart zu geordnet werden, sind nicht bekannt. Aufgrund eines Aluminiumoxidgehaltes im Bereich von 2% und eines relativ hohen Chloridgehaltes von 10% ist ein relevantes Gasbildungspotential nicht auszuschließen.

Eluatgehalte (Mediane)

Tabelle 1-79 Eluatgehalte der Abfallart 19 07 02

Parameter	Wert [mg/l]	Anzahl Proben [N]
As	0,03	6
Cd	0,01	9
Cr	0,32	9
Ni	0,01	9
Pb	0,03	9
Hg	0,0008	9
PCB	k.A.	
PAK	k.A.	
TOC	3,0	3

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

Feststoffwerte (Mediane)

Tabelle 1-80 Feststoffgehalte der Abfallart 19 07 02

Parameter	Einheit	Wert	Anzahl Proben [N]
As	mg/kg	12,3	6
Cd	mg/kg	29,7	9
Cr	mg/kg	37	7
Ni	mg/kg	42,9	7
Pb	mg/kg	855	9
Hg	mg/kg	1,72	7
Cu	mg/kg	10	7
Zn	mg/kg	969	10
Fe	mg/kg	k.A.	
Sn	mg/kg	52,7	7
PCB	mg/kg	0,055	2
PAK	mg/kg	1,6	4
TOC	%	2,1	6
Trockensubstanz	%	95,4	2
Schüttdichte	g/cm ³	2,24	2
Stampfdichte	g/cm ³	1,44	2
Heizwert	kJ/kg	k.A.	
Glühverlust	%	11,50	6
Flügelscherfestigkeit	kN/m ²	k.A.	

Quelle: ABANDA-Datenbank LUA NRW

k.A.: keine Angaben

Literatur zu den Anhängen 2 und 3

ABANDA	http://www.nrw-luawebapps.de/aida/steuer.php
Amer 2004	Amer, A.: Extraction of Vanadium from Mechanically Pre-treated Egyptian Boiler Ash. World of Metallurgy – ERZMETALL 57 (2004) No. 6
AVV VwV 2004	Entwurf einer Verwaltungsvorschrift zur Abfallverzeichnisverordnung. Referentenentwurf Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis vom 10.12.2001, Stand 27.8.2004
BIfU 2002	Abschlussbericht Verwertung von MV Rostschlacke in Bauvorhaben. Bayrisches Landesamt für Umweltschutz, Augsburg 2002
Bongard, Kneib 1995	Bongard, B., Kneib, W.D.: Inventarisierung von technogenen Substraten und Charakterisierung technisch hergestellter Böden. Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit – Bodenschutz-Forschungsbericht 107 03 007/04, UBA-FB 95-050, Umweltbundsamt Berlin August 1995
Brasser	Brasser, T. et al.: Erprobung und Anpassung ökotoxikologischer Methoden zur Bewertung UTD-relevanter Abfall-Eluate – Abschlussbericht. Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, GRS – A-2592, Braunschweig, Datum unbekannt
EUREKA 1993	Industrial Waste Management R & D Needs and Market Opportunities. EUROENVIRON Working Group On Industrial Wastes, Umweltbundesamt Berlin, September 1993
Hagemann 2006	Hagemann, S. et al.: Gasfreisetzung aus chemisch-toxischen Abfällen in Untertagedeponien. Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Braunschweig, Januar 2006
Hassan 2000	Hassan, A.: Rohstoffeinsparung von verbrauchten Katalysatoren aus der chemischen Industrie. Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Forschungsbericht 299 93 301, UFO Plan FB 000 139, Umweltbundesamt Berlin 2000
Hinweise AVV 2005	Hinweise zur Anwendung der Abfallverzeichnis-Verordnung vom 9.8.2005, BAanz. Nr. 148a (Beilage) S.1
Huber 1998	Huber, H. et al.: Langfristiges Emissionsverhalten von MVA-Schlacke. In Wasser und Boden 2, S. 14-18 (1998)
Klein 2002	Klein, R.: Wasser-, Stoff- und Energiebilanz von Deponien aus Müllverbrennungsschlacken. Dissertation an der Technischen Universität München, Fakultät Chemie, München 17.4.2002

Magel	Magel, G. et al.: Abiotische H ₂ -Produktion in MV-Monodeponien am Beispiel Waldenring. BayFORREST Forschungsvorhaben F 188, Ludwig-Maximilian-Universität München, Datum unbekannt
Mansfeld 2004	Mansfeld, T. et al.: Deponierte Hochofengasschlämme – Eine Gefahr für die Umwelt? In Altlasten Spektrum 2/2004, S. 103-107
Okunev, A. 2005	Okunev, A., Chentsov, V.: Continious combined fuming-process of zink slags and polymetallic raw materials. Preceedings of EMC 2005
PCB AbfallV 2000	Verordnung über die Entsorgung polychlorierter Biphenyle und polychlorierter Terphenyle und halogenerter Monomethyldiphenylmethane (PCB/PCT Abfallverordnung-PCB AbfallV) BGBl I. S. 1360
Reimann 1990	Reimann, D.O.: Reststoffe aus thermischen Abfallverwertungsanlagen. In: Beihefte zu Müll und Abfall; Reststoffe aus der Rauchgasreinigung, Erich Schmidt Verlag Berlin 1990, ISBN: 3 503 02 8889
Roos 1993	Roos, H.-J.: Herkunft, Behandlung und Verwertung bedeutamer anorganischer Rückstände aus industriellen Produktionsprozessen. LUA Materialien Nr. 8/93, Düsseldorf, November 1993
SAPI 2000	Fertl, K.: Entwicklung von Verfahren und Anlagen zur Aufbereitung von Strahlmitteln. Abschlussbericht FuE-Vorhaben mit dem Förderkennzeichen 147 0777, Umweltbundesamt Berlin
Schmidt 2000	Schmidt, R.: Untersuchungen zur Verwertung und Beseitigung industrieller mineralischer Reststoffe aus der Rauchgasreinigung. Dynamische Brennversuche im halbtechnischen Maßstab. Dissertation an der Mathematisch-Naturwissenschaftlich-Technischen Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Halle 2000
Werthmann 2006	Schreiben von Herrn Werthmann, Kali und Salz Entsorgung GmbH vom 22.8.2006

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Methodenentwicklung für die ökologische Bewertung der Entsorgung gefährlicher Abfälle unter und über Tage und Anwendung auf ausgewählte Abfälle

Anhang 4: Beschreibung der Verwertungsverfahren

Darmstadt, den 30.11.2007

Forschungsvorhaben

gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung, Förderkennzeichen 02C1345, unterstützt durch Drittmittel von vier Versatzbergwerken und teilfinanziert aus Eigenmitteln des Öko-Instituts

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren

Öko-Institut e.V.
Büro Darmstadt
Rheinstrasse 95
D-64295 Darmstadt
Telefon +49 (0) 6151 - 8191 - 0
Fax +49 (0) 6151 - 8191 - 33

Geschäftsstelle Freiburg
Postfach 50 02 40
D-79028 Freiburg
Hausadresse
Merzhauser Straße 173
D-79100 Freiburg
Telefon +49 (0) 7 61 - 4 52 95-0
Fax +49 (0) 7 61 - 452 95-88

Büro Berlin
Novalisstraße 10
D-10115 Berlin
Telefon +49 (0) 30 - 28 04 86-80
Fax +49 (0) 30 - 28 04 86-88

Inhaltsverzeichnis

1	Beschreibung der Verwertungstechnologien	1
1.1	Sonderabfallverbrennung und Mitverbrennung	1
1.1.1	Herkömmliche Sonderabfallverbrennungsanlagen	1
1.1.2	Verbrennungsanlagen für kohleerhaltige Bitumengemische	1
1.1.3	Mitverbrennung im Zementwerk	2
1.1.4	Sonstige Verbrennungsanlagen:	5
1.2	Aufbereitung von Aschen aus der Hausmüllverbrennung	6
1.2.1	Konventionelle Aufbereitung von MVA-Aschen	6
1.2.2	Weitergehende Aufbereitung von MVA-Aschen	8
1.3	Aufbereitung von Filterstäuben aus der Müllverbrennung	9
1.3.1	Verfahrensbeschreibungen	9
1.4	Mechanische Aufbereitung von von Strahlsanden	10
1.4.1	Verfahrensbeschreibung	10
1.5	Verfahren zur Metallaufbereitung	10
1.5.1	Zinkanreicherung nach dem Wälzverfahren	10
1.5.2	DK-Prozess der DK Recycling und Roheisen GmbH	11
1.5.3	Anlage der Fa. Citron AG nach dem Oxyreducer-Prozess	12
1.5.4	Elektroreduktionsverfahren der B.U.S. Steel Services GmbH	12
1.5.5	Plasmaverfahren der B.U.S. Steel Services GmbH	13
1.5.6	PRIMUS-Prozess	13
1.5.7	Imperial-smelting-Prozess	13
1.5.8	Hydrometallurgische Zinkaufbereitung	13
1.5.9	Integrierte Metallhütte und Metallscheidung in Hoboken, Belgien von Umicore	14
1.5.10	Sekundärkupferhütte Hüttenwerke Kayser	15
1.5.11	Sekundärbleihütten	15
1.5.12	Nickelhütte Aue	15
1.5.13	Weitere Verfahren zum Metallrecycling:	16
1.6	Aufbereitungsanlagen für Bau- und Abbruchabfälle	17
1.6.1	Verfahren zur Aufbereitung und Behandlung von kontaminiertem Bodenaushub (Boden und Steine)	17
1.6.2	Aufbereitung von Straßenaufbruch	22
1.6.3	Aufbereitung von Bauschutt	23
1.6.4	Aufbereitung von Gleisschotter	25

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1	Sekundärrohstoffeinsatz in der Klinkerherstellung im Jahr 2000 [vdz 2002].....	3
Tabelle 1-2	Einsatz von Sekundärbrennstoffen 2002 in der Klinkerherstellung [Vdz 2003].....	5
Tabelle 1-3	Verwertungswege von Schlacken in Deutschland nach [Lück 2004]	6
Tabelle 1-4	Mögliche Wiederverwendungsraten verschiedener Strahlmittel	10

1 Beschreibung der Verwertungstechnologien

1.1 Sonderabfallverbrennung und Mitverbrennung

1.1.1 Herkömmliche Sonderabfallverbrennungsanlagen

Die Gesamtverbrennungskapazität der 30 größeren Sonderabfall- und Rückstandsverbrennungsanlagen in der Bundesrepublik Deutschland liegt derzeit bei ca. 1 Mio. t/a. Die 30 Anlagen unterteilen sich in 8 öffentlich zugängliche Anlagen, 4 beschränkt öffentlich zugängliche Anlagen und 18 betriebseigene Sonderabfall- und Rückstandsverbrennungsanlagen [UBA 2006].

In den Sonderabfallverbrennungsanlagen werden die unterschiedlichsten Abfälle behandelt: die Heizwerte reichen von 0 – 40 MJ/kg bei unterschiedlichen Konzentrationen von Chlor, Schwefel, Schwermetallen und organischen Schadstoffen. Üblicherweise werden Drehrohröfen eingesetzt.

Das Drehrohr ist hierbei in Förderrichtung geneigt und wird bis zu 20% mit Brennstoff gefüllt. Durch eine kontinuierliche Drehung um die Längsachse wird der Inhalt des Ofens umgewälzt, das Brenngut durchmischt und langsam zum unteren Ende des Drehrohrs befördert. Dadurch wird ein vollständiger Ausbrand gewährleistet, bei dem alle Elemente mit Ausnahme der Halogenide oxidiert werden. Die Oxide verlassen dann entweder als feste Schlackebestandteile die Anlage oder gelangen mit der Gasphase in die Rauchgasreinigung.

Der Drehrohröfen ist sehr flexibel bezüglich möglicher Beschickungen. Es können sowohl feste als auch flüssige Abfälle verbrannt werden. Auch können gefüllte Fässer und größere Gebinde ohne vorherige Entleerung und Zerkleinerung komplett aufgegeben werden. Für eine optimale Verbrennungsführung werden die Abfallmischungen entsprechend zusammengestellt. Auch können heizwertarme Abfälle verbrannt werden, indem zusätzliche Stützbrenner eingesetzt werden. Eine Nachbrennkammer. Mit Temperaturen von mindestens 1.100°C bei einer Verweilzeit von mindestens 2 Sekunden soll der vollständige Ausbrand der Verbrennungsgase sichergestellt werden.

Für die luftseitigen Emissionen sind dieselben Grenzwerte wie bei Hausmüllverbrennungsanlagen gemäß der 17. BImSchV einzuhalten. Abwässer entstehen nicht, da alle Anlagen abwasserfrei arbeiten müssen.

1.1.2 Verbrennungsanlagen für kohlenteeerhaltige Bitumengemische

In den Niederlanden ist die Verbrennung von kohlenteeerhaltigem Straßenaufbruch der einzig akzeptierte Entsorgungsweg. Es wurden zwei Anlagen in den Niederlan-

den in Betrieb genommen. Es ist zu erwarten, dass weitere Anlagen noch errichtet werden (Stand 2002 nach [EMPA 2002]).

Eine Anlage befindet sich in Rosendaal mit einer Kapazität von ca. 15.000 t/a. Die Verbrennung geschieht in einem Wirbelbettreaktor, in dem das teerhaltige Bindemittel vollständig verbrennt. Durch die Einbindung in ein Asphaltmischwerk werden die anfallenden gereinigten Mineralstoffe direkt heiß weiter verwendet. Im Jahr 2001 wurden noch Testläufe gefahren. Die Kosten der Verbrennung werden auf rund 41 €/t geschätzt zuzüglich Transport und möglicher Zusatzkosten für Brechen und Lagerung [EMPA 2002].

In Rotterdam wurden in 2000 Versuche zur Verbrennung von teerhaltigem Granulat in einer Anlage zur thermischen Behandlung von verunreinigten Böden mit einer Kapazität von 150.000 t/a durchgeführt. Die Anlage arbeitet mit einer rotierenden Trommel bei Temperaturen bis 600°C. Output der Anlage sind eine Mineralfraktion, die die Anforderungen für den Straßenbau erfüllt sowie Rückstände aus der Rauchgasreinigung. Die Kosten für die Behandlung von Asphaltgranulat liegen bei etwa 50 €/t [EMPA 2002].

1.1.3 Mitverbrennung im Zementwerk

Ein wesentlicher Hauptbestandteil von Zement ist Zementklinker, dessen Herstellung überwiegend in Drehrohröfen bei Temperaturen um 1.450 °C stattfindet. Hierbei werden die gemahlene und getrocknete Rohstoffe gebrannt und gesintert. Im Folgenden werden zunächst die Rohstoffe und die Brennstoffe für diesen Prozess dargestellt.

Roh- und Korrekturstoffe stammen überwiegend aus natürlichen Quellen wie Kalkstein, Ton, Kalkmergel, Sand und Eisenerz. Die Substitution durch Sekundärrohstoffe lag in 2000 bei rund 3,6% bzw. 1,5 Mio. t/a [vdz 2002]. Ein Großteil der Sekundärrohstoffe sind Abfälle aus industriellen Prozessen. Folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die eingesetzten Sekundärrohstoffgruppen und die Mengen:

Tabelle 1-1 Sekundärrohstoffeinsatz in der Klinkerherstellung im Jahr 2000 [vdz 2002]

Gruppe	Rohstoff	Einsatzmenge 1.000 t/a
Ca	Kalkschlämme aus der Trink- und Abwasseraufbereitung Kalkhydrat Porenbetongranulat Calciumchlorid Industrielle Kalkabfälle CaF ₂ -haltige Reststoffe	264
Si	Gießereialsand	137
Al	Al-Werkstäube Rückstände der Salzschlackenaufbereitung Katalysatorstaub Al-Hydroxid	40
Si/Al	Bentonit, Kaolinit Rückstände Kohleaufbereitung	47 22
Fe	Kiesabbrand Verunreinigte Erze Stahlwerksstäube Walzzunder	321
Si/Al/Ca	Flugaschen Papierreststoffe Rostaschen Eisenoxid/Flugaschegemisch Schlacken Ölverunreinigte Böden	683
Gesamt		1.514

Regelbrennstoffe sind üblicherweise Stein- oder Braunkohle. Daneben kommen zahlreiche Ersatzbrennstoffe zum Einsatz. Vorwiegend sind dies Altreifen, Altöle, Kunststoffe und Produktionsabfälle. Im Jahre 2002 wurden ca. 1,4 Mio. t Ersatzbrennstoffe eingesetzt, die rund 35% der benötigten thermischen Energie zur Zementherstellung bereitgestellt haben [vdz 2003]. Der Brennstoff wird entweder in fein gemahlener oder flüssiger Form mit der Primärfeuerung oder am „kälteren“ Ofenende mit der Sekundärfeuerung aufgegeben. Die anfallende Asche wird beim Sinterprozess in den Klinker mit eingebaut. Damit dienen die Ersatzbrennstoffe je

nach Aschezusammensetzung auch als Sekundärrohstoffe. Folgende Abfalleigenschaften sind bei der Mitverbrennung im Zementwerk von Bedeutung:

- Heizwert: Die durchschnittlichen Heizwerte der Sekundärbrennstoffe lagen in 2002 zwischen 11 und 31 MJ/kg [vdz 2003].
- Schwermetallgehalt: Die im Brennstoff enthaltenen Schwermetalle werden zu über 98% in den Zementklinker eingebunden. Ausnahme ist Quecksilber, das zu rund 40% in das Abgas übergeht [MUNLV 2000].
- Chlorgehalt: ein zu hoher Chloridgehalt kann zu unerwünschten Verklebungen und Anbackungen im Drehrohr führen, so dass maximale Chlorgehalte im Brennstoff von 0,8 – 1% genannt werden [Pomberger 2003] [LAGA 1997a].
- Stückigkeit, Förderverhalten und Ausbrandverhalten: diese Eigenschaften bestimmen u. a., ob der Ersatzbrennstoff in der Primärfeuerung mit hohen Anforderungen an Homogenität und Partikelgröße oder der Sekundärfeuerung aufgegeben wird. Hierbei ist die Sekundärfeuerung verbrennungstechnisch ungünstiger, da der dort aufgebene Ersatzbrennstoff bei niedrigeren Temperaturen und geringeren Verweilzeiten verbrannt wird.

Neben dem Einsatz der Ersatzbrennstoffe in der Primär- oder Sekundärfeuerung gibt es auch Zementwerke wie das Zementwerk Rüdersdorf, die den Ersatzbrennstoff zunächst in einem separaten Vergaser vergasen und das erzeugte Gas im Kalzinator mit verbrennen. Der Kalzinator ist dem Drehrohrföfen vorgeschaltet und entzieht unter hohem Energieaufwand dem Kalk die Kohlensäure.

Folgende Sekundärbrennstoffe wurden in 2002 eingesetzt:

Tabelle 1-2 Einsatz von Sekundärbrennstoffen 2002 in der Klinkerherstellung [Vdz 2003]

Sekundärbrennstoff	1.000 t/a
Reifen	225
Altöl	125
Fraktionen aus Industrie-/Gewerbeabfällen:	
Zellstoff, Papier und Pappe	43
Kunststoff	128
Verpackungen	64
Abfälle aus der Textilindustrie	5
Sonstige	231
Tiermehle und -fette	380
Aufbereitete Fraktionen aus Siedlungsabfällen	106
Altholz	63
Lösungsmittel	41
Bleicherde	15
Sonstige, wie:	12
Ölschlamm	
Organische Destillationsrückstände	
Summe	1.438

Der Klinker wird am Ende des Drehrohres ausgetragen, abgekühlt und gemahlen, mit Zusatzstoffen (z. B. Hüttensand, Kalkstein, gebranntem Ölschiefer, Steinkohleflugasche) vermischt und als Zement abgepackt. Teilweise werden als Zusatzstoffe auch an dieser Stelle Sekundärrohstoffe, beispielsweise Hüttensand oder Steinkohleflugaschen eingesetzt. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass an dieser Stelle keine gefährlichen Stoffe eingesetzt werden, da hier nur ein Mahl- und Mischvorgang und keine thermische Behandlung stattfindet.

1.1.4 Sonstige Verbrennungsanlagen:

Neben den oben genannten Anlagen gibt es u. a. noch folgende Anlagen der thermischen Abfallbehandlung [BDE 2005]:

- Thermische Bodenhandlung, siehe Kap. 1.6.1.3
- Thermische Behandlung von Aktivkohlen (A.U.G. Neue Aktivkohle- und Umweltschutztechnik GmbH & Co.),
- Explosivstoffentsorgungsanlagen,
- Sekundärrohstoff-Verwertungszentrum Schwarze Pumpe (Festbettdruckverfahren),

- Thermische Behandlung schwermetallhaltiger Abfälle in der Anlage der Fa. Citron AG nach dem Oxyreducer-Prozess siehe, Kap.1.5.3
- Thermische Verfahren zur Metallaufbereitung siehe, Kap. 1.5
- Mitverbrennung im Kohlekraftwerk.

1.2 Aufbereitung von Aschen aus der Hausmüllverbrennung

Im Folgenden werden Verfahren der MVA-Aschenaufbereitung kurz dargestellt. Das Ziel ist meistens die Verwertung in der Bauindustrie. Die wichtigsten Verwertungswege und ihre Anteile nach [Lück 2004] zeigt die nachfolgende Tabelle:

Tabelle 1-3 Verwertungswege von Schlacken in Deutschland nach [Lück 2004]

Verwertungsweg	Anteil in %
Landschaftsbau	1
Verfüllmaterial	22
Lärmschutzwall	3
Bodenverbesserung	9
Bodenverfestigung / hydraulisch gebundene Tragschicht	5
Frostschuttschicht	27
Schottertragschicht	11
Ungebundene Verkehrsflächen / Wegebau	1
Unterbau / Dammbau	5
Sonstiges	16

Für die Verwertungsmöglichkeiten als Baustoff gelten ebenso wie für die Verwertung anderer mineralischer Abfälle die Zuordnungswerte der LAGA.

1.2.1 Konventionelle Aufbereitung von MVA-Aschen

Im Folgenden wird die konventionelle Aufbereitung von MVA-Aschen beschrieben, wie sie nach der LAGA-Vorschrift M19 für MVA-Aschen für Verwertung gefordert wird. Es handelt sich um eine Kombination einfacher Verfahren im Vergleich zur weitergehenden Aufbereitung, die in Kap. 1.2.2 dargestellt ist. Die weitergehende Aufbereitung führt zu einer verbesserten Abscheidung von Metallen und leicht löslichen Salzen und aus Sicht der Baustoffindustrie zu hochwertigeren Sekundärbaustoffen. Während die konventionelle Aufbereitung häufig zu einer Einordnung der Schlackeprodukte in die Einbauklasse Z2 führt (bestimmend sind hierbei die Werte

für Cu und Zn), erreicht die weitergehend aufbereitete Schlacke in der Regel die Zuordnungswerte von Z1.1 (bestimmend sind Cu, Zn und Cl) [Lück 2004].

Folgende Behandlungsschritte sind in der Regel Bestandteile der konventionellen Aufbereitung:

Die Asche wird am Rostende der Müllverbrennungsanlage mit einem hydraulisch betätigten Stößelentschlacker ausgetragen. Die Wasserversorgung im Stößelentschlacker wird mit einem erheblichen Überschuss betrieben, um leicht lösliche Salze aus der Asche zu entfernen. Dabei wird beispielsweise eine Reduktion der Chloride um ca. 50 % erreicht. [VGB o.J.]

Nach einer der Entwässerung dienenden Ablagerungszeit von etwa zwei Wochen oder dem Abpressen der Asche [VGB o.J.], können die erforderlichen Aufbereitungsschritte durchgeführt werden [VGB o.J.] [Zwahr 2006]:

1. Die Asche wird gesiebt. Dabei erfolgt eine Trennung in zwei Fraktionen (1. Fraktion: 0-32 mm; 2. Fraktion: > 32 mm).
2. Brechen der 2. Fraktion in einer Prallmühle.
3. Abtrennung von Eisenschrott aus beiden Fraktionen mittels mehrerer Magnetabscheider und von NE-Metallen durch ein Wirbelstromverfahren. Die NE-Metalle werden dabei zu über 90 % ausgetragen.
4. Absiebung einer Fraktion > 32 mm aus der 2. Fraktion. Die Fraktion > 32 mm wird als sogenanntes Überkorn wieder in den Bunker verbracht.
5. Zusammenführung der beiden Fraktionen 0-32 mm und Absieben einer Fraktion > 10 mm.
6. Abtrennen von Leichtstoffen (unverbrannte Reste) aus der Fraktion > 10 mm mittels Windsichtung und Rückführung in die Verbrennung.
7. Zusammenführen der beiden Fraktionen (größer/kleiner 10 mm) über eine Bandwaage zur Einstellung der Siebkennlinie.

Anschließend wird die Asche, wie im Merkblatt M 19 der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall [LAGA 1994] gefordert, drei Monate gelagert. Während der Lagerung finden natürliche Alterungsreaktionen wie Oxidations-, Hydratations- und Carbonatisierungsvorgänge statt [Lück 2004]. Das Ergebnis ist die Abnahme der Löslichkeit von Salzen und Schwermetallen. Begünstigend wirken hierbei eine Befeuchtung und eine Belüftung. Da in den meisten Fällen keine Durchmischung der Schlacke stattfindet, läuft der Alterungsprozess jedoch nicht gleichmäßig ab.

Wenn die Müllverbrennungsanlage zum Schlackeaustrag einen Nassentschlacker verwendet, finden dort bereits die ersten Alterungsvorgänge sowie eine einfache Schlackewäsche statt, bei der leicht lösliche Salze teilweise ausgewaschen werden.

Da am abgetrennten Eisenschrott noch Aschereste haften, wird er in einer separaten Anlage in einer Stabtrommel und einer Prallmühle von den Resten befreit und zum Schluss in einer Presse zu Ballen gepresst [VGB o.J.].

1.2.2 Weitergehende Aufbereitung von MVA-Aschen

Ziele der weitergehenden Aufbereitung von MVA-Aschen im Gegensatz zur einfachen Aschenaufbereitung nach dem LAGA-Merkblatt 19 (vgl. Kap. 1.2.1) sind nach [Lück 2004]:

- Klar definierte Kornverteilungen,
- Mechanische Eigenschaften: z.B. hohe Kornfestigkeit, scharfkantige Kornoberflächen, geringe Porosität oder runde Schlackekörner,
- vollständige Auslese von Unverbrannten,
- maximale Schadstoffentfrachtung und Abscheidung von leicht löslichen Salzen,
- weitgehende Aussortierung von Eisen und NE-Metallen und
- hohe Reinheit der gewonnenen Metallfraktionen.

Damit sollen mineralische Produkte erzeugt werden, die in ihren chemisch-physikalischen Eigenschaften anderen Sekundärstoffen ebenbürtig sind.

Im Folgenden wird beispielhaft das Verfahren der Unternehmensgruppe Scherer + Kohl dargestellt, das seit mehreren Jahren in Ludwigshafen großtechnisch betrieben wird [Lück 2004][ecologic 2005].

Stufe 1: Konventionelle Aschen-Aufbereitung

In der ersten Stufe erfolgt eine konventionelle Aschenaufbereitung mit den Schritten Lagerung und Alterung, Aussortierung von unverbranntem und Metallschrott sowie Sieben und Zerkleinern.

Stufe 2: Nasse Verfahrensstufe

Das bereits vorzerkleinerte Material wird unter starker Wasserbebrausung erneut gesiebt und über einen Magnetabscheider geleitet. Anschließend werden die erzeugten vier Kornklassen in einem Hydrobandabscheider von schwimmfähigen Störstoffen befreit.

Stufe 3: NE-Metallabscheidung

Im letzten Schritt werden alle Kornklassen einem Wirbelstromscheider zur Abscheidung der NE-Metalle zugeführt.

Ein Vergleich von konventionell aufbereiteter und weitergehend aufbereiteter MVA-Asche nach [Lück 2004] zeigt, dass die weitergehende Aufbereitung zu einer deutlichen Reduktion der Schwermetallgehalte in der Asche führt sowie zu deutlich geringen Gehalten an Chlorid, Sulfat und Schwermetallen im Eluat. Während die konventionelle Aufbereitung häufig zu einer Einordnung der Schlackeprodukte in die Einbauklasse Z2 führt (bestimmend sind hierbei die Werte für Cu und Zn), erreicht die

weitergehend aufbereitete Schlacke in der Regel die Zuordnungswerte von Z1.1 (bestimmend sind Cu, Zn und Cl) [ecologic 2005] [Lück 2004].

1.3 Aufbereitung von Filterstäuben aus der Müllverbrennung

1.3.1 Verfahrensbeschreibungen

Es gibt zahlreiche Verfahren zur Aufbereitung von Filterstäuben, die sich jedoch bisher alle aus wirtschaftlichen und/oder technischen Gründen nicht in größerem Maßstab durchgesetzt haben. Hierzu gehören beispielsweise die Sinterung und die Verglasung¹. Zur Schwermetallentfrachtung laufen Laborversuche bzw. Pilotanlagen, die im Folgenden kurz dargestellt werden. Kurz dargestellt wird auch das Konzept der Kehrichtverbrennungsanlage Emmenspitz mit einer integrierten Flugaschenbehandlung.

Schwermetallentfrachtung von Filterstäuben (Laborversuch bzw. Pilotanlage)

In einer Versuchsanlage an der TU Clausthal wurden erfolgreich die Schwermetalle Zink, Blei, Cadmium und Kupfer aus MVA-Flugaschen bei einer thermischen Behandlung bei 900°C unter Zugabe von chlorhaltigen Salzen als Schwermetallchloride verdampft [Wedemeyer 2003]. Die Stäube sind damit zu einem hohen Prozentsatz schwermetallentfrachtet. Die Schwermetallchloride könnten aufbereitet und verwertet werden. Zur Prozessgestaltung besteht jedoch noch Forschungsbedarf, um eine hohe Abscheiderate der Schwermetalle und zugleich einen akzeptablen Chlorgehalt in den verbleibenden Aschen zu erzielen.

In Japan gibt es eine Drehrohrofen-Pilotanlage mit einer Kapazität von ca. 100 kg/h Flugasche, in der ebenfalls Schwermetalle in Chlorierungsreaktionen bei hohen Temperaturen abgeschieden wurden [TOMODA 2005]. Weitere Experimente mit Schmelz-Flugasche wurden ebenfalls erfolgreich ausgeführt.

Integrierte Flugaschenbehandlung der KVA Emmenspitz

An der KVA Emmenspitz wird das Verfahren der sauren Flugaschenwäsche angewandt. Die Säure aus der nassen Abgasreinigung der Müllverbrennungsanlage wird für eine Wäsche der Flugaschen und Filterstäube genutzt. Bei der Aufbereitung des Waschwassers entsteht ein Schlamm mit einer Zinkkonzentration von über 25%, der beispielsweise in einem Wälzofen verwertet werden kann. Cadmium findet sich zu weiten Anteilen ebenfalls in der Schlammfraktion und kann recycelt oder aufkonzentriert beseitigt werden. Quecksilber wird mit Aktivkohle aus dem Waschwasser ab-

¹ Nach [Löschau Thomé-Kozmiensky 2005] gibt es weltweit nur fünf Anlagen nach dem Schmelzverfahren und hierbei nur eine großtechnische Anlage in Europa. Nach [Karpov et al. 2004] ist eine industrielle Pilotanlage (1 t/h) für eine neues energiesparenderes Verfahren (ASH-DEC-Verfahren) in Wien geplant.

geschieden und kann ebenfalls dem Recycling zugeführt werden [Frey Brunner 2004].

