

TEXTE 100/2017

Umweltforschungsplan des  
Bundesministeriums für Umwelt,  
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Forschungskennzahl 3714 31 325 0  
UBA-FB 002568/ANH

## **Potenziale und Maßnahmen zur Vermeidung und insbesondere zur hochwertigen Verwertung gefährlicher Abfälle**

Anhang

von

Günter Dehoust, Peter Küppers, Hartmut Stahl  
Öko-Institut e.V.

Holger Alwast, Arno Häusler  
Prognos AG


Rüdiger Oetjen-Dehne, Nadine Buschow, Hilmar Conrad  
Oetjen-Dehne & Partner Umwelt- und Energie-Consult GmbH

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

# Impressum

**Herausgeber:**

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

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

**Durchführung der Studie:**

Öko-Institut e.V.  
Schicklerstraße 5-7  
10179 Berlin

Prognos AG  
Goethestraße 85  
10623 Berlin

Oetjen-Dehne & Partner Umwelt- und Energie-Consult GmbH  
Levetzowstraße 10A  
10555 Berlin

**Abschlussdatum:**

Juli 2017

**Redaktion:**

Fachgebiet III 1.5 Kommunale Abfallwirtschaft, Gefährliche Abfälle, Anlaufstelle  
Basler Übereinkommen  
David Geißler

Publikationen als pdf:

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

ISSN 1862-4359

Dessau-Roßlau, November 2017

Das diesem Bericht zu Grunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit unter der Forschungskennzahl 3714 31 325 0 finanziert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	7
Tabellenverzeichnis .....	7
Abkürzungsverzeichnis .....	8
1 Überblick über die eingebundenen Experten (Fachbeirat) .....	9
2 „TOP 50-Ranking“ gefährlicher Abfälle im Jahr 2012 .....	10
3 Erster Vorschlag für die Auswahl von 25 gefährlichen Abfallarten nach AVV-Schlüsseln im Jahr 2012 – absteigend sortiert .....	13
4 Katalog der Wirtschaftszweige (Auszug) .....	15
5 In NRW im verarbeitenden Gewerbe erzeugte Menge der untersuchungsrelevanten gefährlichen Abfallarten im Jahr 2012 in 1.000 Mg/a .....	16
6 Insgesamt in NRW entsorgte Menge der untersuchungsrelevanten gefährlichen Abfallarten im Jahr 2012 in 1.000 Mg/a .....	19
7 Katalog der Entsorgungsanlagentypen .....	22
8 Gefahrenklasse und -kategorie, Gefahrenhinweise, Berücksichtigungsgrenzwert und Grenzkonzentrationen für die Einstufung von Abfällen als gefährlich nach HP 4 .....	23
9 Gesamtschau: Eingesetzte Verfahrenstechniken zur Entsorgung der ausgewählten gefährlichen Abfallarten .....	24
10 Verfahrenssteckbrief AS 060101* - Schwefelsäure und schweflige Säure (HZVA von Säuren) .....	26
11 Verfahrenssteckbrief für AS 060205* - andere Basen (HZVA von Basen) .....	31
12 Verfahrenssteckbrief für AS 070103* - Halogenorganische Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen aus HZVA organischer Grundchemikalien .....	36
13 Verfahrenssteckbrief für AS 070104* - organische Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen aus HZVA organischer Grundchemikalien .....	45
14 Verfahrenssteckbrief für AS 070107* - halogenierte Reaktions- und Destillationsrückstände (HZVA organischer Grundchemikalien) .....	53
15 Verfahrenssteckbrief für AS 070108* - andere Reaktions- und Destillationsrückstände (HZVA organischer Grundchemikalien) .....	59
16 Verfahrenssteckbrief für AS 070204* - organische Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen aus HZVA von Kunststoffen, synthetischem Gummi und Kunstfasern .....	68
17 Verfahrenssteckbrief für AS 070208* - andere Reaktions- und Destillationsrückstände (HZVA von Kunststoffen, synthetischem Gummi und Kunstfasern) .....	76
18 Verfahrenssteckbrief für AS 070304* - andere organische Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen (HZVA von organischen Farbstoffen und Pigmenten (außer 06 11)) .....	83
19 Verfahrenssteckbrief für AS 070403* - Halogenorganische Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen aus HZVA von organischen Pflanzenschutzmitteln, Holzschutzmitteln und anderen Bioziden .....	91

20	Verfahrenssteckbrief für AS 070404* - andere organische Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen aus HZVA von organischen Pflanzenschutzmitteln, Holzschutzmitteln und anderen Bioziden .....	97
21	Verfahrenssteckbrief für AS 070503* - Halogenorganische Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen aus HZVA von Pharmazeutika .....	105
22	Verfahrenssteckbrief für AS 070504* - organische Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen aus HZVA von Pharmazeutika.....	114
23	Verfahrenssteckbrief für AS 070608* - andere Reaktions- und Destillationsrückstände (HZVA von Fetten, Schmierstoffen, Seifen, Waschmitteln, Desinfektionsmitteln und Körperpflegemitteln) .....	122
24	Verfahrenssteckbrief für AS 070703* - Halogenorganische Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen aus HZVA von Pharmazeutika .....	132
25	Verfahrenssteckbrief für AS 070704* - organische Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen aus HZVA von Feinchemikalien und Chemikalien a. n. g.....	141
26	Verfahrenssteckbrief für AS 070708* - andere Reaktions- und Destillationsrückstände (HZVA von Feinchemikalien und Chemikalien a. n. g.) .....	149
27	Verfahrenssteckbrief für AS 080111* - Farb- und Lackabfälle, die organische Lösemittel oder andere gefährliche Stoffe enthalten (HZVA und Entfernung von Farben und Lacken).....	157
28	Verfahrenssteckbrief für AS 080113* - Farb- oder Lackschlämme, die organische Lösemittel oder andere gefährliche Stoffe enthalten (HZVA und Entfernung von Farben und Lacken) .....	164
29	Verfahrenssteckbrief für AS 080117* - Abfälle aus der Farb- oder Lackentfernung, die organische Lösemittel oder andere gefährliche Stoffe enthalten (HZVA und Entfernung von Farben und Lacken) .....	167
30	Verfahrenssteckbrief für AS 100401* Schlacken (Erst- und Zweitschmelze) aus der thermischen Bleimetallurgie.....	176
31	Verfahrenssteckbrief für AS 110105* - saure Beizlösungen (Abfälle aus der chemischen Oberflächenbearbeitung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen (z. B. Galvanik, Verzinkung, Beizen, alkalisches Entfetten)) .....	178
32	Verfahrenssteckbrief für AS 110107* - alkalische Beizlösungen (Abfälle aus der chemischen Oberflächenbearbeitung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen (z. B. Galvanik, Verzinkung, Beizen, alkalisches Entfetten)) .....	188
33	Verfahrenssteckbrief für AS 110202* - Schlämme aus der Zink-Hydrometallurgie (einschließlich Jarosit, Goethit) (Abfälle aus Prozessen der Nichteisen-Hydrometallurgie) .....	193
34	Verfahrenssteckbrief für AS 120107* - Halogenfreie Bearbeitungsöle auf Mineralölbasis (außer Emulsionen und Lösungen) aus Prozessen der mechanischen Formgebung sowie der physikalischen und mechanischen Oberflächenbearbeitung von Metallen und Kunststoffen.....	197
35	Verfahrenssteckbrief für AS 120109* - Halogenfreie Bearbeitungsemulsionen und -lösungen aus Prozessen der mechanischen Formgebung sowie der physikalischen und mechanischen Oberflächenbearbeitung von Metallen und Kunststoffen .....	209
36	Verfahrenssteckbrief für AS 140603* - andere Lösemittel und Lösemittelgemische aus organischen Lösemitteln, Kühlmitteln und Treibgasen .....	229
37	Literatur .....	238

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Verwertungsschema für die Abfallart AS 060101* .....	26
Abbildung 2:	Verwertungsschema für die Abfallart AS 060205* .....	31
Abbildung 3:	Verwertungsschema für die Abfallart AS 070103* .....	36
Abbildung 4:	Verwertungsschema für die Abfallart AS 070104* .....	45
Abbildung 5:	Verwertungsschema für die Abfallart AS 070107* .....	53
Abbildung 6:	Verwertungsschema für die Abfallart AS 070108* .....	59
Abbildung 7:	Verwertungsschema für die Abfallart AS 070204* .....	68
Abbildung 8:	Verwertungsschema für die Abfallart AS 070208* .....	76
Abbildung 9:	Verwertungsschema für die Abfallart AS 070304* .....	83
Abbildung 10:	Verwertungsschema für die Abfallart AS 070403* .....	91
Abbildung 11:	Verwertungsschema für die Abfallart AS 070404* .....	97
Abbildung 12:	Verwertungsschema für die Abfallart AS 070503* .....	105
Abbildung 13:	Verwertungsschema für die Abfallart AS 070504* .....	114
Abbildung 14:	Verwertungsschema für die Abfallart AS 070608* .....	122
Abbildung 15:	Verwertungsschema für die Abfallart AS 070703* .....	132
Abbildung 16:	Verwertungsschema für die Abfallart AS 070704* .....	141
Abbildung 17:	Verwertungsschema für die Abfallart AS 070708* .....	149
Abbildung 18:	Verwertungsschema für die Abfallart AS 080111* .....	157
Abbildung 19:	Verwertungsschema für die Abfallart AS 080117* .....	167
Abbildung 20:	Verwertungsschema für die Abfallart AS 110105* .....	178
Abbildung 21:	Verwertungsschema für die Abfallart AS 110107* .....	188
Abbildung 22:	Vereinfachtes Verfahrensschema der Zink-Hydrometallurgie mit den Begleitmetallen in den Abfällen, die unter AS 11 02 02* fallen .....	193
Abbildung 23:	Verwertungsschema für die Abfallart AS 120107* .....	197
Abbildung 24:	Verwertungsschema für die Abfallart AS 120109* .....	209
Abbildung 25:	Verwertungsschema für die Abfallart AS 140603* .....	229

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Qualitätseinstufungen bei Altbeizen .....	181
Tabelle 2:	Metallgehalte (Auswahl) der AS 11 02 02* [ABANDA 2016] .....	194

## Abkürzungsverzeichnis

a.n.g.	anderweitig nicht genannt
ABANDA	Abfallanalysendatenbank
AbfRRL	Abfallrahmenrichtlinie
AIDA	Informationsplattform Abfall in Nordrhein-Westfalen
anorg.	Anorganisch
AS	Abfallschlüssel
AVV	Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnisverordnung)
bspw.	beispielsweise
BTEX	Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol
DK	Deponieklasse
DK-Prozess	Recyclingprozess der Firma DK Recycling und Roheisen GmbH
EBS	Ersatzbrennstoff
EP	Europäischen Patentanmeldungen
E-Schrott	Elektro- und/oder Elektronikschrott
HVZA	Herstellung, Zubereitung, Vertrieb und Anwendung
IPA	Informationsportal Abfallbewertung
KAT	Kategorie
KrWG	Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz)
KSS	Kühlschmierstoffe
LANUV	Landesamt für Natur, Umwelt, und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen
Mg	Megagramm; 1 Mg = 1 t = 1.000 kg
NRW	Nordrhein-Westfalen
org.	Organisch
OT	obertägig
PCB	Polychlorierte Biphenyle
PCDD	Polychlorierte Dibenzo- <i>p</i> -dioxine
PCDF	Polychlorierte Dibenzofurane
POP	Persistente organische Schadstoffe (engl. persistent organic pollutants)
UTD	Untertagedeponie
UTV	Untertageversatz
v. a.	vor allem
VOC	Flüchtige organische Verbindungen (volatile organic compounds)
z. B.	zum Beispiel

## 1 Überblick über die eingebundenen Experten (Fachbeirat)

### Überblick über die eingebundenen Experten (Fachbeirat)

#### Behördenvertreter

BMUB

UBA

Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA)

Landesamt für Natur, Umwelt, und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV)

#### Vertreter der Sonderabfallgesellschaften der Länder

SAA Sonderabfallagentur Baden-Württemberg GmbH

SBB Sonderabfallgesellschaft Brandenburg/Berlin mbH

GOES Gesellschaft für die Organisation der Entsorgung von Sonderabfällen mbH

NGS Niedersächsische Gesellschaft zur Endablagerung von Sonderabfall mbH

#### Verbände und Interessenvertreter

BDSAV e.V.

Verband der Chemischen Industrie (VCI)

#### Vertreter aus der Entsorgungsbranche

C.C. Umwelt AG

Currenta GmbH & Co. OHG

gsb Sonderabfall-Entsorgung Bayern GmbH

Indaver GmbH

REMONDIS Industrie Service GmbH & Co. KG

Nehlsen GmbH & Co. KG

WEV Westsächsische Entsorgungs- und Verwertungsgesellschaft mbH

- Für eine praxisnahe Bearbeitung des Forschungsprojektes wurde das Vorhaben durch einen Projektbeirat begleitet. Dieses Fachgremium diente der Diskussion sich aus der Bearbeitung ergebener fachlicher Fragestellungen sowie vorläufiger Ergebnisse. Der Fachbeirat bestand aus Vertretern von Behörden, Landes, Sonderabfallgesellschaften, Verbänden sowie von Betreibern relevanter Abfallbehandlungs- und Entsorgungsanlagen.

## 2 „TOP 50-Ranking“ gefährlicher Abfälle im Jahr 2012

Abfall-schlüssel-nummer	AVV-Kap.	Bezeichnung	im eigenen Betrieb und aus dem In-land angelieferte Abfälle [ 1.000 Mg ]
170301*	17	kohlenteerhaltige Bitumengemische	2.542,6
170503*	17	Boden und Steine, die gefährliche Stoffe enthalten	2.314,3
191206*	19	Holz, das gefährliche Stoffe enthält	1.281,5
191211*	19	sonstige Abfälle (einschließlich Materialmischungen) aus der mechanischen Behandlung von Abfällen, die gefährliche Stoffe enthalten	1.077,4
190107*	19	feste Abfälle aus der Abgasbehandlung	760,3
190204*	19	vorgemischte Abfälle, die wenigstens einen gefährlichen Abfall enthalten	665,0
120109*	12	halogenfreie Bearbeitungsemulsionen und -lösungen	661,5
170106*	17	Gemische aus oder getrennte Fraktionen von Beton, Ziegeln, Fliesen und Keramik, die gefährliche Stoffe enthalten	636,5
190113*	19	Filterstaub, der gefährliche Stoffe enthält	605,8
170204*	17	Glas, Kunststoff und Holz, die gefährliche Stoffe enthalten oder durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind	564,3
190111*	19	Rost- und Kesselaschen sowie Schlacken, die gefährliche Stoffe enthalten	533,7
170605*	17	asbesthaltige Baustoffe	498,9
110111*	11	wässrige Spülflüssigkeiten, die gefährliche Stoffe enthalten	486,0
160104*	16	Altfahrzeuge	482,4
190811*	19	Schlämme aus der biologischen Behandlung von industriellem Abwasser, die gefährliche Stoffe enthalten	460,0
190702*	19	Deponiesickerwasser, das gefährliche Stoffe enthält	455,4
190205*	19	Schlämme aus der physikalisch-chemischen Behandlung, die gefährliche Stoffe enthalten	404,2
110109*	11	Schlämme und Filterkuchen, die gefährliche Stoffe enthalten	383,7
190306*	19	als gefährlich eingestufte verfestigte Abfälle	356,8
170507*	17	Gleisschotter, der gefährliche Stoffe enthält	341,7
200135*	20	gebrauchte elektrische und elektron. Geräte, die gefährl. Bauteile enthalten, mit Ausnahme derjenigen, die unter 20 01 21 und 20 01 23 fallen	332,0
130205*	13	nichtchlorierte Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle auf Mineralölbasis	320,4
100308*	10	Salzschlacken aus der Zweitschmelze	313,1
190813*	19	Schlämme, die gefährliche Stoffe aus einer anderen Behandlung von industriellem Abwasser enthalten	271,7



Abfall-schlüssel-nummer	AVV-Kap.	Bezeichnung	im eigenen Betrieb und aus dem In-land angelieferte Abfälle [ 1.000 Mg ]
100207*	10	feste Abfälle aus Abgasbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten	251,7
160601*	16	Bleibatterien	200,3
070104*	7	andere organische Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen	189,3
070101*	7	wässrige Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen	171,3
110105*	11	saure Beizlösungen	164,5
110202*	11	Schlämme aus der Zink-Hydrometallurgie (einschließlich Jarosit, Goethit)	160,0
130502*	13	Schlämme aus Öl-/Wasserabscheidern	155,1
130508*	13	Abfallgemische aus Sandfanganlagen und Öl-/Wasserabscheidern	133,1
160213*	16	gefährliche Bestandteile enthaltende gebrauchte Geräte mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 02 09 bis 16 02 12 fallen	131,7
150202*	15	Aufsaug- und Filtermaterialien (einschl. Ölfilter a. n. g.), Wischtücher und Schutzkleidung, die durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind	129,0
070108*	7	andere Reaktions- und Destillationsrückstände	128,2
200123*	20	gebrauchte Geräte, die Fluorchlorkohlenwasserstoffe enthalten	127,9
170603*	17	anderes Dämmmaterial, das aus gefährlichen Stoffen besteht oder solche Stoffe enthält	127,8
060101*	6	Schwefelsäure und schweflige Säure	126,0
170303*	17	Kohlenteer und teerhaltige Produkte	124,2
070201*	7	wässrige Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen	120,8
100213*	10	Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten	117,6
190304*	19	als gefährlich eingestufte teilweise stabilisierte Abfälle	114,2
160708*	16	öhlhaltige Abfälle	111,3
191301*	19	feste Abfälle aus der Sanierung von Böden, die gefährliche Stoffe enthalten	109,6
190207*	19	Öl und Konzentrate aus Abtrennprozessen	104,1
140603*	14	andere Lösemittel und Lösemittelgemische	99,1
100401*	10	Schlacken (Erst- und Zweitschmelze)	98,9
010505*	1	öhlhaltige Bohrschlämme und -abfälle	96,1
130503*	13	Schlämme aus Einlaufschächten	88,9
130403*	13	Bilgenöle aus der übrigen Schifffahrt	87,4
<b>Gesamtsumme :</b>			<b>20.217,3</b>

(86 %, bezogen auf das Gesamtaufkommen)

→ Die obige tabellarische Übersicht des Kapitel 2 zeigt das TOP 50-Ranking der gefährlichen Abfälle (bis einschließlich 87.000 Mg pro Abfallart) unter Berücksichtigung aller Abfallarten aus allen AVV-Kapiteln (Primär-

und Sekundärabfälle, inkl. gefährlicher Abfälle, die nicht vorrangig produktionsspezifisch sind). Hier sind somit auch noch die Abfälle der Kapitel 10, 17, 18, 19 und 20 in der Gesamtübersicht enthalten. Deutlich wird hieran, dass nach der reinen Mengenrelevanz aller 405 AVV-Abfallschlüssel auch eine ganze Reihe von Abfällen der Gruppen 10, 17 und 19 eine recht erhebliche Bedeutung für die Entsorgungsmärkte gefährlicher Abfälle in Deutschland haben. [Destatis 2012]

### 3 Erster Vorschlag für die Auswahl von 25 gefährlichen Abfallarten nach AVV-Schlüsseln im Jahr 2012 – absteigend sortiert

Abfall-schlüssel-nummer	AVV-Kap.	Bezeichnung	im eigenen Betrieb und aus dem In-land angelieferte Abfälle [ 1.000 Mg ]
120109*	12	halogenfreie Bearbeitungsemulsionen und -lösungen	661,5
110111*	11	wässrige Spülflüssigkeiten, die gefährliche Stoffe enthalten	486,0
070104*	7	andere organische Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen	189,3
070101*	7	wässrige Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen	171,3
110105*	11	saure Beizlösungen	164,5
070108*	7	andere Reaktions- und Destillationsrückstände	128,2
060101*	6	Schwefelsäure und schweflige Säure	126,0
070201*	7	wässrige Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen	120,8
070208*	7	andere Reaktions- und Destillationsrückstände	86,6
070107*	7	halogenierte Reaktions- und Destillationsrückstände	77,3
110107*	11	alkalische Beizlösungen	73,1
070403*	7	halogenorganische Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen	69,1
070504*	7	andere organische Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen	67,6
070103*	7	halogenorganische Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen	53,6
070304*	7	andere organische Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen	35,6
070204*	7	andere organische Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen	32,6
080111*	8	Farb- und Lackabfälle, die organische Lösemittel oder andere gefährliche Stoffe enthalten	31,9
070404*	7	andere organische Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen	31,7
070503*	7	halogenorganische Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen	30,3
070703*	7	halogenorganische Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen	28,1
070608*	7	andere Reaktions- und Destillationsrückstände	27,6
070407*	7	halogenierte Reaktions- und Destillationsrückstände	26,8
120116*	12	Strahlmittelabfälle, die gefährliche Stoffe enthalten	25,2
161105*	16	Auskleidungen u. feuerfeste Materialien a. nichtmetall. Prozessen, die gefährl. Stoffe enthalten	23,4
070401*	7	wässrige Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen	21,0
25 AVV-Schlüssel	Gesamtsumme :		2.789,1
			(40 %, bezogen auf das Gesamtaufkommen)

Das vorläufige Ergebnis einer Auswahl von 25 sehr bedeutenden Abfallarten wird in der obigen tabellarischen Übersicht des Kapitel 3 dokumentiert. Bezogen auf die Gesamtzahl der produktionsspezifischen gefährlichen Abfallarten (in Summe 261 Abfallschlüssel) deckt die Auswahl zwar nur knapp

10 % ab, bei einem Mengenaufkommen von 2,79 Mio. Mg entfallen jedoch rund 40 % der Gesamtmenge der produktionsspezifischen gefährlichen Abfälle (261 Abfallarten mit einem Aufkommen von zusammen 7,0 Mio. Mg) auf diese 25 Abfallarten. [Destatis 2012]

## 4 Katalog der Wirtschaftszweige (Auszug)

- ◆ **Katalog der Wirtschaftszweige (Branchen)**
- ▣ **A LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, FISCHEREI**
- ▣ **B BERGBAU UND GEWINNUNG VON STEINEN UND ERDEN**
- ▣ **C VERARBEITENDES GEWERBE**
  - ▣ CA Ernährungsgewerbe und Tabakverarbeitung
  - ▣ CB Textil- und Bekleidungsindustrie
  - ▣ CC Ledergewerbe
  - ▣ CD Holzgewerbe (ohne Herstellung von Möbeln)
  - ▣ CE Papier- und Druckgewerbe
  - ▣ CF Kokerei und Mineralölverarbeitung
  - ▣ CG Herstellung von chemischen und pharmazeutischen Erzeugnissen
    - ▣ CG20 Herstellung von chemischen Erzeugnissen
      - ▣ CG200 Herstellung von chemischen Erzeugnissen
      - ▣ CG201 Herstellung von chemischen Grundstoffen, Düngemitteln und Stickstoffverbindungen, Kunststoffen in Primärformen und synthetischem Kautschuk in Primärformen
        - CG20100 Herstellung von chemischen Grundstoffen, Düngemitteln und Stickstoffverbindungen, Kunststoffen in Primärformen und synthetischem Kautschuk in Primärformen
        - CG20110 Herstellung von Industriegasen
        - CG20120 Herstellung von Farbstoffen und Pigmenten
        - CG20130 Herstellung von sonstigen anorganischen Grundstoffen und Chemikalien
        - CG20140 Herstellung von sonstigen organischen Grundstoffen und Chemikalien
        - CG20150 Herstellung von Düngemitteln und Stickstoffverbindungen
        - CG20160 Herstellung von Kunststoffen in Primärformen
        - CG20170 Herstellung von synthetischem Kautschuk in Primärformen
      - ▣ CG202 Herstellung von Schädlingsbekämpfungsmitteln, Pflanzenschutz- und Desinfektionsmitteln
      - ▣ CG203 Herstellung von Anstrichmitteln, Druckfarben und Kitten
      - ▣ CG204 Herstellung von Seifen, Wasch-, Reinigungs- und Körperpflegemitteln sowie von Duftstoffen
      - ▣ CG205 Herstellung von sonstigen chemischen Erzeugnissen
      - ▣ CG206 Herstellung von Chemiefasern
    - ▣ CG21 Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen
  - ▣ CH Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren
  - ▣ CI Herstellung von Glas und Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden
  - ▣ CJ Metallerzeugung und -bearbeitung, Herstellung von Metallerzeugnissen
  - ▣ CK Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen sowie elektrischen Ausrüstungen
  - ▣ CL Maschinenbau
  - ▣ CM Fahrzeugbau
  - ▣ CN Herstellung von Möbeln, Schmuck, Musikinstrumenten, Sportgeräten, Spielwaren und sonstigen Erzeugnissen
  - ▣ CO Reparatur und Installation von Maschinen und Ausrüstungen
- ▣ **D ENERGIEVERSORGUNG**

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz © Land NRW, <http://www.abfall-nrw.de/aida/>

## 5 In NRW im verarbeitenden Gewerbe erzeugte Menge der untersuchungsrelevanten gefährlichen Abfallarten im Jahr 2012 in 1.000 Mg/a

Erzeugerbranche (Bezeichnung nach WZ 2008)	060101*	060205*	070103*	070104*	070107*	070108*	070204*	070208*	070304*
Ernährungsgewerbe und Tabakverarbeitung							155	1.733	
Textil- und Bekleidungsgewerbe							32	172	
Ledergewerbe									
Holzgewerbe (ohne Herstellung von Möbeln)		90		37				66	19
Papier- und Druckgewerbe				243			18	28	68
Kokerei und Mineralölverarbeitung		1.264			16.783				
Herstellung von chemischen und pharmazeutischen Erzeugnissen	19.732	2.931	17.005	19.405	16.979	23.783	6.485	32.005	4.972
Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren	31	173	194	462		1.061	597	923	296
Herstellung von Glas und Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden	11						1	665	
Metallerzeugung und -bearbeitung, Herstellung von Metallerzeugnissen	4.239	2.230		86	8	76		13	257
Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen sowie elektrischen Ausrüstungen	794	116		20		73	61	122	75
Maschinenbau	25	266		14			1.150	62	69
Fahrzeugbau	345	190		81			39		367
Herstellung von Möbeln, Schmuck, Musikinstrumenten, Sportgeräten, Spielwaren und sonstigen Erzeugnissen				322				7	125
Reparatur und Installation von Maschinen und Ausrüstungen		14							
<b>Summe</b>	<b>25.177</b>	<b>7.274</b>	<b>17.199</b>	<b>20.670</b>	<b>33.770</b>	<b>24.993</b>	<b>8.538</b>	<b>35.796</b>	<b>6.248</b>

<b>Erzeugerbranche (Bezeichnung nach WZ 2008)</b>	<b>070403*</b>	<b>070404*</b>	<b>070503*</b>	<b>070504*</b>	<b>070608*</b>	<b>070703*</b>	<b>070704*</b>	<b>070708*</b>	<b>080111*</b>
Ernährungsgewerbe und Tabakverarbeitung		0	0	114	0	0	0	0	0
Textil- und Bekleidungsgewerbe		0	0	0	350	0	0	0	4
Ledergewerbe		0	0	0	0	0	0	0	0
Holzgewerbe (ohne Herstellung von Möbeln)		0	0	0	0	0	0	0	0
Papier- und Druckgewerbe		0	0	0	31	0	0	0	189
Kokerei und Mineralölverarbeitung		0	0	0	73	0	0	0	15
Herstellung von chemischen und pharmazeutischen Erzeugnissen	44.867	5.937	515	15.819	22.372	377	2.234	1.222	4.315
Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren		0	0	0	0	0	0	3	104
Herstellung von Glas und Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden		0	0	0	0	0	0	0	5
Metallerzeugung und -bearbeitung, Herstellung von Metallerzeugnissen		0	0	0	50	0	284	0	716
Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen sowie elektrischen Ausrüstungen		0	0	0	0	0	0	0	23
Maschinenbau		0	0	0	0	0	0	27	653
Fahrzeugbau		0	0	0	0	0	0	0	223
Herstellung von Möbeln, Schmuck, Musikinstrumenten, Sportgeräten, Spielwaren und sonstigen Erzeugnissen		0	0	0	0	0	0	0	6
Reparatur und Installation von Maschinen und Ausrüstungen		0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Summe</b>	<b>44.867</b>	<b>5.937</b>	<b>515</b>	<b>15.933</b>	<b>22.876</b>	<b>377</b>	<b>2.518</b>	<b>1.252</b>	<b>6.253</b>

<b>Erzeugerbranche (Bezeichnung nach WZ 2008)</b>	<b>080113*</b>	<b>080117*</b>	<b>100401*</b>	<b>110105*</b>	<b>110107*</b>	<b>110202*</b>	<b>120107*</b>	<b>120109*</b>	<b>140603*</b>	<b>Summe</b>
Ernährungsgewerbe und Tabakverarbeitung								1		<b>2.003</b>
Textil- und Bekleidungsgewerbe	151	20						63		<b>792</b>
Ledergewerbe								10		<b>10</b>
Holzgewerbe (ohne Herstellung von Möbeln)		47						61	18	<b>338</b>
Papier- und Druckgewerbe	71	51		9				266	249	<b>1.223</b>
Kokerei und Mineralölverarbeitung							84	2.579	255	<b>21.249</b>
Herstellung von chemischen und pharmazeuti- schen Erzeugnissen	406	7.920		417	438		22	1.496	916	<b>252.570</b>
Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren	659	108		41				684	1.678	<b>7.014</b>
Herstellung von Glas und Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden		21		284	20			99		<b>1.106</b>
Metallerzeugung und -bearbeitung, Herstellung von Metallerzeugnissen	434	1.204	2.557	20.556	23.074	2.788	6.490	83.962	424	<b>149.448</b>
Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen sowie elektrischen Ausrüstungen	41	9		2.867	548		10	3.419	156	<b>8.334</b>
Maschinenbau	87	57		1.789	218			20.556	83	<b>25.056</b>
Fahrzeugbau	285	244		180	1.126		219	11.425	122	<b>14.846</b>
Herstellung von Möbeln, Schmuck, Musikinstru- menten, Sportgeräten, Spielwaren und sonstigen Erzeugnissen	211	214		9	155			59	120	<b>1.228</b>
Reparatur und Installation von Maschinen und Ausrüstungen					112			456		<b>582</b>
<b>Summe</b>	<b>2.345</b>	<b>9.895</b>	<b>2.557</b>	<b>26.152</b>	<b>25.691</b>	<b>2.788</b>	<b>6.825</b>	<b>125.136</b>	<b>4.021</b>	<b>485.603</b>