1.4 Mechanische Aufbereitung von von Strahlsanden

1.4.1 Verfahrensbeschreibung

Die Fa. SAPI Sandstrahl- und Anlagenbau GmbH hat ein mechanisches Reinigungsverfahren für mineralische und metallische Strahlmittel entwickelt [Fertl Mager 2000]. Nach der eventuell erforderlichen Trocknung der verunreinigten Strahlmittel erfolgt eine mechanische Abtrennung von Metallpartikeln, verbrauchtem Strahlmittel und Staub. Auch bei metallischen Strahlmitteln können das abgestrahlte (metallische) Material und das Strahlmittel getrennt werden, da sie unterschiedliche magnetische Eigenschaften aufweisen. Das gereinigte Strahlmittel kann wieder verwendet werden. Als Reststoffe fallen an:

- Metallstaub und metallische verbrauchte Strahlmittel. Diese können ohne weitere Aufbereitung in die Metallverwertung gehen, da die metallischen Stäube einen Metallgehalt über 60 % aufweisen.
- Mischung zwischen zerstrahltem Strahlmittel und Abtrag. Nach [Fertl Mager 2000] ist bei geringer Belastung ein Einsatz im Straßenbau möglich, bei höherer Belastung sei eine Sonderabfalldeponierung sinnvoll.

Insgesamt kann das Abfallvolumen durch die Aufbereitung und Wiederverwendung erheblich gesenkt werden. In [Fertl Mager 2000] werden folgende Wiederverwendungsraten genannt:

Tabelle 1-4 Mögliche Wiederverwendungsraten verschiedener Strahlmittel

Strahlmittel	Wiederverwendungsrate
Strahlsand (Schmelzkammerschlacke)	4 mal
Granatsand	8 bis 12 mal
Korund u.ä.	20 mal und mehr
Graugussgranulat	90 mal
Stahlgussgranulat	300 mal

1.5 Verfahren zur Metallaufbereitung

1.5.1 Zinkanreicherung nach dem Wälzverfahren

Das Wälzverfahren wird als Prozess zur Zinkanreicherung von zinkhaltigen Reststoffen, insbesondere Stahlwerksstäuben, angewandt. Erzeugt wird ein Wälzoxid mit 50 – 60% Zinkanteil und 7-13% Bleianteil, das als Sekundärrohstoff in Zinkhüt-

ten (v.a. in der Zinkelektrolyse) eingesetzt wird [Rentz 1999]. In Deutschland werden drei Anlagen betrieben, in denen überwiegend Stahlwerksstäube aufbereitet werden (B.U.S. Metall GmbH in Duisburg, B.U.S. Zinkrecycling Freiberg GmbH, Harzmetall GmbH, Goslar) [Initiative Zink 2006] [Saage Hasche 2004] [Kerney 2003]. Nach [Gara Schrimpf 1998] eignet sich das Verfahren vor allem für Zinkstäube mit Zinkgehalten über 20 %. Nachteilig ist, dass die Eisenfraktion nicht rückgewonnen wird.

Das Wälzoxid enthält neben hohen Anteilen von Zink auch das Blei, das im Anlageninput enthalten war. Da ein hoher Bleigehalt in der Zinkelektrolyse nicht erwünscht ist, ist das Verfahren in Verbindung mit einer nachgeschalteten Elektrolyse nur bedingt für Abfälle mit einem hohen Bleigehalt geeignet [Kerney 2003].

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 Granulat zu senken. Bei der B.U.S. Steel Services GmbH wurde der Wälzprozess hinsichtlich der Zinkausbeute und des Energieersatzes durch folgende weitergehende Maßnahmen weiter optimiert:

- Pelletierung, um eine gleichmäßige Prozessführung mit einer höheren Zinkausbeute zu erreichen, und
- SHDL-Prozess zur Reduktion des Energieverbrauchs, indem die Energie aus der Oxidation des elementaren Eisens in der Schlacke genutzt wird.

Die Schlacke wird u. a. als Deponiebaustoff verwertet [B.U.S. 2006].

1.5.2 DK-Prozess der DK Recycling und Roheisen GmbH

Die DK Recycling und Roheisen (DK), Duisburg betreibt ein Hüttenwerk, in dem fast ausschließlich Sekundärrohstoffe (ca. 400.000 ta/a) eingesetzt werden und Eisen, Zink und Blei wiedergewonnen werden. Folgende Reststoffe werden überwiegend eingesetzt [Rentz et al 2001]:

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

Im Hochofenprozess, der im Vergleich zum herkömmlichen Hochofenprozess in der Prozessführung den eingesetzten Sekundärrohstoffen angepasst wurde, werden folgende Produkte erzeugt [Rentz et al 2001]:

- Gießereiroheisen (Verwendung in Gießereien),

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

Neben der Roheisenerzeugung ist die Zinkgewinnung von großer Bedeutung. Die hohen Zinkeinträge aus den Rohstoffen werden mit dem Abgas ausgetragen und in den Gichtgasschlämmen abgeschieden. Es werden damit Zinkkonzentrate mit einem Zinkgehalt von über 60% hergestellt, die wiederum als Sekundärrohstoffe in der Verhüttung eingesetzt werden.

Für Gichtgasschlämme stellt das Verfahren eine Alternative zur sonstig üblichen Ablagerung dar. Nach eigener Auskunft der DK sind sie derzeit der einzige Anbieter eines Recycling-Verfahrens für Gichtgasschlämme im industriellen Maßstab und verarbeiten auch Gichtgasschlämme aus dem europäischen Ausland.

1.5.3 Anlage der Fa. Citron AG nach dem Oxyreducer-Prozess

Die Schweizer Citron AG betreibt in Le Havre eine thermische Abfallbehandlungsanlage nach dem Oxyreducer-Prozess mit einer Kapazität von 130.000 t/a. Der Schwerpunkt liegt bei schwermetallhaltigen Abfällen. Die Abfälle werden im Drehrohr bei Temperaturen über 1.200 °C behandelt. Die Schwermetalle Quecksilber, Cadmium, Zink und Blei verdampfen und werden aus dem Abgasstrom abgetrennt und aufbereitet. Je nach Anlageninput entstehen des Weiteren entweder ein Metallkonzentrat (bspw. aus Eisen, Chrom, Nickel, Kobalt, Molybdän oder Kupfer) und/oder eine im Vergleich zu herkömmlicher Sondermüllverbrennung schwermetallärmere Schlacke.

Das Verfahren hat Ähnlichkeiten mit dem INMETCO-Prozess, der in den USA großtechnisch zum Recycling von Stahlwerksrückständen, Batterien und Galvanikabfällen betrieben wird [Rentz et al. 2001]. Die Citron-Anlage verarbeitet u. a. Filterstäube aus der Müllverbrennung und der thermischen und hydrometallurgischen Zinkmetallurgie [Citron 2006].

1.5.4 Elektroreduktionsverfahren der B.U.S. Steel Services GmbH

Die B.U.S. Steel Services GmbH betreibt in Valera/Frankreich eine Anlage zum Recycling von Stahlwerkstäuben, Walzzunder sowie sonstigen chrom- und nickelhaltigen Reststoffen mit einer Kapazität von 120.000 t/a. Insbesondere recycelt diese Anlage auch Stäube aus der Edelstahlherstellung. 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

oder anderweitig vermarktet werden. Die Schlacke wird im Straßen- und Deponiebau eingesetzt. [B.U.S. 2006] [Meurer Buntenbach 2001].

1.5.5 Plasmaverfahren der B.U.S. Steel Services GmbH

In Schweden betreibt die B.U.S. Steel Services GmbH eine Anlage nach dem Plasma-Verfahren zur Behandlung von Stahlwerksstäuben, v. a. aus der Edelstahlherstellung, Walzzunder sowie sonstigen chrom- und nickelhaltigen Reststoffen mit einer Kapazität von 55.000 Mg/a. Kernstück ist der Plasmaofen mit Temperaturen bis zu 5.000 °C. Wiedergewonnen werden zu über 80 % Chrom, Nickel, Molybdän und Eisen zur Wiederverwendung in der Edelfahrfertigung. Zink und Blei werden als Stäube abgeschieden und können ebenfalls recycelt werden [Meurer Buntenbach 2001]. Die Schlacke wird im Straßenbau eingesetzt [B.U.S. 2006].

1.5.6 PRIMUS-Prozess

In Luxemburg wird eine Anlage nach dem PRIMUS-Prozess betrieben. Dort werden Stahlwerksstäube und Schlämme aus der Stahlherstellung pyrometallurgisch aufbereitet. Kernstücke der Anlage sind ein mit Kohle befeuerter Hochtemperaturofen sowie ein electric arc furnace. Als Prozessoutput werden Roheisen, Zinkoxid ($ZnO > 95\%$) und Schlacke gewonnen [Hansmann et al. 2001] [Paul Wurth 2006].

1.5.7 Imperial-smelting-Prozess

Mit dem Imperial-Smelting-Prozess (ISP) können simultan Zink und Blei erzeugt werden. Es kann eine große Bandbreite von Rohstoffen verarbeitet werden. Als Sekundärstoffe werden Zink- und Bleioxide, Zinkaschen, zinkhaltige Batterien, zinkhaltige Stäube und zinkhaltige Reststoffe aus der hydrometallurgischen Zinkerzeugung eingesetzt [Rentz, 1999 317 /id].

Das Kernstück der Anlage sind die Sinteranlage und der mit Koks gefeuerte Schachtofen. Zink, Cadmium und Blei werden mit der Gasphase ausgetragen und in nachfolgenden Verfahrensschritten aufbereitet.

In Deutschland gab es eine Anlage nach dem ISP-Prozess (Sudamin MHD GmbH, zuvor Metallhütte M.I.M. Hüttenwerke Duisberg), die jedoch in 2005 stillgelegt wurde.

1.5.8 Hydrometallurgische Zinkaufbereitung

Die Zinkelektrolyse ist das wichtigste Verfahren zur Zinkherstellung. Als Primärrohstoffe kommen Zinkkonzentrate aus angereichertem Zinkerz zum Einsatz. Hierbei wird das Zinkerz, das mit Zinkgehalten von 5 – 15% im Tief- oder Tagebau abgebaut wird, auf einen Zinkgehalt von rund 55% angereichert [Initiative Zink 2006]. In der Elektrolyse können bis zu 50% Sekundärrohstoffe zugesetzt werden, sofern sie

Zinkgehalte von über 55% aufweisen. Andernfalls werden Sie zuvor anderen Prozessen zur Aufkonzentrierung zugeführt [Initiative Zink 2006]. In Deutschland betreibt die Ruhr-Zink GmbH eine Zinkelektrolyse. Hier sind neben Konzentraten aus Zinkerzen die Wälzoxide aus den Wälzanlagen (vgl. Kap. 1.5.1) der wichtigste (Sekundär-)Rohstoff. [Ruhr-Zink 2006].

Bei der Bilanzierung des Zinkrecyclings in den nachfolgenden Arbeitspaketen werden die Primär- und die Sekundärstoffaufbereitung bis hin zum Zinkkonzentrat betrachtet (Systemgrenze). Da die weiterführende Zinkaufbereitung für primäre und sekundäre Rohstoffe dieselbe ist, wird sie nicht mit bilanziert. Aus diesem Grunde wird die hydrometallurgische Zinkaufbereitung hier nicht weiter vertieft.

1.5.9 Integrierte Metallhütte und Metallscheidung in Hoboken, Belgien von Umicore

Der Ende der 90er Jahre neu installierte Prozess in Hoboken bei der Fa. Umicore ist ein Beispiel für moderne integrierte „Smelter & Refiner“, die die Vorteile von Hüttenprozessen mit denen von spezialisierten Edelmetallscheidern verbinden. Durch eine optimierte Prozessführung und Nachbehandlung der Primärschlacken und anderer Seitenströme können eine hohe Flexibilität und eine relative Unempfindlichkeit gegenüber Verunreinigungen erzielt und gleichzeitig Edelmetallausbeuten erreicht werden, die Spezialprozessen vergleichbar sind. Zusätzlich werden auch Nichtedelmetalle wie Cu, Ni, Pb, Sn, As, Te, Bi, Sb zurückgewonnen [HAGELÜKEN et al. 2005]. Ausgeschleust werden des Weiteren Cadmium und Quecksilber. Die Eingangskapazität liegt bei 250.000 – 300.000 t/a. Kernstück der Anlage ist der neu gebaute Kupferofen („Isa-Smelter“ nach dem ISAMELT-Verfahren), der als Eingangs- und Anreicherungsaggregat für die meisten Recyclingsmaterialien fungiert [Umicore 2004] [Arthur Edwards 2003].

Folgende Abfälle werden u. a. verarbeitet:

- Elektronikschrott,
- Chem. Katalysatoren,
- Flugstäube, Schlacken, Schlämme und andere Rückstände aus chemischen Prozessen.

Recycelt werden die Stoffe Silber, Gold, Platin, Palladium, Rhodium, Ruthenium, Iridium, Indium, Selen, Tellur, Blei, Zinn, Antimon, Wismut, Kupfer, Nickel und Arsen. Ausgeschleust und entsorgt werden Cadmium und Quecksilber. Zink, Chrom und Mangan werden nicht abgeschieden, sondern in die Schlacke eingebunden.

1.5.10 Sekundärkupferhütte Hüttenwerke Kayser

Die Hüttenwerke Kayser AG betreiben in Lünen eine Sekundärkupferhütte. Angenommen wird eine Vielzahl von Abfällen wie Elektroschrott, schwermetallhaltige Salze, Stäube und Schlämme zur Metallgewinnung oder als Schlackebildner. Im Geschäftsjahr 2003/2004 wurden rund 140.000 t Recyclingmaterialien eingesetzt [NA 2005], wobei auch Sekundärrohstoffe mit niedrigen Kupferanteilen angenommen werden. In 2002 hat ein neuer Ofen (KRS Kayser Recycling System) nach dem ISAMELT-Verfahren den Betrieb aufgenommen und ersetzt die zuvor eingesetzten Schachtofen und Konverter. 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 anschließend im Anodenofen raffiniert und anschließend einer Elektrolyse unterworfen [HK 2006] [Artur Edwards 2003]. Nickelsulfat und Edelmetalle werden nach der Elektrolyse abgetrennt und aufbereitet [NA 2005].

1.5.11 Sekundärbleihütten

Die Verarbeitung von Blei wird von der Herstellung und dem Recycling von Blei-Säure-Batterien dominiert. Rund 60 – 70 % des erzeugten Bleis gehen in die Herstellung von Blei-Säure-Batterien. Weltweit wird etwa die Hälfte der gesamten Produktion aus sekundären Einsatzstoffen erzeugt (Stand 1997 nach [Rentz 1999]).

In Sekundärbleihütten werden die Sekundärrohstoffe eingeschmolzen, überwiegend in Kurztrommelöfen, seltener in anderen Öfen wie beispielsweise dem Schachtofen. Als letzter Bearbeitungsschritt erfolgt die pyrometallurgische oder elektrolytische Raffination des gewonnenen Rohbleis.

Sekundärbleihütten in Deutschland sind die BSB Recycling GmbH in Braubach und die Muldenhütten Recycling und Umwelttechnik GmbH in Freiberg. Beide Hütten gehören zur Berzelius Metall GmbH [Berzelius 2006].

1.5.12 Nickelhütte Aue

Die Nickelhütte Aue recycelt Ni-, Cu-, Co-, Zn-, W-, Mo-, V- und Pb-haltige Katalysatoren, Stäube, Schlämme, Salze, Säuren und Lösungen sowie weitere Reststoffe. Sie verfügt über eine Vielzahl von Prozessen, u.a. über einen Röstofen, 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 von verschiedenen Legierungen. Rohstoffe hierfür sind u. a. die aufbereiteten Sekundärstoffe [Nhütte Aue 2006] [Kramer Eckert 2005].

End- oder Zwischenprodukte sind u. a.: Edelmetallkonzentrate, NE-Metallkonzentrate (v.a. Ni, Co, Mo und V), Kupfersulfat, Cobaltsulfat, verschiedene Legierungen und Reinmetalle.

In der Pyrometallurgie werden vor allem Galvanikschlämme, Katalysatoren, Schleifschlämme und Stäube zu metallhaltigen Konzentraten aufbereitet, die dann intern oder extern weiter behandelt werden.

In der Hydrometallurgie werden aus Katalysatoren, Nickelrohsulfaten, Schleifschlämmen und Galvanikschlämmen Nickel- und Kobaltchemikalien hergestellt, die wiederum in die Katalysator- oder Galvanikindustrie abgegeben werden.

1.5.13 Weitere Verfahren zum Metallrecycling:

Nachfolgend werden weitere Metallrecycling-Verfahren aufgeführt, die jedoch für das Projekt keine große Relevanz haben:

- W.C. Heraeus GmbH in Hanau: Recycling von von Platingruppenmetallen und Edelmetallen, insbesondere von Katalysatoren [Grehl et al. 2005] [Heraeus 2006],
- Die Firma H.C. Stark recycelt Reststoffe mit Anteilen an Wolfram, Molybdän, Tantal, Niob und Rhenium, Nickel und Cobalt [Stark 2006].
- Die Firma Gerhard Lang GmbH & Co. KG, Gaggenau, errichtet 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 [BMU 2006].

Weitere Verfahren zum Zink-Recycling, die entweder keine weitere Verbreitung in Europa gefunden haben oder noch in der Entwicklung sind, sind in [Zunkel 2001] aufgeführt:

- Ausmelt Technology: Pyrometallurgisches Verfahren; erzeugt Zinkoxid, Anlagen in Asien und Afrika [Sofra Heinz 2003].
- Kombiniertes Indutec/Ezinex-Prozess: Kombiniert pyro- und hydrometallurgische Verfahren in einer Anlage, um zinkhaltige Reststoffe zu metallischem Zink aufzubereiten [Olper Maccagni 2005].

Nachfolgend wird eine Versuchsanlage zur thermischen Chromatabtrennung kurz dargestellt:

Eine Versuchsanlage in Aue (Patentinhaber ist die Fa. MENTEC GmbH) reduziert natriumchromhaltige Verbindungen im Drehrohr bei 900°C und reduzierenden Bedingungen zu Chrom(III)Oxid, Cr₂O₃, welches über einen Filter abgeschieden und verwertet werden kann. Ein möglicher Verwertungspfad ist der Einsatz als Korrosionsschutzmittel in der Flugzeugindustrie. Interessant ist das Verfahren vor allem für Galvanikschlämme, die hohe Chromgehalte aufweisen [Hoffmann et al. 2005].

Im Zusammenhang mit der metallurgischen Verwertung in thermischen Prozessen ist weiterhin zu erwähnen, dass in den meisten Hüttenprozessen Sekundärrohstoffe als Schlackebildner zugegeben werden.

1.6 Aufbereitungsanlagen für Bau- und Abbruchabfälle

1.6.1 Verfahren zur Aufbereitung und Behandlung von kontaminiertem Bodenaushub (Boden und Steine)

Für die Behandlung und Aufbereitung von kontaminiertem Bodenaushub stehen mehrere Verfahren zu Verfügung. Am häufigsten wird der Bodenaushub einer biologischen Behandlung unterworfen. Aber auch die thermische Behandlung und die Bodenwäsche finden Anwendung. Bei Bedarf wird der eigentlichen Behandlung eine Aufbereitung vorgeschaltet. Sie kann die Verfahrensschritte Zerkleinern, Klassieren, Sieben und Sortieren beinhalten.

1.6.1.1 Biologische Bodenbehandlung

Bei der biologischen Bodenbehandlung wird die Fähigkeit von Mikroorganismen zur Verstoffwechslung von z.B. Kohlenstoffverbindungen eingesetzt, um umweltgefährdende Stoffe wie Mineralölkohlenwasserstoffe, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe und viele weitere organische Verbindungen soweit umzuwandeln, dass diese nicht mehr umweltgefährdend oder zumindest nicht mehr bioverfügbar sind [Hoffmann 2006]. Dabei werden In-situ-Verfahren (Sanierung erfolgt im natürlichen Lagerungsverbund des Bodens) und Ex-situ-Verfahren (Behandlung erfolgt nach Aushub des kontaminierten Materials) unterschieden. In diesem Projekt spielen aber nur die ex-situ-Verfahren eine Rolle. Bei ihnen wird differenziert zwischen on-site- (Behandlung vor Ort) und off-site-Techniken (Behandlung in Anlagen außerhalb des Sanierungsortes). Ex-situ-Verfahren kommen in der Praxis z.B. zum Einsatz, wenn

- im Rahmen von Baumaßnahmen belastetes Bodenmaterial anfällt, das aufgrund seiner Schadstoffgehalte nicht wiedereinbaufähig ist und somit einer geordneten Entsorgung zuzuführen ist,
- aufgrund der bestehenden bzw. geplanten Nutzung eine rasche Sanierung der Bodenkontamination erforderlich ist, welche mit einer i.d.R. zeitintensiven in-situ-Sanierung nicht realisierbar ist,
- der verunreinigte Boden einen hohen Kontaminationsgrad aufweist, so dass eine effektive Schadstoffreduzierung nur mittels einer Intensivbehandlung, wie sie z.B. in Mieten oder Bioreaktoren durchführbar ist, erfolgversprechend ist [LUA 2005a].

Beim vollständigen Abbau organischer Schadstoffe (= Mineralisierung) nutzen die Mikroorganismen die Schadstoffe als Energiequelle, wobei als Endprodukte Kohlendioxid (CO₂) und Wasser (H₂O) entstehen [LUA 2005a].

Werden die organischen Schadstoffmoleküle nicht vollständig bis zu ihren anorganischen Ausgangsstoffen abgebaut, sondern nur in kleinere organische Moleküle zerlegt, spricht man von einem Teilabbau [RP Gießen 2002]. Die entstehenden Abbauprodukte werden anschließend entweder von anderen Bodenorganismen weiter umgesetzt oder verbleiben im Boden, wo ein Einbau in die organische Bodenfraktion erfolgen kann (Humifizierung) [LUA 2005a]. Hier besteht die Gefahr, dass die entstandenen Umwandlungsprodukte (Metabolite) toxischer sind als die Ausgangsschadstoffe [RP Gießen 2002].

Schadstoffe können durch Mikroorganismen auch cometabolisch umgesetzt werden. Der Begriff Cometabolismus bezeichnet in diesem Zusammenhang die Abhängigkeit der Umsetzung eines Schadstoffes vom Vorhandensein eines anderen Stoffes (= Co-Substrat). Bei cometabolischen Umsetzungen gewinnen die Mikroorganismen aus dem Schadstoffabbau keine Energie und benötigen daher zur Aufrechterhaltung von Stoffwechsel- und Wachstumsprozessen zusätzliche organische Nährstoffe [LUA 2005a], z.B. Alkohol, Zucker etc. [Hoffmann 2006].

Umfang und Geschwindigkeit des biologischen Schadstoffabbaus werden maßgeblich durch die chemischphysikalischen Eigenschaften der Schadstoffe wie z.B. Wasserlöslichkeit und Molekülstruktur bestimmt. Kontaminanten, die toxische Wirkungen auf Mikroorganismen ausüben, limitieren den biologischen Schadstoffabbau. Darüber hinaus werden mikrobielle Degradationsprozesse auch durch bodenspezifische Eigenschaften beeinflusst. Bei tonigen schluffigen Böden mit hohen Adsorptionskräften ist der überwiegende Schadstoffanteil i.d.R. in der Feinkornfraktion anzutreffen und daher weniger bioverfügbar. Aus diesen Gründen werden Wachstum und Abbauleistung der Mikroorganismen durch gezielte Maßnahmen gefördert, z.B. durch

- Verbesserung der Sauerstoffversorgung (z.B. durch Druckbelüftung, Einsatz von H_2O_2),
- Zufuhr von Nährstoffen,
- Erhöhung der Bioverfügbarkeit der Schadstoffe (z.B. durch Einsatz von Tensiden),
- Optimierung der äußeren Wachstumsbedingungen (pH-Wert, Temperatur, Redoxpotential) [LUA 2005a].

Die biologische Bodenbehandlung wird hauptsächlich in Mieten durchgeführt. Die Behandlung in Beeten spielt in Deutschland aufgrund des Platzbedarfs kaum eine Rolle. Der Einsatz von Reaktoren zur Bodenbehandlung hat derzeit ebenfalls nur geringe Bedeutung, da der Einsatz der Reaktorverfahren vielfach über den Pilotmaßstab nicht hinausgekommen ist bzw. sich auf einzelne Sanierungsprojekte beschränkt [Warrelmann 2002]. Daher wird unten nur das Mietenverfahren näher beschrieben.

Behandlung in Mieten

Bei diesem Verfahren zur biologischen Behandlung kontaminierter Böden wird das Bodenmaterial nach mechanischer Aufbereitung zu lockeren Haufwerken, den sog. Mieten, aufgeschichtet. Dabei werden statische Mietenverfahren (keine Umschichtung des Bodenmaterials während der Sanierung) und dynamische Mietenverfahren (mittels spezieller Wendeeinrichtungen kann während der Sanierungsphase eine Umschichtung des Bodenmaterials erfolgen) unterschieden [LUA 2005a].

Die Höhe der Mieten beträgt bis zu 3,0 m, in Ausnahmefällen werden Hochmieten mit über 3 m Höhe angelegt [Warrelmann 2002]. Die Behandlung des kontaminierten Bodenmaterials erfolgt auf Flächen, die mit einer Untergrundabdichtung versehen wurden. Die Mieten werden entweder den Witterungsbedingungen ausgesetzt (= offene Mieten) oder aber in geschlossenen Zelten oder Leichtbauhallen betrieben, wobei die Einhausung der Mieten das derzeit übliche Verfahren darstellt [LUA 2005a]. Zur Verbesserung der Abbaubedingungen werden die Mieten in Abhängigkeit von den jeweiligen Erfordernissen mit Strukturmaterial wie Rindenmulch, Rindenumus, Borke, Stroh, Kompost sowie Nährstoffen (organische und anorganische Kohlenstoff-, Stickstoff- und Phosphorverbindungen) versetzt. Grundsätzlich besteht auch die Möglichkeit, die Mieten mit mikrobiologischen Kulturen zu beimpfen. Außerdem werden sie befeuchtet und belüftet [Warrelmann 2002].

Bei der Belüftung (Sauerstoffversorgung) wird zwischen passiver und aktiver Belüftung unterschieden. Die passive Belüftung wird durch einen schichtenförmigen Aufbau (abwechselnd Boden- und Belüftungsschicht) erreicht. Die Zwangsbelüftung erfolgt mit Hilfe technischer Einbauten [Warrelmann 2002]. Bei der dynamischen Belüftung, die zur Zwangsbelüftung zählt, wird die Luftzufuhr durch regelmäßiges Wenden bzw. Umsetzen der Mieten erzielt. Die dynamische Belüftung wird in der Praxis am häufigsten angewendet [Warrelmann 2002].

Bezüglich der Regulation des Wassergehaltes der Mieten wird prinzipiell unterschieden zwischen Trockenmieten und Nassmieten. Beim Trockenrotteverfahren wird zu Beginn der Behandlung ein der natürlichen Bodenfeuchte entsprechender Wassergehalt in der Miete eingestellt, so dass während des Betriebes kein Sickerwasser anfällt. Zur Vermeidung einer Austrocknung der Miete wird der Wassergehalt während der Behandlungsdauer regelmäßig kontrolliert und ggf. neu eingestellt. Bei Nassmieten wird das zu behandelnde Bodenmaterial durch Berieselungsanlagen befeuchtet. Das beim Betrieb von Nassmieten anfallende Sickerwasser wird über installierte Drainageeinrichtungen erfasst und kontrolliert abgeleitet. Nach entsprechender Aufbereitung in Abhängigkeit von der Schadstoffbelastung kann das gereinigte Wasser anschließend zur Befeuchtung der Mieten verwendet oder in die Kanalisation abgeleitet werden [LUA 2005a].

Die bei der Mietenbehandlung entstehende Abluft wird in der Regel über Bio- oder Aktivkohlefilter geleitet und gereinigt [LUA 2005a].

1.6.1.2 Bodenwäsche

Bodenwaschverfahren sind chemisch-physikalische Separationsverfahren. Prinzipielle schadstoffspezifische Beschränkungen und Ausschlusskriterien existieren für Bodenwaschverfahren nicht [LUA 2005a]. Mit der Bodenwäsche lassen sich alle herkömmlichen Schadstoffe und Schadstoffkombinationen in Bodenmaterial erfolgreich behandeln. Das Schadstoffspektrum reicht von organischen Stoffen wie Mineralölen und flüchtigen halogenierten Kohlenwasserstoffen bis hin zu den Schwermetallen und ihren Verbindungen sowie Cyaniden, Dioxinen und Furanen etc. [Tittel 2002]. Unterschiede ergeben sich beim Aufwand, der im Vorfeld ggf. für eine Bodenvorbehandlung betrieben werden muss [LUA 2005a], denn zur erfolgreichen Abtrennung muss das Material zunächst aufgeschlossen werden, d.h. die Bindung zwischen Schadstoff und Bodenkorn muss je nach Schadstoffart durch Lösen (z.B. lösliche Schwermetallverbindungen), Emulgieren (z.B. Mineralölkohlenwasserstoffe), Strippen (z.B. flüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe) oder Suspendieren (z.B. Schwermetalle) aufgehoben werden [Tittel 2002]. Die nach dem Aufschluss notwendige Abtrennung der abgelösten Schadstoffe aus der Boden-/Schadstoffsuspension ist beim Strippen unproblematisch. Auch gelöste und emulgierte Schadstoffe lassen sich einfach durch Entwässerung des Bodens zurückhalten. Für das Abtrennen suspendierter Schadstoffpartikel ist dagegen eine umfangreiche Trenntechnik erforderlich [Tittel 2002].

Klassierende Bodenwäsche

Die klassierende Bodenwäsche verfolgt in einem über mehrere Stufen verlaufenden Prozess das technische Ziel, die Schadstoffe direkt von der Bodenmatrix abzuwaschen und in die wässrige Lösung zu überführen sowie die Bodenmatrix mittels mehrerer in Reihe geschalteter Klassieraggregate zu fraktionieren. Dabei wird davon ausgegangen, dass der Großteil der Kontaminanten an der Feinstkornfraktion adsorbiert ist. Diese geht in Form von koaguliertem Flotatschlamm oder Sedimentfilterkuchen in die Weiterbehandlung oder Reststoffentsorgung. [LUA 2005a]

Hochdruckbodenwäsche

Das Verfahrensprinzip der Hochdruckbodenwäsche basiert auf der Einwirkung von mechanischer Energie auf die Bodenpartikel ohne den Einsatz von chemischen Hilfsmitteln und ohne die Bodenpartikel zu zerstören. Der Boden wird per Unterdruck durch ein Strahlrohr geschleust. Dabei tritt Wasser im Strahlrohr aus einem ringförmig angeordneten Düsenkranz aus und schießt kegelförmig in einem Brennpunkt zusammen. Dort werden die adsorbierten Schadstoffe durch große Scherkräfte von den Partikeloberflächen abgetrennt. Es sind Düsenvordrücke bis zu 350 bar anwendbar. Schadstoffe und Feinstkornanteil werden dem Prozesswasser entzogen und als Flotatschlamm/Filterkuchen entsorgt. [LUA 2005a]

1.6.1.3 Thermische Bodenbehandlung

Die thermische Bodenreinigung basiert auf der Überführung der Schadstoffe in die Gasphase durch thermischen Energieeintrag. Die Schadstoffbeseitigung kann durch Verbrennung oder Ausdampfung der Schadstoffe sowie durch pyrolytische Umsetzung erfolgen [Lotter 1999]. Thermische Verfahren sind in erster Linie zur Reinigung von Böden geeignet, die mit organischen Kontaminationen wie KW, PAK, PCB, EOX, aber auch mit flüchtigen anorganischen Verbindungen wie z. B. Cyaniden und Schwermetallen mit niedrigem Siedepunkt (Quecksilber) belastet sind [LUA 2005a]. Vor der eigentlichen thermischen Behandlung wird das kontaminierte Bodenmaterial mechanisch aufbereitet [RP Gießen 2002]. Ab Wassergehalten von 10 % kann vor der Verbrennung auch eine Vortrocknungsstufe erforderlich werden [LUA 2005a]. Für die Behandlung von Böden, die mit organischen Schadstoffen belastet sind, hat sich das Niedertemperaturverfahren durchgesetzt [Lotter 1999]. Der gereinigte Boden weist nach der thermischen Behandlung keine biologische Aktivität mehr auf. Bei der Verwertung als Vegetationsschicht ist daher eine Anreicherung mit Humus erforderlich [LUA 2005a].

Verbrennung

Bei der Verbrennung werden die Schadstoffe durch direkte Beheizung im Drehrohr- oder Wirbelschichtofen bei Sauerstoffüberschuss bei Temperaturen von 450-800 °C verbrannt [LUA 2005a] oder das Bodenmaterial auf 1.200-1.400 °C erhitzt [RP Gießen 2002]. Die Verweilzeit des Bodens im Ofen liegt je nach Verfahren bei 30-60 Minuten. In der Nachverbrennung werden die in Gasform überführten Schadstoffe bei Temperaturen bis zu 1.300°C behandelt. Die dabei entstehende Abluft ist gemäß TA Luft zu reinigen [LUA 2005a].

Niedertemperaturverbrennung

Beim Niedertemperaturverfahren wird der Boden im Drehrohrföfen indirekt durch den Trommelmantel wie auch direkt durch einen Gasbrenner auf Temperaturen von 400-550 °C aufgeheizt [LUA 2005a]. Es werden auch Temperaturen bis 700 °C angewandt [RP Gießen 2002]. Dabei dampfen die organischen Schadstoffe vollständig aus. Die Verweilzeit im Drehrohrföfen beträgt rund 15 Minuten. Das Prozessgas wird der thermischen Gasreinigung zugeführt, in der bei rund 950 °C die organischen Schadstoffe verbrannt werden. Bei chlororganischen Verbindungen sind Temperaturen von 1.200 °C erforderlich [LUA 2005a].

Pyrolyse

Als Pyrolyse wird die thermische Behandlung des Bodens unter weitgehendem Sauerstoffabschluss verstanden. Der Boden wird bei Temperaturen von 400-800 °C verschwelt. Die Nachverbrennung erfolgt bei Temperaturen von 1.000-1.300 °C. Es fallen geringere Mengen an zu behandelndem Rauchgas an als bei der direkten Verbrennung [LUA 2005a].

Vakuumdestillation

Kernstück dieser Anlage bilden zwei übereinander stehende Schaufeltrockner. Nach dem Befüllen des ersten Trockners wird mit Hilfe einer Vakuumpumpe ein Unterdruck von 100 mbar absolut angelegt und das Bodenmaterial auf 60 °C aufgeheizt. Dabei verdampft das enthaltene Wasser vollständig. Die Beheizung erfolgt mittels Thermalöl, das den die Trommel umgebenden Doppelmantel, die Stirnwände und die Welle der Mischwerkzeuge durchfließt. Nach der Trocknung wird das Bodenmaterial in die zweite baugleiche Trommel gefördert. Durch Anlegen eines Unterdrucks bis unter 5 mbar absolut und einer Maximaltemperatur von über 300 °C werden die Schadstoffe aus dem Bodenmaterial desorbiert. [Czetsch 2002]

Die in beiden Stufen anfallenden Dämpfe werden in Kondensatoren (Rohrbündelwärmetauscher) wieder verflüssigt. Das Kondensat der ersten Stufe wird gereinigt, das der zweiten Stufe gesammelt und gesondert entsorgt. [Czetsch 2002]

1.6.2 Aufbereitung von Straßenaufbruch

Beim Rückbau von Straßen kann durch selektives Aufbrechen der einzelnen Konstruktionsschichten relativ sortenreines Aufbruchmaterial gewonnen werden. Das Material kann entsprechend der Schichten in

- ungebundenes Tragschichtmaterial,
- hydraulisch gebundenes Aufbruchmaterial,
- bitumengebundenes Aufbruchmaterial,
- teerhaltiges Aufbruchmaterial und
- Mischmaterial

unterteilt werden [Klemt 1997]. Als Standardverfahren für die Gewinnung von Ausbauphosphat hat die Kaltfrästechnik weitgehend das Aufbrechen von Schichten mit dem Tiefenlöffel abgelöst, das im kommunalen Straßenbau aber noch anzutreffen ist [Pätzold 1997].

Bei der mechanischen Aufbereitung von Straßenaufbruch wird das Material von Störstoffen befreit, gebrochen, zerkleinert sowie je nach Verwendungszweck entsprechend gesiebt und klassiert.

Ungebundenes Tragschichtmaterial kann – soweit es unbelastet ist – beim Straßenbau direkt wieder eingesetzt werden. Es taucht dann in den Abfallstatistiken nicht auf. Hydraulisch gebundenes Material kann nach einer entsprechenden mechanischen Aufbereitung als Betonzuschlagstoff ebenfalls im Straßenbau verwendet werden.

Bitumengebundener Asphaltaufbruch wird nach einer mechanischen Aufbereitung meistens als Asphaltgranulat im Asphaltmischwerk neuem Asphalt zugemischt. Er kann aber auch als Verfüllmasse oder in Frostschutz- und Schottertragschichten

Verwendung finden. Bei der Zugabe zu neuem Asphalt wird zwischen der Kaltzugabe und der Warmzugabe unterschieden [LfU Bayern 2001].

Bei kalter Zumischung von Ausbauasphalt wird das Mineralgestein in der Trockentrommel über den üblichen Bereich von ca. 180 °C hinaus erhitzt, da die Zugabe des kalten Ausbauasphalts – entsprechend der Recyclingrate und seines Wassergehalts – dem Mischgut Wärme entzieht und die Temperatur des auszuliefernden Asphaltmischguts im Bereich von ca. 160 bis 180 °C liegen muss [LfU Bayern 2001]. Bei Recyclingraten von 25 bis 30 % kann daher eine Mineralguttemperatur – am Trockentrommelaustritt gemessen – von bis zu 300 °C erforderlich sein. Die Recyclingrate beim Kaltzugabeverfahren ist aus diesem Grund i.d.R. auf 30 % bei Freilagerung des Ausbauasphalts begrenzt [LfU Bayern 2001].

Zur Bewältigung größerer Ausbauasphalt-Recyclingraten als 30 % wird das Warmzugabeverfahren eingesetzt. Dabei wird der Ausbauasphalt in einer separaten Trockentrommel getrocknet und auf 130 °C erwärmt. Danach erfolgt die Zusammenführung mit dem heißen Mineralgut und die Verarbeitung mit Frischbitumen zu neuem Asphaltmischgut. Bei der Warmzugabe beträgt die Recyclingrate i.d.R. 50 %, in Einzelfällen auch 60 % [LfU Bayern 2001].

Kohlenteerhaltiger Ausbauasphalt wird einer Kaltaufbereitung unterzogen. Dabei wird er nach dem Brechen und Klassieren mit Zement hydraulisch gebunden (umhüllt). Anschließend kann er in hydraulisch gebundenen Tragschichten beim Straßenbau, Parkplatzbau und Deponiestraßenbau eingesetzt werden.

1.6.3 Aufbereitung von Bauschutt

Um eine hochwertige Verwertung von Bauschutt zu erreichen, ist es i.d.R. notwendig, die verschiedenen Materialfraktionen bereits an der Anfallstelle getrennt zu halten. Eine Vermischung erschwert die Verwertung meist erheblich oder macht sie unmöglich, da eine nachträgliche Sortierung häufig nicht die gewünschte Sortenreinheit garantiert [MUF-RLP 2004]. Durch enthaltene Schadstoffe oder schadstoffhaltige Bauteile kann auch der gesamte Bauschutt kontaminiert werden. Bei schadstoffbelasteter Bausubstanz verstößt der konventionelle Abriss ohne Getrennthaltung außerdem gegen das Vermischungsverbot [LfU Bayern 2003a]. Daher sollten zunächst alle schadstoffhaltigen Materialien aus dem Bauwerk entfernt und die verschiedenen Baumaterialien möglichst sortenrein erfasst werden [MUF-RLP 2004].

In der Praxis besteht Bauschutt vor allem aus Kies und Sand, Betonbruch, Steinen, Ziegeln, Keramik, Gips und Mörtel. Außerdem können Metalle, Kunststoffe, Holz, Papier und Glas enthalten sein. Bei der Aufbereitung von Bauschutt wird das Material gebrochen (Backen- und Prallbrecher) und klassiert (durch Sieben), eventuell auch gemahlen oder gewaschen. Störstoffe (z.B. Metalle, Kunststoffe, Holz, Papier, Glas) werden abgetrennt oder aussortiert (Windsichten, Magnetabscheidung, Aqua-

mator², händisch). Im Ergebnis werden Sekundär- bzw. Recyclingbaustoffe verschiedener Körnungen hergestellt, die in den verschiedensten Baumaßnahmen direkt oder als Zuschlagsstoff für Beton Verwendung finden. Die Aufbereitung erfolgt in mobilen, semimobilen oder stationären Anlagen.

Mobile Anlagen sind auf einem Fahrgestell montiert, sehr kompakt gebaut, ohne großen Montageaufwand gut transportierbar und schnell aufbaubar [Silbe 1997]. Sie bestehen im Wesentlichen aus einem Brecher zur Zerkleinerung und einer Siebanlage zur Trennung des Materials in zwei oder drei Fraktionen. Eine Sortierung der aufzubereitenden Stoffe kann hier i.d.R. nicht während des Aufbereitungsprozesses erfolgen, so dass die stoffliche Zusammensetzung des aufbereiteten Recyclingmaterials der des Ausgangsmaterials entspricht [Klemt 1997].

Stationäre Anlagen sind fest an einem Ort aufgebaut. Durch das Vorhalten von großen Lagerflächen und einer nach Baustoffen getrennten Lagerung der Eingangsmaterialien kann die Mischung des Aufgabeguts weitestgehend selbst bestimmt werden [Silbe 1997]. Sie verfügen je nach Ausstattung über mehrere Zerkleinerungsstufen und Sortiermodule. Bei inhomogener Zusammensetzung des aufzubereitenden Materials kann durch Separieren von unerwünschten Stoffen die Qualität hinsichtlich der stofflichen Zusammensetzung des Endmaterials entscheidend verbessert werden. Außerdem können die aussortierten Materialien einer weiteren Aufbereitung zugeführt werden (z.B. Bewehrungsseisen) [Klemt 1997].

Semimobile Anlagen bestehen aus kompakt aufgebauten Baugruppen zum Brechen und Sieben, die zerlegbar und auf Tiefladern transportierbar sind. Sie werden sowohl mobil als auch stationär eingesetzt. Sie kommen häufig als Bestandteile stationärer Anlagen zum Einsatz und werden dann mit weiteren Aggregaten wie Windsichter und geschlossenen Lesestationen ausgerüstet. Je nach Einsatz sind die Produktqualitäten unterschiedlich [Silbe 1997].

Die Aufbereitung von Gipsplatten erfolgt – falls sie nicht bei Neubauten oder beim kontrollierten Rückbau sortenrein angefallen sind – nach der Aussortierung aus dem Bauschutt. Zur weiteren Aufbereitung werden die Platten zunächst zerkleinert bzw. aufgemahlen, wobei sich Gips und Karton mechanisch weitestgehend trennen. Nach der Trennung von Gips und Karton kann der Gips, falls keine Kontamination vorhanden ist, der Gipsindustrie zugeführt werden oder vor Ort in einem Kocher zu Stuckgips kalziniert werden [Hummel 1997]. Für beschichtete oder gestrichene Platten bietet sich das Müller-Kühne-Verfahren an. Dabei wird der Gips (Calciumsulfat) bei Temperaturen oberhalb von 700 °C reduzierend gespalten, wobei Calciumoxid entsteht. Dieses wird dann zur Zementklinkerherstellung verwendet. Das bei der

² Beim Aquamator wird der Materialstrom auf einem Förderband mit variabler Neigung transportiert, wobei Wasserdüsen leichtere Stoffe in einen separaten Ausgang abtreiben lassen. Dank der variablen Neigung können verschiedene Stufen der Dichtentrennung eingestellt werden.

Spaltung entstehende Schwefeldioxid wird zu Schwefelsäure verarbeitet [Hummel 1997].

1.6.4 Aufbereitung von Gleisschotter

Unbelasteter Gleisschotter kann nach einfacher Aufbereitung (Abtrennung von Störstoffen und Klassierung) als Gleisschotter wieder Verwendung finden. Für mit Schadstoffen belasteten Gleisschotter stehen verschiedene Behandlungsverfahren zur Verfügung. Er kann entweder gewaschen oder biologisch, chemisch oder thermisch behandelt werden. Um nicht die Gesamtmenge aufwendig behandeln zu müssen, kommt auch eine vorherige mechanische Aufbereitung (Klassierung) in Frage. Behandelt wird anschließend nur die höher belastete Feinkornfraktion [LfU Bayern 2003b].

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Methodenentwicklung für die ökologische Bewertung der Entsorgung gefährlicher Abfälle unter und über Tage und Anwendung auf ausgewählte Abfälle

Anhang 5: Bewertungsgrundlagen, Abfallgruppen und Sachbilanz-Dokumentation

Darmstadt, den 30.11.2007

Forschungsvorhaben

gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung, Förderkennzeichen 02C1345, unterstützt durch Drittmittel von vier Versatzbergwerken und teilfinanziert aus Eigenmitteln des Öko-Instituts

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren

Öko-Institut e.V.
Büro Darmstadt
Rheinstraße 95
D-64295 Darmstadt
Telefon +49 (0) 6151 - 8191 - 0
Fax +49 (0) 6151 - 8191 - 33

Geschäftsstelle Freiburg
Postfach 50 02 40
D-79028 Freiburg
Hausadresse
Merzhauser Straße 173
D-79100 Freiburg
Telefon +49 (0) 7 61 - 4 52 95-0
Fax +49 (0) 7 61 - 452 95-88

Büro Berlin
Novalisstraße 10
D-10115 Berlin
Telefon +49 (0) 30 - 28 04 86-80
Fax +49 (0) 30 - 28 04 86-88

Inhaltsverzeichnis

1	Bewertungsgrundlagen.....	1
1.1	Gesamtemissionen und Gesamtmetallverbräuche in Deutschland	1
1.2	Toxizitätsbeitrag durch radioaktive Abfälle aus der Stromerzeugung	2
1.3	Sozialindikatoren	4
2	Abfallgruppen	11
3	Sachbilanzdokumentation	16
3.1	Bergversatz und Untertagedeponie	16
3.2	Deponierung	20
3.3	Konditionierung	21
3.4	Deponiebau	3
3.5	Wälzverfahren	3
3.6	Elektroreduktionsverfahren.....	9
3.7	Kupferraffination, Kupferbergbau und Kupfererzaufbereitung	13
3.8	Bergbau und Aufbereitung von Nickelerzen	14
3.9	Bergbau und Aufbereitung von Zink- und Bleierzen	15
3.10	Bergbau und Aufbereitung von chromhaltigen Erzen	15
3.11	Aufbereitung von Rostaschen aus der Müllverbrennung	15
3.12	Betriebsmittel.....	17
3.13	Transporte	18

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1	Vergleich der Radiotoxizität nach verschiedenen Zerfallszeiten und der inhärenten Chemotoxizität für Chrom (eigene Berechnungen).....	4
Abbildung 3.1	Modellierung der Wälzanlage und der nachgeschalteten Verfahren	3

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1	Sozialindikatoren in PROSA [Öko 2007].....	4
Tabelle 3-1	Spezifische Kenngrößen ausgewählter Versatzbergwerke für das Jahr 2006 [K+S 2007a; GTS 2007]	18
Tabelle 3-2	Spezifische Kenngrößen ausgewählter Untertagedeponien für das Jahr 2006 [K+S 2007a]	20
Tabelle 3-3	Gewichteter Mittelwert über vier Versatzbergwerke und zwei Untertagedeponien der K+S AG für das Jahr 2006	20
Tabelle 3-4	In der Ökobilanz verwendet Bindemittelanteile bei der Konditionierung mit Zement	1
Tabelle 3-5	In der Ökobilanz angesetzte Parameter für die Verwertung von Elektrostahlwerksstäuben im Wälzverfahren I	5
Tabelle 3-6	In der Ökobilanz angesetzte Parameter für die Verwertung von Elektrostahlwerksstäuben im Wälzverfahren II	6
Tabelle 3-7	In der Ökobilanz verwendeten Datensätze für Komplementärprozesse bei der Verwertung der Elektrostahlwerksstäube im Wälzverfahren	8
Tabelle 3-8	Angesetzte Transportentfernungen bei der Bilanzierung der Verwertung der Elektrostahlwerksstäube in der Wälzanlage.....	8
Tabelle 3-9	In der Ökobilanz angesetzte Parameter für die Verwertung von Stäuben aus der Edelstahlproduktion im Elektroreduktionsverfahren I	9
Tabelle 3-10	In der Ökobilanz angesetzte Parameter für die Verwertung von Stäuben aus der Edelstahlproduktion im Elektroreduktionsverfahren II	10
Tabelle 3-11	In der Ökobilanz verwendete Datensätze für Komplementärprozesse bei der Verwertung der Stäube aus der Edelstahlproduktion im Elektroreduktionsverfahren.....	11
Tabelle 3-12	In der Ökobilanz verwendete Datensätze für Betriebsmittel bei der Verwertung der Stäube aus der Edelstahlproduktion im Elektroreduktionsverfahren	12
Tabelle 3-13	Angesetzte Transportentfernungen bei der Bilanzierung der Verwertung der Stäube aus der Edelstahlproduktion im Elektroreduktionsverfahren	12
Tabelle 3-14	Transferfaktoren bei der weitergehende Schlackeaufbereitung:.....	16
Tabelle 3-15	Verwendete Datensätze für Betriebs- und Hilfsmittel.....	18
Tabelle 3-16	Überblick über die Transportentfernungen für die einzelnen Abfallarten, Betriebsmittel und Produkte I.....	19

Tabelle 3-17 Überblick über die Transportentfernungen für die einzelnen Abfallarten, Betriebsmittel und Produkte II.....	20
---	----

1 Bewertungsgrundlagen

1.1 Gesamtemissionen und Gesamtmetallverbräuche in Deutschland

Tabelle 1: Gesamtemissionen und Verbräuche in Deutschland und ihre aggregierten Umweltwirkungen als Grundlage der Normierung

Wirkungskategorie	in 1.000 t/a	Quelle
Treibhauseffekt (CO ₂ -Äq.)	1.017.000	UBA 2005a für 2003
N ₂ O	205	[UBA 2006a] für 2003
CO ₂	865.000	[UBA 2006a] für 2003
CH ₄ fossil	3.582	[UBA 2006a] für 2003
Versauerung (SO ₂ -Äq.)	2.415	berechnet*
SO ₂	616	[UBA 2006a] für 2003
NO _x	1.428	[UBA 2006a] für 2003
NH ₃	601	[UBA 2006a] für 2003
Eutrophierung, terrestrisch	394	berechnet*
NO _x	1.428	[UBA 2006a] für 2003
NH ₃	601	[UBA 2006a] für 2003
PM ₁₀ (Feinstäube)	2.262	berechnet*
Primärpartikel	271	Pregger 2006 für 2000
SO ₂	616	[UBA 2006a] für 2003
NO _x	1.428	[UBA 2006a] für 2003
NMVOC	1.460	[UBA 2006a] für 2003
NH ₃	601	[UBA 2006a] für 2003
Photoxidantienvorläufer	629	Berechnet*
NMVOC	1.460	[UBA 2006a] für 2003
CH ₄	3.582	[UBA 2006a] für 2003
KEA	14.334 PJ	[UBA 2004a] für 2003

* Berechnet mit den verwendeten Wirkfaktoren (siehe Hauptteil, Kap. 5)

Tabelle 2: Metallverbräuche in Deutschland

Metall	Verbrauch	Bezugsjahr	Quelle
Kupfer	1,0 Mio. t	2004	BGR 2005b
Raffinade-Blei	396.000 t	2004	BGR 2005b
Produktion von Hüttenzink aus Erz in der BRD	252.000 t	2004	BGR 2005b
Hüttenaluminium	2.139.000 t	2004	BGR 2005b
Raffinade-Nickel	106.000 t	2004	BGR 2005b
Eisen	33.700.000 t	2003	BGR 2005a
Chrom	350.000 t	2003	BGR 2005a

1.2 Toxizitätsbeitrag durch radioaktive Abfälle aus der Stromerzeugung

Der Aufwand an elektrischer Energie zur Rückgewinnung von Metallen aus Abfällen ist selbst wieder mit der Entstehung von Abfällen verbunden. Erfolgt diese Behandlung in Frankreich und wird dazu elektrische Energie in Grundlast unterstellt, wird diese weit überwiegend nuklear erzeugt. Bei der nuklearen Stromerzeugung entsteht hochradioaktiver Abfall. Dessen Radiotoxizität kann mit der Chemotoxizität des Metalls verglichen werden, das in der Anlage behandelt wird. Daraus resultiert eine quantitative Aussage darüber, in welchem Umfang durch die Behandlung schädliche Stoffe neu erzeugt werden und welcher Beitrag an schädlichen Stoffen durch die Behandlung hinzukommt.

Zur Berechnung der **Radiotoxizität des hochradioaktiven Abfalls** wurde die erforderliche elektrische Energie (1.488 kWh) auf der Grundlage heute üblicher Abbrände von Kernbrennstoffen (45 GWd(th)/tSM) und einem thermischen Wirkungsgrad von 33% in eine Masse abgebrannten Kernbrennstoffs umgerechnet (4,13 g). Mit dem abbrandtypischen Nuklidspektrum, ausgewählten Zerfallszeiträumen nach der Entladung des Kernbrennstoffs aus dem Reaktor (4 Jahre Abklingen im Lagerbecken des Reaktors, plus 30 Jahre Zwischenlagerzeit vor der Endlagerung, plus ein wählbarer Endlagerungszeitraum) und den Dosisfaktoren für Ingestion gemäß StrlSchV ergeben sich daraus Dosiswerte. Setzt man ferner einen einzuhaltenden Grenzwert der Strahlenbelastung von 1 mSv/a gemäß EU-Richtlinie Strahlenschutz und einen jährlichen Trinkwasserkonsum von 350 l/a gem. StrlSchV an, ergeben sich daraus notwendige Verdünnungsraten, die als Maß für die Radiotoxizität dienen können. Diese liegen zwischen 4,59E8 l (Abklingen), 2,38E8 l (Abklingen plus Zwischenlagerung), 2,58E7 l (Abklingen plus Zwischenla-

gerung plus 1.000 Jahre Endlagerung) und $3,52E5$ l (Abklingen plus Zwischenlagerung plus Endlagerzeitraum von 100.000 Jahren).

Die **Chemotoxizität des Metalls** ergibt sich aus der behandelten Metallmasse (Chrom: 113 kg) und dem Grenzwert in Trinkwasser (Chrom: $50 \mu\text{g/l}$), ebenfalls als Verdünnungsfaktor mit der Dimension Liter. Dieser Verdünnungsfaktor beträgt bei Chrom $2,26E9$ l. Für den Toxizitätsvergleich mit radiologischen Schadstoffen kann als Maßstab nicht, wie bei der übrigen Bewertung in diesem Vorhaben, die Geringfügigkeitsschwelle der LAGA (Chrom: $7 \mu\text{g/l}$) angesetzt werden. Zum Einen sind Geringfügigkeitsschwellen für radioaktive Emissionen weder auf rechtlicher noch auf fachlicher Ebene definiert, begründbar ist nur der Bezug zu einem Grenzwert. Zum Anderen werden Geringfügigkeitsschwellen im radiologischen Bereich auf einem methodisch anderen Weg und für einen anderen Anwendungsbereich (sog. „De-Minimis-Dosiswerte“ im Bereich von $0,01 \text{ mSv/a}$) definiert. Radiologisch und chemotoxisch vergleichbare Schutzniveaus sind folglich an den Grenzwerten in Trinkwasser zu orientieren.

Beim **Vergleich** der Radiotoxizität des hochradioaktiven Abfalls aus dem für die Behandlung aufgewendeten Strom und der dem Chrom inhärenten Chemotoxizität zeigt sich, dass durch diese Behandlung ein nennenswerter, nicht zu vernachlässigender Toxizitätsbeitrag hinzugefügt wird. Im vorliegenden Fall beträgt der Beitrag ca. 20% nach einer Abklingzeit des abgebrannten Kernbrennstoffs von 4 Jahren und 11% nach zusätzlicher Zwischenlagerung. Der Beitrag nimmt mit längerer Endlagerzeit des Brennstoffes durch den radioaktiven Zerfall ab. Der Verlauf ist in der Abbildung skizziert.

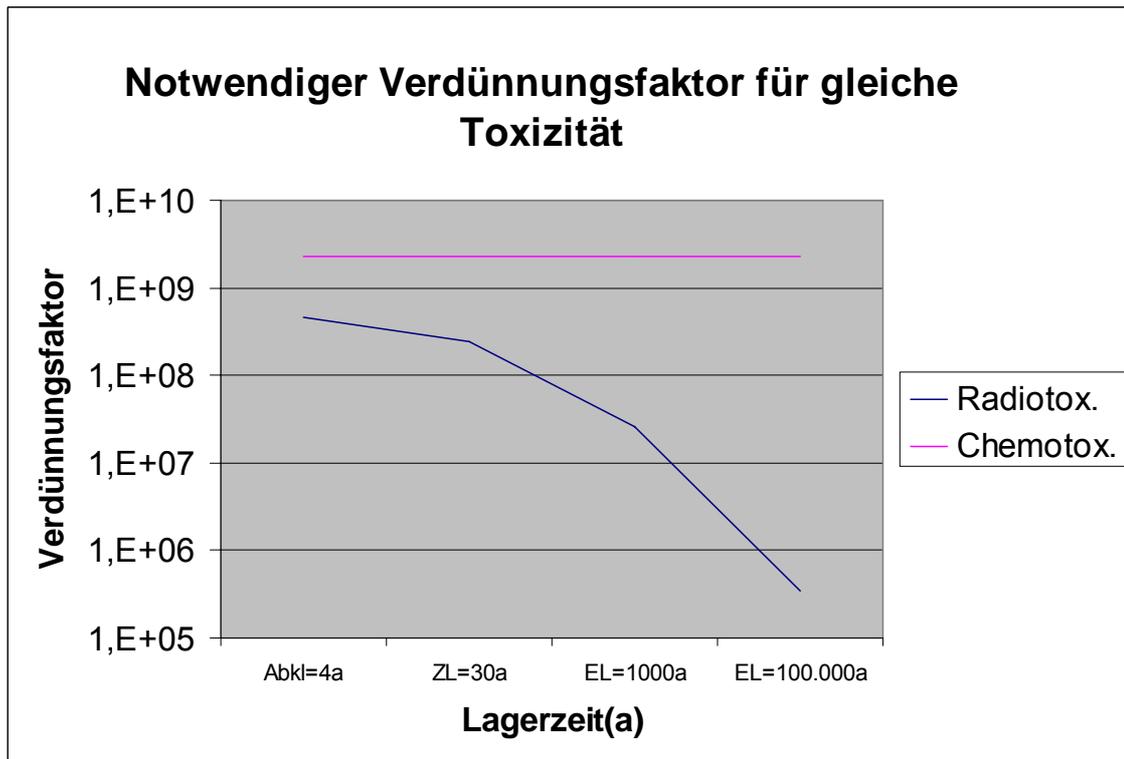


Abbildung 1.1 Vergleich der Radiotoxizität nach verschiedenen Zerfallszeiten und der inhärenten Chemotoxizität für Chrom (eigene Berechnungen)

Ähnliche Vergleiche wurden für die Behandlung von Nickel, Blei und Zink angestellt. Die Ergebnisse sind von den Größenordnungen her vergleichbar.

1.3 Sozialindikatoren

Tabelle 1-1 Sozialindikatoren in PROSA [Öko 2007]

Thema		Indikator
A. Arbeitnehmer		
A. 1 Sichere & gesunde Arbeitsbedingungen	1.	Nationale Rahmenbedingungen
	2.	Anzahl tödlicher Arbeitsunfälle
	3.	Anzahl von Arbeitsunfällen
	4.	Anzahl anerkannter Berufskrankheiten und Berichte über erhöhte gesundheitliche Risiken
	5.	Arbeitsplatz verbunden mit Lärm, Geruch, Dämpfen, Staub, Hitze, unzureichender Beleuchtung
	6.	Grundlegende Maßnahmen und Einrichtung zum Erhalt und zur Erhöhung der Arbeitssicherheit
	7.	Maßnahmen und Einrichtungen zum Erhalt und zur Förderung der Gesundheit am Arbeitsplatz
	8.	Zugang zu sauberem Trinkwasser und sanitären Anlagen am Arbeitsplatz
	9.	Politiken und Programme zur Bekämpfung von HIV/AIDS und / oder anderen lokal bedeutenden Gesundheitsproblemen (Dengue, Malaria, Alkoholismus etc.)