[AIDA 2012]



## 6 Insgesamt in NRW entsorgte Menge der untersuchungsrelevanten gefährlichen Abfallarten im Jahr 2012 in 1.000 Mg/a

Anlagentyp	060101*	060205*	070103*	070104*	070107*	070108*	070204*	070208*	070304*
Obertägige Ablagerungen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zwischenlagerung	71	1.300	659	6.757	18	2.433	3.523	3.206	1.072
Biologische Behandlungsanlagen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Thermische Behandlungsanlagen	13	10	12.090	17.162	27.029	9.855	2.685	9.484	1.754
Aufbereitungs- und Sortieranlagen	4	82	38	417	1	195	10	957	13
Produktionsanlagen	92.001	788	1.313	3.003	6.175	1.446	1.311	11.719	0
Abwasserbehandlung	0	0	0	339	0	0	0	0	0
Untertägige Ablagerung	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Entsorgung	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CPB	3.209	6.565	372	12.298	187	857	3.195	6.116	8.691
Mechanisch-biologische Behandlungsanlagen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bodenbehandlungsanlagen	0	0	0	0	0	227	0	0	0
Feuerungsanlagen	0	0	1.541	17.478	0	8.209	268	7.323	1.409
<b>Summe</b>	<b>95.297</b>	<b>8.744</b>	<b>16.012</b>	<b>57.454</b>	<b>33.409</b>	<b>23.221</b>	<b>10.992</b>	<b>38.804</b>	<b>12.938</b>

Anlagentyp	070403*	070404*	070503*	070504*	070608*	070703*	070704*	070708*	080111*
Obertägige Ablagerungen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zwischenlagerung	1.219	64	15	300	4.141	24	910	627	3.908
Biologische Behandlungsanlagen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Thermische Behandlungsanlagen	36.509	4.473	6.041	6.885	430	8.430	2.824	1.259	2.044
Aufbereitungs- und Sortieranlagen	0	0	0	0	433	55	0	70	3.211
Produktionsanlagen	0	6	0	2.907	366	1.434	1	375	0
Abwasserbehandlung	0	0	0	7	0	0	0	0	0
Untertägige Ablagerung	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Entsorgung	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CPB	266	217	641	2.897	681	1.505	5.900	1.758	5.138
Mechanisch-biologische Behandlungsanlagen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bodenbehandlungsanlagen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Feuerungsanlagen	0	1.220	63	3.717	11.777	0	638	0	15
<b>Summe</b>	<b>37.994</b>	<b>5.980</b>	<b>6.760</b>	<b>16.712</b>	<b>17.827</b>	<b>11.449</b>	<b>10.273</b>	<b>4.089</b>	<b>14.315</b>

Anlagentyp	080113*	080117*	100401*	110105*	110107*	110202*	120107*	120109*	140603*	Summe
Obertägige Ablagerungen	0	0	14.272	0	0	2.661	0	0	0	<b>16.933</b>
Zwischenlagerung	1.753	1.413	0	1.530	1.989	0	1.561	43.721	2.156	<b>84.367</b>
Biologische Behandlungsanlagen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
Thermische Behandlungsanlagen	3.405	792	0	28	30	0	33	4	5.739	<b>159.005</b>
Aufbereitungs- und Sortieranlagen	814	1.325	1.936	2.088	25	0	0	254	197	<b>12.124</b>
Produktionsanlagen	0	0	0	10.009	21.138	0	26	473	183	<b>154.671</b>
Abwasserbehandlung	0	0	0	314	299	0	0	0	0	<b>958</b>
Untertägige Ablagerung	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
Sonstige Entsorgung	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
CPB	3.450	8.672	0	28.016	20.310	9	2.174	196.547	7.803	<b>327.472</b>
Mechanisch-biologische Behandlungsanlagen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
Bodenbehandlungsanlagen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>227</b>
Feuerungsanlagen	0	0	0	0	0	0	654	9	0	<b>54.319</b>
<b>Summe</b>	<b>9.422</b>	<b>12.202</b>	<b>16.208</b>	<b>41.983</b>	<b>43.791</b>	<b>2.669</b>	<b>4.446</b>	<b>241.007</b>	<b>16.077</b>	<b>810.073</b>

[AIDA 2010-2013]

## 7 Katalog der Entsorgungsanlantentypen

Anlantentyp		
Obertägige Ablagerungen	DK 0 DK I	DK II DK III
Untertägige Ablagerung	UTD/UTV	
Läger, Umladeanlagen, Wertstoffhöfe	Zwischenlager, Umladeanlage,	Recycling-/Wertstoffhof
Biologische Behandlungsanlagen	Kompostierungsanlage	Vergärungsanlage
Mechanisch-biologische Behandlungsanlagen	Mechanisch-/ Biologische Aufbereitung	
Aufbereitungs- und Sortieranlagen	Aufbereitung Gewerbe- und Siedlungsabfälle, Metallaufbereitung, Aufbereitung industrieller Massenabfälle, Autodemontageanlage, Bauabfallaufbereitung,	Holzaufbereitung, Aufbereitung E-Schrott, Aufbereitung Fette/ Speisereste, Aufbereitung Verpackungen, Aufbereitung Kunststoff, Papieraufbereitung, sonstige Aufbereitungsanlagen
Chemisch-physikalische Behandlungsanlagen	Chemisch-physikalische Behandlungsanlage	Destillationsanlage, Silberelektrolyse
Thermische Behandlungsanlagen	Siedlungsabfallverbrennungsanlage, sonst. therm. Prozesse,	Sonderabfallverbrennungsanlage, Klärschlammverbrennungsanlage
Bodenbehandlungsanlagen	Biologische Bodenbehandlungsanlage, thermische Bodenbehandlungsanlage,	physikalische Bodenbehandlung/ Bodenwaschanlage
Abwasserbehandlung	Abwasserbehandlungsanlage, Vererdungsanlage,	Sickerwasserbehandlungsanlage
Feuerungsanlagen	Kraftwerk, Feuerungsanlage	EBS-Kraftwerk, Biomassekraftwerk
Produktionsanlagen	Kunststoffproduktion, Ziegelwerk, Asphaltmischwerk, Zementwerk, Kalkwerk, Metallproduktion, Papierproduktion,	Produktionsanlage mit stofflichem Recycling, Innerbetrieblicher energetischer Kreislauf, Chemieanlagen, Glasproduktion, Holzproduktion, Mineralstoffproduktion
sonstige Entsorgung	Verfüllung/ Verwertung im OT Ablagerungen (inkl. Lärmschutzwall),	Verwertung im Stadtgebiet (Straßen/ Tiefbau)

## 8 Gefahrenklasse und -kategorie, Gefahrenhinweise, Berücksichtigungsgrenzwert und Grenzkonzentrationen für die Einstufung von Abfällen als gefährlich nach HP 4

Gefahrenklasse & Gefahrenkategorie	Gefahrenhinweis-Codes	Berücksichtigungsgrenzwert [%]	Grenzkonzentration [%]	Grenzkonzentration [mg/kg]	Anmerkung
schwere Hautverätzung / Augenschäden, Kat. 1A	H314	1,0 %	1,0 %	10.000	Summe der Konzentration aller Stoffe mit diesem Gefahrenhinweiscode
Hautreizung, Kat. 2, Augenreizung, Kat. 2	H315 H319	1,0 %	20,0 %	200.000	Summe der Konzentration aller Stoffe mit diesen Gefahrenhinweiscode
schwere Augenschädigung, Kat. 1	H318	1,0 %	10,0 %	100.000	Summe der Konzentration aller Stoffe mit diesem Gefahrenhinweiscode

Quelle: Anhang III AbfRRL

## 9 Gesamtschau: Eingesetzte Verfahrenstechniken zur Entsorgung der ausgewählten gefährlichen Abfallarten

Eingesetzte Verfahrenstechnik	Anteil*	Zuordnung nach § 6 ff. KrWG
1. Sonderabfallverbrennung	22,1 %	Entsorgung [SAV]
2. [Phasentrennung fest/wässrig/organisch (Schwerkraftabscheidung u./o. Emulsionsspaltung)]	13,6 %	[chem.-physik. Vorbehandlung zur weiteren Entsorgung]
3. Thermische Spaltung zu einem Erzeugnis (Schwefeldioxid)	12,4 %	Recycling
4. Mitverbrennung als Ersatzbrennstoff in einer Kraftwerksfeuerung	8,4 %	Sonstige Verwertung
5. [Phasentrennung fest/wässrig/organisch (Emulsionsspaltung) z. weiteren therm. Behandlung]	8,1 %	[chem.-physik. Vorbehandlung zur weiteren Entsorgung]
6. Phasentrennung fest/wässrig/organisch (Emulsionsspaltung) zu Sekundärrohstoffen (Rezyklatölen)	8,1 %	Recycling
7. Destillation	4,9 %	Recycling
8. [Phasentrennung fest/wässrig m. vorgeschalteter Entgiftung u. Neutralisation]	4,1 %	[chem.-physik. Vorbehandlung zur weiteren Entsorgung]
9. Aufbereitung, chem.-physik., zu einem Erzeugnis (Natriumaluminat)	3,3 %	Recycling
10. Aufbereitung, chem.-physik., zu einem Sekundärrohstoff	3,2 %	Recycling
11. Ablagerung auf einer Deponie für gefährliche Abfälle	2,7 %	Beseitigung
12. Einsatz als Ersatzbetriebsmittel (Neutralisationsmittel, Spaltnittel, Beizmittel etc.)	1,7 %	Recycling
13. [Konditionierung (Zuschlagsstoffe, Aufsaugmassen) f.d. weitere therm. Behandlung]	1,4 %	[chem.-physik. Vorbehandlung zur weiteren Entsorgung]
14. Hochtemperatur-Oxidation zu einem Erzeugnis (Salzsäure)	1,2 %	Recycling
15. Mitverbrennung als Ersatzbrennstoff bei der Zementherstellung	1,2 %	Sonstige Verwertung
16. [Phasentrennung fest/wässrig m. vorgeschalteter Entgiftung u. Neutralisation]	0,8 %	[chem.-physik. Vorbehandlung zur weiteren Entsorgung]
17. Phasentrennung flüssig/fest (Schwerkraftabscheidung) u. Destillation zu einem Erzeugnis (Aluminiumsulfat)	0,8 %	Recycling
18. Phasentrennung flüssig/fest (Schwerkraftabscheidung) u. Destillation zu einem Erzeugnis (Natriumaluminat)	0,7 %	Recycling
19. [Phasentrennung wässrig/organisch (Emulsionsspaltung) u. Destillation zur weiteren stoffl. Verwertung]	0,5 %	[chem.-physik. Vorbehandlung zur weiteren Entsorgung]

Eingesetzte Verfahrenstechnik	Anteil*	Zuordnung nach § 6 ff. KrWG
20. [Aufbereitung, mechanisch (Zerkleinerung, Klassierung) u. Sortierung]	0,3 %	[chem.-physik. Vorbehandlung zur weiteren Entsorgung]
21. Phasentrennung fest/wässrig/organisch (Schwerkraftabscheidung) u. Destillation	0,2 %	Recycling
22. Verbrennung mit Siedlungsabfällen (MVA)	0,2 %	Beseitigung
23. Verbrennung mit Klärschlämmen	0,1 %	Beseitigung
24. Verbrennung als Substitutionsbrennstoff in einer Spaltanlage	0,1 %	Sonstige Verwertung
25. [Konditionierung (Entwässerung/Verfestigung)]	0,1 %	[chem.-physik. Vorbehandlung zur weiteren Entsorgung]
26. [Phasentrennung pastös-fest/flüssig (Schwerkraftabscheidung)]	0,03 %	[chem.-physik. Vorbehandlung zur weiteren Entsorgung]

\* bezogen auf > 90 Ma.-% NRW 2010-2013 / eigene Darstellung nach [AIDA 2010-2013]

## 10 Verfahrenssteckbrief AS 060101\* - Schwefelsäure und schweflige Säure (HZVA von Säuren)

Diese sauren Verbindungen entstehen überwiegend als Rückstände bei Herstellungs- oder Anwendungsprozessen in der Chemieindustrie (z. B. aus Acrylanlage) sowie der metall erzeugenden und -verarbeitenden Industrie und sind aufgrund von Verschleppungen und/oder entsprechend ihrer Verwendung oft mit weiteren Komponenten vermischt (z. B. andere Säurearten, Komplexbildnern oder organischen Verbindungen).

Um welche Begleit- oder Verunreinigungsstoffe es sich im Einzelnen handelt, ist nicht bekannt. Aus diesem Grund ist es nicht möglich, spezielle Verwertungsverfahren für bestimmte, in den Alt-Säuren enthaltene Verschleppungskomponenten zu benennen und zu bewerten.

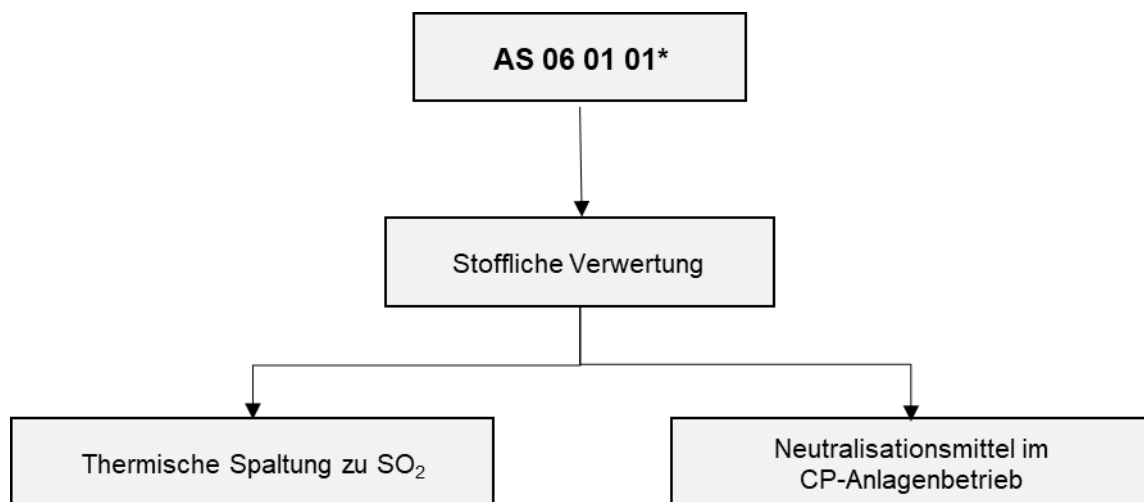
Das Maß der stofflichen Verwertung von Alt-Säuren wird entscheidend vom jeweiligen Wertstoffgehalt, also in der Regel vom Gehalt der freien Säure oder von Metallrückstände in den Abfällen bestimmt.

Nahezu 100 % der anfallenden Alt-Schwefelsäuren des **AS 060101\*** werden im Wirtschaftskreislauf wiedereingesetzt, wobei die **thermische Spaltung der Alt-Säuren zu Schwefeldioxid** mit rd. 97 % ganz im Vordergrund steht. Hierbei teilen sich zwei Betreiber von Spaltanlagen den Recyclingmarkt für Alt-Schwefelsäuren in NRW auf.

Während vor rund zwei Jahrzehnten der Einsatz von Abfall-Säuren als Ersatz-Neutralisationsmittel quasi als Stand der Technik in chemisch-physikalischen Abfallbehandlungsanlagen (CBP'n) angesehen wurde [Rudolph 1995], wird diese Verwertungsvariante aktuell nur noch in relativ wenigen Behandlungsanlagen praktiziert. In NRW für nur 3% der anfallenden Alt-Säuren. Gleichwohl wird die Substitution von Neutralisationsmitteln in CPB'n ebenfalls betrachtet und in die Bewertung der Verfahren mit aufgenommen.

Das Schema der Verwertung zeigt die folgende Abbildung:

Abbildung 1: Verwertungsschema für die Abfallart AS 060101\*



Eigene Darstellung

Für die vergleichende Bewertung wird die **thermische Spaltung der Alt-Säuren zu Schwefeldioxid** herangezogen, da diese in AIDA als Verwertungsweg für die Jahre 2010 – 2013 aufgeführt wird (siehe Kapitel 4.4.1 im Hauptband). Hinzugenommen wird der Einsatz von Abfall-Säuren als Spaltmittel oder als Ersatz-Neutralisationsmittel in CPB'n, da diese Verwertungsvariante auch (noch) in einigen wenigen Behandlungsanlagen praktiziert wird.



## **10.1 Stoffliche Verwertung**

### **10.1.1 Thermische Spaltung der Alt-Säuren zu Schwefeldioxid**

Die thermische Spaltung von Schwefelsäure verläuft in Umkehrungen des Herstellungsprozesses oberhalb 950 °C in speziellen Spaltöfen (stehende oder liegende Spaltöfen). Anwesende Stoffe wie Wasser, organische Substanzen oder anorganischen Salze werden unter weiterem Energieeinsatz verdampft, verbrannt oder erschmolzen. Der freigesetzte Sauerstoff wird bei der Verbrennung genutzt. Die SO<sub>2</sub>-haltigen Gase enthalten einen entsprechenden Anteil an CO<sub>2</sub> aus der Verbrennung der Nebenbestandteile. Die anwesenden Salze führen zu einer Salzschmelze. Der Einsatz von Heizöl bzw. Erdgas als Brennstoff führt bei entsprechender Fahrweise zu einer reduktiven Atmosphäre.

Die in diversen Prozessen der chemischen Industrie anfallenden Restschwefelsäuren und Sulfate sind mehr oder weniger stark verunreinigt und können ohne Aufarbeitung nicht mehr eingesetzt werden. Je nach Prozess sind die Verunreinigungen überwiegend organischer oder überwiegend anorganischer Natur. Das Prinzip der Aufarbeitung ist, dass die Säure bei Temperaturen um 1.000 °C durch Energiezufuhr zu SO<sub>2</sub>-Gas gespalten wird, um daraus nach Kühlung und intensiver Reinigung wieder reine Schwefelsäure für die Rückführung in den jeweiligen Prozess zu erzeugen. Ein wesentlicher Teil der für die Spaltung erforderlichen Energie wird benötigt, um das in der Säure enthaltene Wasser zu verdampfen und das Restwasser abzuspalten, weshalb möglichst Säure mit mindestens 65 % H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> eingesetzt werden sollte. Die Energie wird durch Verbrennen von flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen zugeführt. Eine zu geringe Säurekonzentration, d. h. ein zu hoher Wasseranteil steigert die Rauchgasmenge und verringert den SO<sub>2</sub>-Gehalt im Gas zur Schwefelsäureanlage. Der organische Anteil in der Abfallsäure bewirkt die Einsparung von Fremdenergie.

#### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs**

Der Gesamtanteil der durch die thermische Spaltung von Alt-Säuren im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffe - hier v. a. SO<sub>2</sub>-Gas, das zur Schwefelsäureproduktion wiedereingesetzt werden kann – beträgt aufgrund der chemischen Stöchiometrie der Reaktion der thermischen Spaltung um die 50 %, den Rest bilden Wasser und Sauerstoff im Rauchgas.

#### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Im Zuge der thermischen Spaltung von Alt-Säuren treten keine Verschleppungen von enthaltenen organischen und/oder anorganischen Verunreinigungen in die Verwertungserzeugnisse ein.

#### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Der Hauptanteil der in den Alt-Säuren enthaltenen Schadstoffe befindet sich nach deren thermischen Spaltung im Abwasser, das einer spezifischen Behandlung und Überführung der Schadstoffe in feste Behandlungsrückstände (Filterkuchen) zugeführt wird. Dies stellt eine Aufkonzentration von Schadstoffen dar.

Im Rahmen der weiteren Entsorgung werden die Filterkuchen auf einer oberirdischen Deponie beseitigt.

#### **Rohstoffbedarf, Betriebsmitteleinsatz etc.**

Für die thermische Spaltung sind keine weiteren Betriebsmittel notwendig.

#### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Es fallen keine weiteren Abfälle an.

## **Energie**

Der Energieverbrauch im Zuge der thermischen Spaltung von Alt-Säuren ist im Wesentlichen von der hierzu benötigten Strom- und Wärmemenge abhängig. Für die Spaltung einer 70-%igen Abfallschwefelsäure bei 1.000 °C unter oxidierenden Bedingungen sind ca. 6,4 Mio. kJ pro Tonne Schwefelsäure nötig. Hiervon entfällt 46 % auf die Dehydratation der Schwefelsäure sowie auf die Verdampfung von Wasser und Schwefelsäure, 30 % auf die eigentliche Spaltung der 70-%igen Abfallschwefelsäure, während der Rest auf die Erwärmung der Reaktionsprodukte auf 1.000 °C entfällt und i.d.R. zurückgewonnen werden kann.

## **Treibhausgasemissionen**

Sowohl in den im Aufbereitungsverfahren der thermischen Spaltung eingesetzten Alt-Säuregemischen als auch in deren Behandlungsrückständen sind keine Bestandteile enthalten, die ein Treibhauspotenzial aufweisen.

## **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die realisierte Behandlungstechnik zur thermischen Spaltung von Alt-Säuren macht eine Abgasreinigung erforderlich, in der die in den Alt-Säuren enthaltenen organischen und ggf. auch die anorganischen Verunreinigungen abgefangen werden.

## **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Anfallendes Abwasser wird behandelt (Neutralisation-Fällung-Filtration), um die zur Einleitung in den Vorfluter bestehenden Einleitgrenzwerte einzuhalten

## **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Bei der installierten Behandlungstechnik gehen wir davon aus, dass es sich im Einzelnen um teilautomatisierte Prozesse handelt, und nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein gewisses Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer vorliegt.

Ferner wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in einen Vorfluter gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Da Abwasserbehandlungseinrichtungen vorhanden sind, in denen die schadstoffrelevanten Abfallbestandteile abgetrennt werden, ist das Risiko einer Schadstofffreisetzung über den Abwasserpfad als gering bis sehr gering einzuschätzen.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein gewisses Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

### **10.1.2 Einsatz als Ersatz-Neutralisationsmittel im CPB-Anlagenbetrieb**

Neutralisation und Fällung sind Verfahren für die Behandlung von Säuren, Laugen, metallhaltigen wässrigen Lösungen, sowie fluorid-, phosphat-, sulfat- und sulfidhaltigen Lösungen. Ziel der Neutralisation ist die Erreichung des vorgeschriebenen pH-Wertes zur direkten (pH 6,5-8,5) oder indirekten (pH 6,5-10) Ableitung oder zur Metallausfällung. Dies erfolgt durch Zugabe von Säuren oder Basen zur Lösung; es können geeignete Abfälle oder Rohchemikalien sein. Ziel der Fällung ist die Überführung von löslichen Substanzen in nichtlösliche Verbindungen. Dies erfolgt durch chemische Reaktionen wie

Neutralisation und die anschließende Abtrennung der Feststoffe, um die gesetzlichen Schwermetall-Grenzwerte im Ablauf zu erreichen. Beispiele für Metalle, die ausgefällt werden, sind Zn, Ni, Cr, Pb, Cd, Sn, Al und Cu.

Hierbei stellt die Neutralisation und Fällung in den meisten Fällen den vorletzten Schritt der eigentlichen chemisch-physikalischen Behandlung dar. Dieser Behandlungsstufe werden neben den entgifteten flüssigen Abfällen auch die nur sauren, basischen oder schwach metallhaltigen Abfälle zugeführt. Die basisch bzw. sauer anfallenden Abfallmengen neutralisieren sich in der Regel gegenseitig, so dass nur gelegentlich auftretende Säure- bzw. Alkaliüberflüsse neutralisiert werden müssen [MUNLV NRW 2007]. Die ausgefallten Stoffe werden durch mechanische Trennverfahren, wie Filtration und Sedimentation/ Zentrifugation, abgetrennt.

Zu diesem Zweck werden in einigen Behandlungsanlagen Alt-Säuren als Spaltnittel oder Ersatz-Neutralisationsmittel eingesetzt [AIDA 2016b].

#### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs**

Durch den anlageninternen Einsatz von Alt-Säuren des AS 060101\* in den CBP werden dem (externen) Wirtschaftskreislauf keine Wertstoffe zugeführt.

#### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Durch den CPB-internen Einsatz von Alt-Säuren des AS 060101\* wird kein Verwertungserzeugnis hergestellt, in das Schadstoffe verschleppt und dort angereichert werden.

#### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Der Hauptanteil der in den Alt-Säuren noch enthaltenen Schadstoffe befindet sich nach deren Sedimentation und Filtration in den festen Behandlungsrückständen (Filterkuchen). Dies stellt eine Aufkonzentration von Schadstoffen dar.

Im Rahmen der weiteren Entsorgung werden die Filterkuchen in der Regel auf einer oberirdischen Deponie beseitigt.

#### **Rohstoffbedarf, Betriebsmitteleinsatz etc.**

Nach ihrem Einsatz als Spaltnittel oder in den Neutralisations-/ Fällungsvorrichtungen gelangen die neutralisierten Alt-Säuren – in anteiliger Mischung mit dem übrigen Abwasserstrom - in die Sedimentationsstufe der CPB. Hier werden den flüssigen Abfällen polymere Flockungsmittel zur Sedimentationsbeschleunigung hinzugegeben.

#### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Als Abfall aus der anteiligen Mit-Sedimentation und Mit-Filtration der ursprünglich eingesetzten Alt-Säuremengen fallen Filterkuchen an. Diese Filterkuchen gelangen auf eine oberirdische Deponie zur Beseitigung und sind somit als nicht verwertbare Abfälle einzustufen.

#### **Energie**

Der Energieverbrauch im Zuge der Mit-Behandlung der eingesetzten Alt-Säuren und der sich anschließenden Abwasserreinigung ist in erster Linie von der hierzu benötigten Strommenge abhängig. Unter Bezugnahme auf spezifische Energieverbrauchsangaben für komplette chemisch-physikalische Behandlungslinien lässt sich spezifischer Behandlungsaufwand in grober Näherung zu ungefähr < 15 kWh/m<sup>3</sup> eingesetzter Alt-Säure abschätzen [NEHLSSEN 2016, Bremen 2014].

### **Treibhausgasemissionen**

Sowohl in den zur Neutralisation eingesetzten Alt-Säuren des AS 060101\* als auch in deren Behandlungsrückständen sind keine Bestandteile enthalten, die ein Treibhauspotenzial aufweisen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die zur (anorganischen,) chemisch-physikalischen Mit-Behandlung der Alt-Säuren realisierte Verfahrenstechnik macht keine Abgasreinigung erforderlich [MUNLV NRW 2007].

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Anfallendes Abwasser wird behandelt (Sedimentation – Abtrennung fällbarer Metallionen – Grobfiltration – Aktivkohleadsorption) [MUNLV NRW 2007], um die zur Einleitung in den Vorfluter bestehenden Einleitgrenzwerte einzuhalten.

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Hinsichtlich der realisierten CPB-Prozessketten gehen wir davon aus, dass es sich im Einzelnen um teilautomatisierte Prozesse handelt, und nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein gewisses Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer vorliegt.

Ferner wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in einen Vorfluter gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Da Abwasserbehandlungseinrichtungen vorhanden sind, in denen die schadstoffrelevanten Abfallbestandteile abgetrennt werden, ist das Risiko einer Schadstofffreisetzung über den Abwasserpfad als gering bis sehr gering einzuschätzen.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein gewisses Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

## 11 Verfahrenssteckbrief für AS 060205\* - andere Basen (HZVA von Basen)

Dieser Abfallart werden, quasi als Auffangposition, alle die Alt-Laugen zugeordnet, die nach dem Anhang der Abfallverzeichnis-Verordnung [AVV] nicht unter die stoffspezifischen Abfallschlüssel 060201\*/03\*/04\* eingeordnet werden können. Hierunter fallen anderweitige Metallhydroxide (wie zum Beispiel Barium-, Aluminium- und/oder Magnesiumhydroxide), das sehr umfangreiche Spektrum der organischen Basen (z. B. Amine und Alkaloide) sowie unterschiedlichste Laugengemische [IPA NRW 2015, BW 2003a].

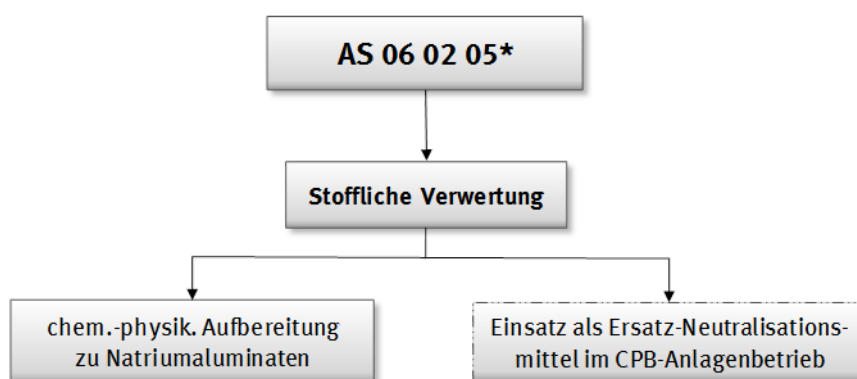
Diese basischen Verbindungen entstehen überwiegend als Rückstände bei Herstellungs- oder Anwendungsprozessen in der Chemieindustrie, der metallerzeugenden und -verarbeitenden Industrie sowie in der Mineralölindustrie und sind aufgrund von Verschleppungen und/oder entsprechend ihrer Verwendung oft mit weiteren Komponenten vermischt (z. B. andere Laugenarten, Komplexbildnern oder organischen Verbindungen).