	10	Entwicklung der Indikatoren 1. bis 9. innerhalb der letzten drei Jahre
A. 2 Vereinigungs- & Gewerkschaftsfreiheit, Recht auf Kollektivverhandlungen und Möglichkeiten der betriebliche Mitbestimmung	1.	Nationale Rahmenbedingungen
	2.	Selbstverpflichtungen des Unternehmens im Bereich <i>Vereinigungs- & Gewerkschaftsfreiheit und Recht auf Kollektivverhandlungen</i>
	3.	Hinweise auf Behinderung gewerkschaftlicher Aktivitäten
	4.	Grad der gewerkschaftlichen Organisation
	5.	Möglichkeiten zu Kollektivverhandlungen
	6.	Möglichkeiten der Bottom-up Kommunikation
	7.	Entwicklung der Indikatoren 1. bis 6. innerhalb der letzten drei Jahren
A.3 Gleichbehandlung, Chancengleichheit & faire Behandlung	1.	Nationale Rahmenbedingungen
	2.	Selbstverpflichtungen des Unternehmens im Bereich <i>Gleichberechtigung & Chancengleichheit</i>
	3.	Hinweise auf diskriminierende Praktiken des Unternehmens
	4.	Anteil der Frauen in Führungspositionen
	5.	Anteil behinderter Mitarbeiter
	6.	Hinweise auf Schikanen und Psychoterror (Mobbing)
	7.	Hinweise auf Fälle sexueller Belästigung
	8.	Maßnahmen und Programme zum Erhalt und zur Erhöhung der Gleichbehandlung und Chancengleichheit
	9.	Entwicklung der Indikatoren 1. bis 8. innerhalb der letzten drei Jahre
A.4 Abschaffung der Zwangsarbeit	1.	Nationale Rahmenbedingungen
	2.	Selbstverpflichtungen des Unternehmens im Bereich <i>Abschaffung der Zwangsarbeit</i>
	3.	Hinweise auf Fälle von Zwangsarbeit nach den ILO-Kernarbeitsnormen Nr. 29 und 105.
A. 5 Abschaffung der Kinderarbeit	1.	Nationale Rahmenbedingungen
	2.	Selbstverpflichtungen des Unternehmens im Bereich <i>Abschaffung der Kinderarbeit</i>
	3.	Hinweise auf Fälle von Kinderarbeit nach den ILO-Kernarbeitsnormen Nr. 138 und 182.
A.6 Angemessene Entlohnung	1.	Nationale Rahmenbedingungen
	2.	Durchschnittliche Höhe der betrieblichen Löhne
	3.	Durchschnittliche Höhe der leistungsabhängigen Bonuszahlungen
	4.	Höhe der betrieblichen Mindestlöhne
	5.	Verhältnis der betrieblichen Mindestlöhne zu den lokalen Lebenshaltungskosten
	6.	Anteil der Mitarbeiter im unteren Lohnsegment
	7.	Durchschnittliche Höhe der leistungsabhängigen Bonuszahlungen im unteren Lohnsegment
	8.	Anwendung eines transparenten Entlohnungssystems
	9.	Zeitnahe & termingerechte Auszahlung der Löhne

	10.	Entwicklung der Indikatoren 1. bis 9. innerhalb der letzten drei Jahre
A.7 Angemessene Arbeitszeiten	1.	Nationale Rahmenbedingungen
	2.	Länge der durchschnittlichen Wochenarbeitszeit im Vollzeitbeschäftigungsverhältnis
	3.	Länge der maximalen Wochenarbeitszeit
	4.	Länge und Ausgestaltung einer zusammenhängenden, mindestens 24-stündigen Erholungszeit pro Arbeitswoche
	5.	Länge des bezahlten jährlichen Urlaubs
	6.	Möglichkeiten zur individuellen Gestaltung von Arbeitszeit und Arbeitsform
	7.	Grundsätzliche Entscheidungen zur Erhöhung / Beibehaltung / Erniedrigung der Arbeitszeiten
	8.	Entwicklung der Indikatoren 1. bis 7. innerhalb der letzten drei Jahre
A.8 Sicherheit der Arbeitsverhältnisse	1.	Nationale Rahmenbedingungen
	2.	Anteile der fest angestellten, befristeten und freiberuflichen Mitarbeitern, sowie Arbeitskräfte von Zeitarbeitsfirmen und Unterauftragnehmer.
	3.	Anteil der jährlichen Entlassungszahlen an der Belegschaftsstärke.
	4.	Regelungen und Fristen im Kündigungsschutz
	5.	Grundsätzliche Entscheidungen zu Neueinstellungen oder Stellenabbau
	6.	Entwicklung der Indikatoren 1. bis 5. innerhalb der letzten drei Jahre
A.9 Soziale Sicherheit	1.	Nationale Rahmenbedingungen
	2.	Hinweise auf Verstöße gegen gesetzlich verpflichtende Sozialleistungen
	3.	Länge und Ausgestaltung der Lohnfortzahlung im Krankheitsfall
	4.	Betriebliche Altersversorgung
	5.	Betriebliche Regelungen in den Bereichen Mutterschutz & Kinderbetreuung
	6.	Zusätzliche betriebliche Sozialleistungen
	7.	Entwicklung der Indikatoren 1. bis 6. innerhalb der letzten drei Jahre
A.10 Aus- & Fortbildung	1.	Nationale Rahmenbedingungen
	2.	Ausbau und Erwerb beruflicher Qualifikationen bei regulärer Tätigkeit (on the job)
	3.	Anteil der Mitarbeiter die an Fort- und Weiterbildungsmaßnahmen teilnehmen
	4.	Durchschnittliche Anzahl der Fort- und Weiterbildungstage pro Mitarbeiter
	5.	Subjektive Bewertung der Fortbildungsmaßnahmen durch deren Teilnehmer
	6.	Sprachkurse und Integrationsmaßnahmen für ausländische Mitarbeiter
	7.	Entwicklung der Indikatoren 1. bis 6. innerhalb der letzten drei Jahre
A.11 Erhöhung der subjektiven Arbeitszufriedenheit	1.	Nationale Rahmenbedingungen
	2.	Ausrichtung betrieblicher Feiern und sozialer Zusammenkünfte
	3.	Erreichbarkeit der Arbeitsplätze
	4.	Ästhetische Ausgestaltung der Arbeitsplätze
	5.	<i>Falls nötig:</i> Bereitstellung menschenwürdiger Werksunterkünfte
	6.	Entwicklung der Indikatoren 1. bis 5. innerhalb der letzten drei Jahre
B. Benachbarte Bevölkerungs- gruppen		
B.1 Sichere & gesunde Lebensverhältnisse	1.	Nationale Rahmenbedingungen

	2.	Tödliche Unfällen im Umfeld des Unternehmens im Zusammenhang mit dessen Aktivitäten
	3.	Anzahl aller Unfälle im Umfeld des Unternehmens im Zusammenhang mit dessen Aktivitäten.
	4.	Gesundheitliche Chancen und Risiken für Bevölkerung im Umfeld des Unternehmens
	5.	Belastung / Entlastungen des Umfeldes durch Lärm, Geruch, Dämpfen, Staub, Hitze und / oder Abwässer.
	6.	Maßnahmen und Einrichtungen zum Erhalt und zur Förderung sicherer und gesunder Lebensverhältnisse
	7.	Entwicklung der Indikatoren 1. bis 5. innerhalb der letzten drei Jahre
B.2 Achtung der Menschenrechte	1.	Nationale Rahmenbedingungen
	2.	Selbstverpflichtungen des Unternehmens im Bereich <i>Achtung der Menschenrechte</i>
	3.	Hinweise auf Menschenrechtsverletzungen im Zusammenhang mit der Tätigkeit des Unternehmens
	4.	Enteignungen und / oder erzwungene Umsiedlungen im Zusammenhang mit den Tätigkeiten des Unternehmens
	5.	Menschenrechtstraining für Mitarbeiter, insbesondere Mitglieder des Sicherheitspersonals
B.3 Wahrung indigener Rechte	1.	Nationale Rahmenbedingungen
	2.	Hinweise auf die Beeinträchtigung sozialer, ökonomischer und kultureller Aktivitäten indigener Bevölkerungsgruppen
	3.	Hinweise auf Ausbeutung von indigem Wissen und Kulturerbe
	4.	Hinweise auf Missachtung lokaler Traditionen und Werte
	5.	Berücksichtigung indigener Entwicklungsziele
	6.	Maßnahmen zur Förderung der sozioökonomischen Grundlagen indigener Bevölkerungsgruppen
	7.	Entwicklung der Indikatoren 1. bis 6. innerhalb der letzten drei Jahre
B.4 Gesellschaftliche Mitbestimmung	1.	Nationale Rahmenbedingungen
	2.	Informationsmöglichkeiten für Anwohner
	3.	System zur Bearbeitung von Anwohnerbeschwerden
	4.	Verstöße gegen Auflagen lokaler politischer und gesellschaftlicher Entscheidungsgremien
	5.	Entwicklung der Indikatoren 1. bis 4. innerhalb der letzten drei Jahre
B.5 Erhalt & Verbesserung sozialer und ökonomischer Möglichkeiten	1.	Nationale Rahmenbedingungen
	2.	Auswirkungen auf lokale Nutzungskonflikte
	3.	Bereitstellung / Überlastung von Infrastruktureinrichtungen
	4.	Bereitstellung / Überlastung von sozialen Einrichtungen
	5.	Bildungsmöglichkeiten für Anwohner
	6.	Einfluss auf die lokale Wirtschaft
	7.	Entwicklung der Indikatoren 1. bis 6. innerhalb der letzten drei Jahre
C. Gesellschaft		

C.1 Öffentliches Engagement für das Konzept der nachhaltigen Entwicklung	1.	Nationale Rahmenbedingungen
	2.	Besondere Auszeichnungen für soziales und / oder nachhaltiges Engagement
	3.	Mitgliedschaften in Verbänden und / oder Programmen zur Förderung von sozial nachhaltigen Wirtschaftsweisen
	4.	Hinweise auf Aktivitäten (Lobbyarbeit etc.) gegen Maßnahmen zur Umsetzung von Nachhaltigkeitszielen
	5.	Erstellung eines Nachhaltigkeitsberichtes / Sozialberichtes
	6.	Entwicklung der Indikatoren 1. bis 5. innerhalb der letzten drei Jahre
C.2 Vermeidung unvertretbarer Risiken	1.	Nationale Rahmenbedingungen
	2.	Einsatz von Produkten aus gentechnisch veränderten Lebewesen und / oder Förderung von Tätigkeiten im Bereich der gentechnischen Veränderung von Lebewesen, sowie der Patentierung von Genen, Lebewesen und Pflanzen
	3.	Umgang mit radioaktiven Stoffen und / oder Förderung von Tätigkeiten im Bereich Kernwaffen und Kernenergie
	4.	Andere begründete Hinweise auf erhöhte kurz-, mittel- und langfristige Risiken für die menschliche Sicherheit
	5.	Entwicklung der Indikatoren 1. bis 4. innerhalb der letzten drei Jahre
C.3 Beschäftigungsförderung	1.	Nationale Rahmenbedingungen
	2.	(Arbeitsintensität): Anzahl Erwerbstätige
	3.	Entwicklung der Indikatoren 1. und 2. innerhalb der letzten drei Jahre
C.4 Ausbildung	1.	Nationale Rahmenbedingungen
	2.	Anzahl und Anteil der Auszubildenden gemessen an der Belegschaftsstärke
	3.	Ausbau und Erwerb beruflicher Qualifikationen bei regulärer Tätigkeit (on the job)
	4.	Entwicklung der Indikatoren 1. und 3. innerhalb der letzten drei Jahre
C.5 Korruptionsbekämpfung und Nichteinmischung in brisante politische Angelegenheiten	1.	Nationale Rahmenbedingungen
	2.	Hinweise auf korrupte und / oder erpresserische Geschäftspraktiken
	3.	Hinweise auf ungebührliche politischer Einflussnahme
	4.	Firmeninterne Maßnahmen zur Bekämpfung der Korruption
	5.	Entwicklung der Indikatoren 1. und 4. innerhalb der letzten drei Jahre
C.6 Durchsetzung sozialer und ökologischer Mindeststandards bei Zulieferbetrieben und Kooperationspartnern	1.	Nationale Rahmenbedingungen
	2.	Nachweisliche Bemühungen zur Einhaltung / Durchsetzung von sozialen und ökologischen Mindeststandards bei Zulieferbetrieben, Sub-Zulieferbetrieben, Zwischenhändlern und Kooperationspartnern
	3.	Hinweise auf Verletzung grundlegender sozialer und ökologischer Standards in Zulieferbetrieben, Sub-Zulieferbetrieben und / oder Kooperationspartnern
	4.	Entwicklung der Indikatoren 1. bis 3. innerhalb der letzten drei Jahre

C.7 Beitrag zur Volkswirtschaft und einer stabilen wirtschaftlichen Entwicklung	1.	Nationale Rahmenbedingungen
	2.	Beitrag zum BIP
	3.	Direktinvestitionen
	4.	Beitrag zur Außenhandelsbilanz
	5.	Entwicklung innovativer Produkte und / oder Dienstleistungen
	6.	Krisenfestigkeit der Geschäftsbranche
	7.	Hinweise auf wettbewerbsverzerrende Praktiken (Monopolisierung etc.)
	8.	Entwicklung der Indikatoren 1. bis 7. innerhalb der letzten 3 Jahre
C.8 Beitrag zum Staatshaushalt	1.	Nationale Rahmenbedingungen
	2.	Beitrag zum Staatshaushalt (gezahlte Steuern - empfangene Subventionen)
	3.	Hinweise auf die Hinterziehung von Steuern und Abgaben
	4.	Entwicklung der Indikatoren 1. und 3. innerhalb der letzten drei Jahre
C.9 Vermeidung & Entschärfung bewaffneter Konflikte	1.	Nationale Rahmenbedingungen
	2.	Zusammenhang zwischen unternehmerischer Tätigkeit und bewaffneten Konflikten
	3.	Entwicklung der Indikatoren 1. und 2. innerhalb der letzten drei Jahre
C.10 Transparente Geschäftsinformationen	1.	Nationale Rahmenbedingungen
	2.	Umfassenden und transparente Geschäfts- und Nachhaltigkeitsberichterstattung
	3.	Umgang mit Anfragen im Bereich Nachhaltigkeit
	4.	Entwicklung der Indikatoren 1. bis 3. innerhalb der letzten drei Jahre
C.11 Wahrung von Rechten an geistigem Eigentum	1.	Nationale Rahmenbedingungen
	2.	Gerichtsurteile / Berichte über Verletzung von Rechten an geistigem Eigentum
	3.	Entwicklung der Indikatoren 1. und 2. innerhalb der letzten drei Jahre
D. Nutzer		
D.1 Schutz und Erhalt von Sicherheit und Gesundheit	1.	Nationale Rahmenbedingungen
	2.	Gesundheitliche Chancen / Risiken im Zusammenhang mit der Nutzung des Produktes
	3.	Unfälle im Zusammenhang mit der Nutzung des Produktes
	4.	Todesfälle im Zusammenhang mit der Nutzung des Produktes
	5.	Ergebnisse von Produktsicherheitstests (evtl. Auszeichnungen, Labels)
	6.	Entwicklung der Indikatoren 1. bis 4. innerhalb der letzten drei Jahre
D.2 Qualität des Produktes / der Dienstleistung	1.	Nationale Rahmenbedingungen
	2.	Qualität im Verhältnis zu vergleichbaren Produkten
	3.	guter Service, Reparierbarkeit, Vorhalten von Ersatzteilen

	4.	Funktionierendes Verfahren zur Beilegung von Konsumentenbeschwerden und Reklamationen
	5.	Ergebnisse von Produkttests (evtl. Auszeichnungen, Labels)
	6.	Entwicklung der Indikatoren 1. bis 5. innerhalb der letzten drei Jahre
D.3 Faire Wettbewerbsmethoden & Vermarktung	1.	Nationale Rahmenbedingungen
	2.	Hinweise auf wettbewerbsverzerrende Absprachen und Praktiken.
	3.	Hinweise auf betrügerische, irreführende oder unfaire Verkaufsstrategien
	4.	Vermeidung hoher Folgekosten für Wartung und Entsorgung
	5.	Anteil des Werbekosten am Produktpreis
	6.	Hinweise auf Verletzungen des Werberechts (Rügen des Werberates etc.)
	7.	Hinweise auf zweifelhafte Praktiken der Konsumentenbindung (Unkompatible Software, Tintenpatronen etc.)
	8.	Entwicklung der Indikatoren 1. bis 6. innerhalb der letzten drei Jahre
D.4 Vollständige & nachvollziehbare Produktinformation	1.	Nationale Rahmenbedingungen
	2.	Genau und gut verständliche Information (Gebrauchsanleitung, Inhaltsstoffe, sichere Benutzung, Wartung, Aufbewahrung und Entsorgung) als Grundlage für eine informationsbasierte Konsumentenentscheidung.
	3.	Entwicklung der Indikatoren 1. und 2. innerhalb der letzten drei Jahre
D.5 Schutz der Privatsphäre	1.	Nationale Rahmenbedingungen
	2.	Hinweise auf Verletzung der Privatsphäre und / oder Datenschutzrechte der Konsumenten
	3.	Entwicklung der Indikatoren 1. und 2. innerhalb der letzten drei Jahre
D.6 Verbesserung der sozialen und ökonomischen Möglichkeiten der Konsumenten	1.	Nationale Rahmenbedingungen
	2.	Reduktion der Verbraucherkosten
	3.	Eignung des Produktes für Bedürfnisse benachteiligter Bevölkerungsgruppen (Behinderte, Alte, ethnische Minderheiten etc.)
	4.	Entwicklung der Indikatoren 1. bis 3. innerhalb der letzten drei Jahre
D. 7 Flächendeckende bzw. allgemeine Zugangsmöglichkeit zu Produkten und Dienstleistungen		

2 Abfallgruppen

Abfallgruppe „Filterstäube, Kesselstäube und RGR-Rückstände aus der thermischen Abfallbehandlung und anderen Verbrennungsprozessen“

AVV-Nr.	Bezeichnung	Besonders hohe Schadstofffrachten	Anfall in 2003 [Mg]
10 01	Abfälle aus Kraftwerken u. anderen Verbrennungsproz. (außer 19)		
10 01 04*	Filterstäube und Kesselstaub aus der Ölfeuerung		730
10 01 16*	Filterstäube aus der Abfallmitverbrennung		6.300
10 01 17	Filterstäube aus der Abfallmitverbrennung mit Ausnahme derjenigen, die unter 10 01 16 fallen	Pb	106.000
10 01 18*	Abfälle aus der Abgasbehandlung		4.700
10 01 20*	Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten		220
19 01	Abfälle aus der Verbrennung oder Pyrolyse von Abfällen		
19 01 05*	Filterkuchen aus der Abgasbehandlung	Cd, Hg	42.000
19 01 07*	Feste Abfälle aus der Abgasbehandlung	Cd, Cu, Pb, Zn, Hg	290.000
19 01 13*	Filterstaub, der gefährliche Stoffe enthält	Cd, Cr, Cu, Pb, Zn	350.000
19 01 15*	Kesselstaub, der gefährliche Stoffe enthält		21.000
Summe			820.950

Abfallgruppe „Abfälle aus der thermischen Metallurgie“

AVV-Nr.	Bezeichnung	Besonders hohe Schadstofffrachten	Anfall in 2003 [Mg]
10 02	Abfälle aus der Eisen- und Stahlindustrie		
10 02 07*	festen Abfälle aus der Abgasbehandlung	Pb, Zn, Cd, Cr	185.000
10 02 13*	Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung	Pb, Zn, Cd	50.000
10 02 14	Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung mit Ausnahme ... 10 01 13*	Pb, Zn	137.000
10 05	Abfälle aus der thermischen Zinkmetallurgie		
10 05 03*	Filterstaub		470
10 05 05*	festen Abfälle aus der Abgasbehandlung	Zn, Cr	240
10 05 06*	Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung		320
10 08	Abfälle aus sonstiger thermischer Nichteisenmetallurgie		
10 08 08*	Salzschlacken (Erst- und Zweitschmelze)		730
10 08 15*	Filterstaub, der gefährliche Stoffe enthält	Zn, Cr	1.600
10 08 17*	Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung	Cr, Pb	90
Summe			375.450

Abfallgruppe „Aschen aus der Abfallverbrennung und der Abfallmitverbrennung“

AVV-Nr.	Bezeichnung	Besonders hohe Schadstofffrachten	Anfall in 2003 [Mg]
10 01	Abfälle aus Kraftwerken und anderen Verbrennungsprozessen (außer 19)		
10 01 14*	Rost- u. Kesselasche, Schlacken u. Kesselstaub aus der Abfallmitverbrennung, die gefährliche Stoffe enthalten		2.700
10 01 15	Rost- u. Kesselasche, Schlacken u. Kesselstaub aus der Abfallmitverbrennung mit Ausnahme derjenigen, die unter 10 01 14 fallen		54.000
19 01	Abfälle aus der Verbrennung oder Pyrolyse von Abfällen		
19 01 11*	Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken, die gefährliche Stoffe enthalten	Cr, Zn	165.000
19 01 12	Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 01 11 fallen	Cr, Cu, Pb, Zn, Cd, Ni, Hg	3.300.000
Summe			3.521.700

Abfallgruppe „Abfälle aus der chemischen Oberflächenbehandlung und Nichteisen-Hydrometallurgie“

AVV-Nr.	Bezeichnung	Besonders hohe Schadstofffrachten	Anfall in 2003 [Mg]
11 01	Abfälle aus der chemischen Oberflächenbearbeitung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen		
11 01 08*	Phosphatierschlämme		12.000
11 01 09*	Schlämme und Filterkuchen, die gefährliche Stoffe enthalten	Ni, Cu, Cr, Zn	703.000
11 02	Abfälle aus Prozessen der Nichteisen-Hydrometallurgie		
11 02 02*	Schlämme aus der Zink-Hydrometallurgie (einschließlich Jarosit, Goethit)	Ni, Cu	156.000
11 02 05*	Abfälle aus Prozessen der Kupfer-Hydrometallurgie		60
Summe			871.060

Abfallgruppe "Böden, Bauschutt, Baggergut und Gleisschotter"

AVV-Nr.	Bezeichnung	Besonders hohe Schadstofffrachten	Anfall in 2003 [Mg]
17 01	Beton, Ziegel, Fliesen und Keramik		
17 01 06*	Gemische aus oder getrennte Fraktionen von Beton, Ziegeln, Fliesen und Keramik, die gefährliche Stoffe enthalten		1.201.000
17 05	Boden (einschließlich Aushub von verunreinigten Standorten), Steine und Baggergut		
17 05 03*	Boden und Steine, die gefährliche Stoffe enthalten	Pb, Cd, Cr, Ni, PAK, Hg	4.597.000
17 05 05*	Baggergut, das gefährliche Stoffe enthält		151.000
17 05 07*	Gleisschotter, der gefährliche Stoffe enthält	Cr, Cu	960.000
Summe			6.909.000

Abfallgruppe „Kohlenteerhaltige Bitumengemische“

AVV-Nr.	Bezeichnung	Besonders hohe Schadstofffrachten	Anfall in 2003 [Mg]
17 03	Bitumengemische, Kohlenteer und teerhaltige Produkte		
17 03 01*	Kohlenteerhaltige Bitumengemische	Cr, PAK, Hg	1.964.000

Abfallgruppe „Stabilisierte und verfestigte Abfälle sowie vorgemischte Abfälle aus der CPB“

AVV-Nr.	Bezeichnung	Besonders hohe Schadstofffrachten	Anfall in 2003 [Mg]
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	Pb, Zn, Cd, Cr, Cu, Ni, Hg	443.000
19 03	Stabilisierte und verfestigte Abfälle		
19 03 04*	als gefährlich eingestufte teilweise stabilisierte Abfälle		42.600
19 03 06*	als gefährlich eingestufte verfestigte Abfälle		189.000
Summe			674.600

Abfallgruppe „Feuerraumauskleidungen“

AVV-Nr.	Bezeichnung	Besonders hohe Schadstofffrachten	Anfall in 2003 [Mg]
16 11	Gebrauchte Auskleidungen und feuerfeste Materialien		
16 11 01*	Auskleidungen und feuerfeste Materialien auf Kohlenstoffbasis aus metallurgischen Prozessen, die gefährliche Stoffe enthalten	Cu	18.900
16 11 03*	andere Auskleidungen und feuerfeste Materialien aus metallurgischen Prozessen, die gefährliche Stoffe enthalten		11.600
16 11 05*	Auskleidungen und feuerfeste Materialien aus nichtmetallurgischen Prozessen, die gefährliche Stoffe enthalten		12.700
Summe			43.200

Abfallgruppe „Gebrauchte Katalysatoren“

AVV-Nr.	Bezeichnung	Besonders hohe Schadstofffrachten	Anfall in 2003 [Mg]
16 08	Gebrauchte Katalysatoren		
16 08 02*	gebrauchte Katalysatoren, die gefährliche Übergangsmetalle oder deren Verbindungen enthalten		6.600
16 08 05*	gebrauchte Katalysatoren, die Phosphorsäure enthalten		750
16 08 07*	gebrauchte Katalysatoren, die durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind		5.400
Summe			12.750

Abfallgruppe „Abfälle aus HZVA von Salzen, Salzlösungen und Metalloxiden“

AVV-Nr.	Bezeichnung	Besonders hohe Schadstofffrachten	Anfall in 2003 [Mg]
06 03	Abfälle aus HZVA von Salzen, Salzlösungen und Metalloxiden		
06 03 13*	festen Salze und Lösungen, die Schwermetalle enthalten		4.800
06 03 14	festen Salze und Lösungen mit Ausnahme derjenigen, die unter 06 03 11 und 06 03 13 fallen		128.500
06 03 15*	Metalloxide, die Schwermetalle enthalten	Cr, Cu	3.800
Summe			137.100

Abfallgruppe „Abfälle aus der Glasherstellung“

AVV-Nr.	Bezeichnung	Besonders hohe Schadstofffrachten	Anfall in 2003 [Mg]
10 11	Abfälle aus der Herstellung von Glas und Glaserzeugnissen		
10 11 09*	Gemengeabfall mit gefährlichen Stoffen vor dem Schmelzen		1.100
10 11 13*	Glaspolier- und Glasschleifschlämme, die gefährliche Stoffe enthalten		2.100
10 11 15*	festen Abfälle aus der Abgasbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten	Pb, Cd	1.900
10 11 17*	Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten		0
10 11 19*	Feste Abfälle aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten		360
Summe			5.460

3 Sachbilanzdokumentation

3.1 Bergversatz und Untertagedeponie

In diesem Kapitel sollen alle Merkmale behandelt werden, die hinsichtlich eines nachhaltigen Umweltschutzes von Bedeutung sind und die bei der Bewertung der untertägigen Verwertungs- und Entsorgungsverfahren berücksichtigt werden müssen. Dabei wird nach Bergversatz und Untertagedeponierung differenziert.

Untertagedeponien und Versatzbergwerke werden in abgebauten Lagerstätten bereits stillgelegter oder noch aktiver Bergwerke eingerichtet. Bei noch betriebenen Bergwerken muss der Einlagerungsbereich von dem Gewinnungsbereich abgeschottet sein. Obertägig vorhandene Einrichtungen und Flächen aus dem Abbau werden weiterhin genutzt. Gegebenenfalls werden obertägig einzelne Einrichtungen, die speziell dem Versatz bzw. dem Betrieb der Untertagedeponie dienen, hinzugebaut (z.B. Entladestationen, Konditionier- und Mischanlagen, Silos). Bei bereits stillgelegten Bergwerken wird der entsprechende Flächenbedarf teilweise oder ganz kompensiert, weil Einrichtungen des Gewinnungsbergbaus (wie z.B. zur Weiterverarbeitung von Salz) nicht mehr benötigt und abgebaut werden. Nach Abschluss des Deponie- bzw. des Versatzbetriebs ist ein Rückbau dieser obertägigen Einrichtungen vollständig möglich, so dass die weitere Beanspruchung des Geländes zeitlich begrenzt erfolgt. Ein zusätzlicher Flächenverbrauch findet daher nicht bzw. nicht im nennenswerten Umfang statt.

Der Flächenverbrauch ist auch im Vergleich zur oberirdischen Deponierung von Abfällen zu sehen. Bei einer oberirdischen Deponie wird die genutzte Fläche dauerhaft verändert und für viele anderweitige Nutzungen ungeeignet gemacht. Dagegen erfolgt bei Versatz und Untertagedeponierung die eigentliche Ablagerung von Abfällen in untertägigen Hohlräumen, die bereits ausgebeutet sind und daher keiner anderen sinnvollen Nachnutzung mehr zugänglich sind.

Versatz

Vordringlicher Zweck des Bergversatzes ist bei bergrechtlich angeordnetem Versatz eine Stabilisierung des Grubengebäudes. Dies wird durch das firstschlüssige Einbringen von Versatzmaterialien erreicht. Als Versatzmaterial können Abfälle mit geeigneten bauphysikalischen Eigenschaften verwendet werden. Die Risiken wie der Einsturz von Grubenbereichen, die die Sicherheit des Bergwerkes gefährden und Schäden an der Oberfläche anrichten können, sollen damit vermieden bzw. minimiert werden.

Als stabilisierendes Versatzmaterial kommen bei Bergwerken in Salzgestein nur solche Stoffe in Betracht, die nicht zu einer Auflösung von Salzgestein beitragen. Soweit es sich um wässrige (pumpfähige) Materialien handelt, müssen diese genügend hohe Salzkonzentrationen aufweisen. Dies wird meist durch Mischen geeigneter

ter Abfälle oder durch Zusetzen von gesättigter Salzlösung (z. B. Magnesiumchloridlösung aus der Salzaufbereitung) erreicht. Alternativ werden ausreichend feste, trockene Materialien versetzt.

Alternativ zu geeigneten Abfällen könnte auch gegebenenfalls vorhandenes Abraummaterial oder anzulieferndes Verfüllmaterial wie Kies und Sand verwendet werden. Im Vergleich zur Verwendung von Abfällen ist der energetische Aufwand für den Bergversatz weitgehend ähnlich, da die technischen Abläufe nahezu identisch sind (Materialaufnahme, Transport, Materialaufbereitung, Förderung, untertägiger Transport, Versatz).

Vorteile der Verwendung von obertägigem Haldenmaterial sind: die Abraumhalden verändern oberirdisch nicht mehr das Landschaftsbild, die Halden müssten nicht aufwendig rekultiviert werden und der Austrag von salzhaltigen Lösungen aus den Halden einschließlich der wirtschaftlichen und ökologischen Folgewirkungen würde vermieden. Die Nachteile der Verwendung von obertägigem Haldenmaterial sind: den Kosten für die Verfüllung der untertägigen Hohlräume stehen keinerlei Einnahmen gegenüber (falls während der Betriebszeit keine entsprechenden Rücklagen gebildet wurden, müsste die Kostenübernahme für die Versatarbeiten anderweitig erfolgen), die Entnahme von Haldenmaterial ist besonders bei sehr alten Ablagerungen nur mit einem erheblichen Aufwand möglich und durch Störung der chemischen Gleichgewichte in der Abraumhalde kann ein zeitweilig erhöhter Laugenausstrag erfolgen. Diese Alternative steht nur dann zur Abwägung zur Verfügung, wenn Abraumhalden vorhanden sind. Zudem müsste für verbleibende Resthohlräume gegebenenfalls geeignetes Versatzmaterial zusätzlich beschafft werden. Bei der Verwendung von Verfüllmaterial wie Sand und Kies sind als zusätzliche Nachteile der weitere Transport zum Bergwerk, der Verbrauch von Rohstoffen und die zusätzlichen Kosten für den Kauf und den Transport zu berücksichtigen.

Da beim Bergversatz mit gefährlichen Abfällen Eigenschaften des Abfalls, nämlich die bauphysikalischen Eigenschaften zur Stabilisierung des Grubenbauwerks, weiter genutzt werden, handelt es sich um eine Abfallverwertung. Der Nebeneffekt des dauerhaften Einschlusses dieser Abfälle ist die nachhaltige Entfernung der darin enthaltenen Schadstoffe aus der Biosphäre. Stünde der Versatz hierfür nicht zur Verfügung, müssten zur Vermeidung von Umweltrisiken alternative Verwertungs- oder Entsorgungswege herangezogen werden. Ein Vergleich der verschiedenen möglichen Entsorgungsalternativen soll diese Studie ermöglichen. Dazu sind in Tabelle 3.1 spezifische Kenngrößen einiger ausgewählter Versatzbergwerke zusammengestellt. Die Einheiten beziehen sich jeweils auf die Tonne Abfall.