Um welche Begleit- oder Verunreinigungsstoffe es sich im Einzelnen handelt, ist nicht bekannt. Aus diesem Grund ist es nicht möglich, spezielle Verwertungsverfahren für bestimmte, in den Alt-Laugen enthaltene Verschleppungskomponenten zu benennen und zu bewerten.

Das Maß der stofflichen Verwertung von Alt-Laugen wird entscheidend vom jeweiligen Wertstoffgehalt, also in der Regel vom Gehalt der Metallhydroxide, der Abfälle bestimmt. Die „anderen Basen“ weisen zwar im Vergleich zu anderen Alt-Laugen und basischen Alt-Beizen ein geringeres stoffliches Recyclingpotenzial auf, dennoch reichen die in einer Reihe von Laugengemischen vorhandenen Aluminium- und Natrium-Konzentrationen aus, um diese Abfälle chemisch-physikalisch zu marktgängigen Natriumaluminaten aufzubereiten [REMONDIS 2016].

Während vor rund zwei Jahrzehnten der Einsatz von Abfall-Laugen als Ersatz-Neutralisationsmittel quasi als Stand der Technik in chemisch-physikalischen Abfallbehandlungsanlagen (CPB'n) angesehen wurde [Rudolph 1995], wird diese Verwertungsvariante aktuell nur noch in relativ wenigen Behandlungsanlagen praktiziert. Gleichwohl wird die Substitution von Neutralisationsmitteln in CPB'n ebenfalls betrachtet und in die Bewertung der Verfahren mit aufgenommen.

Abbildung 2: Verwertungsschema für die Abfallart AS 060205\*



Eigene Darstellung

Für die vergleichende Bewertung wird die chemisch-physikalische Aufbereitung zu Natriumaluminaten herangezogen, da diese in AIDA als Verwertungsweg für die Jahre 2010 – 2013 aufgeführt wird. Hinzugenommen wird der Einsatz von Abfall-Laugen als Ersatz-Neutralisationsmittel in CPB'n, da diese Verwertungsvariante auch (noch) in einigen Behandlungsanlagen praktiziert wird.

## 11.1 Chemisch-physikalische Aufbereitung zu Natriumaluminat

Verbrauchte Aluminatlösungen (Rückstandslaugen) werden durch die Aufbereitungsschritte Dekontamination – Filtration – Mischen - Eindampfen - Filtrieren und Neutralisieren gereinigt und zum Teil zusammen mit Rohstoffen (Aluminiumhydroxiden) zu marktgängigen Natriumaluminat-Erzeugnissen verarbeitet. Die Natriumaluminat-Erzeugnisse werden in der kommunalen und industriellen Abwasserreinigung beispielsweise als alkalisches Fällungsmittel zur Phosphat-Elimination eingesetzt, oder dienen der Reduzierung von lipophilen Stoffen, Sulfaten und Schwermetallen. Weitere Einsatzgebiete sind die Bauchemie, die chemische Produktion sowie die Herstellung von Weißpigmenten [AIDA 2016a].

### Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs

Der Gesamtanteil der durch die Natriumaluminat-Aufbereitung im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffe - hier die jeweiligen Aluminate – beträgt um die 65 % [REMONDIS 2016].

### Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis

Im Zuge der Aufbereitung der verbrauchten Aluminatlösungen werden enthaltene Schadstoffe (z. B. Schwermetalle) durch Fällung, Sedimentation und Filtration weitgehend abgetrennt [REMONDIS 2016]. Es kann somit davon ausgegangen werden, dass Schadstoffverschleppungen nur in sehr geringem Umfang auftreten und keine Schadstoffanreicherung im Verwertungserzeugnis „Natriumaluminat“ erfolgt.

### Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen

Der Hauptanteil der in den Alt-Laugen enthaltenen Schadstoffe befindet sich nach deren Aufbereitung in den festen Behandlungsrückständen (Filterkuchen). Dies stellt eine Aufkonzentration von Schadstoffen dar.

Im Rahmen der weiteren Entsorgung werden die Filterkuchen auf einer oberirdischen Deponie beseitigt [REMONDIS 2016].

### Rohstoffbedarf, Betriebsmitteleinsatz etc.

Im Zuge der chemisch-physikalischen Aufbereitung der Alt-Laugengemische werden als Betriebsmittel im wesentlichen Natriumsulfid (Schwermetall-Fällungsmittel), polymere Flockungsmittel (zur Sedimentationsbeschleunigung) und Schwefelsäure (als Neutralisationsmittel) eingesetzt.

Zur Erzielung höherer Produktqualitäten werden den erzeugten Natriumaluminaten reine Aluminiumhydroxide (als Rohstoffe) zugesetzt [REMONDIS 2016].

### Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle

Als Abfall fallen die nach der Aufbereitung der Alt-Laugen erhaltenen Filterkuchen aus der Abwasserreinigung an. Diese Filterkuchen gelangen auf eine oberirdische Deponie zur Beseitigung [REMONDIS 2016] und sind somit als nicht verwertbare Abfälle einzustufen.

### Energie

Der Energieverbrauch im Zuge der Aufbereitung von Rückstandslaugen ist im Wesentlichen von der hierzu benötigten Strom- und Wärmemenge abhängig. Der Betreiber einer Aufbereitungsanlage gibt als Referenzgrößen einen spezifischen Stromverbrauch von rund 30 kWh/Mg Natriumaluminat und einen Dampfverbrauch von rund 0,25 Mg Dampf pro Mg Natriumaluminat (entsprechend ca. 171

kWh/Mg Natriumaluminat) an [REMONDIS 2016]. Der spezifische Aufbereitungsaufwand lässt sich somit zu insgesamt rund 201 kWh/Mg Natriumaluminat abschätzen.

### **Treibhausgasemissionen**

Sowohl in den im Aufbereitungsverfahren eingesetzten Alt-Laugengemischen als auch in deren Behandlungsrückständen sind keine Bestandteile enthalten, die ein Treibhauspotenzial [UBA 2015] aufweisen. Damit ist insgesamt von einer etwa ausgeglichenen Treibhausgasbilanz auszugehen, weil der bereitgestellte Wertstoff die Emissionen bei der Herstellung eines Primärrohstoffs in etwa ausgleicht. Neben den direkten Emissionen entstehen auch Treibhausgasemissionen aus dem Energiebedarf (z. B. Strom) des Verwertungsverfahrens.

Außerdem wird in der Regel eine Gutschrift für die nicht erforderliche Neuherstellung von Produkten vergeben. Die Höhe dieser Gutschrift richtet sich nach dem Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs. Die Gutschrift steht den direkten Treibhausgasemissionen und den Emissionen aus dem Energiebedarf des Verwertungsverfahrens entgegen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die realisierte Behandlungstechnik zur Aufbereitung der Rückstandslaugen macht keine Abgasreinigung erforderlich [REMONDIS 2016].

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Anfallendes Abwasser wird behandelt (Neutralisation-Fällung-Filtration) [REMONDIS 2016], um die zur Einleitung in den Vorfluter bestehenden Einleitgrenzwerte einzuhalten

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Bei der installierten Behandlungstechnik gehen wir davon aus, dass es sich im Einzelnen um teilautomatisierte Prozesse handelt, und nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein gewisses Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer vorliegt.

Ferner wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in einen Vorfluter gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Da Abwasserbehandlungseinrichtungen vorhanden sind, in denen die schadstoffrelevanten Abfallbestandteile abgetrennt werden, ist das Risiko einer Schadstofffreisetzung über den Abwasserpfad als gering bis sehr gering einzuschätzen.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein gewisses Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

## **11.2 Einsatz als Ersatz-Neutralisationsmittel im CPB-Anlagenbetrieb**

Gefährliche flüssige Abfälle, wie z. B. Alt-Säuren, Alt-Laugen, schwermetallhaltige Lösungen, Dünnschlämme oder Flüssigkeiten mit schadstoffhaltigen Inhaltsstoffen (→ Nitrite, Chromate und Cyanide), werden i.d.R. im anorganischen Behandlungsstrang einer CPB ihrer physikalischen und chemischen Behandlung unterzogen. Ziel der Behandlung ist die Entgiftung der enthaltenen toxischen Anionen, die Neutralisation von Säuren und Laugen, die Abtrennung von fällbaren Kationen (insbesondere der Schwermetalle) und die Entwässerung von angefallenen Schlämmen.

Hierbei stellt die Neutralisation und Fällung in den meisten Fällen den vorletzten Schritt der eigentlichen chemisch-physikalischen Behandlung dar. Dieser Behandlungsstufe werden neben den entgifteten flüssigen Abfällen auch die nur sauren, basischen oder schwach metallhaltigen Abfälle zugeführt. Die basisch bzw. sauer anfallenden Abfallmengen neutralisieren sich in der Regel gegenseitig, so dass nur gelegentlich auftretende Säure- bzw. Alkaliüberflüsse neutralisiert werden müssen [MUNLV NRW 2007].

Zu diesem Zweck werden in einigen Behandlungsanlagen Alt-Laugen als Ersatz-Neutralisationsmittel eingesetzt [AIDA 2016b].

Im nächsten CP-Behandlungsschritt werden die flüssigen Abfälle dann nach Hinzugabe von geeigneten Flockungsmitteln, mit denen eine schnelle und wirksame Abtrennung der ausgefällten Metallgehalte realisiert wird, sedimentiert und filtriert.

#### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs**

Durch den anlageninternen Einsatz von Alt-Laugen des AS 060205\* werden dem (externen) Wirtschaftskreislauf keine Wertstoffe zugeführt.

#### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Durch den CPB-internen Einsatz von Alt-Laugen des AS 060205\* wird kein Verwertungserzeugnis hergestellt, in das Schadstoffe verschleppt und dort angereichert werden.

#### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Der Hauptanteil der in den Alt-Laugen enthaltenen Schadstoffe befindet sich nach deren Sedimentation und Filtration in den festen Behandlungsrückständen (Filterkuchen). Dies stellt eine Aufkonzentration von Schadstoffen dar.

Im Rahmen der weiteren Entsorgung werden die Filterkuchen in der Regel auf einer oberirdischen Deponie beseitigt.

#### **Rohstoffbedarf, Betriebsmitteleinsatz etc.**

Nach ihrem Einsatz in den Neutralisations-/Fällungsvorrichtungen gelangen die neutralisierten Alt-Laugen – in anteiliger Mischung mit dem übrigen Abwasserstrom - in die Sedimentationsstufe der CPB. Hier werden den flüssigen Abfällen polymere Flockungsmittel zur Sedimentationsbeschleunigung hinzugegeben.

#### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Als Abfall aus der anteiligen Mit-Sedimentation und Mit-Filtration der ursprünglich eingesetzten Alt-Laugenmengen fallen Filterkuchen an. Diese Filterkuchen gelangen auf eine oberirdische Deponie zur Beseitigung und sind somit als nicht verwertbare Abfälle einzustufen.

#### **Energie**

Der Energieverbrauch im Zuge der Mit-Behandlung der eingesetzten Alt-Laugen und der sich anschließenden Abwasserreinigung ist in erster Linie von der hierzu benötigten Strommenge abhängig. Unter Bezugnahme auf spezifische Energieverbrauchsangaben für komplette chemisch-physikalische Behandlungslinien lässt sich spezifische Behandlungsaufwand in grober Näherung zu ungefähr < 15 kWh/m<sup>3</sup> eingesetzter Alt-Lauge abschätzen [NEHLSSEN 2016, Bremen 2014].



### **Treibhausgasemissionen**

Sowohl in den zur Neutralisation eingesetzten Alt-Laugen des AS 060205\* als auch in deren Behandlungsrückständen sind keine Bestandteile enthalten, die ein Treibhauspotenzial [UBA 2015] aufweisen. Daraus ergibt sich eine etwa neutrale THG-Bilanz.

Neben den direkten Emissionen entstehen auch Treibhausgasemissionen aus dem Energiebedarf (z. B. Strom) des Verwertungsverfahrens.

Außerdem wird in der Regel eine Gutschrift für die nicht erforderliche Neuherstellung von Produkten vergeben. Die Höhe dieser Gutschrift richtet sich nach dem Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs. Die Gutschrift steht den direkten Treibhausgasemissionen und den Emissionen aus dem Energiebedarf des Verwertungsverfahrens entgegen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die zur (anorganischen,) chemisch-physikalischen Mit-Behandlung der Alt-Laugen realisierte Verfahrenstechnik macht keine Abgasreinigung erforderlich [MUNLV NRW 2007].

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Anfallendes Abwasser wird behandelt (Sedimentation – Abtrennung fällbarer Metallionen – Grobfiltration – Aktivkohleadsorption) [MUNLV NRW 2007], um die zur Einleitung in den Vorfluter bestehenden Einleitgrenzwerte einzuhalten.

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Hinsichtlich der realisierten CPB-Prozessketten gehen wir davon aus, dass es sich im Einzelnen um teilautomatisierte Prozesse handelt, und nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein gewisses Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer vorliegt.

Ferner wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in einen Vorfluter gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Da Abwasserbehandlungseinrichtungen vorhanden sind, in denen die schadstoffrelevanten Abfallbestandteile abgetrennt werden, ist das Risiko einer Schadstofffreisetzung über den Abwasserpfad als gering bis sehr gering einzuschätzen.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein gewisses Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

## 12 Verfahrenssteckbrief für AS 070103\* - Halogenorganische Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen aus HZVA organischer Grundchemikalien

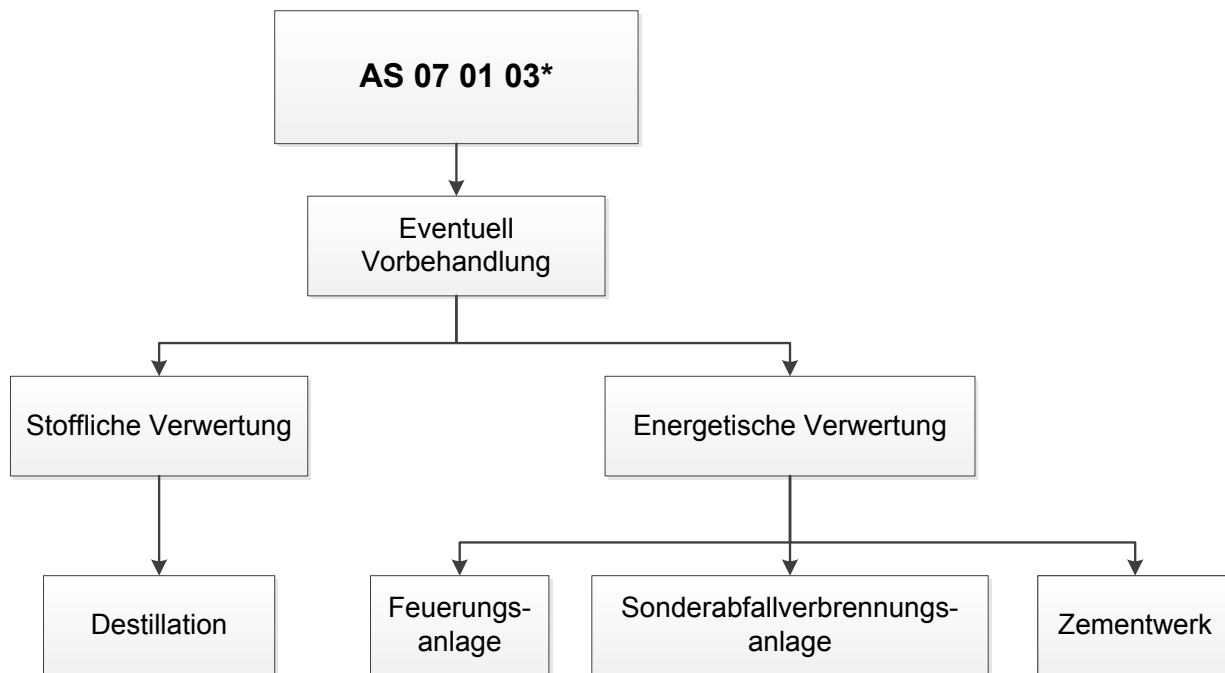
Bei dieser Abfallart handelt es sich um Abfälle aus organisch-chemischen Prozessen, die bei der Herstellung, der Zubereitung, dem Vertrieb und der Anwendung (HZVA) von Chemikalien anfallen.

Abfälle dieser Abfallart können ein oder mehrere Lösemittel sowie die unterschiedlichsten Begleitstoffe enthalten. Um welche Lösemittel und Begleitstoffe es sich im Einzelnen handelt, ist nicht bekannt. Aus diesem Grund ist es nicht möglich, spezielle Verwertungsverfahren für bestimmte Lösemittel oder andere Inhaltsstoffe zu benennen und vergleichend zu bewerten.

Für die stoffliche Verwertung von Lösemitteln kommt grundsätzlich die Destillation in Frage. Eventuell müssen die Abfälle dafür vorher einer Vorbehandlung unterzogen werden.

Die energetische Verwertung ist grundsätzlich möglich und wird – wenn auch in geringem Umfang – in Kraftwerksfeuerungen und Zementwerken durchgeführt. Eine Vorbehandlung ist unter Umständen dann erforderlich, wenn der Abfall zu viel Wasser enthält. Der überwiegende Teil dieser Abfallart wird aber in Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt. Ob es sich dabei um Verwertung oder Beseitigung handelt, kann nur im Einzelfall festgestellt werden. Aus diesem Grund wird die Verbrennung in Sonderabfallverbrennungsanlagen ebenfalls betrachtet und in die Bewertung der Verfahren aufgenommen.

Abbildung 3: Verwertungsschema für die Abfallart AS 070103\*



Eigene Darstellung

Für die vergleichende Bewertung herangezogen wird die Destillation und die energetische Verwertung in Kraftwerksfeuerungen, Sonderabfallverbrennungsanlagen und Zementwerken, da diese in AIDA als Entsorgungswege in den Jahren 2010 – 2013 aufgeführt werden.

## 12.1 Destillation

Für das Destillieren von halogenorganischen Abfalllösemitteln sowie Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen, die halogenorganische Stoffe enthalten, stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung.

Für verunreinigte sortenreine Lösemittel kann die einfache Destillation zum Einsatz kommen [Martens 2011].

Um bei empfindlichen Stoffkomponenten den Siedepunkt zu senken und damit die Zersetzung zu vermeiden, wird unter Vakuum destilliert (Vakuumdestillation). Der Energieverbrauch des Destillierens wird damit gesenkt, dafür wird aber zusätzliche Energie für den Betrieb der Vakuumpumpen benötigt. Mit der Vakuumdestillation können Lösemittel bis zu einem Siedepunkt von 290 °C destilliert werden. [Martens 2011]

Die Trennung von Lösemittelgemischen erfolgt durch fraktionierte Destillation oder Rektifikation [Martens 2011].

Die Beheizung der Destillationsblasen wird mit Thermoöl, Heißwasser oder Dampf durchgeführt. Bei weitgehend feststofffreien Abfalllösemitteln kann anstelle einer Destillationsblase ein Dünnschichtverdampfer eingesetzt werden. [Martens 2011]

### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs**

Bei der Destillation von Abfalllösemitteln beträgt der Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs, hier das jeweilige Lösemittel bzw. die jeweiligen Lösemittel, durchschnittlich 70 % [Martens 2011].

### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Da es sich bei den gewonnenen Lösemitteln in der Regel um die Destillate handeln wird, kann davon ausgegangen werden, dass Schadstoffverschleppungen nur in geringem Umfang auftreten und keine Schadstoffanreicherung in den Verwertungserzeugnissen „Lösemittel“ erfolgt.

### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Der Hauptanteil der im Abfall enthaltenen Schadstoffe befindet sich nach der Destillation im Destillationsrückstand. Dies ist eine Aufkonzentration von Schadstoffen. Halogenierte Destillationsrückstände werden nach AIDA zum überwiegenden Teil in Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt und zu einem geringen Teil auch in CPB verfestigt.

Die Sonderabfallverbrennung stellt eine Schadstoffsенke dar, da die enthaltenen Schadstoffe fast vollständig zerstört werden. Die Verfestigung an sich stellt keine Senke dar. Ob die Behandlung insgesamt eine Senkenfunktion darstellt, hängt von der konkreten Entsorgung des Materials ab.

### **Rohstoffbedarf, Betriebsmitteleinsatz etc.**

Aus den vorliegenden Angaben ist nicht ersichtlich, dass zusätzliche Betriebsmittel etc. benötigt werden.

### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Als Abfall fällt der Destillationsrückstand an. Nach AIDA werden halogenierte Destillationsrückstände zum überwiegenden Teil in Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt. Zu einem geringen Teil werden sie auch in CPB verfestigt. Ob es sich bei Verbrennung in einer Sonderabfallverbrennungsanlage um Verwertung oder Beseitigung handelt, kann nicht allgemeingültig gesagt werden. Das gleiche

gilt für die in CPB verfestigten Destillationsrückstände. Sie könnten energetisch verwertet oder beseitigt werden. Da der Destillationsrückstand bereits im Ausgangsabfall (Abfalllösemittelgemisch) enthalten war, fallen bei der Destillation keine zusätzlichen nicht verwertbaren Abfälle an.

### **Energie**

Der Energieverbrauch ist beim Destillieren insbesondere von der Wärmekapazität und der Verdampfungswärme des zu destillierenden Lösemittels bzw. der zu destillierenden Lösemittel sowie der eingesetzten Destillationstechnik abhängig. Da die in den Abfällen enthaltenen Lösemittel nicht bekannt sind, können allgemeingültige Aussagen zum Energieverbrauch nicht getroffen werden. Zur Wiedergewinnung von 100 l/h Tetrachlorethylen wird abhängig von der Technik beispielsweise ein Energiebedarf von > 16 kWh bzw. 7 kWh angegeben [Ziermann/Mager 2013]. Die Summe aus Wärmekapazität und Verdampfungswärme beträgt beispielsweise für Aceton ca. 161 kWh/Mg und für Dimethylformamid ca. 238 kWh/Mg.

### **Treibhausgasemissionen**

Bei den meisten halogenierten Lösemitteln handelt es sich um chlorierte Kohlenwasserstoffe. Zumindest die Leichtflüchtigen besitzen Treibhauspotenziale [ReCiPe 2014] und werden – wenngleich in geringem Umfang – beim Destillieren sowie bei Umschlag und Lagerung des Abfalls freigesetzt. Die nach der Abgasreinigung emittierte Menge kann aufgrund des niedrigen Volumenstroms als gering eingestuft werden. Handelt es sich bei der Abgasreinigung um eine Nachverbrennung, können über diesen Pfad nur geringste Mengen an Treibhausgasemissionen entstehen.

Halogenierte Destillationsrückstände werden nach AIDA zum überwiegenden Teil in Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt und zu einem geringen Teil auch in CPB verfestigt. In der Sonderabfallverbrennung wird der enthaltene Kohlenstoff vollständig zu CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Beim Handling der Abfälle in der CPB können potenziell Treibhausgase in geringem Umfang aus dem Abfall freigesetzt werden. Wird der verfestigte Abfall anschließend verbrannt, wird der enthaltene Kohlenstoff vollständig zu CO<sub>2</sub> umgesetzt (analog zur SAV).

Neben den direkten Emissionen entstehen auch Treibhausgasemissionen aus dem Energiebedarf (z. B. Strom) des Verwertungsverfahrens.

Außerdem wird in der Regel eine Gutschrift für die nicht erforderliche Neuherstellung von Produkten vergeben. Die Höhe dieser Gutschrift richtet sich nach dem Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs. Die Gutschrift steht den direkten Treibhausgasemissionen und den Emissionen aus dem Energiebedarf des Verwertungsverfahrens entgegen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Mit einer entsprechenden Abgasreinigung können Emissionswerte von 50 mg C/Nm<sup>3</sup> eingehalten werden [UBA 2006a], so dass in Verbindung mit den im Vergleich zur Verbrennung geringen Volumenströmen die Schadstofffreisetzungen in die Luft beim Destillieren gering sind.

Da es sich bei den halogenorganischen Lösemitteln i.d.R. um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls und des Destillationsrückstands zu diffusen Schadstoffemissionen kommen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Anfallendes Abwasser muss behandelt werden [UBA 2006a] und bestehende Einleitgrenzwerte sind einzuhalten.

## **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Bei Destillation gehen wir davon aus, dass es sich um teilautomatisierte Prozesse handelt, und nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Es wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Inwieweit die hier relevanten Abfälle in der Abwasserbehandlungsanlage abgebaut bzw. unschädlich gemacht werden, hängt von den jeweiligen Stoffen und der Leistungsfähigkeit der Abwasserbehandlung ab.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

## **12.2 Energetische Verwertung**

Die energetische Verwertung dieser Abfallart erfolgt in Kraftwerksfeuerungen, Zementwerken und Sonderabfallverbrennungsanlagen. Voraussetzung für den Einsatz in diesen Anlagen ist die Einhaltung der jeweils für die Anlage im Genehmigungsbescheid festgelegten Parameter [LUBW 1996]. Bei Zementwerken sind i.d.R. höhere Schadstoffgehalte an PCB und Halogenen in den Genehmigungen festgelegt [LUBW 1996].

### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs**

Bei der energetischen Verwertung verbleiben i.d.R. keine Wertstoffe im Wirtschaftskreislauf. Die stoffliche Verwertung ist daher in diesem Punkt i.d.R. besser zu bewerten als die energetische Verwertung.

### **Rohstoffbedarf und/oder Betriebsmitteleinsatz**

Bei allen hier betrachteten Verfahren zur energetischen Verwertung halogenorganischer Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen kommen im Zuge der nachgeschalteten Rauchgasreinigungseinrichtungen Betriebsmittel in geringem Umfang zum Einsatz.

### **Energie**

Der energetische Wirkungsgrad kann bei Feuerungs- und Sonderabfallverbrennungsanlagen nicht eindeutig bestimmt werden, da er davon abhängig ist, ob nur Strom oder nur Wärme oder beides erzeugt wird. Dies ist je nach Anlage unterschiedlich. Allgemein kann im Vergleich untereinander aber festgestellt werden, dass der energetische Netto-Wirkungsgrad beim Abfalleinsatz im Zementwerk am höchsten ist, da die erzeugte Energie als Wärme im Drehrohrofen direkt genutzt wird. Der energetische Netto-Wirkungsgrad von Feuerungsanlagen ist niedriger, aber im Normalfall höher als bei Sonderabfallverbrennungsanlagen, da der Eigenbedarf niedriger und damit der energetische Netto-Wirkungsgrad höher ist.

#### **12.2.1 Feuerungsanlagen**

##### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Bei der energetischen Verwertung in Feuerungsanlagen wird kein Verwertungserzeugnis hergestellt, in das Schadstoffe verschleppt und dort angereichert werden.

### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die im eingesetzten Abfall enthaltenen organischen Schadstoffe werden in der Feuerung weitgehend zerstört. Es handelt sich also um eine Schadstoffsenke.

Je nach Abfallzusammensetzung kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich in den Verbrennungsrückständen noch Schadstoffe befinden. Schlacken und Aschen aus Feuerungsanlagen, in denen Abfälle mitverbrannt werden, finden Verwendung im Bergversatz oder werden aufbereitet und anderweitig verwertet, zum Teil auch deponiert [Dehoust et al. 2008]. REA-Gips wird verwertet [Prognos 2003].

### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz von halogenorganischen Lösemitteln, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen in Feuerungsanlagen entstehen nur geringe Mengen an zusätzlichen Abfällen (Schlacken/Aschen, Flugaschen, REA-Gips), da der Feststoffanteil gering ist.

Schlacken und Aschen aus Feuerungsanlagen, in denen Abfälle mitverbrannt werden, finden Verwendung im Bergversatz oder werden aufbereitet und anderweitig verwertet, zum Teil auch deponiert [Dehoust et al. 2008]. REA-Gips wird verwertet [Prognos 2003].

Da die Schlacken und Aschen aus der Abfallmitverbrennung teilweise deponiert werden, fallen hier geringe Mengen an zusätzlichen nicht verwertbaren Abfällen an.

### **Treibhausgasemissionen**

Der im Abfall enthaltene Kohlenstoff wird zu Kohlendioxid verbrannt. Damit wird der Kohlenstoffanteil des ursprünglichen Abfalls mehr oder minder vollständig in CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Bei den meisten halogenierten Lösemitteln handelt es sich um chlorierte Kohlenwasserstoffe. Zumindest die Leichtflüchtigen besitzen Treibhauspotenziale [ReCiPe 2014] und können bei Umschlag, Lagerung und Handhabung der halogenorganischen Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen freigesetzt werden.

Durch die Nutzung der im Abfall enthaltenen Energie wird eine Menge an Primärbrennstoffen substituiert, d.h. eingespart. Die eingesparte Menge an Primärbrennstoff wird mittels einer Gutschrift für Treibhausgasemissionen berücksichtigt. Diese Gutschrift steht den aus der Verbrennung des Abfalls resultierenden Treibhausgasemissionen entgegen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der Anlage 3 Nr. 3 der 17. BImSchV.

Da es sich bei den halogenierten organischen Lösemitteln i.d.R. um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls zu diffusen Schadstoffemissionen kommen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Bei der Verbrennung in Feuerungsanlagen anfallende Abwässer müssen behandelt und aufbereitet werden [UBA 2006b].

## **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz der Abfälle in Feuerungsanlagen nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Allerdings gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Es wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Inwieweit die hier relevanten Abfälle in der Abwasserbehandlungsanlage abgebaut bzw. unschädlich gemacht werden, hängt von den jeweiligen Stoffen und der Leistungsfähigkeit der Abwasserbehandlung ab.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

### **12.2.2 Zementwerk**

#### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Halogenorganische Lösemittel werden bei der Verbrennung zerstört. Je nach Abfallzusammensetzung kann aber nicht ausgeschlossen werden, dass andere, nicht zerstörte Schadstoffe verbleiben und dann ins Produkt gelangen.

#### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die im eingesetzten Abfall enthaltenen organischen Schadstoffe werden beim Einsatz im Zementwerk weitgehend zerstört. Entsprechend stellt das Zementwerk eine Senke für die organischen Schadstoffe dar.

#### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz von halogenorganischen Lösemitteln, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen im Zementwerk entstehen nur geringe Mengen an zusätzlichen Abfällen, insbesondere Filterstäube, da der Feststoffanteil gering ist. Die Filterstäube können dem Klinker beigegeben oder an anderer Stelle dem Prozess wieder zugeführt werden [Davids/Lange 1986]. Die Rückführung in den Prozess ist aber nur möglich, wenn der Chloridgehalt der Filterstäube aufgrund des Einsatzes halogenorganischer Lösemittel dafür nicht zu wird.

#### **Treibhausgasemissionen**

Der im Abfall enthaltene Kohlenstoff wird zu Kohlendioxid verbrannt. Damit wird der Kohlenstoffanteil des ursprünglichen Abfalls mehr oder minder vollständig in CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Bei den meisten halogenierten Lösemitteln handelt es sich um chlorierte Kohlenwasserstoffe. Zumindest die Leichtflüchtigen besitzen Treibhauspotenziale [ReCiPe 2014] und werden bei Umschlag, Lagerung und Handhabung der halogenorganischen Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen in geringem Umfang freigesetzt.

Der eingesetzte Abfall ersetzt eine, seinem Heizwert entsprechende Menge an Primärbrennstoff, der dann nicht verbrannt wird. Für diese Substitution des Primärbrennstoffs wird eine Gutschrift erteilt,

die dem Kohlendioxid (Lastschrift) aus der Verbrennung des Abfalls entgegensteht bzw. diese Lastschrift übertrifft.

#### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der Anlage 3 Nr. 2 der 17. BImSchV.

Da es sich bei den halogenorganischen Lösemitteln i.d.R. um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls zu diffusen Schadstoffemissionen kommen.

#### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

In der Zementindustrie sind nassarbeitende Abgasreinigungsanlagen nicht im Einsatz [Davids/Lange 1986]. Zementwerke besitzen daher i.d.R. keine spezielle Abwasserreinigung bzw. keinen Wasserpfad, so dass keine Schadstofffreisetzung ins Wasser erfolgt.

#### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz der Abfälle in Zementwerken nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Allerdings gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Da Zementwerke i.d.R. nicht über eine spezielle Abwasserbehandlung verfügen, wird davon ausgegangen, dass hier ein erhöhtes Risiko besteht, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle, z. B. bei Regen, direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, wenn keine Vorkehrungen getroffen sind, um belastetes Betriebsflächenwasser auffangen und entsorgen zu können.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

### **12.2.3 Sonderabfallverbrennungsanlagen**

#### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Bei der energetischen Verwertung in Sonderabfallverbrennungsanlagen wird kein Verwertungserzeugnis hergestellt, in das Schadstoffe verschleppt und dort angereichert werden.

#### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die im eingesetzten Abfall enthaltenen organischen Schadstoffe werden in der Feuerung weitgehend zerstört. Entsprechend stellen Sonderabfallverbrennungsanlagen eine Senke für die organischen Schadstoffe dar.

Schlacken, Filterstäube und andere Rauschgasreinigungsrückstände, z. B. Salze, werden in Untertage- deponien beseitigt, auf oberirdischen Deponien verwertet oder beseitigt oder im Bergversatz verwertet.



### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz der Abfälle in der Sonderabfallverbrennung entstehen nur geringe Mengen an zusätzlichen Abfällen (Aschen, Filterstäube), da der Feststoffanteil sowie der Anteil anderer Stoffe außer Chlor gering ist. Da die eingesetzten halogenorganischen Lösemittel Chlor enthalten, entstehen bei der Eindampfung des Waschwassers Chloride als fester zusätzlicher Abfall.

Da Schlacken und Filterstäube, insbesondere aber die anfallenden Salze, zu einem großen Teil beseitigt werden, fallen hier nicht verwertbare Abfälle an.

### **Treibhausgasemissionen**

Der im Abfall enthaltene Kohlenstoff wird zu Kohlendioxid verbrannt. Damit wird der Kohlenstoffanteil des ursprünglichen Abfalls mehr oder minder vollständig in CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Bei den meisten halogenierten Lösemitteln handelt es sich um chlorierte Kohlenwasserstoffe. Zumindest die Leichtflüchtigen besitzen Treibhauspotenziale [ReCiPe 2014] und werden bei Umschlag, Lagerung und Handhabung der halogenorganischen Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen in geringem Umfang freigesetzt.

Durch die Nutzung der im Abfall enthaltenen Energie wird eine entsprechende Menge an Primärbrennstoffen substituiert, d.h. eingespart. Bei der Sonderabfallverbrennungsanlage hängt die tatsächlich eingesparte Menge an Primärbrennstoffen davon ab, wie viel Strom und/oder Wärme konkret erzeugt und ausgekoppelt wird. Die eingesparte Menge an Primärbrennstoff wird mittels einer Gutschrift für Treibhausgasemissionen berücksichtigt. Diese Gutschrift steht den aus der Verbrennung des Abfalls resultierenden Treibhausgasemissionen entgegen.

Der energetische Wirkungsgrad kann bei Feuerungs- sowie Müll- und Sonderabfallverbrennungsanlagen nicht eindeutig bestimmt werden, da er davon abhängig ist, ob nur Strom oder nur Wärme oder beides erzeugt wird. Dies ist je nach Anlage unterschiedlich.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der 17. BImSchV.

Da es sich bei den halogenorganischen Lösemitteln i.d.R. um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls zu diffusen Schadstoffemissionen kommen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Es wird davon ausgegangen, dass bei Sonderabfallverbrennungsanlagen kein Abwasser anfällt und damit kein Abwasserpfad besteht.

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz der Abfälle in Sonderabfallverbrennungsanlagen nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Allerdings gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Es wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, sondern aufgefangen und entsorgt werden.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

Sonderabfallverbrennungsanlagen haben den Zweck, Sonderabfälle zu verbrennen. Daher gehen wir davon aus, dass Prozesse, Anlagen und Mitarbeiter für ein sicheres Handling dieser Materialien in besonderem Maße ausgerichtet bzw. geschult sind. Damit wird das Risiko im Vergleich mit anderen Verfahren als geringer eingeschätzt.

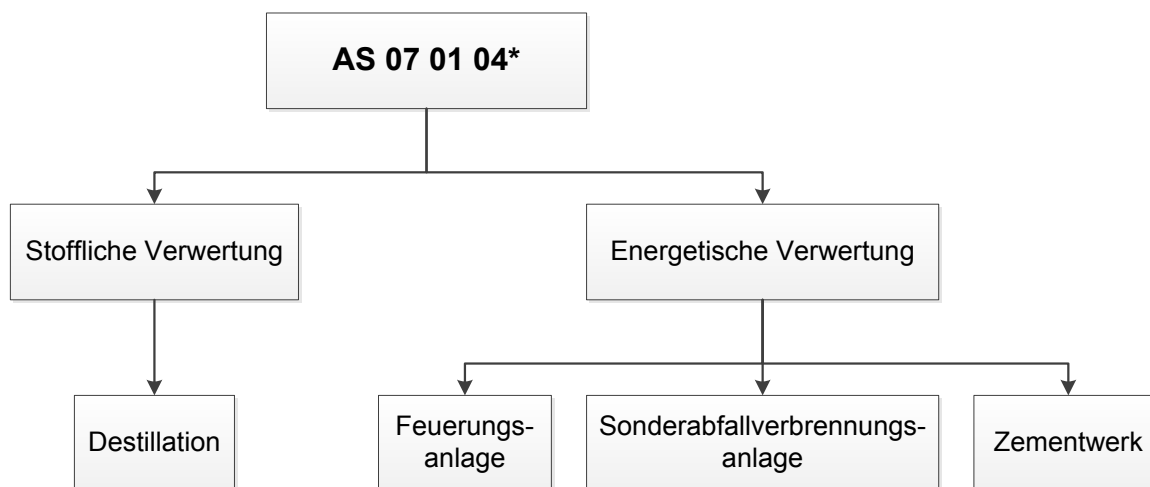
## 13 Verfahrenssteckbrief für AS 070104\* - organische Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen aus HZVA organischer Grundchemikalien

Bei dieser Abfallart handelt es sich um nicht halogenierte organische Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen, die bei der Herstellung, der Zubereitung, dem Vertrieb und der Anwendung (HZVA) von Grundchemikalien anfallen.

Abfälle dieser Abfallart können ein oder mehrere Lösemittel sowie die unterschiedlichsten Begleitstoffe enthalten. Um welche Lösemittel und Begleitstoffe es sich im Einzelnen handelt, ist nicht bekannt. Aus diesem Grund ist es nicht möglich, spezielle Verwertungsverfahren für bestimmte Lösemittel oder andere Inhaltsstoffe zu benennen und vergleichend zu bewerten.

Für die stoffliche Verwertung von Lösemitteln kommt grundsätzlich die Destillation in Frage, die zum Teil auch erfolgt. Eventuell müssen die Abfälle dazu vorher einer Vorbehandlung unterzogen werden. Die energetische Verwertung erfolgt in Kraftwerksfeuerungen und Zementwerken. Eine Vorbehandlung ist unter Umständen auch hier erforderlich, wenn der Abfall zu viel Wasser enthält. Ein nicht unerheblicher Teil dieser Abfallart wird in Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt. Ob es sich dabei um Verwertung oder Beseitigung handelt, kann nur im Einzelfall festgestellt werden. Aus diesem Grund wird die Abfallverbrennung in Sonderabfallverbrennungsanlagen ebenfalls betrachtet und in die Bewertung der Verfahren aufgenommen.

Abbildung 4: Verwertungsschema für die Abfallart AS 070104\*



Eigene Darstellung

Für die vergleichende Bewertung herangezogen werden die Destillation sowie die energetische Verwertung in Feuerungsanlagen, Zementwerken und Sonderabfallverbrennungsanlagen, da diese in AI-DA als Entsorgungswege in den Jahren 2010 – 2013 aufgeführt werden.

### 13.1 Destillation

Für das Destillieren von organischen Abfalllösemitteln sowie Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung.

Für verunreinigte sortenreine Lösemittel kann die einfache Destillation zum Einsatz kommen [Martens 2011].

Um bei empfindlichen Stoffkomponenten den Siedepunkt zu senken und damit die Zersetzung zu vermeiden, wird unter Vakuum destilliert (Vakuumdestillation). Der Energieverbrauch des Destillierens

wird damit gesenkt, dafür wird aber zusätzliche Energie für den Betrieb der Vakuumpumpen benötigt. Mit der Vakuumdestillation können Lösemittel bis zu einem Siedepunkt von 290 °C destilliert werden. [Martens 2011]

Die Trennung von Lösemittelgemischen erfolgt durch fraktionierte Destillation oder Rektifikation [Martens 2011].

Die Beheizung der Destillationsblasen wird mit Thermoöl, Heißwasser oder Dampf durchgeführt. Bei weitgehend feststofffreien Abfalllösemitteln kann anstelle einer Destillationsblase ein Dünnschichtverdampfer eingesetzt werden. [Martens 2011]

#### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs**

Bei der Destillation von Abfalllösemitteln beträgt der Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs, hier das jeweilige Lösemittel bzw. die jeweiligen Lösemittel, durchschnittlich 70 % [Martens 2011].

#### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Da es sich bei den gewonnenen Lösemitteln in der Regel um die Destillate handeln wird, kann davon ausgegangen werden, dass Schadstoffverschleppungen nur in geringem Umfang auftreten und keine Schadstoffanreicherung in den Verwertungserzeugnissen „Lösemittel“ erfolgt.

#### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Der Hauptanteil der im Abfall enthaltenen Schadstoffe befindet sich nach der Destillation im Destillationsrückstand. Dies stellt eine Aufkonzentration von Schadstoffen dar. Die Destillationsrückstände werden nach AIDA zum überwiegenden Teil in Feuerungsanlagen, Zementwerken, Müllverbrennungsanlagen und Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt. Zu einem geringen Teil werden sie in CPB behandelt, wobei ein Teil konditioniert wird, um anschließend einer thermischen Behandlung unterzogen zu werden.

Die Verbrennung stellt eine Schadstoffsенке dar, da die enthaltenen organischen Schadstoffe fast vollständig zerstört werden. Die Behandlung in einer CPB an sich stellt keine Senke dar. Ob es sich um eine Senkenfunktion handelt, hängt von der anschließenden konkreten Entsorgung des Materials ab.

#### **Rohstoffbedarf, Betriebsmitteleinsatz etc.**

Aus den vorliegenden Angaben ist nicht ersichtlich, dass zusätzliche Betriebsmittel etc. benötigt werden.

#### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Als Abfall fällt der Destillationsrückstand an. Nach AIDA werden die Destillationsrückstände zum überwiegenden Teil in Feuerungsanlagen, Zementwerken, Müllverbrennungsanlagen und Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt. Zu einem geringen Teil werden sie auch in CPB behandelt und dabei zum Teil verfestigt. Bei der Verbrennung in Feuerungsanlagen, Zementwerken und Müllverbrennungsanlagen handelt es sich um energetische Verwertung. Ob es sich bei Verbrennung in einer Sonderabfallverbrennungsanlage um Verwertung oder Beseitigung handelt, kann nicht allgemeingültig gesagt werden. Das gleiche gilt für die in CPB verfestigten Destillationsrückstände. Sie könnten energetisch verwertet oder beseitigt werden. Da der Destillationsrückstand aber bereits im Ausgangsabfall (Abfalllösemittelgemisch) enthalten war, fallen bei der Destillation keine zusätzlichen nicht verwertbaren Abfälle an.

## **Energie**

Der Energieverbrauch ist beim Destillieren insbesondere von der Wärmekapazität und der Verdampfungswärme des zu destillierenden Lösemittels bzw. der zu destillierenden Lösemittel sowie der eingesetzten Destillationstechnik abhängig. Da die in den Abfällen enthaltenen Lösemittel nicht bekannt sind, können allgemeingültige Aussagen zum Energieverbrauch nicht getroffen werden. Zur Wiedergewinnung von 100 l/h Tetrachlorethylen wird abhängig von der Technik beispielsweise ein Energiebedarf von > 16 kWh bzw. 7 kWh angegeben [Ziermann/Mager 2013]. Die Summe aus Wärmekapazität und Verdampfungswärme beträgt beispielsweise für Aceton ca. 161 kWh/Mg und für Dimethylformamid ca. 238 kWh/Mg.

## **Treibhausgasemissionen**

Von einigen leichtflüchtigen organischen Lösemitteln ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie werden – wenngleich in geringem Umfang – beim Destillieren sowie bei Umschlag und Lagerung des Abfalls freigesetzt. Die nach der Abgasreinigung emittierte Menge kann aufgrund des niedrigen Volumenstroms als gering eingestuft werden. Handelt es sich bei der Abgasreinigung um eine Nachverbrennung, können über diesen Pfad nur geringste Mengen an Treibhausgasemissionen entstehen.

Nach AIDA werden die Destillationsrückstände zum überwiegenden Teil in Feuerungsanlagen, Zementwerken, Müllverbrennungsanlagen und Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt. Zu einem geringen Teil werden sie auch in CPB behandelt und dabei zum Teil verfestigt.

Bei der Verbrennung in Feuerungsanlagen, Zementwerken, Müllverbrennungsanlagen und Sonderabfallverbrennungsanlagen wird der enthaltene Kohlenstoff vollständig zu CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Beim Handling der Abfälle in der CPB können potenziell Treibhausgase in geringem Umfang aus dem Abfall freigesetzt werden. Wird der verfestigte Abfall anschließend verbrannt, wird der enthaltene Kohlenstoff vollständig zu CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Neben den direkten Emissionen entstehen auch Treibhausgasemissionen aus dem Energiebedarf (z. B. Strom) des Verwertungsverfahrens.

Außerdem wird in der Regel eine Gutschrift für die nicht erforderliche Neuherstellung von Produkten vergeben. Die Höhe dieser Gutschrift richtet sich nach dem Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs. Die Gutschrift steht den direkten Treibhausgasemissionen und den Emissionen aus dem Energiebedarf des Verwertungsverfahrens entgegen.

## **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Mit einer entsprechenden Abgasreinigung können Emissionswerte von 50 mg C/Nm<sup>3</sup> eingehalten werden [UBA 2006a], so dass in Verbindung mit den im Vergleich zur Verbrennung geringen Volumenströmen die Schadstofffreisetzungen in die Luft beim Destillieren gering sind.

Da es sich bei den organischen Lösemitteln i.d.R. um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls und des Destillationsrückstands zu diffusen Schadstoffemissionen kommen.

## **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Anfallendes Abwasser muss behandelt werden [UBA 2006a] und bestehende Einleitgrenzwerte sind einzuhalten.

## **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Bei Destillationen gehen wir davon aus, dass es sich um teilautomatisierte Prozesse handelt, und nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Es wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Inwieweit die hier relevanten Abfälle in der Abwasserbehandlungsanlage abgebaut bzw. unschädlich gemacht werden, hängt von den jeweiligen Stoffen und der Leistungsfähigkeit der Abwasserbehandlung ab.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

## **13.2 Energetische Verwertung**

Die energetische Verwertung von organischen Lösemitteln, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen erfolgt in Feuerungsanlagen, Zementwerken und Sonderabfallverbrennungsanlagen. Voraussetzung für den Einsatz in diesen Anlagen ist die Einhaltung der jeweils für die Anlage im Genehmigungsbescheid festgelegten Parameter [LUBW 1996]. Bei Zementwerken sind i.d.R. höhere Schadstoffgehalte an PCB und Halogenen in den Genehmigungen festgelegt [LUBW 1996].

### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs**

Bei der energetischen Verwertung verbleiben i.d.R. keine Wertstoffe im Wirtschaftskreislauf. Die stoffliche Verwertung ist daher in diesem Punkt i.d.R. besser zu bewerten als die energetische Verwertung.

### **Rohstoffbedarf und/oder Betriebsmitteleinsatz**

Bei allen hier betrachteten Verfahren zur energetischen Verwertung organischer Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen kommen im Zuge der nachgeschalteten Rauchgasreinigungseinrichtungen Betriebsmittel in geringem Umfang zum Einsatz.

### **Energie**

Der energetische Wirkungsgrad kann bei Feuerungs- und Sonderabfallverbrennungsanlagen nicht eindeutig bestimmt werden, da er davon abhängig ist, ob nur Strom oder nur Wärme oder beides erzeugt wird. Dies ist je nach Anlage unterschiedlich. Allgemein kann im Vergleich untereinander aber festgestellt werden, dass der energetische Netto-Wirkungsgrad beim Abfalleinsatz im Zementwerk am höchsten ist, da die erzeugte Energie als Wärme im Drehrohrföfen direkt genutzt wird. Der energetische Netto-Wirkungsgrad von Feuerungsanlagen ist niedriger, aber im Normalfall höher als bei Sonderabfallverbrennungsanlagen, da der Eigenbedarf niedriger und damit der energetische Netto-Wirkungsgrad höher ist.

#### **13.2.1 Feuerungsanlagen**

##### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Bei der energetischen Verwertung in Feuerungsanlagen wird kein Verwertungserzeugnis hergestellt, in das Schadstoffe verschleppt und dort angereichert werden.

### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die im eingesetzten Abfall enthaltenen organischen Schadstoffe werden in der Feuerung weitgehend zerstört. Es handelt sich also um eine Schadstoffsinke.

Je nach Abfallzusammensetzung kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich in den Verbrennungsrückständen noch Schadstoffe befinden. Schlacken und Aschen aus Feuerungsanlagen, in denen Abfälle mitverbrannt werden, finden Verwendung im Bergversatz oder werden aufbereitet und anderweitig verwertet, zum Teil auch deponiert [Dehoust et al. 2008]. REA-Gips wird verwertet [Prognos 2003].

### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz von organischen Lösemitteln, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen in Feuerungsanlagen entstehen nur geringe Mengen an zusätzlichen Abfällen (Schlacken/Aschen, Flugaschen, REA-Gips), da der Feststoffanteil gering ist.

Schlacken und Aschen aus Feuerungsanlagen, in denen Abfälle mitverbrannt werden, finden Verwendung im Bergversatz oder werden aufbereitet und anderweitig verwertet, zum Teil auch deponiert [Dehoust et al. 2008]. REA-Gips wird verwertet [Prognos 2003].

Da die Schlacken und Aschen aus der Abfallmitverbrennung teilweise deponiert werden, fallen hier geringe Mengen an zusätzlichen nicht verwertbaren Abfällen an.

### **Treibhausgasemissionen**

Der im Abfall enthaltene Kohlenstoff wird zu Kohlendioxid verbrannt. Damit wird der Kohlenstoffanteil des ursprünglichen Abfalls mehr oder minder vollständig in CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Von einigen leichtflüchtigen organischen Lösemitteln ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie können bei Umschlag, Lagerung und Handhabung der organischen Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen freigesetzt werden.

Durch die Nutzung der im Abfall enthaltenen Energie wird eine Menge an Primärbrennstoffen substituiert, d.h. eingespart. Die eingesparte Menge an Primärbrennstoff wird mittels einer Gutschrift für Treibhausgasemissionen berücksichtigt. Diese Gutschrift steht den aus der Verbrennung des Abfalls resultierenden Treibhausgasemissionen entgegen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der Anlage 3 Nr. 3 der 17. BImSchV.

Da es sich bei den organischen Lösemitteln i.d.R. um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls zu diffusen Schadstoffemissionen kommen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Bei der Verbrennung in Feuerungsanlagen anfallende Abwässer müssen behandelt und aufbereitet werden [UBA 2006b].

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz der Abfälle in Feuerungsanlagen nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Allerdings gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstö-

rungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Es wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Inwieweit die hier relevanten Abfälle in der Abwasserbehandlungsanlage abgebaut bzw. unschädlich gemacht werden, hängt von den jeweiligen Stoffen und der Leistungsfähigkeit der Abwasserbehandlung ab.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

### **13.2.2 Zementwerk**

#### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Organische Lösemittel werden bei der Verbrennung zerstört. Je nach Abfallzusammensetzung kann aber nicht ausgeschlossen werden, dass andere, nicht zerstörte Schadstoffe verbleiben und dann ins Produkt gelangen.

#### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die im eingesetzten Abfall enthaltenen organischen Schadstoffe werden beim Einsatz im Zementwerk weitgehend zerstört. Entsprechend stellt das Zementwerk eine Senke für die organischen Schadstoffe dar.

#### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz von organischen Lösemitteln, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen im Zementwerk entstehen nur geringe Mengen an zusätzlichen Abfällen, insbesondere Filterstäube, da der Feststoffanteil gering ist. Die Filterstäube können dem Klinker beigegeben oder an anderer Stelle dem Prozess wieder zugeführt werden [Davids/Lange 1986].

#### **Treibhausgasemissionen**

Der im Abfall enthaltene Kohlenstoff wird zu Kohlendioxid verbrannt. Damit wird der Kohlenstoffanteil des ursprünglichen Abfalls mehr oder minder vollständig in CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Von einigen leichtflüchtigen organischen Lösemitteln ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie können bei Umschlag, Lagerung und Handhabung der organischen Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen freigesetzt werden.

Der eingesetzte Abfall ersetzt eine, seinem Heizwert entsprechende Menge an Primärbrennstoff, der dann nicht verbrannt wird. Für diese Substitution des Primärbrennstoffs wird eine Gutschrift erteilt, die dem Kohlendioxid (Lastschrift) aus der Verbrennung des Abfalls entgegensteht bzw. diese Lastschrift übertrifft.

#### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der Anlage 3 Nr. 2 der 17. BImSchV.

Da es sich bei den organischen Lösemitteln i.d.R. um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls zu diffusen Schadstoffemissionen kommen.



### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

In der Zementindustrie sind nassarbeitende Abgasreinigungsanlagen nicht im Einsatz [Davids/Lange 1986]. Zementwerke besitzen daher i.d.R. keine spezielle Abwasserreinigung bzw. keinen Wasserpfad, so dass keine Schadstofffreisetzung ins Wasser erfolgt.

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz der Abfälle in Zementwerken nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Allerdings gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Da Zementwerke i.d.R. nicht über eine spezielle Abwasserbehandlung verfügen, wird davon ausgegangen, dass hier ein erhöhtes Risiko besteht, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle, z. B. bei Regen, direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, wenn keine Vorkehrungen getroffen sind, um belastetes Betriebsflächenwasser auffangen und entsorgen zu können.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

### **13.2.3 Sonderabfallverbrennungsanlagen**

#### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Bei der energetischen Verwertung in Sonderabfallverbrennungsanlagen wird kein Verwertungserzeugnis hergestellt, in das Schadstoffe verschleppt und dort angereichert werden.

#### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die im eingesetzten Abfall enthaltenen organischen Schadstoffe werden in der Feuerung weitgehend zerstört. Entsprechend stellen Sonderabfallverbrennungsanlagen eine Senke für die organischen Schadstoffe dar.

Schlacken, Filterstäube und andere Rauschgasreinigungsrückstände, z. B. Salze, werden in Untertagedeponien beseitigt, auf oberirdischen Deponien verwertet oder beseitigt oder im Bergversatz verwertet.

#### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz der Abfälle in der Sonderabfallverbrennung entstehen nur geringe Mengen an zusätzlichen Abfällen (Aschen, Filterstäube), da der Feststoffanteil sowie der Anteil anderer Stoffe gering ist.

Da Schlacken und Filterstäube, insbesondere aber die anfallenden Salze, zu einem großen Teil beseitigt werden, fallen hier nicht verwertbare Abfälle an.

#### **Treibhausgasemissionen**

Der im Abfall enthaltene Kohlenstoff wird zu Kohlendioxid verbrannt. Damit wird der Kohlenstoffanteil des ursprünglichen Abfalls mehr oder minder vollständig in CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Von einigen leichtflüchtigen organischen Lösemitteln ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie können bei Umschlag, Lagerung und Handhabung der organischen Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen freigesetzt werden.

Durch die Nutzung der im Abfall enthaltenen Energie wird eine entsprechende Menge an Primärbrennstoffen substituiert, d.h. eingespart. Bei der Sonderabfallverbrennungsanlage hängt die tatsächlich eingesparte Menge an Primärbrennstoffen davon ab, wie viel Strom und/oder Wärme konkret erzeugt und ausgekoppelt wird. Die eingesparte Menge an Primärbrennstoff wird mittels einer Gutschrift für Treibhausgasemissionen berücksichtigt. Diese Gutschrift steht den aus der Verbrennung des Abfalls resultierenden Treibhausgasemissionen entgegen.

Der energetische Wirkungsgrad kann bei Feuerungs- sowie Müll- und Sonderabfallverbrennungsanlagen nicht eindeutig bestimmt werden, da er davon abhängig ist, ob nur Strom oder nur Wärme oder beides erzeugt wird. Dies ist je nach Anlage unterschiedlich.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der 17. BImSchV.

Da es sich bei den organischen Lösemitteln i.d.R. um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls zu diffusen Schadstoffemissionen kommen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Es wird davon ausgegangen, dass bei Sonderabfallverbrennungsanlagen kein Abwasser anfällt und damit kein Abwasserpfad besteht.

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz der Abfälle in Sonderabfallverbrennungsanlagen nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Allerdings gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Es wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, sondern aufgefangen und entsorgt werden.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

Sonderabfallverbrennungsanlagen haben den Zweck, Sonderabfälle zu verbrennen. Daher gehen wir davon aus, dass Prozesse, Anlagen und Mitarbeiter für ein sicheres Handling dieser Materialien in besonderem Maße ausgerichtet bzw. geschult sind. Damit wird das Risiko im Vergleich mit anderen Verfahren als geringer eingeschätzt.

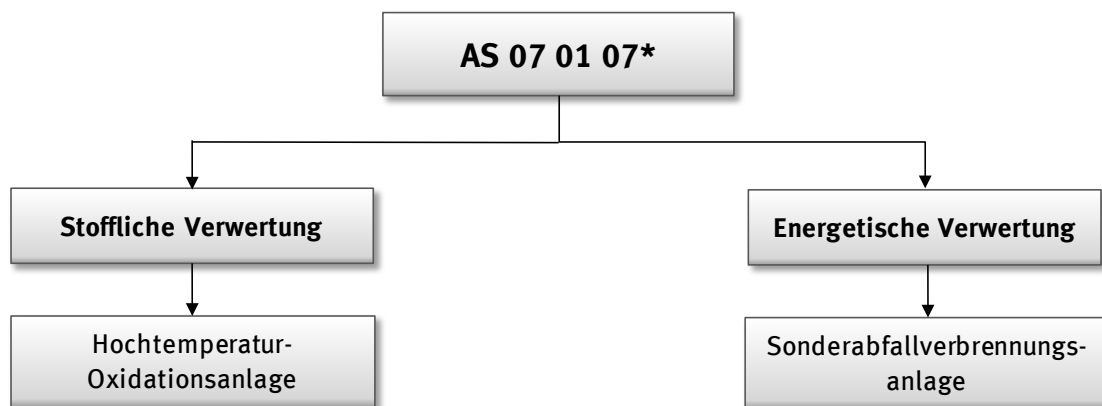
## 14 Verfahrenssteckbrief für AS 070107\* - halogenierte Reaktions- und Destillationsrückstände (HZVA organischer Grundchemikalien)

Dieser Abfallart werden nach dem Anhang der Abfallverzeichnis-Verordnung [AVV] alle die Reaktions- und Destillationsrückstände zugeordnet, die bei der Herstellung, der Zubereitung, dem Vertrieb und bei der Anwendung (HZVA) von organischen Grundchemikalien anfallen können.