Tabelle 3-1 Spezifische Kenngrößen ausgewählter Versatzbergwerke für das Jahr 2006
[K+S 2007a; GTS 2007]

Versatzbergwerk	Spezifischer Verbrauch 2006		
	Elektroenergie kWh/t	Dieselmotorkraftstoff l/t	MgO-Bindemittel t/t
Bernburg	3,386	1,183	0
Hattorf	27,230	0,65	0
Wintershall	45,470	1,641	0
Untereibzbach	48,428	0,107	0,058
Teutschenthal	15*	1,9*	0

* Die Angaben in [GTS 2007] sind mit einer mittleren Dichte von 1 t/m³ umgerechnet

Der spezifische Aufwand für Elektroenergie sowie der Verbrauch an Dieselmotorkraftstoff schwanken um etwas mehr als eine Größenordnung. Die Schwankungsbreite der Werte ergibt sich aus den gewählten Versatzverfahren und der technischen Umsetzung: gibt es beispielsweise Verfahrensschritte wie die Herstellung von Versatzmischungen, eine Neuverpackung auf der Anlage, eine mechanische Vorverdichtung, erfolgen Transportschritte über Förderbänder, Schachtfalleleitungen, Förderkorb oder LKW, welche Geräte werden beim Versatz eingesetzt, um eine ausreichende Verdichtung zu erreichen usw. Zusätzlich spielen örtliche Gegebenheiten wie die zurückzulegenden Entfernungen über und unter Tage eine Rolle. Besondere Bedeutung hat auch der energetische Grundbedarf eines Bergwerkes, der sich aus der energieintensiven Bewetterung ergibt. Dieser ist unabhängig von der eingelagerten Abfallmenge. Entsprechend kann der spezifische Elektroenergieverbrauch pro Tonne Abfall Jahr für Jahr schwanken.

Für den Vergleich der verschiedenen Entsorgungsoptionen hat insbesondere auch der Transport der Abfälle vom Erzeuger zum Versatzbergwerk Bedeutung. Die diesbezüglichen Kennwerte werden in der vorliegenden Studie gesondert bilanziert.

Als zusätzliche Materialien werden beim Bergversatz teilweise Verpackungsmaterialien wie z. B. Big Bags gebraucht. Zusätzliche Bindemittel zur Verfestigung des Abfalls werden nur in Einzelfällen verwendet. Die Vermischung verschiedener Abfallarten nach behördlich zugelassenen Rezepturen führt in aller Regel zur Herstellung eines geeigneten Versatzmörtels. Im Versatzbergwerk Untereibzbach wird dagegen zur Verfestigung zusätzlich Bindemittel eingesetzt (siehe Tabelle 3.1). Dies ist abhängig von den Eigenschaften der versetzten Abfälle. Beim Pumpversatz wird teilweise gesättigte Salzlösung als Transportmedium zugesetzt. Dabei handelt es sich im Allgemeinen um ein Abfallprodukt. Insgesamt ist der genannte zusätzliche Materialverbrauch als sehr gering und ohne weitere Relevanz für die weitere Bilanzierung einzustufen.

Sonstige Luftemissionen aus dem Versatzbetrieb sind in vernachlässigbarer Größenordnung zu erwarten. Da ausgasende Abfälle generell zum Versatz nicht zuge-

lassen sind und Abfälle mit besonderer Staubentwicklung entweder in geschlossenen Systemen gehandhabt werden oder einer Vorbehandlung unterzogen werden, ergeben sich Luftemissionen lediglich aus dem Anlagenbetrieb. Sowohl obertäglich als auch untertäglich sind dies z. B. Transportfahrzeuge, Anlagen zum Umschlagen, Abfüllen oder Transportieren der Abfälle. Untertäglich sind Emissionen in die Raumluft auch aus Gründen des Arbeitsschutzes begrenzt. Sie gelangen über die Abwetter des Bergwerks in die Umgebung. Aus Salzbergwerken gelangt an Feststoffen überwiegend Salzstaub in die Abwetter, der aber gut wasserlöslich ist und dessen Auswirkungen als Feinstaub auf Umgebung und Biosphäre vernachlässigbar ist.

Besondere Lärmemissionen, die über das allgemeine Maß aus dem Verkehrsaufkommen und einem typischen Bergbaubetrieb hinausgehen, liegen weder im ober-tägigen noch im untätigen Versatzbetrieb vor.

Untertagedeponie

Hauptzweck der Untertagedeponie ist das Ausschleusen von schadstoffhaltigen Abfällen aus der belebten Umwelt und deren dauerhafter Einschluss. Der dauerhafte Einschluss wird über den Nachweis der Langzeitsicherheit belegt.

Die Verfüllung des Grubengebäudes ist hier der Nebeneffekt und hat untergeordnete Bedeutung. Die Nutzung von Hohlräumen aus dem Gewinnungsbergbau steht auch nicht in Konkurrenz zu anderen Nutzungen. Den wenigen Untertagedeponien in Deutschland stehen zahlreiche stillgelegte und ungenutzte Bergwerke gegenüber.

Bei Untertagedeponierung mit Rückholbarkeit bleibt für denkbare künftige Verwertungsmöglichkeiten (neue Techniken, veränderte wirtschaftliche Rahmenbedingungen, veränderte Rohstoffsituation, etc.) die Entscheidung für einen alternativen Umgang über einen gewissen Zeitraum offen. Die Rückholung ist allerdings mit technischem und energetischem Aufwand verbunden, so dass hier eine sehr genaue Abwägung erfolgen muss.

Für die Bilanzierung im Rahmen des hier durchgeführten Forschungsprojekts sind quantitative Kenngrößen für Untertagedeponien erforderlich. Es wurden hier zwei typische Deponien dieser Art untersucht. Da sich die ermittelten Kenngrößen insgesamt als niedrig erwiesen, in einer ähnlichen Größenordnung liegen und von der betrieblichen Gestaltung zu anderen Deponien sehr ähnlich sind, wird von einer vollständigen Erfassung aller Deponien abgesehen.

In der nachfolgenden Tabelle 3-2 sind die spezifischen Kenngrößen für die Untertagedeponien Herfa-Neurode und Zielitz zusammengestellt.

Tabelle 3-2 Spezifische Kenngrößen ausgewählter Untertagedeponien für das Jahr 2006
[K+S 2007a]

Untertagedeponie	Einlagerungstechniken	Spezifischer Verbrauch 2006	
		Elektroenergie kWh/t	Dieselmotorkraftstoff l/t
Herfa-Neurode	Big Bags, Stahlblechfässer mit PE-Innen-sack, Stahlblechcontainer	88	1,641
Zielitz		37,634	4,628

Die ermittelten Kennzahlen liegen in einer ähnlichen Größenordnung wie beim Versatz und werden für Untertagedeponien als typisch eingestuft. Um die weitere Bewertung sinnvoll zu vereinfachen, werden in den nachfolgenden Berechnungen die über die Abfallmengen gewichteten Mittelwerte der sechs Anlagen der K+S AG herangezogen. Über die Anzahl der Anlagen sind typische Schwankungen abgedeckt. Die Kenngrößen sind in der Tabelle 3-3 zusammengestellt.

Tabelle 3-3 Gewichteter Mittelwert über vier Versatzbergwerke und zwei Untertagedeponien der K+S AG für das Jahr 2006

	Spezifischer Verbrauch 2006	
	Elektroenergie kWh/t	Dieselmotorkraftstoff l/t
Gewichteter Mittelwert UTV/UTD	33,711	0,978

Da in Untertagedeponien überwiegend verpackte Abfälle gehandhabt werden, sind Luftemissionen lediglich aus Transportfahrzeugen und Anlagen zum Umschlagen oder Transportieren zu erwarten. Wie bereits beim Versatz beschrieben ist aus der Abwitter der Austrag von Salzstaub zu erwarten. Auch bei den Lärmemissionen gilt das bereits für den Versatz Beschriebene. Der Materialeinsatz beschränkt sich im Wesentlichen auf Verpackungsmaterial für die Abfälle. Für die weitere Bewertung hat dies keine weitere Relevanz.

3.2 Deponierung

Bilanziert werden für die Deponierung der Flächenbedarf, der Stromverbrauch der Sickerwasseraufbereitung und der Dieselmotorkraftstoffbedarf und die Emissionen des Dieselmotors. Weitere Luftemissionen aus der Ablagerung sind erwartungsgemäß so gering, dass sie unter die Abschneidegrenze fallen. Der Wasserpfad wird für die klassischen Wirkungskategorien nicht modelliert, weil keine entsprechende Wirkungskategorie betroffen ist. In der Weiterentwicklung der Bewertungsmethode spielt er jedoch eine zentrale Rolle.

Zur Ermittlung des Flächenbedarfs wird eine mittlere Deponiehöhe von 30 m angesetzt.

Der Strombedarf der Sickerwasserbehandlung wird mit 7,3 kWh/t bilanziert¹.

Zum Dieserverbrauch bei der Deponierung nennt [Schwing 1999] verschiedene Datenquellen, die einen Verbrauch zwischen 0,5 und 2 l/t Abfall angeben. In der Bilanz wird ein mittlerer Dieserverbrauch von 1,5 l/t angesetzt.

Bilanztechnisch unterscheiden sich die Deponien der Klassen II und III nur durch den Antransport der Abfälle (DK II: 60 km; DK III: 200 km).

Weiterhin wird bei der Bewertung der Langzeitsicherheit für die Deponien der Klasse II differenziert nach älteren Deponien ohne Basisabdichtung und Deponien nach dem Stand der Technik mit Basisabdichtung.

3.3 Konditionierung

Zur Konditionierung wird eine Vielzahl von Bindemitteln in verschiedensten Kombinationen eingesetzt. Die Erläuterungen in Kap. 3.8 im Hauptteil zeigen, dass die Verfahren mit latent hydraulischen und hydraulischen Bindemitteln überwiegen. Als latent hydraulische Bindemittel werden vor allem Aschen aus der Braunkohlefeuerung eingesetzt, aber auch Aschen anderen Ursprungs, und häufig in Kombination mit Kalk u. a., um die gewünschten hydraulischen Eigenschaften zu erreichen. Sehr häufig dient darüber hinaus Portlandzement als Bindemittel.

Ökobilanziell ist es von großer Bedeutung, ob Braunkohleaschen in Kombination mit Kalk bzw. kalkhaltigen Verbindungen (CaO , CaSO_4) oder Zement eingesetzt werden. Da in Deutschland von den im Jahr 2003 angefallenen 8,7 Mio. Tonnen Braunkohlenflugasche rund 8,3 Mio. Tonnen im Tagebau entsorgt wurden, können sie als Abfall betrachtet werden, dessen Verwendung in keiner Konkurrenz zu anderen Nutzungen steht. Gleiches gilt für Kalk bzw. kalkhaltige Verbindungen. Damit werden keine Aufwendungen für die „Herstellung“ bilanziert, lediglich die Transportaufwendungen. Beim Zement hingegen müssen sämtliche Produktionsaufwendungen einschließlich aller Vorketten bilanziert werden. Aus diesem Grunde werden für die Konditionierung für alle betrachteten Abfälle die zwei Extreme gerechnet: die Konditionierung mit 100 % Braunkohleasche/Kalkgemisch und die Konditionierung mit 100 % Zement. In der Praxis werden verschiedene Rezepturen mit einer Mischung aus verschiedenen Bindemitteln zum Einsatz kommen. Ökobilanziell liegen die damit verbundenen Umweltbelastungen zwischen diesen beiden Extremen.

Mit der ökobilanziellen Bilanzierung dieser beiden Grenzbetrachtungen ist noch keine Aussage getroffen, ob mit der Konditionierung in der Praxis für die betreffenden

¹ Nach [Schmidt Leclair 1996] liegt der Strombedarf für die Sickerwasserbehandlung bei rund 0,073 kWh/t a. Bei einer Laufzeit von 100 Jahren entspricht dies 7,3 kWh Strom /t.

Stoffe mit den angesetzten Bindemitteln eine vollständige Stabilisierung der Abfälle oder allenfalls eine teilweise Stabilisierung bzw. eine teilweise bzw. kurzfristige Verfestigung erreicht wird. Ein Gutachten des TÜV Nord von 2007 [TÜV Nord 2007] verweist auf die Notwendigkeit von umfangreichen und aufwendigen Untersuchungen für jeden Abfall. Für den Abfall 19 01 07* (feste Abfälle aus der Abgasbehandlung) schließt das Gutachten eine vollständige Stabilisierung im Sinne der gesetzlichen Anforderungen aus, da unter sauren Bedingungen eine Schadstofffreisetzung nicht verhindert werden kann. Weitere einzelne Abfälle werden im Gutachten nicht betrachtet.

Da es für die einzelnen Abfallarten keine oder nur wenig veröffentlichte Rezepturen gibt und davon auszugehen ist, dass die Firmen für jeden Abfall individuelle Bindemittelmischungen erstellen und testen, kann die Praxis hier nicht im Detail abgebildet werden, sondern es kann nur eine Bandbreite aufgezeigt werden, innerhalb derer ökologische Belastungen zu erwarten sind.

Für die Konditionierung mit Zement werden folgende Mischungsverhältnisse angesetzt:

Tabelle 3-4 In der Ökobilanz verwendet Bindemittelanteile bei der Konditionierung mit Zement

AVV-Nr.	Abfallart	Verhältnis Abfall: Zement
19 01 13*	Filterstaub, der gefährliche Stoffe enthält	1 : 0,33 ²
19 01 07*	feste Abfälle aus der Abfallverbrennung	1 : 0,5 ³
10 02 07*	feste Abfälle aus der Abgasbehandlung; hier: Stäube aus Elektrostahlwerken und der Edelstahlproduktion	1 : 0,33 ⁴
19 01 12	Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 01 11 fallen	1 : 0,14 ⁵
19 01 11*	Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken, die gefährliche Stoffe enthalten	1 : 0,14 ⁶
17 05 03*	Boden und Steine, die gefährliche Stoffe enthalten.	1 : 0,16 ⁷
11 01 09*	Schlämme und Filterkuchen, die gefährliche Stoffe enthalten. hier: Galvanikschlämme	1 : 0,33 (bezogen auf Trockensubstanz) ⁸

² Näherungsweise wird der Wert für Filterstäube aus MVA übernommen. Ein grundsätzliches Problem bei der Konditionierung ist der hohe Zinkgehalt (Wasserstoffbildung; Auslaugung aus dem konditionierten Abfall bei sauren Sickerwässern), so dass hier vermutlich weitere Bindemittel hinzugegeben werden müssen.

³ Nach [Schmidt Leclair 1996] wird ein Verhältnis von 1 : 0,5 bei der Verfestigung mittels des Zement-Additiv-Verfahrens als Obergrenze für ungewaschene Rückstände aus der Abgasreinigung ohne Vermischung mit Filterstäuben. In der halbtechnischen Versuchsanlage im Projekt IMRA [IMRA 1991] wird das gleiche Verhältnis für gewaschene Rückstände aus der Rauchgasreinigung angesetzt.

⁴ Nach [Mostbauer et al. 1994] wurde dieses Mischungsverhältnis in Winterthur eingesetzt für Zement und einem weiteren latent hydraulischem Bindemittel. Ähnliche Beimengen von Zement gab es nach [Mostbauer et al. 1994] für kanadische Untersuchungen zur Konditionierung von Flugaschen aus Müllverbrennungsanlagen.

⁵ Nach [Mostbauer et al. 1994] wurden in Wien Mischungsverhältnisse von 12 – 16 % für die Verfestigung von Schlacke mit kleineren Beimengen an Aschen oder REA-Rückständen mit Zement eingesetzt.

⁶ Näherungsweise wird der Wert für die Abfallart 19 01 11 übernommen.

⁷ Für die Bodenverfestigung werden vom Hessischen Landesamt für Straßen- und Verkehrswesen für Zementbeimischungen mit dem Ziel der Bodenverfestigung Werte von 7 % bis maximal 16 % für feinkörnige Böden empfohlen. Dieser Maximalwert wird in der Ökobilanz angesetzt.

⁸ Näherungsweise wird der Wert für die Abfallart 19 01 11 bezogen auf die Trockensubstanz übernommen. Hinsichtlich des Wassergehalts wird unterstellt, dass der Wassergehalt zunächst mittels der Kammerfilterpresse auf 50 % - 70 % reduziert wird. Anschließend erfolgt eine Mischung mit anderen Abfällen, um den Gesamtwassergehalt weiter zu reduzieren.

Für die Konditionierung mit Braunkohleasche und weiteren Zuschlagstoffen wie Kalk u.a. wird für alle Abfälle außer den Rückständen aus der Rauchgasreinigung einheitlich mit einem Verhältnis von 1 : 0,35 gerechnet, ausgehend von den Genehmigungsunterlagen für zwei Konditionierungs- bzw. Verfestigungsanlagen, die Verhältnisse von Abfall zu Bindemitteln zwischen 0,3 und 0,4 für Bindemittel wie Filteraschen aus Braunkohlekraftwerken, Branntkalk, Löschkalk, Kalksteinmehl, Gips u.a. angeben. Lediglich für die Rückstände aus der Rauchgasreinigung wird ebenso wie beim Zement ein höherer Bindemittelleinsatz von 1 : 0,5 angesetzt.

Der Energiebedarf für die Konditionierung wird auf 80 kWh_{el}/t abgeschätzt. Dies entspricht in etwa dem Verbrauch beim Anmischen von Putz (vgl. ecoinvent-Datensatz 544, plaster mixing, CH)⁹.

Für die Bilanzierung des Waschens (saurer Waschwasser) von Rauchgasreinigungsrückständen wurden folgende Parameter angesetzt:

- Anteil ausgewaschener Fraktion: 35 %; verbleibende Fraktion: 65% (vgl. Beschreibung und FLUWA-Verfahrens in [Leclaire Schmidt 1996].
- Transferfaktoren für den Übergang in ausgewaschene Fraktion (nach Beschreibung des 3R-Verfahrens in [Leclaire Schmidt 1996]:
Cd 89 %; Zn 68 %; Cu 18 %; Ni 84 %; Pb 22 %
- Transferfaktoren für den Übergang in ausgewaschene Fraktion (Annahme, da keine Daten verfügbar sind:
Hg und Sb: 50 %
- Strombedarf: 30 kWh/t Abfall

Für die Abfalltransporte wird eine durchschnittliche Entfernung von 200 km angesetzt. Dieser Ansatz unterstellt ein dichteres Netz von Konditionierungsanlagen als heute und modelliert damit die Ausweitung dieses Entsorgungsverfahrens.

In die Stoffstromanalyse wurden i.d.R. zwei Varianten einbezogen: Die Konditionierung mit Zement und die Konditionierung mit Braunkohlenflugasche und REA-Gips aus der Steinkohlefeuerung. Bei den angesetzten Schwermetallgehalten des Zements handelt es sich um Mittelwerte aus einer VDZ-Messung von Normzement [Ecologic 2005]. Die Gehalte (Mediane) der Braunkohlenflugasche wurden von der VGB PowerTech zur Verfügung gestellt, die des REA-Gipses wurden einem Leitfaden des Landes Nordrhein-Westfalen entnommen [Prognos 2002].

⁹ [Schmidt Leclaire 1996] schätzen den Energiebedarf für den Mischer einer Konditionierungsanlage auf 50 kWh/t. In der Schätzung von 80 kWh/t sind sämtliche weitere Nebenaggregate enthalten.

Für die bei der Stromerzeugung aus Stein- und Braunkohle anfallenden Aschen und REA-Gipse wurden die Daten aus [GEMIS 2006] zu Grunde gelegt. Die verwendeten Schwermetallgehalte (Mediane) der Stein- und Braunkohlenflugasche wurden von VGB PowerTech zur Verfügung gestellt. Die Gehalte des REA-Gipses wurden einem Leitfaden des Landes Nordrhein-Westfalen entnommen [Prognos 2002].

3.4 Deponiebau

Im Deponiebau werden üblicherweise Abfallstoffe eingesetzt. Ökobilanziell können daher keine Gutschriften für Rohstoffe wie Sand und Kies angesetzt werden. Im Modell wird unterstellt, dass Bauschutt substituiert wird, der zu diesem Zweck nicht oder nur geringfügig aufbereitet wurde. Gutgeschrieben werden hierfür Bauschutttransporte, für die eine durchschnittliche Entfernung von 30 km angesetzt wird.

Für den Transport des konditionierten Abfalls zum Deponiebau wird modelliert, dass die Konditionierungsanlage ihren Standort auf dem Deponiegelände hat.

3.5 Wälzverfahren

Die nachfolgende Abbildung gibt einen Überblick über die Modellierung der Wälzanlage zur Zinkanreicherung mit nachfolgender Zinkelektrolyse und dem Verbleib der Feststoffe.

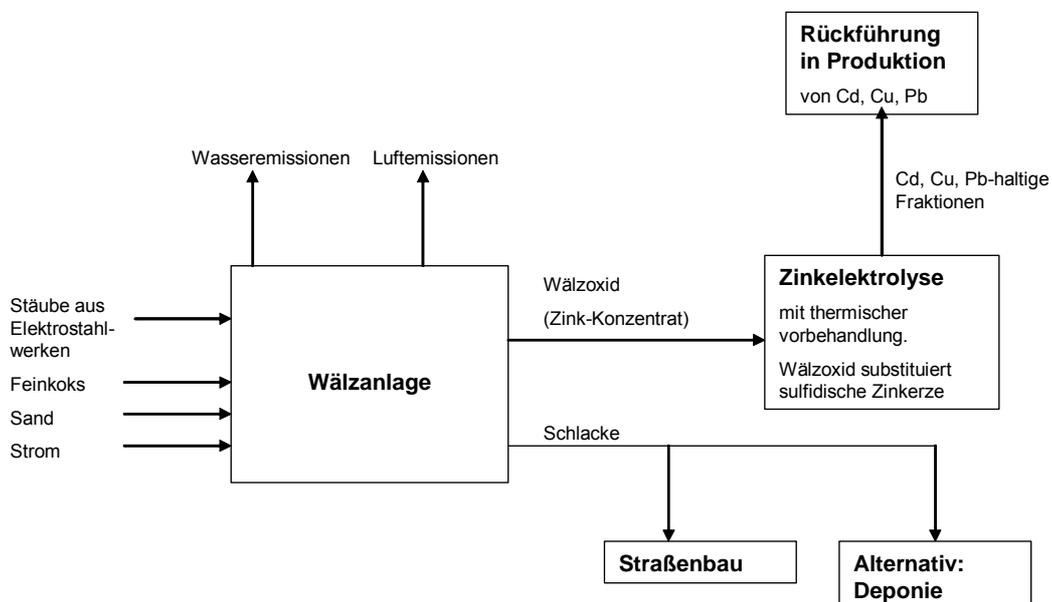


Abbildung 3.1 Modellierung der Wälzanlage und der nachgeschalteten Verfahren

Als Wälzanlage wird näherungsweise die Anlage der B.U.S. AG nach dem SDHL-Verfahren in Freiberg abgebildet. Diese Anlage arbeitet mit einem innovativen Verfahren, das im Vergleich zum klassischen Wälzprozess eine deutlich Energieeinsparung und eine höhere Zinkausbeute erzielt hat [Rentz et al. 2001].

Die Anlagedaten wurde weitgestehend nach [Krüger et al. 2001] und [Rentz et al. 2001] bilanziert. Fehlende Daten wurde abgeleitet aus [Rentz et al. 1999], in dem drei ältere deutsche Wälzanlagen mit ausführlichem Zahlenmaterial dargestellt sind.

Die Inputdaten sind Daten für Stäube aus der Elektrostahlproduktion aus der ABANDA-Datenbank wie in Kap. 2.2 beschrieben. Die Werte liegen in der gleichen Größenordnung wie die Daten von [Rentz et al. 1999].

Die folgenden zwei Tabellen zeigen die wesentlichen Parameter:

Tabelle 3-5 In der Ökobilanz angesetzte Parameter für die Verwertung von Elektrostahlwerksstäuben im Wälzverfahren I

Parameter		Einheit
Input an metallhaltigen Stäuben und Schlämmen	200	t/d
Anteile an (Schwer-)metallen²:		
Fe	30,0	%
Zn	21,5	%
Pb	2,3	%
Cr	0,34	%
Cd	0,03	%
As	0,01	%
Ni	0,02	%
Hg	0,01	%
Cu	0,26	%
Sn	0,04	%
Verbräuche:		
Strom	96	kWh/t
Koks	160	kg/t
Erdgas	0	m ³ /t
Heizöl	3	l/t
Zuschläge (Sand/Kalk) ³	30	kg/t
Soda	50	kg/t
Output⁴:		
Wälzoxid	380	kg/t
Schlacke	650	kg/t

Tabelle 3-6 In der Ökobilanz angesetzte Parameter für die Verwertung von Elektrostahlwerksstäuben im Wälzverfahren II

Emissionen¹⁰:		
CO ₂	Wird aus der Koksverbrennung berechnet.	
SO ₂	1.500	g/t
NO _x	715	g/t
HCl	13	g/t
HF	15	g/t
PM ₁₀	182	g/t
Transferfaktoren¹¹:		
Transferfaktoren in folgende Fraktionen	Wälzoxid, gewaschen	Schlacke
Fe	3 %	97 %
Zn	95 %	5 %
Pb	85 %	15 %
Cr	70 %	30 %
Cd	98 %	2 %

Die Schlacke wird hauptsächlich im Deponiebau und im Straßenbau eingesetzt [Saage Hasche 2003]. In der Ökobilanz und Stoffstromanalyse wird die Verwertung im Straßenbau bilanziert. Für das Wälzoxid wird die Weiterverarbeitung in der Zinkelektrolyse bilanziert. Die Zinkelektrolyse stellt mengenmäßig das wichtigste Verfahren zur weltweiten Zinkerzeugung dar. Hierbei werden durch das Wälzoxid vorrangig sulfidische Zinkerze mit einem Zn-Gehalt von 50-55% substituiert, die den Hauptrohstoff für die Zinkelektrolyse darstellen [Rentz et al. 1999].

¹⁰ Emissionen von SO₂, NO_x und Staub nach [Krüger et al. 2001]; Emissionen von HCl und HF: Mittelwerte nach [Rentz et al. 2001] angesetzt.

¹¹ Die Transferfaktoren werden nach [Krüger et al. 2001] angesetzt. Für Cr ist kein Wert angegeben. Zur Abschätzung wurde die Transferfaktoren für Cr denen von Blei für Steinkohle- und Braunkohlefeuerungen verglichen [Prognos 2003]¹¹. Dort verblieb Chrom zu einem höheren Anteil im Granulat bzw. der Grobasche als Pb. Für die Wälzanlage ausgehend von diesen Daten Transferfaktoren in die Schlacke von 30 % für Cr angesetzt. (Transferfaktoren für Steinkohletrockenfeuerung in Grobasche: Pb 11%, Cr 15%; Transferfaktoren für Steinkohleschmelzfeuerung in Granulat: Pb 88%, Cr 99,6; Transferfaktoren für Braunkohletrockenfeuerung in Grobasche: Pb 11%, Cr 16%)

Für die Eisen- und die Chromfraktion im Wälzoxid wird davon ausgegangen, dass sie keinem Recycling zugeführt wird, sondern mit der Jarosit-Fraktion deponiert wird. Die Nicht-Rückgewinnung des Eisens ist ein genereller Nachteil des Wälzverfahrens. Somit können keine Eisengutschriften gestellt werden.

Das Blei aus dem Wälzoxid wird in der Elektrolyse nach weiteren Aufbereitungsschritten mit einem Transferfaktor von 61 % wieder in den Produktionskreislauf zurückgeführt bzw. vermarktet [Krüger et al. 2001]. Für die verbleibenden Anteile wird die Deponierung bilanziert.

Bei der Rückführung von Blei in die Verhüttung wird in erster Linie der Primärrohstoff Bleiglanz substituiert. In der Bleiverhüttung fällt als Abfallprodukt Schlacke an, die u.a. im Straßenbau eingesetzt wird. Nach Rentz et al. [1999] enthält diese Schlacke aus einer deutschen Anlage durchschnittlich 0,2 % Arsen. Da Arsen jedoch auch als Legierungszusatz zur Herstellung von Hartblei eingesetzt wird, das dann wiederum als Sekundärrohstoff in die Bleiverhüttung gelangt, ist es denkbar, dass der Hauptarseneintrag in die Bleiverhüttung nicht auf Gehalte im Bleiglanz, sondern auf Arsengehalte in den Sekundärrohstoffen wie Hartblei u. a. zurückzuführen ist. Deshalb wird zunächst nicht davon ausgegangen, dass durch das Recycling von Blei nennenswerte Arseneinträge in die Umwelt in Form von Schlacke vermieden werden. Berücksichtigt sind jedoch die vermiedenen Bleistoffströme bei dem Bleibergbau (siehe zur Gewinnung von Primärbleierz Kapitel 3.9).

Das Wälzoxid hat Cadmiumkonzentrationen $< 0,5\%$ bei einem Zinkanteil von 60 - 70 %. Die durch das Wälzoxid substituierten Zinkkonzentrate haben Cadmiumkonzentrationen in der Größenordnung von 0,2 % Cd bei einem Zinkanteil von 55 %. Es kann damit davon ausgegangen werden, dass die Cadmiumausträge in Reststoffe der Elektrolyse durch den Einsatz von Wälzoxid nicht nennenswert erhöht werden.

Von hoher Relevanz sind weiterhin die Stoffströme aus dem Bergbau und der Aufbereitung von Zinkerzen, deren Abbau durch das Recycling der Elektrofilterstäube vermieden werden kann. Die verwendeten Daten zum Bergbau und zur Aufbereitung sind in Kapitel 3.9 dargestellt.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die verwendeten Datensätze für die Modellierung der Komplementärprozesse werden:

Tabelle 3-7 In der Ökobilanz verwendeten Datensätze für Komplementärprozesse bei der Verwertung der Elektrostahlwerksstäube im Wälzverfahren

Komplementärprozess	Datensatz
Verwertung der Schlacke im Straßenbau: Substitution von Kies	GEMIS 4.3: Xtra-Abbau/Kies
Verwertung des Wälzoxids in der Zinkelektrolyse (Substitution von aufbereitetem sulfidischem Zinkerz und aufbereitetem bleihaltigen Erz)	GEMIS 4.3: Xtra-Abbau/Zinkerz GEMIS 4.3: Xtra-Abbau/Bleierz

Die verwendeten Datensätze für die Betriebsmittel sind in Kap. 3.12 dargestellt.

Folgende Transportentfernungen wurden angesetzt:

Tabelle 3-8 Angesetzte Transportentfernungen bei der Bilanzierung der Verwertung der Elektrostahlwerksstäube in der Wälzanlage

Transportgut	Entfernung
Elektrostahlwerksstäube	300 km (20% LKW, 80% Bahn)
Koks	100 km (50% LKW, 50% Bahn)
Sand	30 km LKW
Wälzschlacke zum Straßenbau	50 km LKW
Wälzoxid zur Zinkelektrolyse	300 km (20% LKW, 80% Bahn)
Substituiertes Zinkerz (52 % Zn) und Bleierz (65-%)	5.500 km Schiff; 300 km Bahn
substituierter Kies im Straßenbau	30 km LKW

3.6 Elektroreduktionsverfahren

Die Ökobilanz wird mit den Daten nach [Meurer Buntenbach 2001] durchgeführt. Teilweise wurden in dieser Quelle Bandbreiten für spezifische Prozessinputs und – outputs angegeben. In diesen Fällen wurde mit Mittelwerten gerechnet.

Folgende Parameter wurden für die Anlage angesetzt:

Tabelle 3-9 In der Ökobilanz angesetzte Parameter für die Verwertung von Stäuben aus der Edelstahlproduktion im Elektroreduktionsverfahren I

Parameter		Einheit
Input an metallhaltigen Stäuben und Schlämmen	120.000	t/a
Verbräuche:		
Strom	2	MWh/t
Koks	120	kg/t
Kohle	140	kg/t
Sand	150	kg/t
Organischer Binder (stammt aus Abfallbehandlung, enthält kein Phosphor)	40	kg/t
Input:		
Stäube aus Edelstahlproduktion, darin sind enthalten ¹² :	1.000	kg/t
Fe	328	kg/t
Ni	24	kg/t
Cr	113,5	kg/t
Zn	77	kg/t
Pb	4	kg/t
Output:		
Roheisen (Cr- und Ni-haltig)	450	kg/t
Filterstaub (Zn- und Pb-haltig)	200	kg/t
Schlacke	450	kg/t

¹² Daten für Stäube aus der Edelstahlproduktion aus ABANDA (Mediane), siehe Kap. 2.2. Sie liegen in der Bandbreite der Einsatzstoffe, die [Meurer Buntenbach 2001] nennen.

Tabelle 3-10 In der Ökobilanz angesetzte Parameter für die Verwertung von Stäuben aus der Edelstahlproduktion im Elektroreduktionsverfahren II

Emissionen¹³:	
CO ₂	wird aus Koks und Kohleverbrennung berechnet
PM 10	3.000 kg/a
SO ₂	1.000 kg/a
NO _x	50.000 kg/a
Transferfaktoren:	
Transferfaktoren in Roheisenfraktion zur Verwertung in der Edelstahlproduktion:	
Fe, Ni und Mo	94 %
Cr	87 %
Transferfaktoren in Schlacke zur Verwertung im Straßenbau:	
Fe, Ni und Mo	6 %
Cr	13 %
Pb und Zn	1 %
Transferfaktoren in Filterstaub zur Verwertung in Wälzanlage:	
Zn und Pb ¹⁴	99 %

Kleinere Stoffströme wie Sauerstoff, Ofenauskleidungen, Aktivkohle, Schweißmaterial und Elektrodenpaste werden nicht bilanziert.

Die Roheisenfraktion wird an das Stahlwerk zurückgeliefert und dort als Sekundärrohstoff in der Edelstahlproduktion eingesetzt. Damit werden Ferrochrom, Ferronickel und Roheisen ersetzt.

Für den zink- und bleihaltigen Filterstaub wird eine weitere Aufbereitung im Wälzverfahren bilanziert.

Für die Schlacke wird die Verwertung im Straßenbau modelliert.

¹³ Für die Emissionen werden die Obergrenzen der gemessenen Werte nach [Meurer Buntenbach 2001] angesetzt.

¹⁴ Zu den Anteilen von Zn und Pb, die in den Filterstaub bzw. in die Schlacke gelangen, sind in [Meurer Buntenbach 2001] keine Zahlenangaben gemacht. Aufgrund der hohen Flüchtigkeit von Zn und Pb und den hohen Temperaturen wird jedoch davon ausgegangen, dass Zn und Pb nahezu vollständig in den Filterstaub übergehen.

Für die Stoffstromanalyse ist weiterhin von Bedeutung, welche Schwermetalle bei den Vorketten der Roheisenherstellung, der Ferronickelproduktion und der Ferrochromproduktion in die verschiedenen Umweltkompartimente gelangen. Die Dokumentationen hierzu sind im Anhang in Kap. 3.7 (Kupferabbau und -aufbereitung), Kap. 3.8 (Abbau und Aufbereitung von Nickelerzen), Kap. 3.9 (Abbau und Aufbereitung von Zink- und Bleierzen) und Kap. 3.10 (Abbau und Aufbereitung von chromhaltigen Erzen) enthalten.

Folgende Komplementärprozesse werden modelliert:

Tabelle 3-11 In der Ökobilanz verwendete Datensätze für Komplementärprozesse bei der Verwertung der Stäube aus der Edelstahlproduktion im Elektroreduktionsverfahren

Komplementärprozess	Datensatz
Verwertung der Schlacke im Straßenbau: Substitution von Kies	GEMIS: Xtra-Abbau/Kies
Verwertung des Filterstaubs in Wälzanlage zum Zn- und Pb-Recycling	Analog zur Modellierung der Verwertung von Wälzschlacke, siehe Kap. 3.5
Verwertung der Roheisenfraktion in der Edelstahlproduktion: Substitution von Roheisen aus dem Hochofen, Ferronickel und Ferrochrom	Roheisen: GEMIS-Datensatz Metall/Fe-roh-DE; Ferronickel: Ecoinvent-Datensatz Ferronickel_25% Ni Ferrochrom: Ecoinvent-Datensatz Ferrochrom_68% Cr

Für den Betriebsmitteleinsatz werden folgende Datensätze verwendet:

Tabelle 3-12 In der Ökobilanz verwendete Datensätze für Betriebsmittel bei der Verwertung der Stäube aus der Edelstahlproduktion im Elektroreduktionsverfahren

Betriebsmittel	Datensatz
Kohle und Koks	GEMIS 4.3: Kohle.mix-DE-Import-2000 und Stk-Koks-DE
Organischer Binder	näherungsweise wird von dem Einsatz von Stärke ausgegangen. (GEMIS 4.3: NG-Herstellung/Stärke)
Sand	GEMIS 4.3: Xtra-Abbau/Quarzsand-DE
Strom	Französischer Kraftwerkspark nach GEMIS-Datensatz EI-KW-Park-FR-2010 (Anteil Atomkraft 74%, Anteil Wasserkraft 13%) Sensitivität: deutscher Mix (GEMIS-Datensatz Netz-el-DE-Verteilung-NS-2000)

Folgende Transportentfernungen werden angesetzt:

Tabelle 3-13 Angesetzte Transportentfernungen bei der Bilanzierung der Verwertung der Stäube aus der Edelstahlproduktion im Elektroreduktionsverfahren

Transportgut	Entfernung
Edelstahlstäube	700 km (50% LKW, 50% Bahn)
Kohle	40 km ab Hafen (50% LKW, 50% Bahn)
Koks	100 km (50% LKW, 50% Bahn)
Sand	30 km LKW
Roheisen	700 km (50% LKW, 50% Bahn)
Filterstaub	700 km (50% LKW, 50% Bahn)
Schlacke zum Straßenbau	50 km LKW
substituierter Kies im Straßenbau	30 km LKW
Transporte von Metallerzen und Metallen aus den Vorketten von Roheisen, Ferrochrom und Ferronickel	in den entsprechenden Datensätzen zu den Metallen enthalten

3.7 Kupferraffination, Kupferbergbau und Kupfererz-aufbereitung

In Deutschland gibt es eine Primärkupferhütte, die Norddeutsche Affinerie, die einen Anteil von rund 10% an Sekundärrohstoffen hat [NA 2005], sowie eine Sekundärkupferhütte, die Hüttenwerke Kayser, die bei der Rohkupfererzeugung einen Anteil von rund 20% an Sekundärrohstoffen haben [NA 2005]. Bilanztechnisch ist damit die Bilanzierung der reinen Primär- bzw. Sekundärkupfererzeugung nur bedingt möglich. Der Vergleich der Kupferraffination ab Kupferhütte zeigt für die GEMIS-Prozesse für Primärkupfer und Sekundärkupfer¹⁵, dass für die CO₂-Emissionen und den Primärenergieverbrauch zwischen beiden Hütten fast kein Unterschied besteht. Dies ist sehr plausibel, da sowohl das Kupferkonzentrat als Input in die Primärkupferproduktion als auch die kupferhaltigen Reststoffe zur Verhüttung kein elementares Kupfer enthalten. Bilanztechnisch bedeutet dies, dass für die Verwertung der kupferhaltigen Galvanikschlämme lediglich die vorgelagerten Stufen Bergbau und Aufbereitung gutgeschrieben werden. Diese sind jedoch so aufwendig, dass sie rund 60% des Energieverbrauchs in der Primärkupferherstellungskette ausmachen.

Hinsichtlich des Schlackeanfalls wird berücksichtigt, dass bei dem gewählten Galvanikschlamm mit 7,5% Kupfer bezogen auf die Trockensubstanz deutlich mehr Schlacke anfällt als beim Kupferkonzentrat mit 30 % Cu-Gehalt (ca. 450 kg vermehrter Schlackeanfall pro t Kupfer). Es wurde in der Ökobilanz eine Gutschrift für eine Kiessubstitution bei Baumaßnahmen erteilt. Diese trägt jedoch nur mit 1,5 % zu den Gutschriften bei. Wenn eine Deponierung gerechnet würde, wären die damit verbundenen Umweltbelastungen in der Größenordnung von nur 1,5 bezogen auf die Kupfergutschriften. Eine weitere Sensitivitätsbetrachtung kann damit aufgrund der geringen Relevanz entfallen.

Weiterhin wird für den ausgewählten Galvanikschlamm, der auch Nickel enthält, in der Bilanz berücksichtigt, dass in der Kupferhütte als ein Nebenprodukt Nickelsulfat erzeugt wird. Es wird angenommen, dass das im Galvanikschlamm enthaltene Nickel die entsprechende Menge an Nickelerzen substituiert.

Verwendet wird für die Substitution von Kupfererz der Datensatz von [GEMIS 2006] „Xtra-Abbau\Kupfer-Erz(Konz.)-generisch“, der auf der Untersuchung [RWTH-IME 1995] aufbaut. Ausgegangen wird in [RWTH-IME 1995] und GEMIS von einem Muster-Erz mit einer Konzentration von 30% Cu.

Für die Substitution von Nickel werden Gutschriften entsprechend dem Datensatz des Nickelinstituts für die Aufbereitung von Nickel zu Nickelerz (14,1%) erteilt [Nickelinstitute 2003][ecobalance 2000].

Für die Stoffstromanalyse der Schwermetalle werden weitere Parameter berücksichtigt:

¹⁵ GEMIS-Prozesse Kupfer-DE-primär und Kupfer-DE-sekundär

a) Verbleib von Schwermetallen in Bergen aus der Roherzaufbereitung

Nach [RWTH-IME 1995] fallen pro Tonne Kupfer 90 – 140 t Aufbereitungsberge an. Die Kupferkonzentration der Aufbereitungsberge liegt bei drei Gruben zwischen 0,125 und 0,15 %; bei einer Grube nur bei 0,06 %. In der Stoffstromanalyse wird mit mittleren Werten von 120 t Aufbereitungsberge mit einem Kupferanteil von 0,135 % gerechnet. Dies entspricht einer Masse von 162 kg Kupfer, die pro Tonne Kupfer in den Bergehalden verbleibt. Über die in den Bergehalden verbleibenden Massen der Begleitmetalle (Zn, Pb, As, Co, Sb, Mo) liegen keine Angaben vor. Gleiches gilt für die Schwermetallabgänge mit dem Abwasser.

Die Schwermetalle aus dem Abbau und der Aufbereitung von Nickelerzen sind in Kap. 3.8 dargestellt.

b) Verbleib von Schwermetallen in den Output-Strömen der Kupferhütte

Der Kupferstoffstrom in der Kupferhütte ist nicht relevant, da für den Einsatz des Kupfers aus den Galvanikschlämmen die gleiche Menge an Kupfer aus Kupferkonzentrat gutgeschrieben wird. Relevant sind jedoch die Schwermetalle, die in den Galvanikschlämmen und im Kupferkonzentrat in unterschiedlicher Konzentration auftreten. Für den vorliegenden Galvanikschlamm sind dies folgende Schwermetalle (Angabe in t Schwermetall im Galvanikschlamm pro t Kupfer im Galvanikschlamm): Nickel (0,4 t Ni /t Cu), Zn (0,4 t Zn/t Cu), Pb (0,07 Pb/t Cu) und Cr (0,13 t Cr/t Cu).

Für die mit dem Galvanikschlamm in die Kupferhütte eingetragenen Schwermetalle wurde davon ausgegangen, dass Nickel, Zink und Blei zu je 20 % und Chrom zu 100 % mit der Kupferhüttenschlacke ausgetragen werden. Die über Abgas und Abwasser ausgetragenen Schwermetallströme sind so gering, dass sie vernachlässigbar sind (Abluft < 0,0015 %; Abwasser < 9, * 10⁻⁵ %, berechnet mit Daten aus [NA 2005]).

3.8 Bergbau und Aufbereitung von Nickelerzen

Beim Nickelbergbau fallen pro Tonne Nickel im Durchschnitt 45,6 t Aufbereitungsberge an, die entweder in den Versatz gelangen (16,2 t) oder aufgehaldet werden (29,4 t) [Hilbrans/Hinrichs 1999]. Der durchschnittliche Nickelverlust beträgt nach [Hilbrans/Hinrichs 1999] 22 % bezogen auf eine Tonne Nickel. Daraus resultieren für die Stoffstromanalyse 78,16 kg bzw. 141,84 kg Nickel, die pro Tonne Nickel versetzt bzw. aufgehaldet werden. Über die in den Bergehalden verbleibenden Massen der Begleitmetalle (Cu, Pb, As, Co, Cd, Cr) liegen keine Angaben vor. Gleiches gilt für die Schwermetallabgänge mit dem Abwasser.

3.9 Bergbau und Aufbereitung von Zink- und Bleierzen

Zink und Blei kommen stets gemeinsam vor. Die Relation der Gehalte in den Erzen ist aber stark unterschiedlich. Etwa 10 % der Weltzinkproduktion stammt aus Tagebauen, 90 % aus Tiefbauen [Krüger et al. 2001]. Die Verhältnisse der Bleiproduktion dürften ähnlich sein.

Die Metallausbringung beim Tiefbau beträgt für Zink durchschnittlich etwa 86 % und für Blei etwa 82 % [Krüger et al. 2001]. Damit ergeben sich durch den Bergbau und die Aufbereitung Verluste von 14 % für Zink und 18 % für Blei. Beim Tagebau beträgt die Metallausbringung für Zink 79 % und für Blei etwa 60 % [Krüger et al. 2001]. Die Bergbau- und Aufbereitungsverluste betragen somit 21 % für Zink und 40 % für Blei. Gemittelt über die Weltproduktion (Tief- und Tagebau) resultieren daraus Aufbereitungsverluste von rund 15 % für Zink und rund 20,5 % für Blei.

Für die Herstellung von 1 t Metall (Zink und Blei) bedeutet dies Bergbau- und Aufbereitungsverluste von rund 177 kg Zink und von 258 kg Blei, die zum kleinen Teil im Berg und zum Großteil in der Aufbereitungsberge verbleiben und aufgehaldet bzw. versetzt werden. Angaben über den Anteil der Aufhaldung bzw. des Versatzes lagen nicht vor.

Über die in den Bergehalten verbleibenden Massen der Begleitmetalle liegen keine Angaben vor. Gleiches gilt für die Schwermetallabgänge mit dem Abwasser. Lediglich für zwei Bergwerke werden Kupfergehalte von 0,1 bzw. 0,07 % (bezogen auf Zink und Blei im Konzentrat) genannt, die in der Aufbereitungsberge verbleiben [Krüger et al. 2001]. Diese blieben bei der Stoffstromanalyse unberücksichtigt, da auch Zink- und Bleierze gewonnen werden, die kein Kupfer enthalten und über deren Anteile an der Weltproduktion keine Angaben vorliegen.

3.10 Bergbau und Aufbereitung von chromhaltigen Erzen

Beim Chrombergbau fallen pro Tonne Chrom rund 1,7 t Aufbereitungsberge an, die in der Regel aufgehaldet werden [Adelhardt/Antrekowitsch 1998]. Die Chromausbringung wird in [Adelhardt/Antrekowitsch 1998] mit 82 % angegeben. Dies entspricht einem Aufbereitungsverlust von 18 % bzw. 219,5 kg pro Tonne Chrom, der zum Großteil in den Aufbereitungsbergen und zu einem geringen Teil im Berg verbleibt. Über die Chromabgänge mit dem Abwasser liegen keine Daten vor. Relevante Begleitmetalle (Schwermetalle) sind im Chromerz nicht enthalten.

3.11 Aufbereitung von Rostaschen aus der Müllverbrennung

Da die herkömmliche Schlackeaufbereitung mit Lagerung und Fe/NE-Abscheidung für alle Varianten gleichgesetzt wird, wird lediglich der zusätzliche Aufwand der weitergehenden Schlackeaufbereitung angesetzt. Dieser Zusatzaufwand besteht im Wesentlichen auf dem zusätzlichen Strombedarf, der auf 50 kWh/t geschätzt wird.

Für die Stoffstromanalyse sind weiterhin die Transferfaktoren bei der weitergehenden Schlackeaufbereitung von großer Bedeutung. Nach mündlicher Aussage von Scherer + Kohl beträgt das Verhältnis von Grob- zu Feinfraktion rund 85 : 15.

Die Transferfaktoren in die Grobfraktion werden nach [ecologic 2005] abgeschätzt. Dort wird eine gealterte Rohschlacke mit einer weitergehend aufbereiteten Schlacke verglichen. Für die Metalle As, Hg und Tl liegen keine Daten vor. Hier wird ein Transferfaktor von 50% abgeschätzt. Die Abschätzung aller Transferfaktoren kann aufgrund der mangelnden Datengrundlage lediglich als orientierende Schätzung angesehen werden und repräsentiert keinen realen Anlagenbetrieb. Bei diesen getroffenen Annahme gehen die Chrom-Äquivalente, die als Maß für die Toxizität herangezogen werden (vgl. Hauptteil Kapitel 5), rund zur Hälfte jeweils in die Grob- und in die Feinfraktion. Dies erscheint als realistische Größenordnung, da bei Abfallgemischen meist die Feinfraktionen mit ihren höheren spezifischen Oberflächen eine relativ höhere Schadstoffbelastung pro Masseneinheit aufweisen. Das Ergebnis ist auch in guter Übereinstimmung mit der Modellierung des Waschens der Rauchgasreinigungsrückstände aus der Abfallbehandlung, bei auf der Grundlage einer besseren Datenbasis bilanziert wird, dass rund 50% der Chromäquivalente jeweils in die Grob- und die Feinfraktion übergehen (vgl. Kapitel 3.3 in diesem Anhang).

Tabelle 3-14 Transferfaktoren bei der weitergehende Schlackeaufbereitung:

	Transferfaktoren in die Grobfraktion in %
As	50
Pb	15
Cd	58
Cr ges	49
Ni	25
Hg	50
Tl	50
Cu	50
Zn	22

Für die Verwertung im Straßenbau wird als Komplementärprozess der Sand- und Kiesabbau im Tagebau bilanziert (GEMIS-Prozess Xtra-Abbau\Sand-DE).

Folgende Transportdistanzen werden angesetzt:

Transportgut	Entfernung
MVA – Schlackeaufbereitung und Bergversatz „nah“	entfällt in der Bilanzierung, da für die Varianten identisch
Bergversatz „fern“ MVA-Aschen – Bergversatz	500 km (80 % LKW, 20 % Bahn)
Schlackeaufbereitung – Straßenbau	50 km LKW
Substituierter Kies zum Straßenbau	30 km LKW

In einer Sensitivitätsanalyse wird eine vermehrte Metallabscheidung bei der weitergehenden Aufbereitung gegenüber der herkömmlichen Aschenaufbereitung bilanziert. Es wird modelliert, dass im Vergleich zusätzliche zur Metallabscheidung in der herkömmlichen Aschenaufbereitung 2 % Fe, 0,1 % Cu und 0,2 % Al – bezogen auf die verbleibende Aschemenge nach der Aufbereitung – abgeschieden werden.

3.12 Betriebsmittel

Für den Strombedarf wird sofern nicht anders vermerkt der durchschnittliche deutsche Kraftwerkspark einschließlich der Vorketten bilanziert. Für weitere Energieträger und Hilfsmittel einschließlich der Vorketten werden ebenfalls Datensätze verwendet, die sich auf Deutschland beziehen. Die verwendeten Prozesse und Datensätze sind in der folgenden Tabelle 3-15 tabellarisch aufgeführt.

Folgende Datensätze wurden für die Bilanzierung verwendet:

Tabelle 3-15 Verwendete Datensätze für Betriebs- und Hilfsmittel

Betriebs- und Hilfsmittel	Verwendeter GEMIS-Datensatz
Strom (deutscher Mix)	Netz-el-DE-Verteilung-NS-2000
Strom (französischer Mix; dieser Datensatz wurde nur für das Elektroreduktionsverfahren verwendet (Anteil Atomkraft 74%, Anteil Wasserkraft 13%))	EI-KW-Park-FR-2010
Diesel	Diesel-D-2000
Flüssig-Stickstoff	Xtra-generischN2 (flüssig)
Aktivkohle	Aktivkohle
NaOH	NaOH-mix-DE
Ammoniak	Ammoniak
Koks	Stk-Koks-DE
Kalk	Kalk-gelöscht
Quarzsand	Xtra-Abbau/Quarzsand-DE

3.13 Transporte

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die bilanzierten Transportentfernungen in allen Szenarien.

Tabelle 3-16 Überblick über die Transportentfernungen für die einzelnen Abfallarten, Betriebsmittel und Produkte I

Transportgut	Entfernung
Abfälle zum Entsorger:	
Elektrostahlwerksstäube zum Wälzverfahren	300 km (20% LKW, 80% Bahn)
Edelstahlstäube zum Elektroreduktionsverfahren	700 km (50% LKW, 50% Bahn)
Galvanikschlämme zur Kupferraffinerie	500 km (80% LKW, 20% Bahn)
Abfälle zum Bergversatz	500 km (80% LKW, 20% Bahn)
Abfälle zum Bergversatz; Sonderfall Rost- und Kesselaschen aus der Abfallverbrennung mit Aufbereitung beim Bergwerk	0 km
Abfälle zur Deponie DK II	60 km
Abfälle zur Deponie DK III	200 km
Abfälle zur Konditionierung	200 km LKW
Anfallende Reststoffe und Zwischenprodukte	
Wälzschlacke zum Straßenbau	50 km LKW
Wälzoxid zur Zinkelektrolyse	300 km (20% LKW, 80% Bahn)
Roheisen aus Elektroreduktionsverfahren	700 km (50% LKW, 50% Bahn)
Filterstaub aus Elektroreduktionsverfahren	700 km (50% LKW, 50% Bahn)
MVA-Asche zum Straßenbau	50 km LKW
Schlacke aus Elektroreduktionsverfahren zum Straßenbau	50 km LKW

Tabelle 3-17 Überblick über die Transportentfernungen für die einzelnen Abfallarten, Betriebsmittel und Produkte II

Transportgut	Entfernung
Betriebsmittel:	
Koks zum Elektroreduktionsverfahren	100 km (50% LKW, 50% Bahn)
Koks zum Wälzverfahren	100 km (50% LKW, 50% Bahn)
Sand	30 km LKW
Kohle zum Elektroreduktionsverfahren	40 km ab Hafen (50% LKW, 50% Bahn)
Substituierte Rohstoffe:	
Substituiertes Zinkerz	5.500 km Schiff; 300 km Bahn
Substituiertes Kupfererz	7.600 km Schiff; 300 km Bahn
Substituiertes Nickelerz	7.600 km Schiff; 300 km Bahn
Substituiertes Bleierz	5.500 km Schiff; 300 km Bahn
substituierte Fe- und Cr-Verbindungen:	in den entsprechenden Datensätzen zu den Metallen enthalten
Substituierter Bauschutt zum Deponiebau	30 km LKW
Substituierter Kies zum Straßenbau	30 km LKW

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Methodenentwicklung für die ökologische Bewertung der Entsorgung gefährlicher Abfälle unter und über Tage und Anwendung auf ausgewählte Abfälle

Anhang 6: Bewertungsergebnisse der einzelnen Verfahren

Darmstadt, den 30.11.2007

Forschungsvorhaben

gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung, Förderkennzeichen 02C1345, unterstützt durch Drittmittel von vier Versatzbergwerken und teil-finanziert aus Eigenmitteln des Öko-Instituts

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren

Öko-Institut e.V.
Büro Darmstadt
Rheinstraße 95
D-64295 Darmstadt
Telefon +49 (0) 6151 - 8191 - 0
Fax +49 (0) 6151 - 8191 - 33

Geschäftsstelle Freiburg
Postfach 50 02 40
D-79028 Freiburg
Hausadresse
Merzhauser Straße 173
D-79100 Freiburg
Telefon +49 (0) 7 61 - 4 52 95-0
Fax +49 (0) 7 61 - 452 95-88

Büro Berlin
Novalisstraße 10
D-10115 Berlin
Telefon +49 (0) 30 - 28 04 86-80
Fax +49 (0) 30 - 28 04 86-88

Inhaltsverzeichnis

1	Ökobilanzergebnisse.....	1
1.1	Absolute und normierte Ergebnisse	1
1.2	Ergebnisse der Hierarchisierung	6
2	Berechnung und Ergebnisse der Stoffstromanalyse.....	8
2.1	Allgemeine Grunddaten.....	8
2.2	Galvanikschlamm mit 60 % Wasser (AVV 11 01 09*)	10
2.3	Edelstahlstäube (AVV 10 02 07*)	14
2.4	Elektrostahlwerksstäube (AVV 10 02 07*).....	18
2.5	Feste Abfälle aus der Abgasbehandlung von Abfallverbrennungsanlagen (AVV 19 01 07*)	23
2.6	Aschen und Schlacken aus der Abfallverbrennung (AVV 19 01 11*).....	28
2.7	Aschen und Schlacken aus der Abfallverbrennung (AVV 19 01 12).....	32
2.8	Filterstäube aus der Abfallverbrennung (AVV 19 01 13*).....	35

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.1	Absolutes Ökobilanzergebnis für die Behandlung von 1t Abfall im Bergversatz (ohne Kiesgutschrift)	1
Tabelle 1.2	Normiertes Ökobilanzergebnis für die Behandlung von 1t Abfall im Bergversatz (ohne Kiesgutschrift)	1
Tabelle 1.3	Absolutes Ökobilanzergebnis für die Behandlung von 1t Abfall im Bergversatz (mit Kiesgutschrift)	1
Tabelle 1.4	Normiertes Ökobilanzergebnis für die Behandlung von 1t Abfall im Bergversatz (mit Kiesgutschrift)	1
Tabelle 1.5	Absolutes Ökobilanzergebnis für die Deponierung von 1t Abfall (DK II) 1	
Tabelle 1.6	Normiertes Ökobilanzergebnis für die Deponierung von 1t Abfall (DK II)	1
Tabelle 1.7	Absolutes Ökobilanzergebnis für die Deponierung von 1t Abfall (DK III) 2	
Tabelle 1.8	Normiertes Ökobilanzergebnis für die Behandlung von 1t Abfall (DK III)	2
Tabelle 1.9	Absolutes Ökobilanzergebnis für die Konditierung mit Zement von 1t festen Abfällen aus der Abgasbehandlung und Verwertung im Deponiebau	2
Tabelle 1.10	Normiertes Ökobilanzergebnis für die Konditierung mit Zement von 1t festen Abfällen aus der Abgasbehandlung und Verwertung im Deponiebau	2
Tabelle 1.11	Absolutes Ökobilanzergebnis für die Konditionierung von 1t Abfall mit Zement (Verhältnis 1: 0,33) und Verwertung im Deponiebau	2
Tabelle 1.12	Normiertes Ökobilanzergebnis für die Konditionierung von 1t Abfall mit Zement (Verhältnis 1: 0,33) und Verwertung im Deponiebau	2
Tabelle 1.13	Absolutes Ökobilanzergebnis für die Konditionierung mit Zement von 1t Galvanikschlamm und Verwertung im Deponiebau	2
Tabelle 1.14	Normiertes Ökobilanzergebnis für die Konditionierung mit Zement von 1t Galvanikschlamm und Verwertung im Deponiebau	3
Tabelle 1.15	Absolutes Ökobilanzergebnis für die Konditionierung von 1t Abfall mit Asche und Kalk (Verhältnis 1: 0,35) und Verwertung im Deponiebau	3
Tabelle 1.16	Normiertes Ökobilanzergebnis für die Konditionierung von 1t Abfall mit Asche und Kalk (Verhältnis 1: 0,35) und Verwertung im Deponiebau	3
Tabelle 1.17	Absolutes Ökobilanzergebnis für die Konditionierung von 1t Galvanikschlamm mit Asche und Kalk und Verwertung im Deponiebau	3
Tabelle 1.18	Normiertes Ökobilanzergebnis für die Konditionierung von 1t Galvanikschlamm mit Asche und Kalk und Verwertung im Deponiebau	3
Tabelle 1.19	Absolutes Ökobilanzergebnis für die Behandlung von 1t festen Abfällen aus der Rauchgasreinigung mit Waschen und Konditionierung mit Zement (Schlammfraktion in Bergversatz)	3

Tabelle 1.20	Normiertes Ökobilanzergebnis für die Behandlung von 1t festen Abfällen aus der Rauchgasreinigung mit Waschen und Konditionierung mit Zement (Schlammfraktion in Bergversatz)	3
Tabelle 1.21	Absolutes Ökobilanzergebnis für die Behandlung von 1t Elektrostahlwerksstäuben im Wälzverfahren	4
Tabelle 1.22	Normiertes Ökobilanzergebnis für die Behandlung von 1t Elektrostahlwerksstäuben im Wälzverfahren	4
Tabelle 1.23	Absolutes Ökobilanzergebnis für die Behandlung von 1t Stäuben aus der Edelstahlproduktion im Elektroreduktionsverfahren (französischer Strom-Mix)	4
Tabelle 1.24	Normiertes Ökobilanzergebnis für die Behandlung von 1t Stäuben aus der Edelstahlproduktion im Elektroreduktionsverfahren (französischer Strom-Mix)	4
Tabelle 1.25	Absolutes Ökobilanzergebnis für die Behandlung von 1t Galvanikschlamm in einer Kupferhütte	4
Tabelle 1.26	Normiertes Ökobilanzergebnis für die Behandlung von 1t Galvanikschlamm in einer Kupferhütte	5
Tabelle 1.27	Absolutes Ökobilanzergebnis für die Behandlung von 1t MVA-Aschen in der weitergehenden Aufbereitung (Grobfraktion in Straßenbau, Feinfraktion auf DK II)	5
Tabelle 1.28	Normiertes Ökobilanzergebnis für die Behandlung von 1t MVA-Aschen in der weitergehenden Aufbereitung (Grobfraktion in Straßenbau, Feinfraktion auf DK II)	5
Tabelle 1.29	Absolutes Ökobilanzergebnis für die Verwertung von 1t MVA-Aschen im Straßenbau.....	5
Tabelle 1.30	Normiertes Ökobilanzergebnis für die Verwertung von 1t MVA-Aschen im Straßenbau.....	5
Tabelle 1.31	Hierarchisierung der Ökobilanzergebnisse für die Filterstäube und die festen Abfälle aus der Abfallverbrennung	6
Tabelle 1.32	Hierarchisierung der Ökobilanzergebnisse für die Galvanikschlämme	6
Tabelle 1.33	Hierarchisierung der Ökobilanzergebnisse für die Elektrostahlwerksstäube	6
Tabelle 1.34	Hierarchisierung der Ökobilanzergebnisse für die Stäube aus der Edelstahlproduktion	7
Tabelle 1.35	Hierarchisierung der Ökobilanzergebnisse für die Rost- und Kesselaschen (19 01 12 und 19 01 11*)	7
Tabelle 2.1	Stromerzeugung	8
Tabelle 2.2	Stromverbräuche	8
Tabelle 2.3	Feststoffwerte	9
Tabelle 2.4	Bergbau	9
Tabelle 2.5	Schwermetallgehalte Galvanikschlamm	10
Tabelle 2.6	Grunddaten Bergversatz	10
Tabelle 2.7	Stoffströme Bergversatz.....	11
Tabelle 2.8	Stoffströme Ablagerung auf Deponie	11

Tabelle 2.9	Grunddaten Konditionierung	12
Tabelle 2.10	Stoffströme Konditionierung mit anschließender Entsorgung auf Deponie.....	12
Tabelle 2.11	Grunddaten Entsorgung Kupferhütte	13
Tabelle 2.12	Stoffströme Entsorgung Kupferhütte.....	13
Tabelle 2.13	Schwermetallgehalte Edelstahlstäube	14
Tabelle 2.14	Grunddaten Bergversatz	14
Tabelle 2.15	Stoffströme Bergversatz.....	15
Tabelle 2.16	Grunddaten Konditionierung	15
Tabelle 2.17	Stoffströme Konditionierung mit anschließender Entsorgung auf Deponie.....	16
Tabelle 2.18	Grunddaten Elektroreduktionsverfahren und Wälzanlage	16
Tabelle 2.19	Stoffströme Elektroreduktionsverfahren mit anschließender Aufbereitung des Pb- und Zn-haltigen Filterstaubs in Wälzanlage	17
Tabelle 2.20	Schwermetallgehalte Elektrostahlwerksstäube.....	18
Tabelle 2.21	Grunddaten Bergversatz	18
Tabelle 2.22	Stoffströme Bergversatz.....	19
Tabelle 2.23	Grunddaten Konditionierung	20
Tabelle 2.24	Stoffströme Konditionierung mit anschließender Entsorgung auf Deponie.....	21
Tabelle 2.25	Grunddaten Wälzverfahren	21
Tabelle 2.26	Stoffströme Wälzverfahren.....	22
Tabelle 2.27	Schwermetallgehalte fester Abfälle aus der Abgasbehandlung von Abfallverbrennungsanlagen.....	23
Tabelle 2.28	Grunddaten Bergversatz	23
Tabelle 2.29	Stoffströme Bergversatz.....	24
Tabelle 2.30	Stoffströme Ablagerung auf Deponie	24
Tabelle 2.31	Grunddaten Konditionierung ohne Wäsche	25
Tabelle 2.32	Stoffströme Konditionierung ohne Wäsche und anschließender Entsorgung auf DK II.....	25
Tabelle 2.33	Grunddaten Konditionierung mit Wäsche	26
Tabelle 2.34	Transferfaktoren und Schwermetallgehalte	26
Tabelle 2.35	Stoffströme Konditionierung mit Wäsche und anschließender Entsorgung der Grobfraction auf DK II und Verwendung der Schlammfraktion im Bergversatz	27
Tabelle 2.36	Schwermetallgehalte von Aschen und Schlacken aus der Abfallverbrennung	28
Tabelle 2.37	Grunddaten Bergversatz	29
Tabelle 2.38	Stoffströme Bergversatz.....	29
Tabelle 2.39	Stoffströme Ablagerung auf Deponie	30
Tabelle 2.40	Grunddaten Konditionierung	30
Tabelle 2.41	Stoffströme Konditionierung mit Zement und anschließender Verwendung im Straßenbau	30

Tabelle 2.42	Transferfaktoren der weitergehenden Aufbereitung.....	31
Tabelle 2.43	Stoffströme der weitergehenden Aufbereitung.....	31
Tabelle 2.44	Schwermetallgehalte der Aschen und Schlacken aus der Abfallverbrennung	32
Tabelle 2.45	Grunddaten Bergversatz	32
Tabelle 2.46	Stoffströme Bergversatz.....	33
Tabelle 2.47	Stoffströme Ablagerung auf Deponie	33
Tabelle 2.48	Stoffströme Verwendung im Straßenbau	34
Tabelle 2.49	Transferfaktoren der weitergehenden Aufbereitung.....	34
Tabelle 2.50	Stoffströme der weitergehenden Aufbereitung.....	35
Tabelle 2.51	Schwermetallgehalte der Filterstäube aus der Abfallverbrennung	35
Tabelle 2.52	Grunddaten Bergversatz	36
Tabelle 2.53	Stoffströme Bergversatz.....	36
Tabelle 2.54	Stoffströme Ablagerung auf Deponie	37
Tabelle 2.55	Grunddaten Konditionierung	37
Tabelle 2.56	Stoffströme Konditionierung mit anschließender Entsorgung auf DK II	38

1 Ökobilanzergebnisse

1.1 Absolute und normierte Ergebnisse

Tabelle 1.1 Absolutes Ökobilanzergebnis für die Behandlung von 1t Abfall im Bergversatz (ohne Kiesgutschrift)

	Treibhauseffekt kg CO2 eq	Versauerung kg SO2 eq	Eutrophierung kg PO4 eq	Feinstaub kg PM 10 eq	Fläche m2	POCP kg Ethylen eq	KEA Summe kJ
Betriebsmittel	39,43	0,07	0,01	0,12	0,454	0,002	445.943
Transport	37,68	0,19	0,04	0,31	0,001	0,009	513.242
Summe	77,11	0,26	0,05	0,43	0,5	0,0	9,59E+05

Tabelle 1.2 Normiertes Ökobilanzergebnis für die Behandlung von 1t Abfall im Bergversatz (ohne Kiesgutschrift)

	Treibhauseffekt kg CO2 eq	Versauerung kg SO2 eq	Eutrophierung kg PO4 eq	Feinstaub kg PM 10 eq	Fläche m2	POCP kg Ethylen eq	KEA Summe kJ
Betriebsmittel	3,9E-11	2,9E-11	2,3E-11	5,3E-11	1,0E-11	2,9E-12	3,1E-11
Transport	3,7E-11	8,0E-11	1,1E-10	1,4E-10	3,3E-14	1,5E-11	3,6E-11
Summe	7,6E-11	1,1E-10	1,3E-10	1,9E-10	1,0E-11	1,8E-11	6,7E-11

Tabelle 1.3 Absolutes Ökobilanzergebnis für die Behandlung von 1t Abfall im Bergversatz (mit Kiesgutschrift)

	Treibhauseffekt kg CO2 eq	Versauerung kg SO2 eq	Eutrophierung kg PO4 eq	Feinstaub kg PM 10 eq	Fläche m2	POCP kg Ethylen eq	KEA Summe kJ
Betriebsmittel	14,58	0,02	0,00	0,06	3,68E-04	0,001	42.336
Transport	35,11	0,18	0,04	0,29	1,37E-03	0,009	478.803
Kiesgutschrift	-11,16	-0,05	-0,01	-0,07	-1,49E-01	-0,001	-167.688
Summe	38,52	0,15	0,03	0,28	-0,15	0,01	353.451,69

Tabelle 1.4 Normiertes Ökobilanzergebnis für die Behandlung von 1t Abfall im Bergversatz (mit Kiesgutschrift)

	Treibhauseffekt kg CO2 eq	Versauerung kg SO2 eq	Eutrophierung kg PO4 eq	Feinstaub kg PM 10 eq	Fläche m2	POCP kg Ethylen eq	KEA Summe kJ
Betriebsmittel	1,43E-11	8,27E-12	4,14E-12	2,62E-11	8,23E-15	1,08E-12	2,95E-12
Transport	3,45E-11	7,46E-11	1,02E-10	1,29E-10	3,06E-14	1,38E-11	3,34E-11
Kiesgutschrift	-1,10E-11	-1,90E-11	-2,16E-11	-3,00E-11	-3,33E-12	-1,26E-12	-1,17E-11
Summe	3,79E-11	6,39E-11	8,43E-11	1,25E-10	-3,29E-12	1,36E-11	2,47E-11

Tabelle 1.5 Absolutes Ökobilanzergebnis für die Deponierung von 1t Abfall (DK II)

	Treibhauseffekt kg CO2 eq	Versauerung kg SO2 eq	Eutrophierung kg PO4 eq	Feinstaub kg PM 10 eq	Fläche m2	POCP kg Ethylen eq	KEA Summe kJ
Deponie	4,70	0,03	0,01	0,05	0,03	0,00	6,18E+04
Transport	5,16	0,03	0,01	0,05	0,00	0,00	6,89E+04
Summe	9,85	0,06	0,01	0,10	0,03	0,0018	130.639,11

Tabelle 1.6 Normiertes Ökobilanzergebnis für die Deponierung von 1t Abfall (DK II)

	Treibhauseffekt kg CO2 eq	Versauerung kg SO2 eq	Eutrophierung kg PO4 eq	Feinstaub kg PM 10 eq	Fläche m2	POCP kg Ethylen eq	KEA Summe kJ
Deponie	4,62E-12	1,43E-11	1,77E-11	2,25E-11	7,60E-13	8,10E-13	4,31E-12
Transport	5,07E-12	1,15E-11	1,58E-11	1,99E-11	4,12E-15	2,10E-12	4,81E-12
Summe	9,69E-12	2,58E-11	3,35E-11	4,24E-11	7,64E-13	2,91E-12	9,11E-12

Tabelle 1.7 Absolutes Ökobilanzergebnis für die Deponierung von 1t Abfall (DK III)

	Treibhauseffekt kg CO2 eq	Versauerung kg SO2 eq	Eutrophierung kg PO4 eq	Feinstaub kg PM 10 eq	Fläche m2	POCP kg Ethylen eq	KEA Summe kJ
Betriebsmittel	9,42	0,04	0,01	0,06	1,32E-01	0,001	140.467,16
Transport	17,20	0,09	0,02	0,15	6,15E-04	0,004	229.591,07
Summe	26,61	0,13	0,03	0,21	1,33E-01	5,10E-03	3,70E+05

Tabelle 1.8 Normiertes Ökobilanzergebnis für die Behandlung von 1t Abfall (DK III)

	Treibhauseffekt kg CO2 eq	Versauerung kg SO2 eq	Eutrophierung kg PO4 eq	Feinstaub kg PM 10 eq	Fläche m2	POCP kg Ethylen eq	KEA Summe kJ
Betriebsmittel	0,00	0,00	0,00	0,00	2,95E-12	0,00	0,00
Transport	0,00	0,00	0,00	0,00	1,37E-14	0,00	0,00
Summe	0,00	0,00	0,00	0,00	2,97E-12	8,11E-12	2,58E-11

Tabelle 1.9 Absolutes Ökobilanzergebnis für die Konditionierung mit Zement von 1t festen Abfällen aus der Abgasbehandlung und Verwertung im Deponiebau

	Treibhauseffekt kg CO2 eq	Versauerung kg SO2 eq	Eutrophierung kg PO4 eq	Feinstaub kg PM 10 eq	Fläche m2	POCP kg Ethylen eq	KEA Summe kJ
Transport	17,13	0,09	0,02	0,15	0,00	0,00	2,29E+05
Konditionierung	575,09	0,76	0,14	1,23	2,71	0,02	3,95E+06
Summe	592,22	0,85	0,16	1,38	2,71	0,0228	4.176.523,26

Tabelle 1.10 Normiertes Ökobilanzergebnis für die Konditionierung mit Zement von 1t festen Abfällen aus der Abgasbehandlung und Verwertung im Deponiebau

	Treibhauseffekt kg CO2 eq	Versauerung kg SO2 eq	Eutrophierung kg PO4 eq	Feinstaub kg PM 10 eq	Fläche m2	POCP kg Ethylen eq	KEA Summe kJ
Transport	1,68E-11	3,80E-11	5,26E-11	6,61E-11	1,37E-14	6,99E-12	1,60E-11
Konditionierung	5,65E-10	3,14E-10	3,64E-10	5,46E-10	6,06E-11	2,93E-11	2,75E-10
Summe	5,82E-10	3,52E-10	4,16E-10	6,12E-10	6,06E-11	3,62E-11	2,91E-10

Tabelle 1.11 Absolutes Ökobilanzergebnis für die Konditionierung von 1t Abfall mit Zement (Verhältnis 1: 0,33) und Verwertung im Deponiebau

	Treibhauseffekt kg CO2 eq	Versauerung kg SO2 eq	Eutrophierung kg PO4 eq	Feinstaub kg PM 10 eq	Fläche m2	POCP kg Ethylen eq	KEA Summe kJ
Transport	16,31	0,09	0,02	0,14	0,00	0,00	2,18E+05
Konditionierung	397,14	0,52	0,10	0,84	2,16	0,01	2,90E+06
Summe	413,45	0,61	0,12	0,98	2,16	0,0170	3.116.505,86

Tabelle 1.12 Normiertes Ökobilanzergebnis für die Konditionierung von 1t Abfall mit Zement (Verhältnis 1: 0,33) und Verwertung im Deponiebau

	Treibhauseffekt kg CO2 eq	Versauerung kg SO2 eq	Eutrophierung kg PO4 eq	Feinstaub kg PM 10 eq	Fläche m2	POCP kg Ethylen eq	KEA Summe kJ
Transport	1,60E-11	3,62E-11	5,01E-11	6,29E-11	1,30E-14	6,65E-12	1,52E-11
Konditionierung	3,91E-10	2,16E-10	2,46E-10	3,70E-10	4,82E-11	2,04E-11	2,02E-10
Summe	4,07E-10	2,52E-10	2,96E-10	4,33E-10	4,82E-11	2,70E-11	2,17E-10

Tabelle 1.13 Absolutes Ökobilanzergebnis für die Konditionierung mit Zement von 1t Galvanikschlamm und Verwertung im Deponiebau

	Treibhauseffekt kg CO2 eq	Versauerung kg SO2 eq	Eutrophierung kg PO4 eq	Feinstaub kg PM 10 eq	Fläche m2	POCP kg Ethylen eq	KEA Summe kJ
Transport	16,84	0,09	0,02	0,15	0,00	0,00	2,25E+05
Konditionierung	158,86	0,21	0,04	0,34	0,86	0,01	1,16E+06
Summe	175,70	0,30	0,06	0,48	0,86	0,0094	1.384.356,98

Tabelle 1.14 Normiertes Ökobilanzergebnis für die Konditionierung mit Zement von 1t Galvanikschlamm und Verwertung im Deponiebau

	Treibhauseffekt kg CO2 eq	Versauerung kg SO2 eq	Eutrophierung kg PO4 eq	Feinstaub kg PM 10 eq	Fläche m2	POCP kg Ethylen eq	KEA Summe kJ
Transport	1,66E-11	3,74E-11	5,17E-11	6,50E-11	1,35E-14	6,87E-12	1,57E-11
Konditionierung	1,56E-10	8,64E-11	9,84E-11	1,48E-10	1,93E-11	8,15E-12	8,09E-11
Summe	1,73E-10	1,24E-10	1,50E-10	2,13E-10	1,93E-11	1,50E-11	9,66E-11

Tabelle 1.15 Absolutes Ökobilanzergebnis für die Konditionierung von 1t Abfall mit Asche und Kalk (Verhältnis 1: 0,35) und Verwertung im Deponiebau

	Treibhauseffekt kg CO2 eq	Versauerung kg SO2 eq	Eutrophierung kg PO4 eq	Feinstaub kg PM 10 eq	Fläche m2	POCP kg Ethylen eq	KEA Summe kJ
Transport	22,86	0,12	0,03	0,20	0,00	0,01	3,05E+05
Konditionierung	69,82	0,09	0,01	0,09	1,45	0,00	1,16E+06
Summe	92,68	0,21	0,04	0,29	1,45	0,0085	1.469.592,22

Tabelle 1.16 Normiertes Ökobilanzergebnis für die Konditionierung von 1t Abfall mit Asche und Kalk (Verhältnis 1: 0,35) und Verwertung im Deponiebau

	Treibhauseffekt kg CO2 eq	Versauerung kg SO2 eq	Eutrophierung kg PO4 eq	Feinstaub kg PM 10 eq	Fläche m2	POCP kg Ethylen eq	KEA Summe kJ
Transport	2,25E-11	5,08E-11	7,02E-11	8,82E-11	1,83E-14	9,33E-12	2,13E-11
Konditionierung	6,86E-11	3,58E-11	2,31E-11	4,00E-11	3,25E-11	4,22E-12	8,12E-11
Summe	9,11E-11	8,66E-11	9,32E-11	1,28E-10	3,25E-11	1,35E-11	1,03E-10

Tabelle 1.17 Absolutes Ökobilanzergebnis für die Konditionierung von 1t Galvanikschlamm mit Asche und Kalk und Verwertung im Deponiebau

	Treibhauseffekt kg CO2 eq	Versauerung kg SO2 eq	Eutrophierung kg PO4 eq	Feinstaub kg PM 10 eq	Fläche m2	POCP kg Ethylen eq	KEA Summe kJ
Transport	19,29	0,10	0,02	0,17	0,00	0,00	2,57E+05
Konditionierung	31,55	0,04	0,00	0,04	0,66	0,00	5,26E+05
Summe	50,83	0,14	0,03	0,21	0,66	0,0061	783.637,90

Tabelle 1.18 Normiertes Ökobilanzergebnis für die Konditionierung von 1t Galvanikschlamm mit Asche und Kalk und Verwertung im Deponiebau

	Treibhauseffekt kg CO2 eq	Versauerung kg SO2 eq	Eutrophierung kg PO4 eq	Feinstaub kg PM 10 eq	Fläche m2	POCP kg Ethylen eq	KEA Summe kJ
Transport	1,90E-11	4,28E-11	5,92E-11	7,44E-11	1,54E-14	7,87E-12	1,80E-11
Konditionierung	3,10E-11	1,62E-11	1,04E-11	1,81E-11	1,47E-11	1,91E-12	3,67E-11
Summe	5,00E-11	5,90E-11	6,96E-11	9,25E-11	1,47E-11	9,78E-12	5,47E-11

Tabelle 1.19 Absolutes Ökobilanzergebnis für die Behandlung von 1t festen Abfällen aus der Rauchgasreinigung mit Waschen und Konditionierung mit Zement (Schlammfraktion in Bergversatz)

	Treibhauseffekt kg CO2 eq	Versauerung kg SO2 eq	Eutrophierung kg PO4 eq	Feinstaub kg PM 10 eq	Fläche m2	POCP kg Ethylen eq	KEA Summe kJ
Transport	32,20	0,17	0,04	0,28	0,00	0,01	4,30E+05
Konditionierung	496,63	0,60	0,11	0,93	2,58	0,01	3,84E+06
Summe	528,83	0,78	0,14	1,21	2,59	0,02	4.273.464,16

Tabelle 1.20 Normiertes Ökobilanzergebnis für die Behandlung von 1t festen Abfällen aus der Rauchgasreinigung mit Waschen und Konditionierung mit Zement (Schlammfraktion in Bergversatz)

	Treibhauseffekt kg CO2 eq	Versauerung kg SO2 eq	Eutrophierung kg PO4 eq	Feinstaub kg PM 10 eq	Fläche m2	POCP kg Ethylen eq	KEA Summe kJ
Transport	3,17E-11	7,15E-11	9,88E-11	1,24E-10	2,57E-14	1,31E-11	3,00E-11
Konditionierung	4,88E-10	2,50E-10	2,66E-10	4,10E-10	5,77E-11	2,36E-11	2,68E-10
Summe	5,20E-10	3,21E-10	3,65E-10	5,34E-10	5,78E-11	3,67E-11	2,98E-10

Tabelle 1.21 Absolutes Ökobilanzergebnis für die Behandlung von 1t Elektrostahlwerkstäuben im Wälzverfahren

	Treibhauseffekt kg CO2 eq	Versauerung kg SO2 eq	Eutrophierung kg PO4 eq	Feinstaub kg PM 10 eq	Fläche m2	POCP kg Ethylen eq	KEA Summe kJ
Betriebsmittel	617,49	0,58	0,05	0,56	1,421	0,025	9.235.022
Schlackeverwertung	-7,26	-0,03	-0,01	-0,04	-0,097	-0,001	-108.997
Zinkerz-Substitution	-103,96	-1,42	-0,17	-1,61	-0,026	-0,017	-1.368.978
Bleierz-Substitution	-7,40	-0,11	-0,01	-0,12	-0,002	-0,001	-97.199
Transport	20,55	0,08	0,02	0,13	0,001	0,004	308.786
Prozessemissionen		2,16	0,09	1,62			
Summe	519,42	1,26	-0,03	0,54	1,30	0,0103	7.968.633

Tabelle 1.22 Normiertes Ökobilanzergebnis für die Behandlung von 1t Elektrostahlwerkstäuben im Wälzverfahren

	Treibhauseffekt kg CO2 eq	Versauerung kg SO2 eq	Eutrophierung kg PO4 eq	Feinstaub kg PM 10 eq	Fläche m2	POCP kg Ethylen eq	KEA Summe kJ
Betriebsmittel	6,07E-10	2,39E-10	1,37E-10	2,47E-10	3,18E-11	3,92E-11	6,44E-10
Schlackeverwertung	-7,13E-12	-1,24E-11	-1,41E-11	-1,95E-11	-2,17E-12	-8,20E-13	-7,60E-12
Zinkerz-Substitution	-1,02E-10	-5,88E-10	-4,33E-10	-7,11E-10	-5,90E-13	-2,66E-11	-9,55E-11
Bleierz-Substitution	-7,28E-12	-4,35E-11	-3,15E-11	-5,21E-11	-4,39E-14	-1,97E-12	-6,78E-12
Transport	2,02E-11	3,44E-11	4,30E-11	5,58E-11	2,52E-14	6,51E-12	2,15E-11
Prozessemissionen		8,93E-10	2,35E-10	7,17E-10			
Summe	5,11E-10	5,23E-10	-6,34E-11	2,37E-10	2,90E-11	1,63E-11	5,56E-10

Tabelle 1.23 Absolutes Ökobilanzergebnis für die Behandlung von 1t Stäuben aus der Edelstahlproduktion im Elektroreduktionsverfahren (französischer Strom-Mix)

	Treibhauseffekt kg CO2 eq	Versauerung kg SO2 eq	Eutrophierung kg PO4 eq	Feinstaub kg PM 10 eq	Fläche m2	POCP kg Ethylen eq	KEA Summe kJ
Betriebsmittel	1.017,79	1,38	0,12	1,28	0,44	0,06	3,37E+07
Schlackeverwertung	-5,02	-0,02	-0,004	-0,03	-0,07	0,00	-7,55E+04
Fe-Verwertung	-581,15	-1,87	-0,16	-2,27	-0,13	-0,04	-7,33E+06
Ni-Verwertung	-985,62	-5,28	-0,27	-4,94	-0,20	-0,10	-1,91E+07
Cr-Verwertung	-268,57	-2,67	-0,23	-7,73	-0,06	-0,14	-6,55E+06
Transport	70,86	0,33	0,07	0,53	0,00	0,02	1,01E+06
Prozessemissionen		0,22	0,05	0,40			
Zn-Verwertung	184,11	0,45	-0,01	0,19	0,46	0,02	2,82E+06
Summe	-567,61	-7,46	-0,43	-12,57	0,44	-0,19	4.460.539,40

Tabelle 1.24 Normiertes Ökobilanzergebnis für die Behandlung von 1t Stäuben aus der Edelstahlproduktion im Elektroreduktionsverfahren (französischer Strom-Mix)

	Treibhauseffekt kg CO2 eq	Versauerung kg SO2 eq	Eutrophierung kg PO4 eq	Feinstaub kg PM 10 eq	Fläche m2	POCP kg Ethylen eq	KEA Summe kJ
Betriebsmittel	1,00E-09	5,73E-10	3,02E-10	5,68E-10	9,80E-12	9,41E-11	2,35E-09
Schlackeverwertung	-4,94E-12	-8,57E-12	-9,74E-12	-1,35E-11	-1,50E-12	-5,67E-13	-5,26E-12
Fe-Verwertung	-5,71E-10	-7,74E-10	-4,02E-10	-1,00E-09	-2,93E-12	-7,13E-11	-5,12E-10
Ni-Verwertung	-9,69E-10	-2,19E-09	-6,72E-10	-2,18E-09	-4,40E-12	-1,53E-10	-1,33E-09
Cr-Verwertung	-2,64E-10	-1,11E-09	-5,93E-10	-3,42E-09	-1,33E-12	-2,28E-10	-4,57E-10
Transport	6,97E-11	1,38E-10	1,83E-10	2,33E-10	7,17E-14	2,57E-11	7,01E-11
Prozessemissionen		9,04E-11	1,37E-10	1,75E-10			
Zn-Verwertung	1,81E-10	1,84E-10	-2,33E-11	8,23E-11	1,02E-11	3,74E-11	1,97E-10
Summe	-5,58E-10	-3,09E-09	-1,08E-09	-5,56E-09	9,94E-12	-2,96E-10	3,11E-10

Tabelle 1.25 Absolutes Ökobilanzergebnis für die Behandlung von 1t Galvanikschlamm in einer Kupferhütte

	Treibhauseffekt kg CO2 eq	Versauerung kg SO2 eq	Eutrophierung kg PO4 eq	Feinstaub kg PM 10 eq	Fläche m2	POCP kg Ethylen eq	KEA Summe kJ
Cu-Gutschrift	-214,89	-2,19	-0,20	-2,18	-0,08	-0,02	-2,34E+06
Ni-Gutschrift	-30,30	-0,33	-0,03	-0,40	0,00	0,00	-3,51E+05
Transport	37,68	0,19	0,04	0,31	0,00	0,01	5,13E+05
Summe	-207,51	-2,33	-0,19	-2,26	-0,08	-0,01	-2.176.572,08

Tabelle 1.26 Normiertes Ökobilanzergebnis für die Behandlung von 1t Galvanikschlamm in einer Kupferhütte

	Treibhauseffekt kg CO2 eq	Versauerung kg SO2 eq	Eutrophierung kg PO4 eq	Feinstaub kg PM 10 eq	Fläche m2	POCP kg Ethylen eq	KEA Summe kJ
Cu-Gutschrift	-2,11E-10	-9,07E-10	-5,07E-10	-9,64E-10	-1,82E-12	-2,70E-11	-1,63E-10
Ni-Gutschrift	-2,98E-11	-1,36E-10	-7,06E-11	-1,76E-10	-1,58E-14	-4,82E-12	-2,45E-11
Transport	3,71E-11	8,04E-11	1,10E-10	1,39E-10	3,27E-14	1,48E-11	3,58E-11
Summe	-2,04E-10	-9,63E-10	-4,68E-10	-1,00E-09	-1,80E-12	-1,70E-11	-1,52E-10

Tabelle 1.27 Absolutes Ökobilanzergebnis für die Behandlung von 1t MVA-Aschen in der weitergehenden Aufbereitung (Grobfraktion in Straßenbau, Feinfraktion auf DK II)

	Treibhauseffekt kg CO2 eq	Versauerung kg SO2 eq	Eutrophierung kg PO4 eq	Feinstaub kg PM 10 eq	Fläche m2	POCP kg ethylen eq	KEA Summe kJ
Deponie	0,70	0,01	0,001	0,01	0,01	0,0001	9,26E+03
Transport	2,20	0,01	0,003	0,02	0,0001	0,001	2,94E+04
Betriebsmittel	32,33	0,04	0,004	0,04	0,67	0,001	5,39E+05
Kiesgutschrift	-9,26	-0,04	-0,01	-0,06	-0,12	-0,0007	-1,39E+05
Summe	25,97	0,02	0,00	0,01	0,55	0,001	438.548,98

Tabelle 1.28 Normiertes Ökobilanzergebnis für die Behandlung von 1t MVA-Aschen in der weitergehenden Aufbereitung (Grobfraktion in Straßenbau, Feinfraktion auf DK II)

	Treibhauseffekt kg CO2 eq	Versauerung kg SO2 eq	Eutrophierung kg PO4 eq	Feinstaub kg PM 10 eq	Fläche m2	POCP kg ethylen eq	KEA Summe kJ
Deponie	6,92E-13	2,15E-12	2,65E-12	3,37E-12	1,14E-13	1,21E-13	6,46E-13
Transport	2,16E-12	4,89E-12	6,76E-12	8,49E-12	1,76E-15	8,98E-13	2,05E-12
Betriebsmittel	3,18E-11	1,66E-11	1,07E-11	1,85E-11	1,50E-11	1,95E-12	3,76E-11
Kiesgutschrift	-9,11E-12	-1,58E-11	-1,80E-11	-2,49E-11	-2,77E-12	-1,05E-12	-9,71E-12
Summe	2,55E-11	7,81E-12	2,12E-12	5,48E-12	1,24E-11	1,93E-12	3,06E-11

Tabelle 1.29 Absolutes Ökobilanzergebnis für die Verwertung von 1t MVA-Aschen im Straßenbau

	Treibhauseffekt kg CO2 eq	Versauerung kg SO2 eq	Eutrophierung kg PO4 eq	Feinstaub kg PM 10 eq	Fläche m2	POCP kg ethylen eq	KEA Summe kJ
Kiesgutschrift	-11,16	-0,05	-0,01	-0,07	-0,15	-0,0008	-1,68E+05
Transport	1,72	0,01	0,002	0,02	0,0001	0,0004	2,30E+04
Summe	-9,44	-0,04	-0,01	-0,05	-0,15	-0,0004	-144.729

Tabelle 1.30 Normiertes Ökobilanzergebnis für die Verwertung von 1t MVA-Aschen im Straßenbau

	Treibhauseffekt kg CO2 eq	Versauerung kg SO2 eq	Eutrophierung kg PO4 eq	Feinstaub kg PM 10 eq	Fläche m2	POCP kg ethylen eq	KEA Summe kJ
Kiesgutschrift	-1,10E-11	-1,90E-11	-2,16E-11	-3,00E-11	-3,33E-12	-1,26E-12	-1,17E-11
Transport	1,69E-12	3,82E-12	5,28E-12	6,64E-12	1,37E-15	7,02E-13	1,60E-12
Summe	-9,28E-12	-1,52E-11	-1,64E-11	-2,34E-11	-3,33E-12	-5,59E-13	-1,01E-11

1.2 Ergebnisse der Hierarchisierung

Tabelle 1.31 Hierarchisierung der Ökobilanzergebnisse für die Filterstäube und die festen Abfälle aus der Abfallverbrennung

	Spezifischer Beitrag	distance to target	Ökologische Gefährdung	Ranking
Treibhauseffekt	D	A	A	groß
Versauerung	B	B	B	groß
Eutrophierung	B	B	B	groß
Feinstaub	A	B	B	groß
Fläche	E	B	A	mittel
POCP	E	B	D	gering
Energetische Ressourcen	D	B	C	mittel

Tabelle 1.32 Hierarchisierung der Ökobilanzergebnisse für die Galvanikschlämme

	Spezifischer Beitrag	distance to target	Ökologische Gefährdung	Ranking
Treibhauseffekt	C	A	A	groß
Versauerung	B	B	B	groß
Eutrophierung	B	B	B	groß
Feinstaub	A	B	B	groß
Fläche	E	B	A	mittel
POCP	E	B	D	gering
Energetische Ressourcen	C	B	C	mittel
Metallische Ressourcen	AAA			groß

Tabelle 1.33 Hierarchisierung der Ökobilanzergebnisse für die Elektrostahlwerksstäube

	Spezifischer Beitrag	distance to target	Ökologische Gefährdung	Ranking
Treibhauseffekt	D	A	A	groß
Versauerung	C	B	B	groß
Eutrophierung	C	B	B	groß
Feinstaub	A	B	B	groß
Fläche	E	B	A	mittel
POCP	E	B	D	gering
Energetische Ressourcen	E	B	C	mittel
Zink- und Blei-Ressourcen	AAA			groß

Tabelle 1.34 Hierarchisierung der Ökobilanzergebnisse für die Stäube aus der Edelstahlproduktion

	Spezifischer Beitrag	distance to target	Ökologische Gefährdung	Ranking
Treibhauseffekt	D	A	A	groß
Versauerung	C	B	B	groß
Eutrophierung	B	B	B	groß
Feinstaub	A	B	B	groß
Fläche	E	B	A	mittel
POCP	D	B	D	mittel
Energetische Ressourcen	D	B	C	mittel
Metallische Ressourcen	AAA			groß

Tabelle 1.35 Hierarchisierung der Ökobilanzergebnisse für die Rost- und Kesselaschen (19 01 12 und 19 01 11*)

	Spezifischer Beitrag	distance to target	Ökologische Gefährdung	Ranking
Treibhauseffekt	A	A	A	sehr groß
Versauerung	A	B	B	groß
Eutrophierung	D	B	B	mittel
Feinstaub	C	B	B	groß
Fläche	E	B	A	mittel
POCP	E	B	D	gering
KEA Summe	A	B	C	groß
Kiesverbrauch	AA	E	E	mittel

2 Berechnung und Ergebnisse der Stoffstromanalyse

2.1 Allgemeine Grunddaten

Tabelle 2.1 Stromerzeugung

Steinkohleanteil am Strommix	%	22,0000
Braunkohleanteil am Strommix	%	25,1000
StK-Anteil an Stromverbrauch	kWh/t	7,4140
BrK-Anteil an Stromverbrauch	kWh/t	8,4587
StK-Ascheanfall Stromerzeugung	kg/kWh	0,0530
BrK-Ascheanfall Stromerzeugung	kg/kWh	0,0474
REA-Gips-Anfall Strom StK	kg/kWh	0,0087
REA-Gips-Anfall Strom BrK	kg/kWh	0,0125

Tabelle 2.2 Stromverbräuche

Bergversatz	kWh/t Abfall	33,7
Konditionierung	kWh/t Abfall	80,0
Cu-Bergbau	kWh/t Cu	2.517,0
Ni-Bergbau	kWh/t Ni	930,0
Cr-Bergbau	kWh/t Cr	131,0
Zn/Pb-Bergbau	kWh/t Metall	532,0

Tabelle 2.3 Feststoffwerte

Stoff	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	TI	V	Zn
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Zement	28,00	4,05	15,50	58,50	142,50	0,0275		42,75	101,00	1,25		235,00
BrK-Flugasche	13,80	2,00		40,80	11,80	0,1200		10,00	24,40	1,25		40,00
StK-Flugasche	241,00	8,60		133,00	211,00	0,6000		110,00	546,00	16,00		910,00
REA-Gips (Stk)	1,46	0,15		5,37	4,88	0,6800		6,60	11,14	0,24		
REA-Gips (BrK)	2,32	0,09		3,78	2,88	0,7800		2,42	7,05			
Sand	1,30	0,10		1,50	3,00	0,0100	1,00	5,00	10,00		3,30	11,00
Kies		0,10		33,00	17,00			23,00	23,00			67,00

Tabelle 2.4 Bergbau

Bergbau	Metall in Berge	Umweltkompartiment	Einheit	Verluste
Cu-Bergbau	Cu	Halde	kg/t Cu-Produkt	162,0
Ni-Bergbau	Ni	Halde	kg/t Ni-Produkt	141,8
		Versatz		78,2
Cr-Bergbau	Cr	Halde	kg/t Cr-Produkt	219,5
Zn/Pb Bergbau	Zn	Halde	kg/t Metall-Produkte	171,9
	Pb	Halde		8,9

2.2 Galvanikschlamm mit 60 % Wasser (AVV 11 01 09*)

Tabelle 2.5 Schwermetallgehalte Galvanikschlamm

	Schwermetallgehalte Galvanikschlamm			kg Cr-äq/t	Anteil Cr-äq/t
	% TS	mg/kg TS	kg/t GS		
Cu	7,5	75.000	30,0	15,000	52,73
Ni	3,0	30.000	12,0	6,000	21,09
Pb	0,5	5.000	2,0	2,000	7,03
Cr	1,0	10.000	4,0	4,000	14,06
Zn	3,0	30.000	12,0	1,448	5,09
Gesamt				28,448	

Entsorgungsvariante Bergversatz

Tabelle 2.6 Grunddaten Bergversatz

Feststoffanteil	kg/t GS	400,0
StK-Anteil an Stromverbrauch	kWh/t	7,414
BrK-Anteil an Stromverbrauch	kWh/t	8,4587
StK-Ascheanfall spezifisch	kg/t GS	0,3929
BrK-Ascheanfall spezifisch	kg/t GS	0,4009
REA-StK-spezifisch	kg/t GS	0,0644
REA-BrK spezifisch	kg/t GS	0,1054

Tabelle 2.7 Stoffströme Bergversatz

Stoffstrom	Umwelt-kompartiment	Bezugs-größe	Einheit	Spez. Schadstoffanfall						kg Cr- äq/t
				Cu	Ni	Pb	Cr	Zn	Andere SM	
Galvanikschlamm	Bergversatz	GS	kg/t	30,00	12,00	2,00	4,00	1,45		28,4483
StK-Asche aus Stromerzeugung	Straßenbau	GS	mg/t	82,91	43,22	214,55	52,26	357,58	104,61	0,0006
BrK-Asche aus Stromerzeugung	Straßenbau/ Baustoff	GS	mg/t	4,73	4,01	9,78	16,36	16,04	6,88	
REA-Gips StK aus Stromerzeugung	Baustoff/ Deponie	GS	mg/t	0,31	0,42	0,72	0,35		0,16	
REA-Gips BrK aus Stromerzeugung	Baustoff/ Deponie	GS	mg/t	0,30	0,25	0,74	0,40		0,33	
Sand und Kies (50:50)		GS	mg/t	4.000,00	5.600,00	6.600,00	6.900,00	15.600,00	1.162,00	0,0222

Entsorgungsvariante Ablagerung auf DK III

Tabelle 2.8 Stoffströme Ablagerung auf Deponie

Stoffstrom	Umwelt-kompartiment	Bezugsgröße	Einheit	Spez. Schadstoffanfall					kg Cr-äq/t
				Cu	Ni	Pb	Cr	Zn	
Galvanikschlamm	Deponie	GS	kg/t	30,00	12,00	2,00	4,00	1,45	28,4483

2.3 Edelstahlstäube (AVV 10 02 07*)

Tabelle 2.13 Schwermetallgehalte Edelstahlstäube

	Schwermetallgehalte Edelstahlstäube			kg Cr-äq/t	Anteil Cr-äq/t %
	%	mg/kg	kg/t		
Fe	32,80	328.000	328,00		
Cr	11,35	113.500	113,50	113,50	81,78
Ni	2,40	24.000	24,00	12,00	8,65
Zn	7,70	77.000	77,00	9,29	6,70
Pb	0,40	4.000	4,00	4,00	2,88
Gesamt				138,79	

Entsorgungsvariante Bergversatz

Tabelle 2.14 Grunddaten Bergversatz

Feststoffanteil	kg/t ESS	1.000,00
StK-Anteil an Stromverbrauch	kWh/t	7,4140
BrK-Anteil an Stromverbrauch	kWh/t	8,4587
StK-Ascheanfall spezifisch	kg/t ESS	0,3929
BrK-Ascheanfall spezifisch	kg/t ESS	0,4009
REA-StK-spezifisch	kg/t ESS	0,0644
REA-BrK spezifisch	kg/t ESS	0,1054

Tabelle 2.15 Stoffströme Bergversatz

Stoffstrom	Umwelt-kompartiment	Bezugs-größe	Einheit	Spez. Schadstoffanfall						kg Cr-äq/t
				Fe	Ni	Pb	Cr	Zn	Andere SM	
Edelstahlstäube	Bergversatz	ESS	kg/t	328,00	24,00	4,00	113,50	77,0		138,79
StK-Asche aus Stromerzeugung	Straßenbau	ESS	mg/t		43,22	214,55	52,26	357,58	187,52	0,0006
BrK-Asche aus Stromerzeugung	Straßenbau/ Baustoff	ESS	mg/t		4,01	9,78	16,36	16,04	11,61	
REA-Gips StK aus Stromerzeugung	Baustoff/ Deponie	ESS	mg/t		0,42	0,72	0,35		0,47	
REA-Gips BrK aus Stromerzeugung	Baustoff/ Deponie	ESS	mg/t		0,25	0,74	0,40		0,63	
Sand und Kies (50:50)		ESS	mg/t		14.000,00	16.500,00	17.250,00	39.000,00	12.905,00	0,0555

Entsorgungsvariante Konditionierung mit anschließender Entsorgung auf DK III

Tabelle 2.16 Grunddaten Konditionierung

Anteil Zement für Konditionierung A		0,33
Anmachwasser Konditionierung A	kg/t ESS	165
Konditionierter Abfall A	kg/t ESS	1.495
Anteil BrK-Flugasche für Konditionierung B		0,175
Anteil REA-Gips StK für Konditionierung B		0,175
Anmachwasser Konditionierung B	kg/t ESS	175
Konditionierter Abfall B	kg/t ESS	1.525
Stromverbrauch (K A) für 1 t ESS	kWh/t	119,6
Stromverbrauch (K B) für 1 t ESS	kWh/t	122,0
Zement für 1 t ESS	kg/t	330,0
BrK-Flugasche für 1 t ESS	kg/t	175,0
REA-Gips StK für 1 t ESS	kg/t	175,0

Tabelle 2.17 Stoffströme Konditionierung mit anschließender Entsorgung auf Deponie

Stoffstrom	Umwelt-kompartiment	Bezugs-größe	Ein-heit	Spez. Schadstoffanfall						kg Cr-äq/t
				Fe	Ni	Pb	Cr	Zn	Andere SM	
Edelstahlstäube	DK III	ESS	kg/t	328,00	24,00	4,00	113,50	77,00		138,79
Zement in kond. Abfall A	DK III	ESS	mg/t		14.107,52	33.330,00	19.305,04	77.550,00	63.138,08	0,13
BrK-FA und REA-Gips in kond. Abfall B	DK III	ESS	mg/t		2.905,04	6.218,40	8.079,76	7.000,00	6.363,20	0,03
Asche/REA-Gips Strom-erzeugung Kond. A	Straßenbau/Bau-stoff/Deponie	ESS								0,0022
Asche/REA-Gips Strom-erzeugung Kond. B	Straßenbau/Bau-stoff/Deponie	ESS								0,0022

Entsorgungsvariante Elektroreduktionsverfahren mit anschließender Aufbereitung des Pb- und Zn-haltigen Filterstaubs in Wälzanlage

Tabelle 2.18 Grunddaten Elektroreduktionsverfahren und Wälzanlage

	Transferfaktoren Elektroreduktionsverfahren			Transferfaktoren Wälzanlage		
	Schlacke	Filterstaub	Produkt	Schlacke	Jarosit	Produkt
Fe	0,06		0,94			
Cr	0,13		0,87			
Ni	0,06		0,94			
Zn	0,01	0,99		0,05		0,94
Pb	0,01	0,99		0,15	0,33	0,51

Stromverbrauch Elektroreduktion	kWh/t	2.000
---------------------------------	-------	-------

2.4 Elektrostahlwerksstäube (AVV 10 02 07*)

Tabelle 2.20 Schwermetallgehalte Elektrostahlwerksstäube

	Schwermetallgehalte Elektrostahlwerksstäube			kg Cr-äq/t	Anteil Cr-äq/t
	%	mg/kg	kg/t		
Fe	30,00	300.000	300,00		
Cr	0,34	3.400	3,40	3,40	5,86
Ni	0,02	200	0,20	0,10	0,17
Zn	21,50	215.000	215,00	25,95	44,72
Pb	2,30	23.000	23,00	23,00	39,64
Andere	0,34	3.400	3,40	5,57	9,60
Gesamt				58,02	

Entsorgungsvariante Bergversatz

Tabelle 2.21 Grunddaten Bergversatz

Feststoffanteil	kg/t ESWS	1.000,00
StK-Anteil an Stromverbrauch	kWh/t	7,4140
BrK-Anteil an Stromverbrauch	kWh/t	8,4587
StK-Ascheanfall spezifisch	kg/t ESWS	0,3929
BrK-Ascheanfall spezifisch	kg/t ESWS	0,4009
REA-StK-spezifisch	kg/t ESWS	0,0644
REA-BrK spezifisch	kg/t ESWS	0,1054

Tabelle 2.22 Stoffströme Bergversatz

Stoffstrom	Umweltkompartiment	Bezugsgröße	Einheit	Spez. Schadstoffanfall						Andere SM	kg Cr-äq/t
				Fe	Zn	Pb	Cr	Cd	Ni		
Elektrostahlwerkstäube	Bergversatz	ESWS	kg/t	300,00	215,00	23,00	3,40	0,30	0,20	2,90	58,02
StK-Asche aus Stromerzeugung	Straßenbau	ESWS	mg/t		357,58	214,55	52,26		43,22	187,52	0,0006
BrK-Asche aus Stromerzeugung	Straßenbau/ Baustoff	ESWS	mg/t		16,04	9,78	16,36		4,01	11,61	
REA-Gips StK aus Stromerzeugung	Baustoff/ Deponie	ESWS	mg/t			0,72	0,35		0,42	0,47	
REA-Gips BrK aus Stromerzeugung	Baustoff/ Deponie	ESWS	mg/t			0,74	0,40		0,25	0,63	
Sand und Kies (50:50)		ESWS	mg/t		39.000,00	16.500,00	17.250,00	100,00	14.000,00	12.805,00	0,0555

Entsorgungsvariante Konditionierung mit anschließender Entsorgung auf DK II

Tabelle 2.23 Grunddaten Konditionierung

Anteil Zement für Konditionierung A		0,33
Anmachwasser Konditionierung A	kg/t ESWS	165
Konditionierter Abfall A	kg/t ESWS	1.495
Anteil BrK-Flugasche für Konditionierung B		0,175
Anteil REA-Gips StK für Konditionierung B		0,175
Anmachwasser Konditionierung B	kg/t ESWS	175
Konditionierter Abfall B	kg/t ESWS	1.525
Stromverbrauch (K A) für 1 t ESWS	kWh/t	119,6
Stromverbrauch (K B) für 1 t ESWS	kWh/t	122,0
Zement für 1 t ESWS	kg/t	330,0
BrK-Flugasche für 1 t ESWS	kg/t	175,0
REA-Gips StK für 1 t ESWS	kg/t	175,0

Tabelle 2.24 Stoffströme Konditionierung mit anschließender Entsorgung auf Deponie

Stoffstrom	Umwelt-kompartiment	Bezugs-größe	Ein-heit	Schadstoffanfall						kg Cr-äq/t
				Fe	Ni	Pb	Cr	Zn	Andere SM	
Elektrostahlwerksstäube	DK II	ESWS	kg/t	300,00	0,20	23,00	3,40	215,00	3,40	58,02
Zement im kond. Abfall A	DK II	ESWS	mg/t		14.107,52	33.330,00	19.305,04	77.550,00	63.138,08	0,13
BrK-FA und REA-Gips im kond. Abfall B	DK II	ESWS	mg/t		2.905,04	6.218,40	8.079,76	7.000,00	6.363,20	0,03
Asche/REA-Gips Stromerzeugung Konditionierung A	Straßenbau/Bau-stoff/Deponie	ESWS								0,0022
Asche/REA-Gips Stromerzeugung Konditionierung B	Straßenbau/Bau-stoff/Deponie	ESWS								0,0022

Entsorgungsvariante Wälzverfahren

Tabelle 2.25 Grunddaten Wälzverfahren

	Transferfaktoren		
	Schlacke	Wälzoxid	Jarosit
Fe	0,97	0,03	
Zn	0,05	0,95	
Pb	0,15	0,85	0,33
Cr	0,30	0,70	1,00
Cd	0,02	0,98	

2.5 Feste Abfälle aus der Abgasbehandlung von Abfallverbrennungsanlagen (AVV 19 01 07*)

Tabelle 2.27 Schwermetallgehalte fester Abfälle aus der Abgasbehandlung von Abfallverbrennungsanlagen

	Schwermetallgehalte Mittelwert	kg Cr-äq/t	Anteil Cr-äq/t
	mg/kg TS		%
Cd	162,02	2,268	23,64
Pb	3.022,99	3,023	31,50
Hg	60,83	2,129	22,19
Cu	782,89	0,391	4,08
Zn	8.735,87	1,054	10,99
Sb	417,44	0,584	6,09
As	26,93	0,019	0,20
Cr	93,85	0,094	0,98
Ni	64,51	0,032	0,34
Gesamt		9,596	

Entsorgungsvariante Bergversatz

Tabelle 2.28 Grunddaten Bergversatz

Feststoffanteil	kg/t fA	1.000,00
StK-Ascheanfall spezifisch	kg/t fA	0,3929
BrK-Ascheanfall spezifisch	kg/t fA	0,4009
REA-StK-spezifisch	kg/t fA	0,0644
REA-BrK spezifisch	kg/t fA	0,1054

Tabelle 2.29 Stoffströme Bergversatz

Stoffstrom	Umweltkompartiment	Bezugsgröße	Einheit	Spez. Schadstoffanfall							kg Cr-äq/t
				Cd	Pb	Hg	Cu	Sb	Zn	Andere SM	
Feste Abfälle a.d. AV	Bergversatz	fA	kg/t	0,162	3,023	0,061	0,783	0,417	8,736	0,185	9,596
StK-Asche aus Stromerzeugung	Straßenbau	fA	mg/t	3,38	214,55	0,24	82,91		357,58	196,47	0,0006
BrK-Asche aus Stromerzeugung	Straßenbau/ Baustoff	fA	mg/t	0,80	9,78	0,05	4,73		16,04	26,40	
REA-Gips StK aus Stromerzeugung	Baustoff/ Deponie	fA	mg/t	0,01	0,72	0,04	0,31			0,88	
REA-Gips BrK aus Stromerzeugung	Baustoff/ Deponie	fA	mg/t	0,01	0,74	0,08	0,30			0,89	
Sand und Kies (50:50)		fA	mg/t	100,00	16.500,00	5,00	10.000,00		39.000,00	34.050,00	0,0555

Entsorgungsvariante Ablagerung auf Deponie Klasse III

Tabelle 2.30 Stoffströme Ablagerung auf Deponie

Stoffstrom	Umweltkompartiment	Bezugsgröße	Einheit	Spez. Schadstoffanfall							kg Cr-äq/t
				Cd	Pb	Hg	Cu	Zn	Sb	Andere SM	
Fester Abfall	Deponie	fA	kg/t	0,162	3,023	0,068	0,783	8,736	0,417	0,185	9,596

Entsorgungsvariante Konditionierung mit Wäsche und anschließender Entsorgung der Grobfraktion auf DK II und Verwendung der Schlammfraktion im Bergversatz

Tabelle 2.33 Grunddaten Konditionierung mit Wäsche

Anteil Zement für Konditionierung A		0,50
Anmachwasser Konditionierung A	kg/t fA	163
Konditionierter Abfall A	kg/t fA	1.488
Anteil BrK-Flugasche für Konditionierung B		0,25
Anteil REA-Gips StK für Konditionierung B		0,25
Anmachwasser Konditionierung B	kg/t fA	163
Konditionierter Abfall B	kg/t fA	1.488
Stromverbrauch (K A) für 1 t fA	kWh/t	119,0
Stromverbrauch (K B) für 1 t fA	kWh/t	119,0
Zement für 1 t fA	kg/t	325
BrK-Flugasche für 1 t fA	kg/t	163
REA-Gips StK für 1 t fA	kg/t	163

Tabelle 2.34 Transferfaktoren und Schwermetallgehalte

	Transferfaktoren		Gehalte	
	Waschwasser	Feststoff	Waschwasser	Feststoff
			mg/kg fA	mg/kg fA
Cd	0,89	0,11	144,20	17,82
Pb	0,22	0,78	665,06	2.357,93
Hg	0,50	0,50	30,42	30,42
Cu	0,18	0,82	140,92	641,97
Zn	0,68	0,32	5.940,39	2.795,48
Sb	0,50	0,50	208,72	208,72
Feststoff	0,35	0,65		

2.6 Aschen und Schlacken aus der Abfallverbrennung (AVV 19 01 11*)

Tabelle 2.36 Schwermetallgehalte von Aschen und Schlacken aus der Abfallverbrennung

	Schwermetallgehalte Mittelwert	kg Cr-äq/t	Anteil Cr-äq/t
	mg/kg A+S		%
Cd	38,78	0,543	6,92
Pb	1.911,92	1,912	24,39
Hg	0,76	0,027	0,34
Cu	2.859,46	1,430	18,24
Zn	10.610,84	1,281	16,33
Sb	310,22	0,434	5,54
As	17,79	0,013	0,16
Cr	774,72	0,775	9,88
Ni	1.648,91	0,825	10,52
V	334,67	0,586	7,47
Se	1,26	0,001	0,02
TI	1,77	0,016	0,20
Fe	9.273,00		
Gesamt		7,843	

Entsorgungsvariante Bergversatz

Tabelle 2.37 Grunddaten Bergversatz

Feststoffanteil + Wasser	kg/t A+S	1.000,00
StK-Ascheanfall spezifisch	kg/t A+S	0,3929
BrK-Ascheanfall spezifisch	kg/t A+S	0,4009
REA-StK-spezifisch	kg/t A+S	0,0644
REA-BrK spezifisch	kg/t A+S	0,1054

Tabelle 2.38 Stoffströme Bergversatz

Stoffstrom	Umweltkompartiment	Bezugsgröße	Einheit	Spez. Schadstoffanfall							kg Cr-äq/t
				V	Pb	Cr	Cu	Ni	Zn	Andere SM	
Asche u. Schlacke	Bergversatz	A+S	kg/t	0,335	1,912	0,775	2,859	1,649	10,611	0,371	7,843
StK-Asche aus Stromerzeugung	Straßenbau	A+S	mg/t		214,55	52,26	82,91	43,22	357,58	104,61	0,0006
BrK-Asche aus Stromerzeugung	Straßenbau/ Baustoff	A+S	mg/t		9,78	16,36	4,73	4,01	16,04	6,88	
REA-Gips StK aus Stromerzeugung	Baustoff/ Deponie	A+S	mg/t		0,72	0,35	0,31	0,42		0,16	
REA-Gips BrK aus Stromerzeugung	Baustoff/ Deponie	A+S	mg/t		0,74	0,40	0,30	0,25		0,33	
Sand und Kies (50:50)		A+S	mg/t	1.650,00	16.500,00	17.250,00	10.000,00	14.000	39.000,00	1.255,00	0,0555

Entsorgungsvariante „Weitergehende Aufbereitung“ und anschließender Verwendung der Schlacke im Straßenbau und der Entsorgung der Feinfraktion auf Deponie bzw. im Bergversatz

Tabelle 2.42 Transferfaktoren der weitergehenden Aufbereitung

	Schlacke in Straßenbau	Feinfraktion auf DK II
Sb	0,50	0,50
Cd	0,58	0,42
Cr	0,49	0,51
Ni	0,25	0,75
Pb	0,15	0,85
Cu	0,50	0,50
Zn	0,22	0,78
V	0,50	0,50
As	0,50	0,50
Se	0,50	0,50
Tl	0,50	0,50
Hg	0,50	0,50

Tabelle 2.43 Stoffströme der weitergehenden Aufbereitung

Stoffstrom	Umwelt-kompartiment	Bezugsgröße	Einheit	Schadstoffanfall								kg Cr-äq/t
				Cd	Cr	Ni	Pb	Cu	Zn	V	Andere SM	
Schlacke	Straßenbau	A+S	kg/t	0,022	0,380	0,412	0,287	1,430	2,334	0,167	0,166	2,722
Feinfraktion	DK II	A+S	kg/t	0,016	0,395	1,237	1,625	1,430	8,276	0,167	0,166	5,118
Feinfraktion	Bergversatz	A+S	kg/t	0,016	0,395	1,237	1,625	1,430	8,276	0,167	0,166	5,118

2.7 Aschen und Schlacken aus der Abfallverbrennung (AVV 19 01 12)

Tabelle 2.44 Schwermetallgehalte der Aschen und Schlacken aus der Abfallverbrennung

	Schwermetallgehalte	kg Cr-äq/t	Anteil Cr-äq/t
	Mittelwert		
	mg/kg A+S		%
Cd	18,79	0,263	5,61
Pb	1.503,89	1,504	32,08
Hg	1,88	0,066	1,40
Cu	2.615,80	1,308	27,90
Zn	3.498,84	0,422	9,01
Sb	62,34	0,087	1,86
As	18,45	0,013	0,28
Cr	438,96	0,439	9,36
Ni	428,71	0,214	4,57
V	185,32	0,324	6,92
Se	15,63	0,016	0,33
TI	3,59	0,031	0,67
Gesamt		4,687	

Entsorgungsvariante Bergversatz

Tabelle 2.45 Grunddaten Bergversatz

Feststoffanteil + Wasser	kg/t A+S	1.000,00
StK-Ascheanfall spezifisch	kg/t A+S	0,3929
BrK-Ascheanfall spezifisch	kg/t A+S	0,4009
REA-StK-spezifisch	kg/t A+S	0,0644
REA-BrK spezifisch	kg/t A+S	0,1054

Tabelle 2.46 Stoffströme Bergversatz

Stoffstrom	Umweltkompartiment	Bezugsgröße	Einheit	Spez. Schadstoffanfall							kg Cr-äq/t
				Cd	Pb	V	Cu	Cr	Zn	Andere SM	
Asche u. Schlacke	Bergversatz	A+S	kg/t	0,019	1,504	0,185	2,616	0,439	3,499	0,531	4,687
StK-Asche aus Stromerzeugung	Straßenbau	A+S	mg/t	3,38	214,55		82,91	52,26	357,58	144,45	0,0006
BrK-Asche aus Stromerzeugung	Straßenbau/ Baustoff	A+S	mg/t	0,80	9,78		4,73	16,36	16,04	10,09	
REA-Gips StK aus Stromerzeugung	Baustoff/ Deponie	A+S	mg/t	0,01	0,72		0,31	0,35		0,57	
REA-Gips BrK aus Stromerzeugung	Baustoff/ Deponie	A+S	mg/t	0,01	0,74		0,30	0,40		0,57	
Sand und Kies (50:50)		A+S	mg/t	100,00	16.500,00	1.650,00	10.000,00	17.250,00	39.000,00	15.155,00	0,0555

Entsorgungsvariante Ablagerung auf Deponie

Tabelle 2.47 Stoffströme Ablagerung auf Deponie

Stoffstrom	Umweltkompartiment	Bezugsgröße	Einheit	Spez. Schadstoffanfall							kg Cr-äq/t
				Cd	Pb	V	Cu	Zn	Cr	Andere SM	
Asche u. Schlacke	Deponie	A+S	kg/t	0,019	1,504	0,185	2,616	3,499	0,439	0,531	4,687

Entsorgungsvariante Verwendung im Straßenbau

Tabelle 2.48 Stoffströme Verwendung im Straßenbau

Stoffstrom	Umwelt-kompartiment	Bezugsgröße	Einheit	Spez. Schadstoffanfall							kg Cr-äq/t
				Cd	Pb	V	Cu	Zn	Cr	Andere SM	
Asche u. Schlackel	Straßenbau	A+S	kg/t	0,019	1,504	0,185	2,616	3,499	0,439	0,531	4,687

Entsorgungsvariante „Weitergehende Aufbereitung“ und anschließender Verwendung der Schlacke im Straßenbau und der Entsorgung der Feinfraktion auf Deponie bzw. im Bergversatz

Tabelle 2.49 Transferfaktoren der weitergehenden Aufbereitung

	Schlacke in Straßenbau	Feinfraktion auf DK II
Sb	0,50	0,50
Cd	0,58	0,42
Cr	0,49	0,51
Ni	0,25	0,75
Pb	0,15	0,85
Cu	0,50	0,50
Zn	0,22	0,78
V	0,50	0,50
As	0,50	0,50
Se	0,50	0,50
Tl	0,50	0,50
Hg	0,50	0,50

Tabelle 2.50 Stoffströme der weitergehenden Aufbereitung

Stoffstrom	Umwelt-kompartiment	Bezugsgröße	Einheit	Schadstoffanfall								kg Cr-äq/t
				Cd	Cr	Ni	Pb	Cu	Zn	V	Andere SM	
Schlacke	Straßenbau	A+S	kg/t	0,011	0,215	0,107	0,226	1,308	0,770	0,093	0,051	1,662
Feinfraktion	DK II	A+S	kg/t	0,008	0,224	0,322	1,278	1,308	2,729	0,093	0,051	3,025
Feinfraktion	Bergversatz	A+S	kg/t	0,008	0,224	0,322	1,278	1,308	2,729	0,093	0,051	3,025

2.8 Filterstäube aus der Abfallverbrennung (AVV 19 01 13*)

Tabelle 2.51 Schwermetallgehalte der Filterstäube aus der Abfallverbrennung

	Schwermetallgehalte	kg Cr-äq/t	Anteil Cr-äq/t
	Mittelwert		
	mg/kg TS		%
Cd	248,0	3,472	24,52
Pb	5.590,0	5,590	39,48
Hg	8,8	0,308	2,18
Cu	1.481,0	0,741	5,23
Zn	19.981,0	2,412	17,03
Sb	570,0	0,798	5,64
As	91,0	0,064	0,45
Cr	348,0	0,348	2,46
Ni	199,0	0,100	0,70
V	174,0	0,305	2,15
Se	22,3	0,022	0,16
Gesamt		14,160	

Entsorgungsvariante Bergversatz

Tabelle 2.52 Grunddaten Bergversatz

Feststoffanteil + Wasser	kg/t A+S	1.000,00
StK-Ascheanfall spezifisch	kg/t A+S	0,3929
BrK-Ascheanfall spezifisch	kg/t A+S	0,4009
REA-StK-spezifisch	kg/t A+S	0,0644
REA-BrK spezifisch	kg/t A+S	0,1054

Tabelle 2.53 Stoffströme Bergversatz

Stoffstrom	Umweltkompartiment	Bezugsgröße	Einheit	Spez. Schadstoffanfall							kg Cr-äg/t
				Cd	Pb	Cr	Cu	Sb	Zn	Andere SM	
Filterstaub a. d. AV	Bergversatz	FS	kg/t	0,248	5,590	0,348	1,481	0,570	19,981	0,495	14,160
StK-Asche aus Stromerzeugung	Straßenbau	FS	mg/t	3,38	214,55	52,26	82,91		357,58	144,45	0,0006
BrK-Asche aus Stromerzeugung	Straßenbau/ Baustoff	FS	mg/t	0,80	9,78	16,36	4,73		16,04	10,09	
REA-Gips StK aus Stromerzeugung	Baustoff/ Deponie	FS	mg/t	0,01	0,72	0,35	0,31			0,57	
REA-Gips BrK aus Stromerzeugung	Baustoff/ Deponie	FS	mg/t	0,01	0,74	0,40	0,30			0,57	
Sand und Kies 50:50)		FS	mg/t	100,00	16.500,00	17.250,00	10.000,00		39.000,00	16.805,00	0,0555

Entsorgungsvariante Ablagerung auf Deponie

Tabelle 2.54 Stoffströme Ablagerung auf Deponie

Stoffstrom	Umwelt-kompartiment	Bezugsgröße	Einheit	Spez. Schadstoffanfall						kg Cr-äq/t	
				Cd	Pb	Cr	Cu	Zn	Sb		Andere SM
Filterstaub	Deponie	FS	kg/t	0,248	5,590	0,348	1,481	19,981	0,570	0,495	14,160

Entsorgungsvariante Konditionierung und anschließende Entsorgung auf DK II

Tabelle 2.55 Grunddaten Konditionierung

Anteil Zement für Konditionierung A		0,33
Anmachwasser Konditionierung A	kg/t FS	165
Konditionierter Abfall A	kg/t FS	1.495
Anteil BrK-Flugasche für Konditionierung B		0,175
Anteil REA-Gips StK für Konditionierung B		0,175
Anmachwasser Konditionierung B	kg/t FS	175
Konditionierter Abfall B	kg/t FS	1.525
Stromverbrauch (K A) für 1 t FS	kWh/t	119,6
Stromverbrauch (K B) für 1 t FS	kWh/t	122,0
Zement für 1 t FS	kg/t	330,0
BrK-Flugasche für 1 t FS	kg/t	175,0
REA-Gips StK für 1 t FS	kg/t	175,0