Abfälle dieser Abfallart enthalten neben den für die Synthese eingesetzten halogenierten Lösemitteln und weiteren halogenierten Verbindungen sowohl Anteile der Synthese-Ausgangsstoffe und -Zwischenprodukte als auch der Synthese-Produkte. Um welche halogenierten Verbindungen bzw. Lösemittel, Reaktionsedukte oder -produkte es sich im Einzelnen handelt, ist nicht bekannt. Aus diesem Grund ist es nicht möglich, spezielle Verwertungsverfahren für bestimmte, in den Rückständen enthaltene, halogenierte Verbindungen oder andere Inhaltsstoffe zu benennen und vergleichend zu bewerten.

Eine Reihe von Reaktions- und Destillationsrückständen, die im Zuge von chlorchemischen Produktionsprozessen (Vinylchlorid-, Allylchlorid-Herstellung) als chlororganische Syntheserückstände anfallen, wird in nennenswertem Umfang in Hochtemperatur-Oxidationsanlagen (→ Salzsäuregewinnung) stofflich verwertet. Der größere Teil der Abfallart AS 070107\* gelangt jedoch in Sonderabfallverbrennungsanlagen zur Verbrennung. Ob es sich dabei um eine energetische Verwertung oder thermische Beseitigung handelt, kann nur im Einzelfall auf Basis der nach § 3 Abs. 23 Kreislaufwirtschaftsgesetz [KrWG] erforderlichen Substitutionswirkung der eingesetzten Abfälle – beispielweise in Abhängigkeit von den stofflichen Eigenschaften und dem konkreten Einsatzzweck der Rückstände, von der erzielten Energieeffizienz der Verbrennungsanlage oder vom Substitutionsumfang bzgl. der Primärenergieträger - festgestellt werden. Aus diesem Grund wird die Abfallverbrennung in Sonderabfallverbrennungsanlagen ebenfalls betrachtet und in die Bewertung der Verfahren aufgenommen.

Abbildung 5: Verwertungsschema für die Abfallart AS 070107\*



Eigene Darstellung

Für die vergleichende Bewertung herangezogen werden der stoffliche Einsatz in Hochtemperatur-Oxidationsanlagen sowie die energetische Verwertung in Sonderabfallverbrennungsanlagen – analog zur Entsorgungswege-Dokumentation unter AIDA für die Jahre 2010 – 2013.

### 14.1 Hochtemperatur-Oxidationsanlage

Bei einer Reihe von Prozessen der Herstellung von chlororganischen Grundstoffen, wie z. B. der Vinylchlorid- oder Allylchlorid-Herstellung, fallen Syntheserückstände an, die - zumeist im Rahmen von Produktionsverbundstandorten - Hochtemperatur-Oxidationsanlagen als Rohstoffträger zugeführt werden [SOLVAY 2010].

Hierzu werden die chlorhaltigen Rückstandsflüssigkeiten über geeignete Lanzen in den Brennraum von keramisch ausgekleideten Brennkammern eingedüst (→ Ultraschalldüsen), wo sie bei Temperaturen von > 1.100 °C verbrannt werden [Maier 2011].

(Die Energie der heißen Rauchgase wird in nachgeschalteten Abhitzekeesseln zur Erzeugung von Dampf genutzt.)

Die gute Wasserlöslichkeit des im Rauchgas enthaltenen Chlorwasserstoffes ermöglicht - neben einer weitgehenden Auswaschung mit Wasser ohne den Zusatz von Neutralisationsmitteln - eine Aufkonzentrierung und die Erzeugung einer konzentrierten Salzsäure.

Die Abscheidung der Chlorverbindungen aus dem Rauchgas wird in der Regel durch eine nasse Rauchgaswäsche realisiert. Diese besteht im Wesentlichen aus einer Quenche und einer nachgeschalteten Waschkolonne.

In der Quenchstufe wird das heiße Rauchgas zunächst mit Waschsäure in Kontakt gebracht. Neben der Kühlung und Wasserdampfsättigung des Rauchgases findet beim Durchgang durch den Quencher ein ausgeprägter Stoffaustausch statt, bei dem ein Großteil des im Rauchgas enthaltenen Chlorwasserstoffs von der Waschsäure aufgenommen wird.

Anschließend wird das gekühlte und vorgereinigte Rauchgas in eine Absorptionskolonne eingespeist, in der der restliche Chlorwasserstoff weiter mit Wasser ausgewaschen wird. (Die in der Absorptionskolonne erzeugte Dünnsäure wird zur Quenchvorlage zurückgeleitet.) Zur Erzeugung einer möglichst hohen Konzentration der Produktsäure kann die Absorptionskolonne mit mehreren Waschkreisläufen ausgestattet werden. Nach dem Absorber werden die noch verbliebenen Anteile an Chlorwasserstoff sowie das elementare Chlor in einer alkalisch betriebenen Waschkolonne entfernt. Anschließend kann das gereinigte Rauchgas in die Atmosphäre abgegeben werden.

Durch eine gezielte Kühlung der Rauchgase (→ Herabsetzung der Absorptionstemperatur) wird es - bei entsprechendem Chlorgehalt der eingesetzten Abfälle - möglich, eine bis zu 30 %ige, marktgängige Salzsäure zu erzeugen [Maier 2011].

Der Fokus beim Einsatz der hier interessierenden Reaktions- und Destillationsrückstände liegt angesichts ihrer hohen Chlorierungsgrade bzw. der hieraus resultierenden Chlorgehalte von bis zu maximal 55 M.-% [ABANDA 2016] in erster Linie auf der Gewinnung von verkaufsfähiger Salzsäure. (wenngleich auch dem Verbrennungsprozess durch die in der Regel heizwertreichen Rückstände [Heizwerte im Mittel von rund 32.500 kJ/kg] recht bemerkenswerte Energiepotentiale zugeführt werden.)

Dem hauptsächlichen Einsatzzweck der Abfälle folgend, wird der Einsatz von Rückständen des AS 070107\* in Hochtemperatur-Oxidationsanlagen prioritär als stoffliche Verwertungsmaßnahme eingestuft.

### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs**

Der Gesamtanteil der durch die Hochtemperatur-Oxidation wieder dem Wirtschaftskreislauf zur Verfügung gestellten Wertstoffs - hier die gewonnene Salzsäure - beträgt, bezogen auf den Gesamt-Masseninput des Prozesses rund 40 - 50 % [ABANDA 2016, Maier 2011].

### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Durch das angewandte Hochtemperatur-Verfahren (oxidative Aufspaltung) werden die in den Reaktions- und Destillationsrückständen enthaltenen chlororganischen Verbindungen (= Schadstoffe) weitgehend eliminiert. Eine Verschleppung oder Anreicherung dieser ursprünglich enthaltenen Schadstoffe ins/im Verwertungsprodukt (Salzsäure) ist somit in der Regel ausgeschlossen.

### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die in den Rückständen enthaltenen (chlor-)organischen Schadstoffe werden beim Einsatz in Hochtemperatur-Oxidations- bzw. Verbrennungsanlagen weitgehend zerstört. Entsprechend stellt der Oxidationsprozess eine wirksame Senke für die organischen Schadstoffe dar [Maier 2011].

Die Rauchgasreinigungsrückstände aus der mehrstufigen Nasswäsche (Filterkuchen etc.) werden überwiegend auf oberirdischen Deponien beseitigt.

### **Rohstoffbedarf, Betriebsmitteleinsatz etc.**

Im Zuge der nachgeschalteten Rauchgasreinigungs- und Abwasserbehandlungseinrichtungen kommen Betriebsmittel in geringem Umfang zum Einsatz.

### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz von Reaktions- und Destillationsrückständen in Hochtemperatur-Oxidationsanlagen entstehen gewisse Mengen an zusätzlichen Abfällen, insbesondere Filterkuchen aus der Behandlung der Rückstände aus der Nasswäsche (chemisch-physikalisch behandelte Abwasserteilströme) [UBA 2007].

### **Energie**

Da die in den Abfällen enthaltenen chlororganischen Inhaltsstoffe nicht bekannt sind, können allgemeingültige Aussagen zum Energiebedarf einer thermisch-oxidativen Behandlung von halogenierten Reaktionsrückständen nicht getroffen werden.

Gleichwohl kann auch die Hochtemperatur-Oxidation bzw. -Verbrennung als thermischer Prozess auch durch ihren energetischen Wirkungsgrad gekennzeichnet werden, somit ist zumindest ein Vergleich mit dem einer energetischen Verwertung in Sonderabfallverbrennungsanlagen möglich.

So kann generell im Vergleich festgestellt werden, dass der energetische Netto-Wirkungsgrad beim Abfalleinsatz in einer Hochtemperatur-Verbrennungsanlage höher als der in einer Sonderabfallverbrennungsanlage ist, da die über die heizwertreichen Rückstände eingebrachten Energieinhalte als Prozessenergie direkt in der Brennkammer nutzbar gemacht werden. Darüber hinaus wird die Wärmeenergie der generierten Rauchgase über nachgeschaltete Abhitzeessel zur Dampferzeugung verwendet [Maier 2011].

### **Treibhausgasemissionen**

Die in den organischen Rückständen enthaltenen Kohlenstoffgerüste werden zu Kohlendioxid verbrannt. Damit wird der Kohlenstoffanteil des ursprünglichen Abfalls mehr oder minder vollständig in CO<sub>2</sub> umgesetzt [Maier 2011].

Von einer Reihe, in den Reaktions- und Destillationsrückständen enthaltenen chlororganischen Verbindungen ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie können bei Umschlag, Lagerung und Handhabung der (halogenierten) Reaktions- und Destillationsrückstände freigesetzt werden.

Neben den direkten Emissionen entstehen auch Treibhausgasemissionen aus dem Energiebedarf (z. B. Strom) des Verwertungsverfahrens.

Außerdem wird in der Regel eine Gutschrift für die nicht erforderliche Neuherstellung von Produkten vergeben. Die Höhe dieser Gutschrift richtet sich nach dem Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs. Die Gutschrift steht den direkten Treibhausgasemissionen und den Emissionen aus dem Energiebedarf des Verwertungsverfahrens entgegen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen (mehrstufige Nasswäscher) gemindert. Für die Emissionen aus Anlagen zur Herstellung von Salzsäure gelten zunächst die Anforderungen zur Emissionsbegrenzung nach Nr. 5.2 ff. der TA Luft; für die Mitverbrennung von Reaktions- und Destillationsrückständen in diesen Anlagen darüber hinaus die Bestimmungen und Grenzwerte der Anlage 3 Nr. 4 der 17. BImSchV.

Da es sich bei den in den Reaktions- und Destillationsrückständen enthaltenen chlororganischen Verbindungen unter Umständen auch um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls zu geringen diffusen Schadstoffemissionen kommen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Emissionen ins Wasser (Abwasserteilströme aus der Nasswäsche) werden durch Abwasserreinigungsverfahren verringert [UBA 2007] und müssen die jeweils festgelegten Einleitgrenzwerte einhalten.

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz von Reaktions- und Destillationsrückständen in Hochtemperatur-Oxidationsanlagen nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Allerdings gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Weiterhin wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Betriebsstoffe und Abfälle nicht direkt in einen Vorfluter gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Inwieweit die hier relevanten Betriebsstoffe und Abfälle in der Abwasserbehandlungsanlage abgebaut bzw. unschädlich gemacht werden, hängt von den jeweiligen Stoffen und der Leistungsfähigkeit der Abwasserbehandlung ab.

Wenn Flächen auf denen Reaktions- und Destillationsrückstände gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

## **14.2 Sonderabfallverbrennungsanlagen**

Die energetische Verwertung von halogenierten Reaktions- und Destillationsrückständen aus der HZVA organischer Grundchemikalien erfolgt in Sonderabfallverbrennungsanlagen. Voraussetzung für den Einsatz in diesen Verbrennungsanlagen ist die Einhaltung der jeweils für die Anlage im Genehmigungsbescheid festgelegten Parameter [LUBW 1996].

### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs**

Bei der energetischen Verwertung in Sonderabfallverbrennungsanlagen verbleiben i.d.R. keine Wertstoffe im Wirtschaftskreislauf. Die stoffliche Verwertung ist daher in diesem Punkt besser zu bewerten als die energetische Verwertung.

### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Bei der energetischen Verwertung von Reaktions- und Destillationsrückständen in Sonderabfallverbrennungsanlagen wird kein Verwertungserzeugnis hergestellt, in das Schadstoffe verschleppt und dort angereichert werden.

### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die im eingesetzten Abfall enthaltenen (chlor-)organischen Schadstoffe werden in der Feuerung weitgehend zerstört. Entsprechend stellen Sonderabfallverbrennungsanlagen eine Senke für die organischen Schadstoffe dar.

Schlacken, Filterstäube und andere Rauchgasreinigungsrückstände, z. B. Salze, werden in Untertage- deponien beseitigt, auf oberirdischen Deponien verwertet oder beseitigt oder im Bergversatz verwertet.

### **Rohstoffbedarf und/oder Betriebsmitteleinsatz**

Bei der Sonderabfallverbrennung zur energetischen Verwertung von halogenierten Reaktions- und Destillationsrückständen kommen im Zuge der nachgeschalteten Rauchgasreinigungseinrichtungen Betriebsmittel in geringem Umfang zum Einsatz.

### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz von chlororganischen Reaktions- und Destillationsrückständen in der Sonderabfallverbrennung entstehen nur geringe Mengen an zusätzlichen Abfällen (Aschen, Filterstäube), da der Feststoffanteil sowie der Anteil anderer Stoffe sehr gering ist.

Da Schlacken und Filterstäube, insbesondere aber die anfallenden Salze, zu einem großen Teil beseitigt werden, fallen hier nicht verwertbare Abfälle an.

### **Energie**

Der energetische Wirkungsgrad von Sonderabfallverbrennungsanlagen kann nicht eindeutig bestimmt werden, da er davon abhängig ist, ob nur Strom oder nur Wärme oder beides erzeugt wird. Dies ist je nach Anlage unterschiedlich.

Im Vergleich zur stofflichen Verwertung in einer Hochtemperatur-Oxidationsanlage kann jedoch ganz allgemein festgestellt werden, dass der energetische Netto-Wirkungsgrad beim Einsatz in einer Sonderabfallverbrennungsanlage niedriger ist. Insbesondere deswegen, weil beim Verfahren der Hochtemperatur-Oxidation die über die heizwertreichen Rückstände eingebrachten Energieinhalte als Prozessenergie direkt in der Brennkammer nutzbar gemacht werden und darüber hinaus die Wärmeenergie der generierten Rauchgase über nachgeschaltete Abhitzeessel zur Dampferzeugung verwendet wird [Maier 2011].

### **Treibhausgasemissionen**

Die in den organischen Rückständen enthaltenen Kohlenstoffgerüste werden zu Kohlendioxid verbrannt. Damit wird der Kohlenstoffanteil des ursprünglichen Abfalls mehr oder minder vollständig in CO<sub>2</sub> umgesetzt [Maier 2011].

Von einer Reihe, in den Reaktions- und Destillationsrückständen enthaltenen chlororganischen Verbindungen ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie können bei Umschlag, Lagerung und Handhabung der (halogenierten) Reaktions- und Destillationsrückstände freigesetzt werden.

Durch die Nutzung der im Abfall enthaltenen Energie wird eine entsprechende Menge an Primärbrennstoffen substituiert, d.h. eingespart. Bei der Sonderabfallverbrennungsanlage hängt die tatsächlich eingesparte Menge an Primärbrennstoffen davon ab, wie viel Strom und/oder Wärme konkret erzeugt und ausgekoppelt wird. Die eingesparte Menge an Primärbrennstoff wird mittels einer Gutschrift für Treibhausgasemissionen berücksichtigt. Diese Gutschrift steht den aus der Verbrennung des Abfalls resultierenden Treibhausgasemissionen entgegen.

Der energetische Wirkungsgrad kann bei Feuerungs- sowie Müll- und Sonderabfallverbrennungsanlagen nicht eindeutig bestimmt werden, da er davon abhängig ist, ob nur Strom oder nur Wärme oder beides erzeugt wird. Dies ist je nach Anlage unterschiedlich.

#### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der 17. BImSchV.

Da es sich bei den in den Reaktions- und Destillationsrückständen enthaltenen chlororganischen Verbindungen unter Umständen auch um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls zu geringen diffusen Schadstoffemissionen kommen.

#### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Es wird davon ausgegangen, dass bei Sonderabfallverbrennungsanlagen kein Abwasser anfällt und damit kein Abwasserpfad besteht.

#### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz von Reaktions- und Destillationsrückständen in Sonderabfallverbrennungsanlagen nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Allerdings gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Ferner wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in einen Vorfluter gelangen können, sondern aufgefangen und entsorgt werden.

Wenn Flächen auf denen Reaktions- und Destillationsrückstände gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.



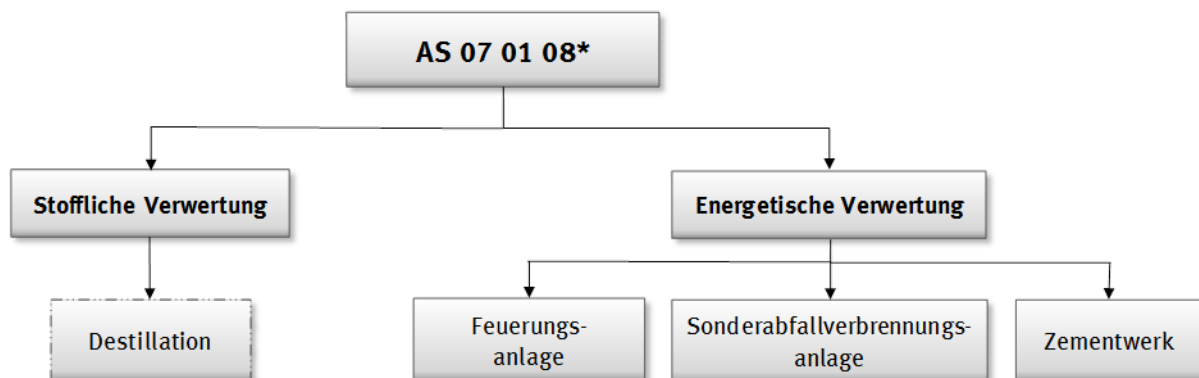
## 15 Verfahrenssteckbrief für AS 070108\* - andere Reaktions- und Destillationsrückstände (HZVA organischer Grundchemikalien)

Dieser Abfallart werden nach dem Anhang der Abfallverzeichnis-Verordnung [AVV] alle die Reaktions- und Destillationsrückstände zugeordnet, die bei der Herstellung, der Zubereitung, dem Vertrieb und bei der Anwendung (HZVA) von organischen Grundchemikalien entstehen können.

Abfälle dieser Abfallart enthalten neben den für die Synthese eingesetzten organischen Lösemitteln sowohl Anteile der Synthese-Ausgangsstoffe, der -Zwischenprodukte und -Produkte als auch gegebenenfalls halogenierte Verbindungen als Verunreinigungen. Um welche Lösemittel, Reaktionsprodukte/-produkte oder Verunreinigungsstoffe es sich im Einzelnen handelt, ist nicht bekannt. Aus diesem Grund ist es nicht möglich, spezielle Verwertungsverfahren für bestimmte, in den Rückständen enthaltene Lösemittel oder andere Inhaltsstoffe zu benennen und vergleichend zu bewerten.

Für die stoffliche Verwertung von Stoffgemischen, wie Reaktions- und Destillationsrückständen, kommt grundsätzlich die Destillation in Frage, die im Wesentlichen zur Wiedergewinnung einzelner Stoffkomponenten aus Reaktionsrückständen unterschiedlichster Zusammensetzung auch praktiziert wird. Eventuell müssen die Rückstände dazu vorher einer Vorbehandlung, z. B. zur Abtrennung noch enthaltener Feststoffe, unterzogen werden. Die energetische Verwertung der Abfallart erfolgt zum einen in Kraftwerksfeuerungen und Zementwerken. Eine Vorbehandlung ist unter Umständen auch hier erforderlich, wenn der Abfall zu viel Wasser enthält. Zum anderen wird der größte Teil dieser Abfallart in Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt. Ob es sich dabei um eine energetische Verwertung oder thermische Beseitigung handelt, kann nur im Einzelfall auf Basis der nach § 3 Abs. 23 Kreislaufwirtschaftsgesetz [KrWG] erforderlichen Substitutionswirkung der eingesetzten Abfälle – beispielweise in Abhängigkeit von den stofflichen Eigenschaften und dem konkreten Einsatzzweck der Rückstände, von der erzielten Energieeffizienz der Verbrennungsanlage oder vom Substitutionsumfang bzgl. der Primärenergieträger - festgestellt werden. Aus diesem Grund wird die Abfallverbrennung in Sonderabfallverbrennungsanlagen ebenfalls betrachtet und in die Bewertung der Verfahren aufgenommen.

Abbildung 6: Verwertungsschema für die Abfallart AS 070108\*



Eigene Darstellung

Für die vergleichende Bewertung herangezogen werden die energetische Verwertung in Feuerungsanlagen und Zementwerken sowie in Sonderabfallverbrennungsanlagen, da diese in AIDA als Entsorgungswege in den Jahren 2010 – 2013 aufgeführt werden. Hinzugenommen wird die Destillation, da diese Verfahrenstechnik in der Praxis ebenfalls als Verwertungsweg angeboten und beschriftet wird [LUIS-BB 2016, WDG 2016, Reichenspurner 2016].

## 15.1 Destillation

Die destillative Trennung der - hier praxisrelevanten - Reaktionsrückstände, also von Stoffgemischen unterschiedlichster organischer Verbindungen und teilweise auch wässrig-gelöster Komponenten, erfolgt in der Regel durch fraktionierte Destillation oder Rektifikation [Reichenspurner 2016].

Um bei einzelnen, empfindlichen Stoffkomponenten den Siedepunkt zu senken und damit deren Zersetzung zu vermeiden, wird unter Vakuum destilliert (Vakuumdestillation). Der Energieverbrauch des Destillierens wird damit gesenkt, dafür wird aber zusätzliche Energie für den Betrieb der Vakuumpumpen benötigt. Mit der Vakuumdestillation bzw. -rektifikation können enthaltene organische Stoffkomponenten, wie z. B. Lösemittel, bis zu einem Siedepunkt von 290 °C destilliert werden [Martens 2011].

Die Beheizung der Destillationsblasen wird üblicherweise mit Thermoöl, Heißwasser oder Dampf durchgeführt [Martens 2011].

### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs**

Der Gesamtanteil der bei der Destillation von Reaktionsrückständen im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffe - hier die in den Rückständen jeweils höherkonzentriert enthaltenen, organischen Stoffkomponenten - unterliegt aufgrund der vielfältigen stofflichen und quantitativ sehr unterschiedlichen Zusammensetzung der eingesetzten Rückstände großen Schwankungen. Der durchschnittliche, auf die Abfallart AS 070108\* bezogene Wertstoff-Rückgewinnungsanteil wird daher auf ca. 50 % abgeschätzt, wobei im Einzelfall [Reichenspurner 2016] durchaus auch höhere Anteile erreicht werden können.

### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Da es sich bei den zurückgewonnenen organischen Stoffkomponenten in der Regel um die Destillate handeln wird, kann davon ausgegangen werden, dass Schadstoffverschleppungen nur in geringem Umfang auftreten und keine Schadstoffanreicherung in den Verwertungserzeugnissen „organische Destillationsprodukte“ bzw. „Lösemittel“ erfolgt.

### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Der Hauptanteil der in den Reaktionsrückständen enthaltenen Schadstoffe befindet sich nach deren Destillation im verbleibenden Behandlungsrückstand. Dies stellt eine Aufkonzentration von Schadstoffen dar. Diese Rückstände aus der Destillation werden nach AIDA zum überwiegenden Teil in Feuerungsanlagen, Sonderabfallverbrennungsanlagen, Zementwerken sowie in einer Klärschlammverbrennungsanlage verbrannt. Zu einem geringen Teil werden sie in CPB'n behandelt, wobei ein Teil konditioniert wird, um anschließend einer thermischen Behandlung unterzogen zu werden.

Die Verbrennung stellt eine Schadstoffsенке dar, da die enthaltenen organischen Schadstoffe fast vollständig zerstört werden. Die Behandlung an sich stellt keine Senke dar. Ob es sich um eine Senkenfunktion handelt, hängt von der anschließenden konkreten Entsorgung des Materials ab.

### **Rohstoffbedarf, Betriebsmitteleinsatz etc.**

Aus den vorliegenden Angaben ist nicht ersichtlich, dass zusätzliche Betriebsmittel etc. benötigt werden.

## 15.2 Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle

Als Abfall fällt der nach der Destillation der Reaktionsrückstände erhaltene Behandlungsrückstand an. Nach AIDA werden die entstandenen Behandlungsrückstände zum überwiegenden Teil in Feuerungsanlagen, Sonderabfallverbrennungsanlagen, Zementwerken und in einer Klärschlammverbrennungsanlage verbrannt. Zu einem geringen Teil werden sie auch in CPB'n behandelt und dabei zum Teil verfestigt. Bei der Verbrennung in Feuerungsanlagen und Zementwerken handelt es sich um energetische Verwertung. Ob es sich bei Verbrennung in einer Sonderabfallverbrennungsanlage um Verwertung oder Beseitigung handelt, kann nicht allgemeingültig gesagt werden. Das gleiche gilt für die in der CPB verfestigten Behandlungsrückstände aus der Destillation. Diese könnten energetisch verwertet oder beseitigt werden. Da dieser Behandlungsrückstand aber bereits im Ausgangsabfall (Reaktionsrückstände) enthalten war, fallen bei der destillativen Aufbereitung keine zusätzlichen nicht verwertbaren Abfälle an.

### Energie

Der Energieverbrauch ist beim Destillieren insbesondere von der Wärmekapazität und der Verdampfungswärme der in den Rückständen enthaltenen organischen Stoffkomponenten (wie z. B. Lösemittel) sowie der eingesetzten Destillationstechnik abhängig. Da die in den Abfällen enthaltenen organischen Inhaltsstoffe/Lösemittel nicht bekannt sind, können allgemeingültige Aussagen zum Energieverbrauch nicht getroffen werden. Beispielsweise wird zur Wiedergewinnung von 100 l/h eines reinen Lösemittels (hier: Tetrachlorethen) in Abhängigkeit von der Technik ein Energiebedarf von > 16 kWh bzw. 7 kWh angegeben [Ziermann/Mager 2013]. Zur weiteren Orientierung kann die Summe aus spezifischer Wärmekapazität und Verdampfungswärme dienen. Diese beträgt zum Beispiel für Dimethylketon (Aceton) rund 161 kWh/Mg und für N,N-Dimethylformamid rund 238 kWh/Mg.

### Treibhausgasemissionen

Von einigen, in den Rückständen enthaltenen organischen Lösemitteln ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie werden – wenngleich in geringem Umfang – beim Destillieren sowie bei Umschlag und Lagerung des Abfalls freigesetzt. Die nach der Abgasreinigung emittierte Menge kann aufgrund des niedrigen Volumenstroms als gering eingestuft werden [LRA Dachau 2015]. Handelt es sich bei der Abgasreinigung um eine Nachverbrennung, können über diesen Pfad nur geringste Mengen an Treibhausgasemissionen entstehen.

Nach AIDA werden die nach der Destillation erhaltenen Behandlungsrückstände zum überwiegenden Teil in Feuerungsanlagen, Sonderabfallverbrennungsanlagen, Zementwerken und in einer Klärschlammverbrennungsanlage verbrannt. Zu einem geringen Teil werden sie auch in CPB'n behandelt und dabei zum Teil verfestigt.

Bei der Verbrennung in Feuerungsanlagen, Sonderabfallverbrennungsanlagen, Zementwerken sowie in der Klärschlammverbrennungsanlage wird der in den Behandlungsrückständen enthaltene Kohlenstoff vollständig zu CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Beim Handling der Abfälle in der CPB können potenziell Treibhausgase in geringem Umfang aus dem Abfall freigesetzt werden. Wird der verfestigte Abfall anschließend verbrannt, wird der enthaltene Kohlenstoff vollständig zu CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Neben den direkten Emissionen entstehen auch Treibhausgasemissionen aus dem Energiebedarf (z. B. Strom) des Verwertungsverfahrens.

Außerdem wird in der Regel eine Gutschrift für die nicht erforderliche Neuherstellung von Produkten vergeben. Die Höhe dieser Gutschrift richtet sich nach dem Anteil des im Wirtschaftskreislauf verblei-

benden Wertstoffs. Die Gutschrift steht den direkten Treibhausgasemissionen und den Emissionen aus dem Energiebedarf des Verwertungsverfahrens entgegen.

#### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Mit einer entsprechenden Abgasreinigung können Emissionswerte von 50 mg C/Nm<sup>3</sup> eingehalten werden [UBA 2006a, LRA Dachau 2015], so dass in Verbindung mit dem im Vergleich zur Verbrennung geringen Volumenströmen die Schadstofffreisetzungen in die Luft beim Destillieren gering sind.

Da es sich bei den in den Reaktionsrückständen enthaltenen organischen Stoffkomponenten gegebenenfalls auch um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des Behandlungsrückstands aus der Destillation zu geringen diffusen Schadstoffemissionen kommen.

#### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Anfallendes Abwasser muss behandelt werden [UBA 2006a] und bestehende Einleitgrenzwerte sind einzuhalten.

#### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Bei Destillationen gehen wir davon aus, dass es sich um teilautomatisierte Prozesse handelt, und nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Es wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in einen Vorfluter gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Inwieweit die hier relevanten Abfälle in der Abwasserbehandlungsanlage abgebaut bzw. unschädlich gemacht werden, hängt von den jeweiligen Stoffen und der Leistungsfähigkeit der Abwasserbehandlung ab.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

### **15.3 Energetische Verwertung**

Die energetische Verwertung von Reaktions- und Destillationsrückständen aus der HZVA organischer Grundchemikalien erfolgt in Feuerungsanlagen, Sonderabfallverbrennungsanlagen und Zementwerken. Voraussetzung für den Einsatz in diesen Anlagen ist die Einhaltung der jeweils für die Anlage im Genehmigungsbescheid festgelegten Parameter [LUBW 1996]. Bei Zementwerken sind i.d.R. höhere Schadstoffgehalte an PCB und Halogenen in den Genehmigungen festgelegt [LUBW 1996].

#### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs**

Bei der energetischen Verwertung verbleiben i.d.R. keine Wertstoffe im Wirtschaftskreislauf. Die stoffliche Verwertung ist daher in diesem Punkt i.d.R. besser zu bewerten als die energetische Verwertung.

#### **Rohstoffbedarf und/oder Betriebsmitteleinsatz**

Bei allen hier betrachteten Verfahren zur energetischen Verwertung von Reaktions- und Destillationsrückständen kommen im Zuge der nachgeschalteten Rauchgasreinigungseinrichtungen Betriebsmittel in geringem Umfang zum Einsatz.

## **Energie**

Der energetische Wirkungsgrad kann bei Feuerungs- und Sonderabfallverbrennungsanlagen nicht eindeutig bestimmt werden, da er davon abhängig ist, ob nur Strom oder nur Wärme oder beides erzeugt wird. Dies ist je nach Anlage unterschiedlich. Allgemein kann im Vergleich untereinander aber festgestellt werden, dass der energetische Netto-Wirkungsgrad beim Abfalleinsatz im Zementwerk am höchsten ist, da die erzeugte Energie als Wärme im Drehrohrofen direkt genutzt wird. Der energetische Netto-Wirkungsgrad von Feuerungsanlagen ist niedriger, aber höher als bei Sonderabfallverbrennungsanlagen, da der Eigenbedarf niedriger und damit der energetische Netto-Wirkungsgrad höher ist.

### **15.3.1 Feuerungsanlagen**

#### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Bei der energetischen Verwertung von Reaktions- und Destillationsrückständen in Feuerungsanlagen wird kein Verwertungserzeugnis hergestellt, in das Schadstoffe verschleppt und dort angereichert werden.

#### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die im eingesetzten Abfall enthaltenen organischen Schadstoffe werden in der Feuerung weitgehend zerstört. Es handelt sich also um eine Schadstoffsenke.

Je nach Abfallzusammensetzung kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich in den Verbrennungsrückständen noch Schadstoffe befinden. Schlacken und Aschen aus Feuerungsanlagen, in denen Abfälle mitverbrannt werden, finden Verwendung im Bergversatz oder werden aufbereitet und anderweitig verwertet, zum Teil auch deponiert [Dehoust et al. 2008]. REA-Gips wird verwertet [Prognos 2003].

#### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz von (organischen) Reaktions- und Destillationsrückständen in Feuerungsanlagen entstehen nur geringe Mengen an zusätzlichen Abfällen (Schlacken/Aschen, Flugaschen, REA-Gips), da der Feststoffanteil gering ist.

Schlacken und Aschen aus Feuerungsanlagen, in denen Abfälle mitverbrannt werden, finden Verwendung im Bergversatz oder werden aufbereitet und anderweitig verwertet, zum Teil auch deponiert [Dehoust et al. 2008]. REA-Gips wird verwertet [Prognos 2003].

Da die Schlacken und Aschen aus der Abfallmitverbrennung teilweise deponiert werden, fallen hier geringe Mengen an zusätzlichen nicht verwertbaren Abfällen an.

#### **Treibhausgasemissionen**

Der im Abfall enthaltene Kohlenstoff wird zu Kohlendioxid verbrannt. Damit wird der Kohlenstoffanteil des ursprünglichen Abfalls mehr oder minder vollständig in CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Von einigen, in den Reaktions- und Destillationsrückständen enthaltenen organischen Lösemitteln ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie können bei Umschlag, Lagerung und Handhabung der (organischen) Reaktions- und Destillationsrückstände freigesetzt werden.

Durch die Nutzung der im Abfall enthaltenen Energie wird eine Menge an Primärbrennstoffen substituiert, d.h. eingespart. Die eingesparte Menge an Primärbrennstoff wird mittels einer Gutschrift für Treibhausgasemissionen berücksichtigt. Diese Gutschrift steht den aus der Verbrennung des Abfalls resultierenden Treibhausgasemissionen entgegen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der Anlage 3 Nr. 3 der 17. BImSchV.

Da es sich bei den in den Reaktions- und Destillationsrückständen enthaltenen organischen Stoffkomponenten gegebenenfalls auch um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls zu geringen diffusen Schadstoffemissionen kommen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Bei der Verbrennung in Feuerungsanlagen anfallende Abwässer müssen behandelt und aufbereitet werden [UBA 2006b].

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz von Reaktions- und Destillationsrückständen in Feuerungsanlagen nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Allerdings gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Ferner wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in einen Vorfluter gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Inwieweit die hier relevanten Abfälle in der Abwasserbehandlungsanlage abgebaut bzw. unschädlich gemacht werden, hängt von den jeweiligen Stoffen und der Leistungsfähigkeit der Abwasserbehandlung ab.

Wenn Flächen auf denen Reaktions- und Destillationsrückstände gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

## **15.3.2 Sonderabfallverbrennungsanlagen**

### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Bei der energetischen Verwertung von Reaktions- und Destillationsrückständen in Sonderabfallverbrennungsanlagen wird kein Verwertungserzeugnis hergestellt, in das Schadstoffe verschleppt und dort angereichert werden.

### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die im eingesetzten Abfall enthaltenen organischen Schadstoffe werden in der Feuerung weitgehend zerstört. Entsprechend stellen Sonderabfallverbrennungsanlagen eine Senke für die organischen Schadstoffe dar.

Schlacken, Filterstäube und andere Rauchgasreinigungsrückstände, z. B. Salze, werden in Untertagedeponien beseitigt, auf oberirdischen Deponien verwertet oder beseitigt oder im Bergversatz verwertet.

### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz von (organischen) Reaktions- und Destillationsrückständen in der Sonderabfallverbrennung entstehen nur geringe Mengen an zusätzlichen Abfällen (Aschen, Filterstäube), da der Feststoffanteil sowie der Anteil anderer Stoffe gering ist.

Da Schlacken und Filterstäube, insbesondere aber die anfallenden Salze, zu einem großen Teil beseitigt werden, fallen hier nicht verwertbare Abfälle an.

### **Treibhausgasemissionen**

Der im Abfall enthaltene Kohlenstoff wird zu Kohlendioxid verbrannt. Damit wird der Kohlenstoffanteil des ursprünglichen Abfalls mehr oder minder vollständig in CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Von einigen, in den Reaktions- und Destillationsrückständen enthaltenen organischen Lösemitteln ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie können bei Umschlag, Lagerung und Handhabung der (organischen) Reaktions- und Destillationsrückstände freigesetzt werden.

Durch die Nutzung der im Abfall enthaltenen Energie wird eine entsprechende Menge an Primärbrennstoffen substituiert, d.h. eingespart. Bei der Sonderabfallverbrennungsanlage hängt die tatsächlich eingesparte Menge an Primärbrennstoffen davon ab, wie viel Strom und/oder Wärme konkret erzeugt und ausgekoppelt wird. Die eingesparte Menge an Primärbrennstoff wird mittels einer Gutschrift für Treibhausgasemissionen berücksichtigt. Diese Gutschrift steht den aus der Verbrennung des Abfalls resultierenden Treibhausgasemissionen entgegen.

Der energetische Wirkungsgrad kann bei Feuerungs- sowie Müll- und Sonderabfallverbrennungsanlagen nicht eindeutig bestimmt werden, da er davon abhängig ist, ob nur Strom oder nur Wärme oder beides erzeugt wird. Dies ist je nach Anlage unterschiedlich.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der 17. BImSchV.

Da es sich bei den in den Reaktions- und Destillationsrückständen enthaltenen organischen Stoffkomponenten gegebenenfalls auch um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls zu geringen diffusen Schadstoffemissionen kommen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Es wird davon ausgegangen, dass bei Sonderabfallverbrennungsanlagen kein Abwasser anfällt und damit kein Abwasserpfad besteht.

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz von Reaktions- und Destillationsrückständen in Sonderabfallverbrennungsanlagen nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Allerdings gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Ferner wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in einen Vorfluter gelangen können, sondern aufgefangen und entsorgt werden.

Wenn Flächen auf denen Reaktions- und Destillationsrückstände gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

### **15.3.3 Zementwerke**

#### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

(Organische) Reaktions- und Destillationsrückstände werden bei der Verbrennung zerstört. Je nach Abfallzusammensetzung kann aber nicht ausgeschlossen werden, dass andere, nicht zerstörte Schadstoffe verbleiben und dann ins Produkt gelangen.

#### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die im eingesetzten Abfall enthaltenen organischen Schadstoffe werden beim Einsatz im Zementwerk weitgehend zerstört. Entsprechend stellt das Zementwerk eine Senke für die organischen Schadstoffe dar.

#### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz von Reaktions- und Destillationsrückständen im Zementwerk entstehen nur geringe Mengen an zusätzlichen Abfällen, insbesondere Filterstäube, da der Feststoffanteil gering ist. Die Filterstäube können dem Klinker beigegeben oder an anderer Stelle dem Prozess wieder zugeführt werden [Davids/Lange 1986].

#### **Treibhausgasemissionen**

Der im Abfall enthaltene Kohlenstoff wird zu Kohlendioxid verbrannt. Damit wird der Kohlenstoffanteil des ursprünglichen Abfalls mehr oder minder vollständig in CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Von einigen, in den Reaktions- und Destillationsrückständen enthaltenen organischen Lösemitteln ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie können bei Umschlag, Lagerung und Handhabung der (organischen) Reaktions- und Destillationsrückstände freigesetzt werden.

Der eingesetzte Abfall ersetzt eine, seinem Heizwert entsprechende Menge an Primärbrennstoff, der dann nicht verbrannt wird. Für diese Substitution des Primärbrennstoffs wird eine Gutschrift erteilt, die dem Kohlendioxid (Lastschrift) aus der Verbrennung des Abfalls entgegensteht bzw. diese Lastschrift übertrifft.

#### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der Anlage 3 Nr. 2 der 17. BImSchV.

Da es sich bei den in den Reaktions- und Destillationsrückständen enthaltenen organischen Stoffkomponenten gegebenenfalls auch um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls zu geringen diffusen Schadstoffemissionen kommen.

#### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

In der Zementindustrie sind nassarbeitende Abgasreinigungsanlagen nicht im Einsatz [Davids/Lange 1986]. Zementwerke besitzen daher i.d.R. keine spezielle Abwasserreinigung bzw. keinen Wasserpfad, so dass keine Schadstofffreisetzung ins Wasser erfolgt.



### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz von Reaktions- und Destillationsrückständen in Zementwerken nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Allerdings gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Da Zementwerke i.d.R. nicht über eine spezielle Abwasserbehandlung verfügen, wird ferner davon ausgegangen, dass hier ein erhöhtes Risiko besteht, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle direkt in einen Vorfluter gelangen können, wenn keine Vorkehrungen getroffen sind, um belastetes Betriebsflächenwasser auffangen und entsorgen zu können.

Wenn Flächen auf denen Reaktions- und Destillationsrückstände gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

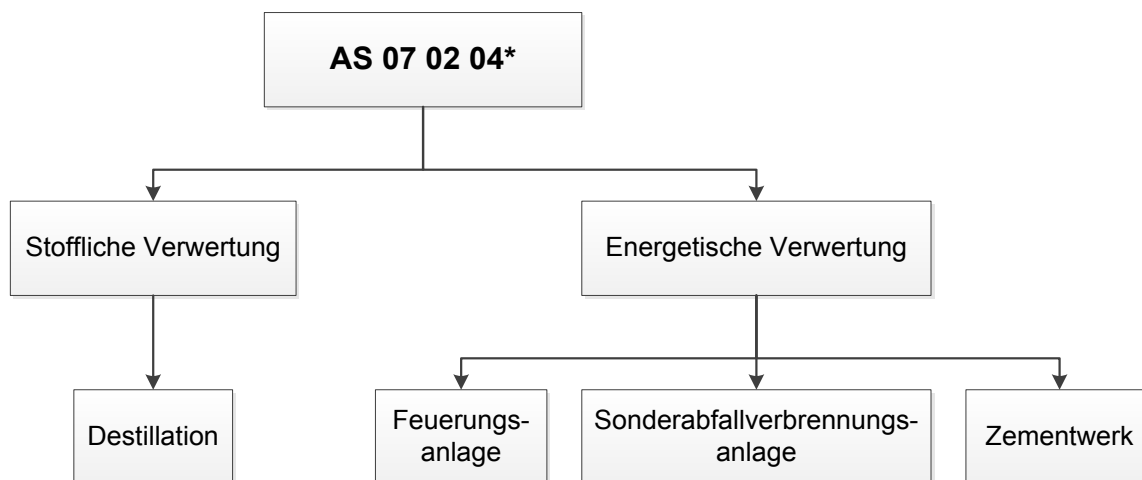
## 16 Verfahrenssteckbrief für AS 070204\* - organische Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen aus HZVA von Kunststoffen, synthetischem Gummi und Kunstfasern

Bei dieser Abfallart handelt es sich um nicht halogenierte organische Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen, die bei der Herstellung, der Zubereitung, dem Vertrieb und der Anwendung (HZVA) von Kunststoffen, synthetischem Gummi und Kunstfasern anfallen.

Abfälle dieser Abfallart können ein oder mehrere Lösemittel sowie die unterschiedlichsten Begleitstoffe enthalten. Um welche Lösemittel und Begleitstoffe es sich im Einzelnen handelt, ist nicht bekannt. Aus diesem Grund ist es nicht möglich, spezielle Verwertungsverfahren für bestimmte Lösemittel oder andere Inhaltsstoffe zu benennen und vergleichend zu bewerten.

Für die stoffliche Verwertung von Lösemitteln kommt grundsätzlich die Destillation in Frage, die zum Teil auch erfolgt. Eventuell müssen die Abfälle dazu vorher einer Vorbehandlung unterzogen werden. Die energetische Verwertung erfolgt in Kraftwerksfeuerungen und Zementwerken. Eine Vorbehandlung ist unter Umständen auch hier erforderlich, wenn der Abfall zu viel Wasser enthält. Ein nicht unerheblicher Teil dieser Abfallart wird in Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt. Ob es sich dabei um Verwertung oder Beseitigung handelt, kann nur im Einzelfall festgestellt werden. Aus diesem Grund wird die Abfallverbrennung in Sonderabfallverbrennungsanlagen ebenfalls betrachtet und in die Bewertung der Verfahren aufgenommen.

Abbildung 7: Verwertungsschema für die Abfallart AS 070204\*



Eigene Darstellung

Für die vergleichende Bewertung herangezogen werden die Destillation sowie die energetische Verwertung in Feuerungsanlagen, Zementwerken und Sonderabfallverbrennungsanlagen, da diese in AI-DA als Entsorgungswege in den Jahren 2010 – 2013 aufgeführt werden.

### 16.1 Destillation

Für das Destillieren von organischen Abfalllösemitteln sowie Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung.

Für verunreinigte sortenreine Lösemittel kann die einfache Destillation zum Einsatz kommen [Martens 2011].

Um bei empfindlichen Stoffkomponenten den Siedepunkt zu senken und damit die Zersetzung zu vermeiden, wird unter Vakuum destilliert (Vakuumdestillation). Der Energieverbrauch des Destillierens

wird damit gesenkt, dafür wird aber zusätzliche Energie für den Betrieb der Vakuumpumpen benötigt. Mit der Vakuumdestillation können Lösemittel bis zu einem Siedepunkt von 290 °C destilliert werden. [Martens 2011]

Die Trennung von Lösemittelgemischen erfolgt durch fraktionierte Destillation oder Rektifikation [Martens 2011].

Die Beheizung der Destillationsblasen wird mit Thermoöl, Heißwasser oder Dampf durchgeführt. Bei weitgehend feststofffreien Abfalllösemitteln kann anstelle einer Destillationsblase ein Dünnschichtverdampfer eingesetzt werden. [Martens 2011]

### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs**

Bei der Destillation von Abfalllösemitteln beträgt der Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs, hier das jeweilige Lösemittel bzw. die jeweiligen Lösemittel, durchschnittlich 70 % [Martens 2011].

### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Da es sich bei den gewonnenen Lösemitteln in der Regel um die Destillate handeln wird, kann davon ausgegangen werden, dass Schadstoffverschleppungen nur in geringem Umfang auftreten und keine Schadstoffanreicherung in den Verwertungserzeugnissen „Lösemittel“ erfolgt.

### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Der Hauptanteil der im Abfall enthaltenen Schadstoffe befindet sich nach der Destillation im Destillationsrückstand. Dies stellt eine Aufkonzentration von Schadstoffen dar. Die Destillationsrückstände werden nach AIDA zum überwiegenden Teil in Feuerungsanlagen, Zementwerken, Müllverbrennungsanlagen und Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt. Zu einem geringen Teil werden sie in CPB behandelt, wobei ein Teil konditioniert wird, um anschließend einer thermischen Behandlung unterzogen zu werden.

Die Verbrennung stellt eine Schadstoffsенке dar, da die enthaltenen organischen Schadstoffe fast vollständig zerstört werden. Die Behandlung in einer CPB an sich stellt keine Senke dar. Ob es sich um eine Senkenfunktion handelt, hängt von der anschließenden konkreten Entsorgung des Materials ab.

### **Rohstoffbedarf, Betriebsmitteleinsatz etc.**

Aus den vorliegenden Angaben ist nicht ersichtlich, dass zusätzliche Betriebsmittel etc. benötigt werden.

### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Als Abfall fällt der Destillationsrückstand an. Nach AIDA werden die Destillationsrückstände zum überwiegenden Teil in Feuerungsanlagen, Zementwerken, Müllverbrennungsanlagen und Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt. Zu einem geringen Teil werden sie auch in CPB behandelt und dabei zum Teil verfestigt. Bei der Verbrennung in Feuerungsanlagen, Zementwerken und Müllverbrennungsanlagen handelt es sich um energetische Verwertung. Ob es sich bei Verbrennung in einer Sonderabfallverbrennungsanlage um Verwertung oder Beseitigung handelt, kann nicht allgemeingültig gesagt werden. Das gleiche gilt für die in CPB verfestigten Destillationsrückstände. Sie könnten energetisch verwertet oder beseitigt werden. Da der Destillationsrückstand aber bereits im Ausgangsabfall (Abfalllösemittelgemisch) enthalten war, fallen bei der Destillation keine zusätzlichen nicht verwertbaren Abfälle an.

## **Energie**

Der Energieverbrauch ist beim Destillieren insbesondere von der Wärmekapazität und der Verdampfungswärme des zu destillierenden Lösemittels bzw. der zu destillierenden Lösemittel sowie der eingesetzten Destillationstechnik abhängig. Da die in den Abfällen enthaltenen Lösemittel nicht bekannt sind, können allgemeingültige Aussagen zum Energieverbrauch nicht getroffen werden. Zur Wiedergewinnung von 100 l/h Tetrachlorethylen wird abhängig von der Technik beispielsweise ein Energiebedarf von > 16 kWh bzw. 7 kWh angegeben [Ziermann/Mager 2013]. Die Summe aus Wärmekapazität und Verdampfungswärme beträgt beispielsweise für Aceton ca. 161 kWh/Mg und für Dimethylformamid ca. 238 kWh/Mg.

## **Treibhausgasemissionen**

Von einigen leichtflüchtigen organischen Lösemitteln ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie werden – wenngleich in geringem Umfang – beim Destillieren sowie bei Umschlag und Lagerung des Abfalls freigesetzt. Die nach der Abgasreinigung emittierte Menge kann aufgrund des niedrigen Volumenstroms als gering eingestuft werden. Handelt es sich bei der Abgasreinigung um eine Nachverbrennung, können über diesen Pfad nur geringste Mengen an Treibhausgasemissionen entstehen.

Nach AIDA werden die Destillationsrückstände zum überwiegenden Teil in Feuerungsanlagen, Zementwerken, Müllverbrennungsanlagen und Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt. Zu einem geringen Teil werden sie auch in CPB behandelt und dabei zum Teil verfestigt.

Bei der Verbrennung in Feuerungsanlagen, Zementwerken, Müllverbrennungsanlagen und Sonderabfallverbrennungsanlagen wird der enthaltene Kohlenstoff vollständig zu CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Beim Handling der Abfälle in der CPB können potenziell Treibhausgase in geringem Umfang aus dem Abfall freigesetzt werden. Wird der verfestigte Abfall anschließend verbrannt, wird der enthaltene Kohlenstoff vollständig zu CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Neben den direkten Emissionen entstehen auch Treibhausgasemissionen aus dem Energiebedarf (z. B. Strom) des Verwertungsverfahrens.

Außerdem wird in der Regel eine Gutschrift für die nicht erforderliche Neuherstellung von Produkten vergeben. Die Höhe dieser Gutschrift richtet sich nach dem Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs. Die Gutschrift steht den direkten Treibhausgasemissionen und den Emissionen aus dem Energiebedarf des Verwertungsverfahrens entgegen.

## **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Mit einer entsprechenden Abgasreinigung können Emissionswerte von 50 mg C/Nm<sup>3</sup> eingehalten werden [UBA 2006a], so dass in Verbindung mit den im Vergleich zur Verbrennung geringen Volumenströmen die Schadstofffreisetzungen in die Luft beim Destillieren gering sind.

Da es sich bei den organischen Lösemitteln i.d.R. um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls und des Destillationsrückstands zu diffusen Schadstoffemissionen kommen.

## **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Anfallendes Abwasser muss behandelt werden [UBA 2006a] und bestehende Einleitgrenzwerte sind einzuhalten.

## **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Bei Destillationen gehen wir davon aus, dass es sich um teilautomatisierte Prozesse handelt, und nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Es wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Inwieweit die hier relevanten Abfälle in der Abwasserbehandlungsanlage abgebaut bzw. unschädlich gemacht werden, hängt von den jeweiligen Stoffen und der Leistungsfähigkeit der Abwasserbehandlung ab.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

## **16.2 Energetische Verwertung**

Die energetische Verwertung von organischen Lösemitteln, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen erfolgt in Feuerungsanlagen, Zementwerken und Sonderabfallverbrennungsanlagen. Voraussetzung für den Einsatz in diesen Anlagen ist die Einhaltung der jeweils für die Anlage im Genehmigungsbescheid festgelegten Parameter [LUBW 1996]. Bei Zementwerken sind i.d.R. höhere Schadstoffgehalte an PCB und Halogenen in den Genehmigungen festgelegt [LUBW 1996].

### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs**

Bei der energetischen Verwertung verbleiben i.d.R. keine Wertstoffe im Wirtschaftskreislauf. Die stoffliche Verwertung ist daher in diesem Punkt i.d.R. besser zu bewerten als die energetische Verwertung.

### **Rohstoffbedarf und/oder Betriebsmitteleinsatz**

Bei allen hier betrachteten Verfahren zur energetischen Verwertung organischer Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen kommen im Zuge der nachgeschalteten Rauchgasreinigungseinrichtungen Betriebsmittel in geringem Umfang zum Einsatz.

### **Energie**

Der energetische Wirkungsgrad kann bei Feuerungs- und Sonderabfallverbrennungsanlagen nicht eindeutig bestimmt werden, da er davon abhängig ist, ob nur Strom oder nur Wärme oder beides erzeugt wird. Dies ist je nach Anlage unterschiedlich. Allgemein kann im Vergleich untereinander aber festgestellt werden, dass der energetische Netto-Wirkungsgrad beim Abfalleinsatz im Zementwerk am höchsten ist, da die erzeugte Energie als Wärme im Drehrohrofen direkt genutzt wird. Der energetische Netto-Wirkungsgrad von Feuerungsanlagen ist niedriger, aber höher als bei Sonderabfallverbrennungsanlagen, da der Eigenbedarf niedriger und damit der energetische Netto-Wirkungsgrad höher ist.

#### **16.2.1 Feuerungsanlagen**

##### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Bei der energetischen Verwertung in Feuerungsanlagen wird kein Verwertungserzeugnis hergestellt, in das Schadstoffe verschleppt und dort angereichert werden.

### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die im eingesetzten Abfall enthaltenen organischen Schadstoffe werden in der Feuerung weitgehend zerstört. Es handelt sich also um eine Schadstoffsenke.

Je nach Abfallzusammensetzung kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich in den Verbrennungsrückständen noch Schadstoffe befinden. Schlacken und Aschen aus Feuerungsanlagen, in denen Abfälle mitverbrannt werden, finden Verwendung im Bergversatz oder werden aufbereitet und anderweitig verwertet, zum Teil auch deponiert [Dehoust et al. 2008]. REA-Gips wird verwertet [Prognos 2003].

### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz von organischen Lösemitteln, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen in Feuerungsanlagen entstehen nur geringe Mengen an zusätzlichen Abfällen (Schlacken/Aschen, Flugaschen, REA-Gips), da der Feststoffanteil gering ist.

Schlacken und Aschen aus Feuerungsanlagen, in denen Abfälle mitverbrannt werden, finden Verwendung im Bergversatz oder werden aufbereitet und anderweitig verwertet, zum Teil auch deponiert [Dehoust et al. 2008]. REA-Gips wird verwertet [Prognos 2003].

Da die Schlacken und Aschen aus der Abfallmitverbrennung teilweise deponiert werden, fallen hier geringe Mengen an zusätzlichen nicht verwertbaren Abfällen an.

### **Treibhausgasemissionen**

Der im Abfall enthaltene Kohlenstoff wird zu Kohlendioxid verbrannt. Damit wird der Kohlenstoffanteil des ursprünglichen Abfalls mehr oder minder vollständig in CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Von einigen leichtflüchtigen organischen Lösemitteln ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie können bei Umschlag, Lagerung und Handhabung der organischen Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen freigesetzt werden.

Durch die Nutzung der im Abfall enthaltenen Energie wird eine Menge an Primärbrennstoffen substituiert, d.h. eingespart. Die eingesparte Menge an Primärbrennstoff wird mittels einer Gutschrift für Treibhausgasemissionen berücksichtigt. Diese Gutschrift steht den aus der Verbrennung des Abfalls resultierenden Treibhausgasemissionen entgegen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der Anlage 3 Nr. 3 der 17. BImSchV.

Da es sich bei den organischen Lösemitteln i.d.R. um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls zu diffusen Schadstoffemissionen kommen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Bei der Verbrennung in Feuerungsanlagen anfallende Abwässer müssen behandelt und aufbereitet werden [UBA 2006b].

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz der Abfälle in Feuerungsanlagen nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Allerdings gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstö-

rungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Es wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Inwieweit die hier relevanten Abfälle in der Abwasserbehandlungsanlage abgebaut bzw. unschädlich gemacht werden, hängt von den jeweiligen Stoffen und der Leistungsfähigkeit der Abwasserbehandlung ab.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

### **16.2.2 Zementwerk**

#### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Organische Lösemittel werden bei der Verbrennung zerstört. Je nach Abfallzusammensetzung kann aber nicht ausgeschlossen werden, dass andere, nicht zerstörte Schadstoffe verbleiben und dann ins Produkt gelangen.

#### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die im eingesetzten Abfall enthaltenen organischen Schadstoffe werden beim Einsatz im Zementwerk weitgehend zerstört. Entsprechend stellt das Zementwerk eine Senke für die organischen Schadstoffe dar.

#### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz von organischen Lösemitteln, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen im Zementwerk entstehen nur geringe Mengen an zusätzlichen Abfällen, insbesondere Filterstäube, da der Feststoffanteil gering ist. Die Filterstäube können dem Klinker beigegeben oder an anderer Stelle dem Prozess wieder zugeführt werden [Davids/Lange 1986].

#### **Treibhausgasemissionen**

Der im Abfall enthaltene Kohlenstoff wird zu Kohlendioxid verbrannt. Damit wird der Kohlenstoffanteil des ursprünglichen Abfalls mehr oder minder vollständig in CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Von einigen leichtflüchtigen organischen Lösemitteln ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie können bei Umschlag, Lagerung und Handhabung der organischen Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen freigesetzt werden.

Der eingesetzte Abfall ersetzt eine, seinem Heizwert entsprechende Menge an Primärbrennstoff, der dann nicht verbrannt wird. Für diese Substitution des Primärbrennstoffs wird eine Gutschrift erteilt, die dem Kohlendioxid (Lastschrift) aus der Verbrennung des Abfalls entgegensteht bzw. diese Lastschrift übertrifft.

#### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der Anlage 3 Nr. 2 der 17. BImSchV.

Da es sich bei den organischen Lösemitteln i.d.R. um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls zu diffusen Schadstoffemissionen kommen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

In der Zementindustrie sind nassarbeitende Abgasreinigungsanlagen nicht im Einsatz [Davids/Lange 1986]. Zementwerke besitzen daher i.d.R. keine spezielle Abwasserreinigung bzw. keinen Wasserpfad, so dass keine Schadstofffreisetzung ins Wasser erfolgt.

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz der Abfälle in Zementwerken nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Allerdings gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Da Zementwerke i.d.R. nicht über eine spezielle Abwasserbehandlung verfügen, wird davon ausgegangen, dass hier ein erhöhtes Risiko besteht, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle, z. B. bei Regen, direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, wenn keine Vorkehrungen getroffen sind, um belastetes Betriebsflächenwasser auffangen und entsorgen zu können.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

### **16.2.3 Sonderabfallverbrennungsanlagen**

#### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Bei der energetischen Verwertung in Sonderabfallverbrennungsanlagen wird kein Verwertungserzeugnis hergestellt, in das Schadstoffe verschleppt und dort angereichert werden.

#### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die im eingesetzten Abfall enthaltenen organischen Schadstoffe werden in der Feuerung weitgehend zerstört. Entsprechend stellen Sonderabfallverbrennungsanlagen eine Senke für die organischen Schadstoffe dar.

Schlacken, Filterstäube und andere Rauschgasreinigungsrückstände, z. B. Salze, werden in Untertagedeponien beseitigt, auf oberirdischen Deponien verwertet oder beseitigt oder im Bergversatz verwertet.

#### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz der Abfälle in der Sonderabfallverbrennung entstehen nur geringe Mengen an zusätzlichen Abfällen (Aschen, Filterstäube), da der Feststoffanteil sowie der Anteil anderer Stoffe gering ist.

Da Schlacken und Filterstäube, insbesondere aber die anfallenden Salze, zu einem großen Teil beseitigt werden, fallen hier nicht verwertbare Abfälle an.

#### **Treibhausgasemissionen**

Der im Abfall enthaltene Kohlenstoff wird zu Kohlendioxid verbrannt. Damit wird der Kohlenstoffanteil des ursprünglichen Abfalls mehr oder minder vollständig in CO<sub>2</sub> umgesetzt.



Von einigen leichtflüchtigen organischen Lösemitteln ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie können bei Umschlag, Lagerung und Handhabung der organischen Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen freigesetzt werden.

Durch die Nutzung der im Abfall enthaltenen Energie wird eine entsprechende Menge an Primärbrennstoffen substituiert, d.h. eingespart. Bei der Sonderabfallverbrennungsanlage hängt die tatsächlich eingesparte Menge an Primärbrennstoffen davon ab, wie viel Strom und/oder Wärme konkret erzeugt und ausgekoppelt wird. Die eingesparte Menge an Primärbrennstoff wird mittels einer Gutschrift für Treibhausgasemissionen berücksichtigt. Diese Gutschrift steht den aus der Verbrennung des Abfalls resultierenden Treibhausgasemissionen entgegen.

Der energetische Wirkungsgrad kann bei Feuerungs- sowie Müll- und Sonderabfallverbrennungsanlagen nicht eindeutig bestimmt werden, da er davon abhängig ist, ob nur Strom oder nur Wärme oder beides erzeugt wird. Dies ist je nach Anlage unterschiedlich.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der 17. BImSchV.

Da es sich bei den organischen Lösemitteln i.d.R. um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls zu diffusen Schadstoffemissionen kommen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Es wird davon ausgegangen, dass bei Sonderabfallverbrennungsanlagen kein Abwasser anfällt und damit kein Abwasserpfad besteht.

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz der Abfälle in Sonderabfallverbrennungsanlagen nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Allerdings gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Es wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, sondern aufgefangen und entsorgt werden.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

Sonderabfallverbrennungsanlagen haben den Zweck, Sonderabfälle zu verbrennen. Daher gehen wir davon aus, dass Prozesse, Anlagen und Mitarbeiter für ein sicheres Handling dieser Materialien in besonderem Maße ausgerichtet bzw. geschult sind. Damit wird das Risiko im Vergleich mit anderen Verfahren als geringer eingeschätzt.

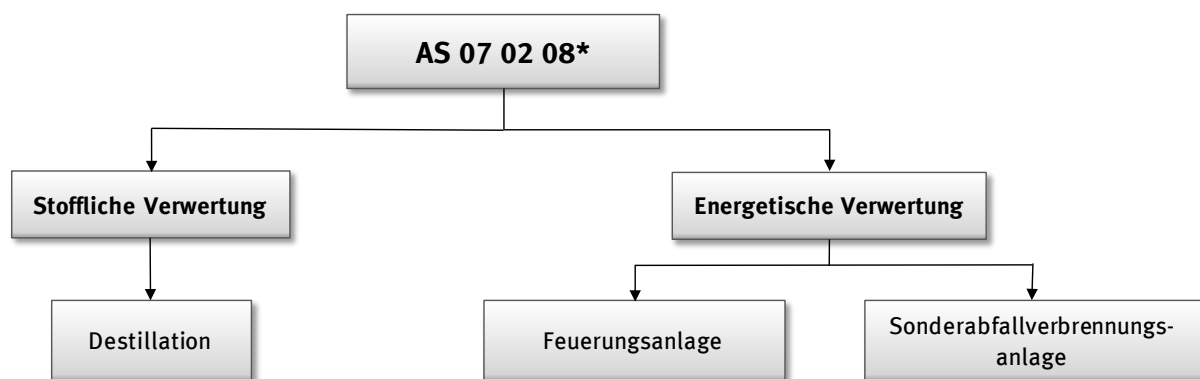
## 17 Verfahrenssteckbrief für AS 070208\* - andere Reaktions- und Destillationsrückstände (HZVA von Kunststoffen, synthetischem Gummi und Kunstfasern)

Dieser Abfallart werden nach dem Anhang der Abfallverzeichnis-Verordnung [AVV] alle die Reaktions- und Destillationsrückstände zugeordnet, die bei der Herstellung, der Zubereitung, dem Vertrieb und bei der Anwendung (HZVA) von Kunststoffen, synthetischem Gummi und Kunstfasern anfallen können.

Abfälle dieser Abfallart enthalten neben den für die Synthese eingesetzten organischen Lösemitteln sowohl Anteile der Synthese-Ausgangsstoffe, der -Zwischenprodukte und -Produkte als auch gegebenenfalls halogenierte Verbindungen als Verunreinigungen. Um welche Lösemittel, Reaktionsedukte/-produkte oder Verunreinigungsstoffe es sich im Einzelnen handelt, ist nicht bekannt. Aus diesem Grund ist es nicht möglich, spezielle Verwertungsverfahren für bestimmte, in den Rückständen enthaltene Lösemittel oder andere Inhaltsstoffe zu benennen und vergleichend zu bewerten.

Für die stoffliche Verwertung von Stoffgemischen, wie Reaktions- und Destillationsrückständen, kommt grundsätzlich die Destillation in Frage, die im Wesentlichen zur Wiedergewinnung einzelner Stoffkomponenten aus Reaktionsrückständen unterschiedlichster Zusammensetzung auch praktiziert wird. Eventuell müssen die Rückstände dazu vorher einer Vorbehandlung, z. B. zur Abtrennung noch enthaltener Feststoffe, unterzogen werden. Die energetische Verwertung der Abfallart erfolgt in Kraftwerksfeuerungen. Eine Vorbehandlung ist unter Umständen auch hier erforderlich, wenn der Abfall zu viel Wasser enthält. Darüber hinaus wird ein weiterer nennenswerter Teil dieser Abfallart in Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt. Ob es sich dabei um eine energetische Verwertung oder thermische Beseitigung handelt, kann nur im Einzelfall auf Basis der nach § 3 Abs. 23 Kreislaufwirtschaftsgesetz [KrWG] erforderlichen Substitutionswirkung der eingesetzten Abfälle – beispielweise in Abhängigkeit von den stofflichen Eigenschaften und dem konkreten Einsatzzweck der Rückstände, von der erzielten Energieeffizienz der Verbrennungsanlage oder vom Substitutionsumfang bzgl. der Primärenergieträger - festgestellt werden. Aus diesem Grund wird die Abfallverbrennung in Sonderabfallverbrennungsanlagen ebenfalls betrachtet und in die Bewertung der Verfahren aufgenommen.

Abbildung 8: Verwertungsschema für die Abfallart AS 070208\*



Eigene Darstellung

Für die vergleichende Bewertung herangezogen werden die Destillation sowie energetische Verwertung in Feuerungsanlagen und Sonderabfallverbrennungsanlagen, da diese in AIDA als Entsorgungswege in den Jahren 2010 – 2013 aufgeführt werden.

## 17.1 Destillation

Die destillative Trennung der - hier praxisrelevanten - Reaktionsrückstände, also von Stoffgemischen unterschiedlichster organischer Verbindungen und teilweise auch wässrig-gelöster Komponenten, erfolgt in der Regel durch fraktionierte Destillation oder Rektifikation [Reichensperner 2016, Rematec 2016, Rütgers 2016, Franck/Collin 1968].

### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs**

Der Gesamtanteil der bei der Destillation von Reaktionsrückständen im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffe - hier die in den Rückständen jeweils höherkonzentriert enthaltenen, organischen Stoffkomponenten - unterliegt aufgrund der vielfältigen stofflichen und quantitativ sehr unterschiedlichen Zusammensetzung der eingesetzten Rückstände großen Schwankungen. Der durchschnittliche, auf die Abfallart AS 07 02 08\* bezogene Wertstoff-Rückgewinnungsanteil wird daher auf ca. 50 % abgeschätzt, wobei im Einzelfall [Rütgers 2016, Franck/Collin 1968] durchaus auch höhere Anteile erreicht werden können.

### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Da es sich bei den zurückgewonnenen organischen Stoffkomponenten in der Regel um die Destillate handeln wird, kann davon ausgegangen werden, dass Schadstoffverschleppungen nur in geringem Umfang auftreten und keine Schadstoffanreicherung in den Verwertungserzeugnissen „organische Destillationsprodukte“ bzw. „Lösemittel“ erfolgt.

### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Der Hauptanteil der in den Reaktionsrückständen enthaltenen Schadstoffe befindet sich nach deren Destillation im verbleibenden Behandlungsrückstand. Dies stellt eine Aufkonzentration von Schadstoffen dar. Diese Rückstände aus der Destillation werden nach AIDA zum überwiegenden Teil in Feuerungsanlagen, Sonderabfallverbrennungsanlagen, Zementwerken sowie in einer Klärschlammverbrennungsanlage verbrannt. Zu einem geringen Teil werden sie in CPB'n behandelt, wobei ein Teil konditioniert wird, um anschließend einer thermischen Behandlung unterzogen zu werden.

Die Verbrennung stellt eine Schadstoffsенке dar, da die enthaltenen organischen Schadstoffe fast vollständig zerstört werden. Die Behandlung an sich stellt keine Senke dar. Ob es sich um eine Senkenfunktion handelt, hängt von der anschließenden konkreten Entsorgung des Materials ab.

### **Rohstoffbedarf, Betriebsmitteleinsatz etc.**

Aus den vorliegenden Angaben ist nicht ersichtlich, dass zusätzliche Betriebsmittel etc. benötigt werden.

### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Als Abfall fällt der nach der Destillation der Reaktionsrückstände erhaltene Behandlungsrückstand an. Nach AIDA werden die entstandenen Behandlungsrückstände zum überwiegenden Teil in Feuerungsanlagen, Sonderabfallverbrennungsanlagen, Zementwerken und in einer Klärschlammverbrennungsanlage verbrannt. Zu einem geringen Teil werden sie auch in CPB'n behandelt und dabei zum Teil verfestigt. Bei der Verbrennung in Feuerungsanlagen und Zementwerken handelt es sich um energetische Verwertung. Ob es sich bei Verbrennung in einer Sonderabfallverbrennungsanlage um Verwertung oder Beseitigung handelt, kann nicht allgemeingültig gesagt werden. Das gleiche gilt für die in der CPB verfestigten Behandlungsrückstände aus der Destillation. Diese könnten energetisch verwertet oder

beseitigt werden. Da dieser Behandlungsrückstand aber bereits im Ausgangsabfall (Reaktionsrückstände) enthalten war, fallen bei der destillativen Aufbereitung keine zusätzlichen nicht verwertbaren Abfälle an.

### **Energie**

Der Energieverbrauch ist beim Destillieren insbesondere von der Wärmekapazität und der Verdampfungswärme der in den Rückständen enthaltenen organischen Stoffkomponenten (w.z. B. Lösemittel) sowie der eingesetzten Destillationstechnik abhängig. Da die in den Abfällen enthaltenen organischen Inhaltsstoffe/Lösemittel nicht bekannt sind, können allgemeingültige Aussagen zum Energieverbrauch nicht getroffen werden. Beispielsweise wird zur Wiedergewinnung von 100 l/h eines reinen Lösemittels (hier: Tetrachlorethen) in Abhängigkeit von der Technik ein Energiebedarf von > 16 kWh bzw. 7 kWh angegeben [Ziermann/Mager 2013]. Zur weiteren Orientierung kann der für die fraktionierte Destillation (Aromatenraffinerie) der Fa. Rütgers Infracore GmbH in Castrop-Rauxel angegebene Wärmebedarf von rund 244 kWh pro eingesetztem Mg Destilliervorlage (Rohteer) herangezogen werden [Rütgers 2016, Franck/Collin 1968].

### **Treibhausgasemissionen**

Von einigen, in den Rückständen enthaltenen organischen Lösemitteln ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie werden – wenngleich in geringem Umfang – beim Destillieren sowie bei Umschlag und Lagerung des Abfalls freigesetzt. Die nach der Abgasreinigung emittierte Menge kann aufgrund des niedrigen Volumenstroms als gering eingestuft werden [LRA Dachau 2015]. Handelt es sich bei der Abgasreinigung um eine Nachverbrennung [Rematec 2016], können über diesen Pfad nur geringste Mengen an Treibhausgasemissionen entstehen.

Nach AIDA werden die nach der Destillation erhaltenen Behandlungsrückstände zum aller größten Teil in Feuerungsanlagen, Sonderabfallverbrennungsanlagen und in einer Müllverbrennungsanlage verbrannt. Zu einem geringen Teil werden sie auch in CPB'n behandelt und dabei zum Teil verfestigt.

Bei der Verbrennung in Feuerungsanlagen und Sonderabfallverbrennungsanlagen sowie in der Müllverbrennungsanlage wird der in den Behandlungsrückständen enthaltene Kohlenstoff vollständig zu CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Beim Handling der Abfälle in der CPB können potenziell Treibhausgase in geringem Umfang aus dem Abfall freigesetzt werden. Wird der verfestigte Abfall anschließend verbrannt, wird der enthaltene Kohlenstoff vollständig zu CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Neben den direkten Emissionen entstehen auch Treibhausgasemissionen aus dem Energiebedarf (z. B. Strom) des Verwertungsverfahrens.

Außerdem wird in der Regel eine Gutschrift für die nicht erforderliche Neuherstellung von Produkten vergeben. Die Höhe dieser Gutschrift richtet sich nach dem Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs. Die Gutschrift steht den direkten Treibhausgasemissionen und den Emissionen aus dem Energiebedarf des Verwertungsverfahrens entgegen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Mit einer entsprechenden Abgasreinigung können Emissionswerte von 50 mg C/Nm<sup>3</sup> eingehalten werden [UBA 2006a, LRA Dachau 2015, Rematec 2016], so dass in Verbindung mit dem im Vergleich zur Verbrennung geringen Volumenströmen die Schadstofffreisetzungen in die Luft beim Destillieren gering sind.

Da es sich bei den in den Reaktionsrückständen enthaltenen organischen Stoffkomponenten gegebenenfalls auch um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des Behandlungsrückstands aus der Destillation zu geringen diffusen Schadstoffemissionen kommen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Anfallendes Abwasser muss behandelt werden [UBA 2006a] und bestehende Einleitgrenzwerte sind einzuhalten.

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Bei Destillationen gehen wir davon aus, dass es sich um teilautomatisierte Prozesse handelt, und nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Es wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in einen Vorfluter gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Inwieweit die hier relevanten Abfälle in der Abwasserbehandlungsanlage abgebaut bzw. unschädlich gemacht werden, hängt von den jeweiligen Stoffen und der Leistungsfähigkeit der Abwasserbehandlung ab.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

## **17.2 Energetische Verwertung**

Die energetische Verwertung von Reaktions- und Destillationsrückständen aus der HZVA von Kunststoffen, synthetischem Gummi und Kunstfasern erfolgt in Feuerungsanlagen und Sonderabfallverbrennungsanlagen. Voraussetzung für den Einsatz in diesen Anlagen ist die Einhaltung der jeweils für die Anlage im Genehmigungsbescheid festgelegten Parameter [LUBW 1996].

### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs**

Bei der energetischen Verwertung verbleiben i.d.R. keine Wertstoffe im Wirtschaftskreislauf. Die stoffliche Verwertung ist daher in diesem Punkt i.d.R. besser zu bewerten als die energetische Verwertung.

### **Rohstoffbedarf und/oder Betriebsmitteleinsatz**

Bei allen hier betrachteten Verfahren zur energetischen Verwertung von Reaktions- und Destillationsrückständen kommen im Zuge der nachgeschalteten Rauchgasreinigungseinrichtungen Betriebsmittel in geringem Umfang zum Einsatz.

### **Energie**

Der energetische Wirkungsgrad kann bei Feuerungs- und Sonderabfallverbrennungsanlagen nicht eindeutig bestimmt werden, da er davon abhängig ist, ob nur Strom oder nur Wärme oder beides erzeugt wird. Dies ist je nach Anlage unterschiedlich. Allgemein kann im Vergleich untereinander aber festgestellt werden, dass der energetische Netto-Wirkungsgrad von Feuerungsanlagen höher als bei Sonderabfallverbrennungsanlagen ist, da der Eigenbedarf niedriger und damit der energetische Netto-Wirkungsgrad höher ist.

### **17.2.1 Feuerungsanlagen**

#### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Bei der energetischen Verwertung von Reaktions- und Destillationsrückständen in Feuerungsanlagen wird kein Verwertungserzeugnis hergestellt, in das Schadstoffe verschleppt und dort angereichert werden.

#### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die im eingesetzten Abfall enthaltenen organischen Schadstoffe werden in der Feuerung weitgehend zerstört. Es handelt sich also um eine Schadstoffsene.

Je nach Abfallzusammensetzung kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich in den Verbrennungsrückständen noch Schadstoffe befinden. Schlacken und Aschen aus Feuerungsanlagen, in denen Abfälle mitverbrannt werden, finden Verwendung im Bergversatz oder werden aufbereitet und anderweitig verwertet, zum Teil auch deponiert [Dehoust et al. 2008]. REA-Gips wird verwertet [Prognos 2003].

#### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz von (organischen) Reaktions- und Destillationsrückständen in Feuerungsanlagen entstehen nur geringe Mengen an zusätzlichen Abfällen (Schlacken/Aschen, Flugaschen, REA-Gips), da der Feststoffanteil gering ist.

Schlacken und Aschen aus Feuerungsanlagen, in denen Abfälle mitverbrannt werden, finden Verwendung im Bergversatz oder werden aufbereitet und anderweitig verwertet, zum Teil auch deponiert [Dehoust et al. 2008]. REA-Gips wird verwertet [Prognos 2003].

Da die Schlacken und Aschen aus der Abfallmitverbrennung teilweise deponiert werden, fallen hier geringe Mengen an zusätzlichen nicht verwertbaren Abfällen an.

#### **Treibhausgasemissionen**

Der im Abfall enthaltene Kohlenstoff wird zu Kohlendioxid verbrannt. Damit wird der Kohlenstoffanteil des ursprünglichen Abfalls mehr oder minder vollständig in CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Von einigen, in den Reaktions- und Destillationsrückständen enthaltenen organischen Lösemitteln ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie können bei Umschlag, Lagerung und Handhabung der (organischen) Reaktions- und Destillationsrückstände freigesetzt werden.

Durch die Nutzung der im Abfall enthaltenen Energie wird eine Menge an Primärbrennstoffen substituiert, d.h. eingespart. Die eingesparte Menge an Primärbrennstoff wird mittels einer Gutschrift für Treibhausgasemissionen berücksichtigt. Diese Gutschrift steht den aus der Verbrennung des Abfalls resultierenden Treibhausgasemissionen entgegen.

#### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der Anlage 3 Nr. 3 der 17. BImSchV.

Da es sich bei den in den Reaktions- und Destillationsrückständen enthaltenen organischen Stoffkomponenten gegebenenfalls auch um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls zu geringen diffusen Schadstoffemissionen kommen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Bei der Verbrennung in Feuerungsanlagen anfallende Abwässer müssen behandelt und aufbereitet werden [UBA 2006a].

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz von Reaktions- und Destillationsrückständen in Feuerungsanlagen nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Allerdings gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Ferner wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in einen Vorfluter gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Inwieweit die hier relevanten Abfälle in der Abwasserbehandlungsanlage abgebaut bzw. unschädlich gemacht werden, hängt von den jeweiligen Stoffen und der Leistungsfähigkeit der Abwasserbehandlung ab.

Wenn Flächen auf denen Reaktions- und Destillationsrückstände gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

### **17.2.2 Sonderabfallverbrennungsanlagen**

#### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Bei der energetischen Verwertung von Reaktions- und Destillationsrückständen in Sonderabfallverbrennungsanlagen wird kein Verwertungserzeugnis hergestellt, in das Schadstoffe verschleppt und dort angereichert werden.

#### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die im eingesetzten Abfall enthaltenen organischen Schadstoffe werden in der Feuerung weitgehend zerstört. Entsprechend stellen Sonderabfallverbrennungsanlagen eine Senke für die organischen Schadstoffe dar.

Schlacken, Filterstäube und andere Rauchgasreinigungsrückstände, z. B. Salze, werden in Untertage- deponien beseitigt, auf oberirdischen Deponien verwertet oder beseitigt oder im Bergversatz verwertet.

#### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz von (organischen) Reaktions- und Destillationsrückständen in der Sonderabfallverbrennung entstehen nur geringe Mengen an zusätzlichen Abfällen (Aschen, Filterstäube), da der Feststoffanteil sowie der Anteil anderer Stoffe gering ist.

Da Schlacken und Filterstäube, insbesondere aber die anfallenden Salze, zu einem großen Teil beseitigt werden, fallen hier nicht verwertbare Abfälle an.

#### **Treibhausgasemissionen**

Der im Abfall enthaltene Kohlenstoff wird zu Kohlendioxid verbrannt. Damit wird der Kohlenstoffanteil des ursprünglichen Abfalls mehr oder minder vollständig in CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Von einigen, in den Reaktions- und Destillationsrückständen enthaltenen organischen Lösemitteln ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie können bei Umschlag, Lagerung und Handhabung der (organischen) Reaktions- und Destillationsrückstände freigesetzt werden.

Durch die Nutzung der im Abfall enthaltenen Energie wird eine entsprechende Menge an Primärbrennstoffen substituiert, d.h. eingespart. Bei der Sonderabfallverbrennungsanlage hängt die tatsächlich eingesparte Menge an Primärbrennstoffen davon ab, wie viel Strom und/oder Wärme konkret erzeugt und ausgekoppelt wird. Die eingesparte Menge an Primärbrennstoff wird mittels einer Gutschrift für Treibhausgasemissionen berücksichtigt. Diese Gutschrift steht den aus der Verbrennung des Abfalls resultierenden Treibhausgasemissionen entgegen.

Der energetische Wirkungsgrad kann bei Feuerungs- sowie Müll- und Sonderabfallverbrennungsanlagen nicht eindeutig bestimmt werden, da er davon abhängig ist, ob nur Strom oder nur Wärme oder beides erzeugt wird. Dies ist je nach Anlage unterschiedlich.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der 17. BImSchV.

Da es sich bei den in den Reaktions- und Destillationsrückständen enthaltenen organischen Stoffkomponenten gegebenenfalls auch um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls zu geringen diffusen Schadstoffemissionen kommen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Es wird davon ausgegangen, dass bei Sonderabfallverbrennungsanlagen kein Abwasser anfällt und damit kein Abwasserpfad besteht.

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz von Reaktions- und Destillationsrückständen in Sonderabfallverbrennungsanlagen nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Allerdings gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Ferner wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in einen Vorfluter gelangen können, sondern aufgefangen und entsorgt werden.

Wenn Flächen auf denen Reaktions- und Destillationsrückstände gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.



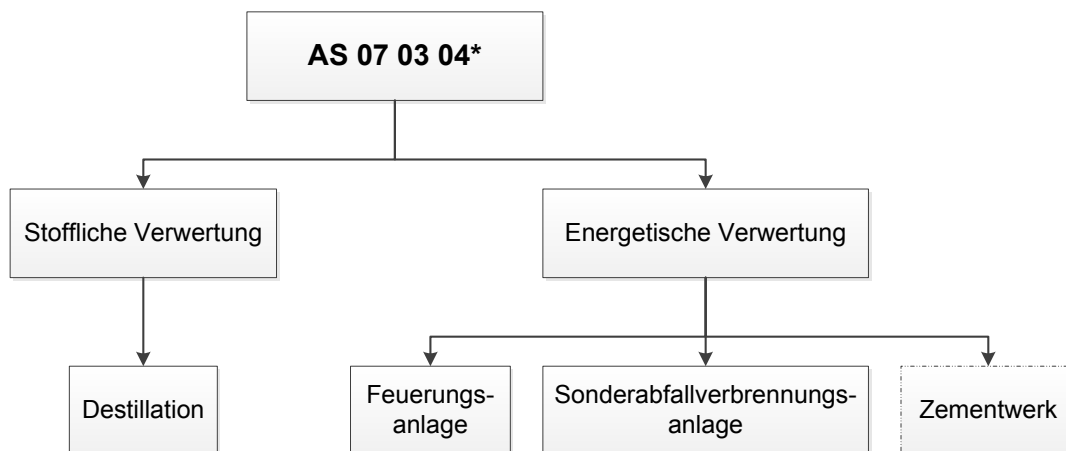
## 18 Verfahrenssteckbrief für AS 070304\* - andere organische Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen (HZVA von organischen Farbstoffen und Pigmenten (außer 06 11))

Bei dieser Abfallart handelt es sich um nicht halogenierte organische Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen, die bei der Herstellung, der Zubereitung, dem Vertrieb und der Anwendung (HZVA) von organischen Farbstoffen und Pigmenten anfallen.

Abfälle dieser Abfallart können ein oder mehrere Lösemittel sowie die unterschiedlichsten Begleitstoffe enthalten. Um welche Lösemittel und Begleitstoffe es sich im Einzelnen handelt, ist nicht bekannt. Aus diesem Grund ist es nicht möglich, spezielle Verwertungsverfahren für bestimmte Lösemittel oder andere Inhaltsstoffe zu benennen und vergleichend zu bewerten.

Für die stoffliche Verwertung von Lösemitteln kommt grundsätzlich die Destillation in Frage. Diese wird auch zum überwiegenden Teil angewendet. Eventuell müssen die Abfälle dazu vorher einer Vorbehandlung unterzogen werden. Die energetische Verwertung erfolgt in Kraftwerksfeuerungen. Der Einsatz in Zementwerken ist ebenfalls denkbar, findet aber nach AIDA in Nordrhein-Westfalen nicht statt. In beiden Fällen ist unter Umständen eine Vorbehandlung erforderlich, wenn der Abfall zu viel Wasser enthält. Ein Teil dieser Abfallart wird in Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt. Ob es sich dabei um Verwertung oder Beseitigung handelt, kann nur im Einzelfall festgestellt werden. Aus diesem Grund wird die Abfallverbrennung in Sonderabfallverbrennungsanlagen ebenfalls betrachtet und in die Bewertung der Verfahren aufgenommen.

Abbildung 9: Verwertungsschema für die Abfallart AS 070304\*



Eigene Darstellung

Für die vergleichende Bewertung herangezogen werden die Destillation sowie die energetische Verwertung in Feuerungsanlagen und Sonderabfallverbrennungsanlagen, da diese in AIDA als Entsorgungswege in den Jahren 2010 – 2013 aufgeführt werden. Hinzugenommen wird die energetische Verwertung in Zementwerken, da sie ebenfalls eine Möglichkeit darstellt.

### 18.1 Destillation

Für das Destillieren von organischen Abfalllösemitteln sowie Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung.

Für verunreinigte sortenreine Lösemittel kann die einfache Destillation zum Einsatz kommen [Martens 2011].

Um bei empfindlichen Stoffkomponenten den Siedepunkt zu senken und damit die Zersetzung zu vermeiden, wird unter Vakuum destilliert (Vakuumdestillation). Der Energieverbrauch des Destillierens wird damit gesenkt, dafür wird aber zusätzliche Energie für den Betrieb der Vakuumpumpen benötigt. Mit der Vakuumdestillation können Lösemittel bis zu einem Siedepunkt von 290 °C destilliert werden. [Martens 2011]

Die Trennung von Lösemittelgemischen erfolgt durch fraktionierte Destillation oder Rektifikation [Martens 2011].

Die Beheizung der Destillationsblasen wird mit Thermoöl, Heißwasser oder Dampf durchgeführt. Bei weitgehend feststofffreien Abfalllösemitteln kann anstelle einer Destillationsblase ein Dünnschichtverdampfer eingesetzt werden. [Martens 2011]

### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs**

Bei der Destillation von Abfalllösemitteln beträgt der Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs, hier das jeweilige Lösemittel bzw. die jeweiligen Lösemittel, durchschnittlich 70 % [Martens 2011].

### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Da es sich bei den gewonnenen Lösemitteln in der Regel um die Destillate handeln wird, kann davon ausgegangen werden, dass Schadstoffverschleppungen nur in geringem Umfang auftreten und keine Schadstoffanreicherung in den Verwertungserzeugnissen „Lösemittel“ erfolgt.

### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Der Hauptanteil der im Abfall enthaltenen Schadstoffe befindet sich nach der Destillation im Destillationsrückstand. Dies stellt eine Aufkonzentration von Schadstoffen dar. Die Destillationsrückstände werden nach AIDA zum überwiegenden Teil in Feuerungsanlagen, Zementwerken, Müllverbrennungsanlagen und Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt. Zu einem geringen Teil werden sie in CPB behandelt, wobei ein Teil konditioniert wird, um anschließend einer thermischen Behandlung unterzogen zu werden.

Die Verbrennung stellt eine Schadstoffsенke dar, da die enthaltenen organischen Schadstoffe fast vollständig zerstört werden. Die Behandlung in einer CPB an sich stellt keine Senke dar. Ob es sich um eine Senkenfunktion handelt, hängt von der anschließenden konkreten Entsorgung des Materials ab.

### **Rohstoffbedarf, Betriebsmitteleinsatz etc.**

Aus den vorliegenden Angaben ist nicht ersichtlich, dass zusätzliche Betriebsmittel etc. benötigt werden.

### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Als Abfall fällt der Destillationsrückstand an. Nach AIDA werden die Destillationsrückstände zum überwiegenden Teil in Feuerungsanlagen, Zementwerken, Müllverbrennungsanlagen und Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt. Zu einem geringen Teil werden sie auch in CPB behandelt und dabei zum Teil verfestigt. Bei der Verbrennung in Feuerungsanlagen, Zementwerken und Müllverbrennungsanlagen handelt es sich um energetische Verwertung. Ob es sich bei Verbrennung in einer Sonderabfallverbrennungsanlage um Verwertung oder Beseitigung handelt, kann nicht allgemeingültig gesagt werden. Das gleiche gilt für die in CPB verfestigten Destillationsrückstände. Sie könnten energetisch verwertet oder beseitigt werden. Da der Destillationsrückstand aber bereits im Ausgangs-

abfall (Abfalllösemittelgemisch) enthalten war, fallen bei der Destillation keine zusätzlichen nicht verwertbaren Abfälle an.

### **Energie**

Der Energieverbrauch ist beim Destillieren insbesondere von der Wärmekapazität und der Verdampfungswärme des zu destillierenden Lösemittels bzw. der zu destillierenden Lösemittel sowie der eingesetzten Destillationstechnik abhängig. Da die in den Abfällen enthaltenen Lösemittel nicht bekannt sind, können allgemeingültige Aussagen zum Energieverbrauch nicht getroffen werden. Zur Wiedergewinnung von 100 l/h Tetrachlorethylen wird abhängig von der Technik beispielsweise ein Energiebedarf von > 16 kWh bzw. 7 kWh angegeben [Ziermann/Mager 2013]. Die Summe aus Wärmekapazität und Verdampfungswärme beträgt beispielsweise für Aceton ca. 161 kWh/Mg und für Dimethylformamid ca. 238 kWh/Mg.

### **Treibhausgasemissionen**

Von einigen leichtflüchtigen organischen Lösemitteln ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie werden – wenngleich in geringem Umfang – beim Destillieren sowie bei Umschlag und Lagerung des Abfalls freigesetzt. Die nach der Abgasreinigung emittierte Menge kann aufgrund des niedrigen Volumenstroms als gering eingestuft werden. Handelt es sich bei der Abgasreinigung um eine Nachverbrennung, können über diesen Pfad nur geringste Mengen an Treibhausgasemissionen entstehen.

Nach AIDA werden die Destillationsrückstände zum überwiegenden Teil in Feuerungsanlagen, Zementwerken, Müllverbrennungsanlagen und Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt. Zu einem geringen Teil werden sie auch in CPB behandelt und dabei zum Teil verfestigt.

Bei der Verbrennung in Feuerungsanlagen, Zementwerken, Müllverbrennungsanlagen und Sonderabfallverbrennungsanlagen wird der enthaltene Kohlenstoff vollständig zu CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Beim Handling der Abfälle in der CPB können potenziell Treibhausgase in geringem Umfang aus dem Abfall freigesetzt werden. Wird der verfestigte Abfall anschließend verbrannt, wird der enthaltene Kohlenstoff vollständig zu CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Neben den direkten Emissionen entstehen auch Treibhausgasemissionen aus dem Energiebedarf (z. B. Strom) des Verwertungsverfahrens.

Außerdem wird in der Regel eine Gutschrift für die nicht erforderliche Neuherstellung von Produkten vergeben. Die Höhe dieser Gutschrift richtet sich nach dem Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs. Die Gutschrift steht den direkten Treibhausgasemissionen und den Emissionen aus dem Energiebedarf des Verwertungsverfahrens entgegen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Mit einer entsprechenden Abgasreinigung können Emissionswerte von 50 mg C/Nm<sup>3</sup> eingehalten werden [UBA 2006a], so dass in Verbindung mit den im Vergleich zur Verbrennung geringen Volumenströmen die Schadstofffreisetzungen in die Luft beim Destillieren gering sind.

Da es sich bei den organischen Lösemitteln i.d.R. um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls und des Destillationsrückstands zu diffusen Schadstoffemissionen kommen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Anfallendes Abwasser muss behandelt werden [UBA 2006a] und bestehende Einleitgrenzwerte sind einzuhalten.

## **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Bei Destillationen gehen wir davon aus, dass es sich um teilautomatisierte Prozesse handelt, und nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Es wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Inwieweit die hier relevanten Abfälle in der Abwasserbehandlungsanlage abgebaut bzw. unschädlich gemacht werden, hängt von den jeweiligen Stoffen und der Leistungsfähigkeit der Abwasserbehandlung ab.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

## **18.2 Energetische Verwertung**

Die energetische Verwertung von organischen Lösemitteln, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen erfolgt in Feuerungsanlagen, Zementwerken und Sonderabfallverbrennungsanlagen. Voraussetzung für den Einsatz in diesen Anlagen ist die Einhaltung der jeweils für die Anlage im Genehmigungsbescheid festgelegten Parameter [LUBW 1996]. Bei Zementwerken sind i.d.R. höhere Schadstoffgehalte an PCB und Halogenen in den Genehmigungen festgelegt [LUBW 1996].

### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs**

Bei der energetischen Verwertung verbleiben i.d.R. keine Wertstoffe im Wirtschaftskreislauf. Die stoffliche Verwertung ist daher in diesem Punkt i.d.R. besser zu bewerten als die energetische Verwertung.

### **Rohstoffbedarf und/oder Betriebsmitteleinsatz**

Bei allen hier betrachteten Verfahren zur energetischen Verwertung organischer Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen kommen im Zuge der nachgeschalteten Rauchgasreinigungseinrichtungen Betriebsmittel in geringem Umfang zum Einsatz.

### **Energie**

Der energetische Wirkungsgrad kann bei Feuerungs- und Sonderabfallverbrennungsanlagen nicht eindeutig bestimmt werden, da er davon abhängig ist, ob nur Strom oder nur Wärme oder beides erzeugt wird. Dies ist je nach Anlage unterschiedlich. Allgemein kann im Vergleich untereinander aber festgestellt werden, dass der energetische Netto-Wirkungsgrad beim Abfalleinsatz im Zementwerk am höchsten ist, da die erzeugte Energie als Wärme im Drehrohrofen direkt genutzt wird. Der energetische Netto-Wirkungsgrad von Feuerungsanlagen ist niedriger, aber höher als bei Sonderabfallverbrennungsanlagen, da der Eigenbedarf niedriger und damit der energetische Netto-Wirkungsgrad höher ist.

#### **18.2.1 Feuerungsanlagen**

##### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Bei der energetischen Verwertung in Feuerungsanlagen wird kein Verwertungserzeugnis hergestellt, in das Schadstoffe verschleppt und dort angereichert werden.

### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die im eingesetzten Abfall enthaltenen organischen Schadstoffe werden in der Feuerung weitgehend zerstört. Es handelt sich also um eine Schadstoffsenke.

Je nach Abfallzusammensetzung kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich in den Verbrennungsrückständen noch Schadstoffe befinden. Schlacken und Aschen aus Feuerungsanlagen, in denen Abfälle mitverbrannt werden, finden Verwendung im Bergversatz oder werden aufbereitet und anderweitig verwertet, zum Teil auch deponiert [Dehoust et al. 2008]. REA-Gips wird verwertet [Prognos 2003].

### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz von organischen Lösemitteln, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen in Feuerungsanlagen entstehen nur geringe Mengen an zusätzlichen Abfällen (Schlacken/Aschen, Flugaschen, REA-Gips), da der Feststoffanteil gering ist.

Schlacken und Aschen aus Feuerungsanlagen, in denen Abfälle mitverbrannt werden, finden Verwendung im Bergversatz oder werden aufbereitet und anderweitig verwertet, zum Teil auch deponiert [Dehoust et al. 2008]. REA-Gips wird verwertet [Prognos 2003].

Da die Schlacken und Aschen aus der Abfallmitverbrennung teilweise deponiert werden, fallen hier geringe Mengen an zusätzlichen nicht verwertbaren Abfällen an.

### **Treibhausgasemissionen**

Der im Abfall enthaltene Kohlenstoff wird zu Kohlendioxid verbrannt. Damit wird der Kohlenstoffanteil des ursprünglichen Abfalls mehr oder minder vollständig in CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Von einigen leichtflüchtigen organischen Lösemitteln ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie können bei Umschlag, Lagerung und Handhabung der organischen Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen freigesetzt werden.

Durch die Nutzung der im Abfall enthaltenen Energie wird eine Menge an Primärbrennstoffen substituiert, d.h. eingespart. Die eingesparte Menge an Primärbrennstoff wird mittels einer Gutschrift für Treibhausgasemissionen berücksichtigt. Diese Gutschrift steht den aus der Verbrennung des Abfalls resultierenden Treibhausgasemissionen entgegen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der Anlage 3 Nr. 3 der 17. BImSchV.

Da es sich bei den organischen Lösemitteln i.d.R. um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls zu diffusen Schadstoffemissionen kommen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Bei der Verbrennung in Feuerungsanlagen anfallende Abwässer müssen behandelt und aufbereitet werden [UBA 2006b].

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz der Abfälle in Feuerungsanlagen nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Allerdings gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstö-

rungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Es wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Inwieweit die hier relevanten Abfälle in der Abwasserbehandlungsanlage abgebaut bzw. unschädlich gemacht werden, hängt von den jeweiligen Stoffen und der Leistungsfähigkeit der Abwasserbehandlung ab.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

### **18.2.2 Zementwerk**

#### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Organische Lösemittel werden bei der Verbrennung zerstört. Je nach Abfallzusammensetzung kann aber nicht ausgeschlossen werden, dass andere, nicht zerstörte Schadstoffe verbleiben und dann ins Produkt gelangen.

#### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die im eingesetzten Abfall enthaltenen organischen Schadstoffe werden beim Einsatz im Zementwerk weitgehend zerstört. Entsprechend stellt das Zementwerk eine Senke für die organischen Schadstoffe dar.

#### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz von organischen Lösemitteln, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen im Zementwerk entstehen nur geringe Mengen an zusätzlichen Abfällen, insbesondere Filterstäube, da der Feststoffanteil gering ist. Die Filterstäube können dem Klinker beigegeben oder an anderer Stelle dem Prozess wieder zugeführt werden [Davids/Lange 1986].

#### **Treibhausgasemissionen**

Der im Abfall enthaltene Kohlenstoff wird zu Kohlendioxid verbrannt. Damit wird der Kohlenstoffanteil des ursprünglichen Abfalls mehr oder minder vollständig in CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Von einigen leichtflüchtigen organischen Lösemitteln ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie können bei Umschlag, Lagerung und Handhabung der organischen Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen freigesetzt werden.

Der eingesetzte Abfall ersetzt eine, seinem Heizwert entsprechende Menge an Primärbrennstoff, der dann nicht verbrannt wird. Für diese Substitution des Primärbrennstoffs wird eine Gutschrift erteilt, die dem Kohlendioxid (Lastschrift) aus der Verbrennung des Abfalls entgegensteht bzw. diese Lastschrift übertrifft.

#### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der Anlage 3 Nr. 2 der 17. BImSchV.

Da es sich bei den organischen Lösemitteln i.d.R. um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls zu diffusen Schadstoffemissionen kommen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

In der Zementindustrie sind nassarbeitende Abgasreinigungsanlagen nicht im Einsatz [Davids/Lange 1986]. Zementwerke besitzen daher i.d.R. keine spezielle Abwasserreinigung bzw. keinen Wasserpfad, so dass keine Schadstofffreisetzung ins Wasser erfolgt.

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz der Abfälle in Zementwerken nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Allerdings gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Da Zementwerke i.d.R. nicht über eine spezielle Abwasserbehandlung verfügen, wird davon ausgegangen, dass hier ein erhöhtes Risiko besteht, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle, z. B. bei Regen, direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, wenn keine Vorkehrungen getroffen sind, um belastetes Betriebsflächenwasser auffangen und entsorgen zu können.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

### **18.2.3 Sonderabfallverbrennungsanlagen**

#### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Bei der energetischen Verwertung in Sonderabfallverbrennungsanlagen wird kein Verwertungserzeugnis hergestellt, in das Schadstoffe verschleppt und dort angereichert werden.

#### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die im eingesetzten Abfall enthaltenen organischen Schadstoffe werden in der Feuerung weitgehend zerstört. Entsprechend stellen Sonderabfallverbrennungsanlagen eine Senke für die organischen Schadstoffe dar.

Schlacken, Filterstäube und andere Rauschgasreinigungsrückstände, z. B. Salze, werden in Untertagedeponien beseitigt, auf oberirdischen Deponien verwertet oder beseitigt oder im Bergversatz verwertet.

#### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz der Abfälle in der Sonderabfallverbrennung entstehen nur geringe Mengen an zusätzlichen Abfällen (Aschen, Filterstäube), da der Feststoffanteil sowie der Anteil anderer Stoffe gering ist.

Da Schlacken und Filterstäube, insbesondere aber die anfallenden Salze, zu einem großen Teil beseitigt werden, fallen hier nicht verwertbare Abfälle an.

#### **Treibhausgasemissionen**

Der im Abfall enthaltene Kohlenstoff wird zu Kohlendioxid verbrannt. Damit wird der Kohlenstoffanteil des ursprünglichen Abfalls mehr oder minder vollständig in CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Von einigen leichtflüchtigen organischen Lösemitteln ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie können bei Umschlag, Lagerung und Handhabung der organischen Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen freigesetzt werden.

Durch die Nutzung der im Abfall enthaltenen Energie wird eine entsprechende Menge an Primärbrennstoffen substituiert, d.h. eingespart. Bei der Sonderabfallverbrennungsanlage hängt die tatsächlich eingesparte Menge an Primärbrennstoffen davon ab, wie viel Strom und/oder Wärme konkret erzeugt und ausgekoppelt wird. Die eingesparte Menge an Primärbrennstoff wird mittels einer Gutschrift für Treibhausgasemissionen berücksichtigt. Diese Gutschrift steht den aus der Verbrennung des Abfalls resultierenden Treibhausgasemissionen entgegen.

Der energetische Wirkungsgrad kann bei Feuerungs- sowie Müll- und Sonderabfallverbrennungsanlagen nicht eindeutig bestimmt werden, da er davon abhängig ist, ob nur Strom oder nur Wärme oder beides erzeugt wird. Dies ist je nach Anlage unterschiedlich.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der 17. BImSchV.

Da es sich bei den organischen Lösemitteln i.d.R. um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls zu diffusen Schadstoffemissionen kommen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Es wird davon ausgegangen, dass bei Sonderabfallverbrennungsanlagen kein Abwasser anfällt und damit kein Abwasserpfad besteht.

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz der Abfälle in Sonderabfallverbrennungsanlagen nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Allerdings gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Es wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, sondern aufgefangen und entsorgt werden.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

Sonderabfallverbrennungsanlagen haben den Zweck, Sonderabfälle zu verbrennen. Daher gehen wir davon aus, dass Prozesse, Anlagen und Mitarbeiter für ein sicheres Handling dieser Materialien in besonderem Maße ausgerichtet bzw. geschult sind. Damit wird das Risiko im Vergleich mit anderen Verfahren als geringer eingeschätzt.



## 19 Verfahrenssteckbrief für AS 070403\* - Halogenorganische Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen aus HZVA von organischen Pflanzenschutzmitteln, Holzschutzmitteln und anderen Bioziden

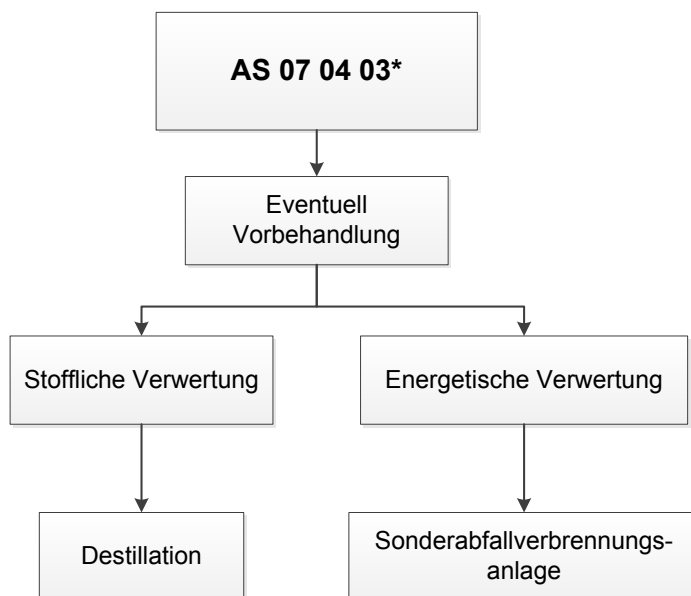
Bei dieser Abfallart handelt es sich um halogenhaltige Abfälle aus organisch-chemischen Prozessen, die bei der Herstellung, der Zubereitung, dem Vertrieb und der Anwendung (HZVA) von organischen Pflanzenschutzmitteln, Holzschutzmitteln und anderen Bioziden anfallen.

Abfälle dieser Abfallart können ein oder mehrere Lösemittel sowie die unterschiedlichsten Begleitstoffe enthalten. Um welche Lösemittel und Begleitstoffe es sich im Einzelnen handelt, ist nicht bekannt. Aus diesem Grund ist es nicht möglich, spezielle Verwertungsverfahren für bestimmte Lösemittel oder andere Inhaltsstoffe zu benennen und vergleichend zu bewerten.

Für die stoffliche Verwertung von Lösemitteln kommt grundsätzlich die Destillation in Frage. Eventuell müssen die Abfälle dafür vorher einer Vorbehandlung unterzogen werden.

Die energetische Verwertung in Kraftwerksfeuerungen und Zementwerken ist grundsätzlich denkbar, findet aber nach AIDA in Nordrhein-Westfalen nicht statt. Der überwiegende Teil dieser Abfallart wird in Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt. Ob es sich dabei um Verwertung oder Beseitigung handelt, kann nur im Einzelfall festgestellt werden. Aus diesem Grund wird die Verbrennung in Sonderabfallverbrennungsanlagen ebenfalls betrachtet und in die Bewertung der Verfahren aufgenommen.

Abbildung 10: Verwertungsschema für die Abfallart AS 070403\*



Eigene Darstellung

Für die vergleichende Bewertung herangezogen wird die Destillation und Verbrennung in Sonderabfallverbrennungsanlagen, da nur diese in AIDA als Entsorgungswege in den Jahren 2010 – 2013 aufgeführt werden.

### 19.1 Destillation

Für das Destillieren von halogenorganischen Abfalllösemitteln sowie Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen, die halogenorganische Stoffe enthalten, stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung.

Für verunreinigte sortenreine Lösemittel kann die einfache Destillation zum Einsatz kommen [Martens 2011].

Um bei empfindlichen Stoffkomponenten den Siedepunkt zu senken und damit die Zersetzung zu vermeiden, wird unter Vakuum destilliert (Vakuumdestillation). Der Energieverbrauch des Destillierens wird damit gesenkt, dafür wird aber zusätzliche Energie für den Betrieb der Vakuumpumpen benötigt. Mit der Vakuumdestillation können Lösemittel bis zu einem Siedepunkt von 290 °C destilliert werden. [Martens 2011]

Die Trennung von Lösemittelgemischen erfolgt durch fraktionierte Destillation oder Rektifikation [Martens 2011].

Die Beheizung der Destillationsblasen wird mit Thermoöl, Heißwasser oder Dampf durchgeführt. Bei weitgehend feststofffreien Abfalllösemitteln kann anstelle einer Destillationsblase ein Dünnschichtverdampfer eingesetzt werden. [Martens 2011]

### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs**

Bei der Destillation von Abfalllösemitteln beträgt der Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs, hier das jeweilige Lösemittel bzw. die jeweiligen Lösemittel, durchschnittlich 70 % [Martens 2011].

### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Da es sich bei den gewonnenen Lösemitteln in der Regel um die Destillate handeln wird, kann davon ausgegangen werden, dass Schadstoffverschleppungen nur in geringem Umfang auftreten und keine Schadstoffanreicherung in den Verwertungserzeugnissen „Lösemittel“ erfolgt.

### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Der Hauptanteil der im Abfall enthaltenen Schadstoffe befindet sich nach der Destillation im Destillationsrückstand. Dies ist eine Aufkonzentration von Schadstoffen. Halogenierte Destillationsrückstände werden nach AIDA zum überwiegenden Teil in Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt und zu einem geringen Teil auch in CPB verfestigt.

Die Sonderabfallverbrennung stellt eine Schadstoffsенке dar, da die enthaltenen Schadstoffe fast vollständig zerstört werden. Die Verfestigung an sich stellt keine Senke dar. Ob es sich um eine Senkenfunktion handelt, hängt von der konkreten Entsorgung des Materials ab.

### **Rohstoffbedarf, Betriebsmitteleinsatz etc.**

Aus den vorliegenden Angaben ist nicht ersichtlich, dass zusätzliche Betriebsmittel etc. benötigt werden.

### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Als Abfall fällt der Destillationsrückstand an. Nach AIDA werden halogenierte Destillationsrückstände zum überwiegenden Teil in Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt. Zu einem geringen Teil werden sie auch in CPB verfestigt. Ob es sich bei Verbrennung in einer Sonderabfallverbrennungsanlage um Verwertung oder Beseitigung handelt, kann nicht allgemeingültig gesagt werden. Das gleiche gilt für die in CPB verfestigten Destillationsrückstände. Sie könnten energetisch verwertet oder beseitigt werden. Da der Destillationsrückstand bereits im Ausgangsabfall (Abfalllösemittelgemisch) enthalten war, fallen bei der Destillation keine zusätzlichen nicht verwertbaren Abfälle an.

## **Energie**

Der Energieverbrauch ist beim Destillieren insbesondere von der Wärmekapazität und der Verdampfungswärme des zu destillierenden Lösemittels bzw. der zu destillierenden Lösemittel sowie der eingesetzten Destillationstechnik abhängig. Da die in den Abfällen enthaltenen Lösemittel nicht bekannt sind, können allgemeingültige Aussagen zum Energieverbrauch nicht getroffen werden. Zur Wiedergewinnung von 100 l/h Tetrachlorethylen wird abhängig von der Technik beispielsweise ein Energiebedarf von > 16 kWh bzw. 7 kWh angegeben [Ziermann/Mager 2013]. Die Summe aus Wärmekapazität und Verdampfungswärme beträgt beispielsweise für Aceton ca. 161 kWh/Mg und für Dimethylformamid ca. 238 kWh/Mg.

## **Treibhausgasemissionen**

Bei den meisten halogenierten Lösemitteln handelt es sich um chlorierte Kohlenwasserstoffe. Zumindest die Leichtflüchtigen besitzen Treibhauspotenziale [ReCiPe 2014] und werden – wenngleich in geringem Umfang – beim Destillieren sowie bei Umschlag und Lagerung des Abfalls freigesetzt. Die nach der Abgasreinigung emittierte Menge kann aufgrund des niedrigen Volumenstroms als gering eingestuft werden. Handelt es sich bei der Abgasreinigung um eine Nachverbrennung, können über diesen Pfad nur geringste Mengen an Treibhausgasemissionen entstehen.

Halogenierte Destillationsrückstände werden nach AIDA zum überwiegenden Teil in Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt und zu einem geringen Teil auch in CPB verfestigt. In der Sonderabfallverbrennung wird der enthaltene Kohlenstoff vollständig zu CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Beim Handling der Abfälle in der CPB können potenziell Treibhausgase in geringem Umfang aus dem Abfall freigesetzt werden. Wird der verfestigte Abfall anschließend verbrannt, wird der enthaltene Kohlenstoff vollständig zu CO<sub>2</sub> umgesetzt (analog zur SAV).

Neben den direkten Emissionen entstehen auch Treibhausgasemissionen aus dem Energiebedarf (z. B. Strom) des Verwertungsverfahrens.

Außerdem wird in der Regel eine Gutschrift für die nicht erforderliche Neuherstellung von Produkten vergeben. Die Höhe dieser Gutschrift richtet sich nach dem Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs. Die Gutschrift steht den direkten Treibhausgasemissionen und den Emissionen aus dem Energiebedarf des Verwertungsverfahrens entgegen.

## **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Mit einer entsprechenden Abgasreinigung können Emissionswerte von 50 mg C/Nm<sup>3</sup> eingehalten werden [UBA 2006], so dass in Verbindung mit den im Vergleich zur Verbrennung geringen Volumenströmen die Schadstofffreisetzungen in die Luft beim Destillieren gering sind.

Da es sich bei den halogenorganischen Lösemitteln i.d.R. um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls und des Destillationsrückstands zu diffusen Schadstoffemissionen kommen.

## **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Anfallendes Abwasser muss behandelt werden [UBA 2006] und bestehende Einleitgrenzwerte sind einzuhalten.

## **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Bei Destillation gehen wir davon aus, dass es sich um teilautomatisierte Prozesse handelt, und nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Es wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Inwieweit die hier relevanten Abfälle in der Abwasserbehandlungsanlage abgebaut bzw. unschädlich gemacht werden, hängt von den jeweiligen Stoffen und der Leistungsfähigkeit der Abwasserbehandlung ab.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

## **19.2 Energetische Verwertung - Sonderabfallverbrennungsanlagen**

Die energetische Verwertung dieser Abfallart erfolgt – wenn es sich um eine solche handelt – nur in Sonderabfallverbrennungsanlagen.

### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs**

Bei der energetischen Verwertung verbleiben i.d.R. keine Wertstoffe im Wirtschaftskreislauf. Die stoffliche Verwertung ist daher in diesem Punkt i.d.R. besser zu bewerten als die energetische Verwertung.

### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Bei der energetischen Verwertung in Sonderabfallverbrennungsanlagen wird kein Verwertungserzeugnis hergestellt, in das Schadstoffe verschleppt und dort angereichert werden.

### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die im eingesetzten Abfall enthaltenen organischen Schadstoffe werden in der Feuerung weitgehend zerstört. Entsprechend stellen Sonderabfallverbrennungsanlagen eine Senke für die organischen Schadstoffe dar.

Schlacken, Filterstäube und andere Rauchgasreinigungsrückstände, z. B. Salze, werden in Untertagedeponien beseitigt, auf oberirdischen Deponien verwertet oder beseitigt oder im Bergversatz verwertet.

### **Rohstoffbedarf und/oder Betriebsmitteleinsatz**

Bei der Sonderabfallverbrennung zur energetischen Verwertung halogenorganischer Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen kommen im Zuge der nachgeschalteten Rauchgasreinigungseinrichtungen Betriebsmittel in geringem Umfang zum Einsatz.

### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz der Abfälle in der Sonderabfallverbrennung entstehen nur geringe Mengen an zusätzlichen Abfällen (Aschen, Filterstäube), da der Feststoffanteil sowie der Anteil anderer Stoffe außer

Chlor gering ist. Da die eingesetzten halogenorganischen Lösemittel Chlor enthalten, entstehen bei der Eindampfung des Waschwassers Chloride als fester zusätzlicher Abfall.

Da Schlacken und Filterstäube, insbesondere aber die anfallenden Salze, zu einem großen Teil beseitigt werden, fallen hier nicht verwertbare Abfälle an.

### **Energie**

Der energetische Wirkungsgrad von Sonderabfallverbrennungsanlagen kann nicht eindeutig bestimmt werden, da er davon abhängig ist, ob nur Strom oder nur Wärme oder beides erzeugt wird. Dies ist je nach Anlage unterschiedlich. Allgemein kann aber festgestellt werden, dass der energetische Netto-Wirkungsgrad niedriger als bei Feuerungsanlagen und deutlich niedriger als beim Abfalleinsatz im Zementwerk ist.

### **Treibhausgasemissionen**

Der im Abfall enthaltene Kohlenstoff wird zu Kohlendioxid verbrannt. Damit wird der Kohlenstoffanteil des ursprünglichen Abfalls mehr oder minder vollständig in CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Bei den meisten halogenierten Lösemitteln handelt es sich um chlorierte Kohlenwasserstoffe. Zumindest die Leichtflüchtigen besitzen Treibhauspotenziale [ReCiPe 2014] und werden bei Umschlag, Lagerung und Handhabung der halogenorganischen Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen in geringem Umfang freigesetzt.

Durch die Nutzung der im Abfall enthaltenen Energie wird eine entsprechende Menge an Primärbrennstoffen substituiert, d.h. eingespart. Bei der Sonderabfallverbrennungsanlage hängt die tatsächlich eingesparte Menge an Primärbrennstoffen davon ab, wie viel Strom und/oder Wärme konkret erzeugt und ausgekoppelt wird. Die eingesparte Menge an Primärbrennstoff wird mittels einer Gutschrift für Treibhausgasemissionen berücksichtigt. Diese Gutschrift steht den aus der Verbrennung des Abfalls resultierenden Treibhausgasemissionen entgegen.

Der energetische Wirkungsgrad kann bei Feuerungs- sowie Müll- und Sonderabfallverbrennungsanlagen nicht eindeutig bestimmt werden, da er davon abhängig ist, ob nur Strom oder nur Wärme oder beides erzeugt wird. Dies ist je nach Anlage unterschiedlich.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der 17. BImSchV.

Da es sich bei den halogenorganischen Lösemitteln i.d.R. um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls zu diffusen Schadstoffemissionen kommen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Es wird davon ausgegangen, dass bei Sonderabfallverbrennungsanlagen kein Abwasser anfällt und damit kein Abwasserpfad besteht.

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz der Abfälle in Sonderabfallverbrennungsanlagen nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Allerdings gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle

bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Es wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in ein Gewässer den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, sondern aufgefangen und entsorgt werden.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

Sonderabfallverbrennungsanlagen haben den Zweck, Sonderabfälle zu verbrennen. Daher gehen wir davon aus, dass Prozesse, Anlagen und Mitarbeiter für ein sicheres Handling dieser Materialien in besonderem Maße ausgerichtet bzw. geschult sind. Damit wird das Risiko im Vergleich mit anderen Verfahren als geringer eingeschätzt.

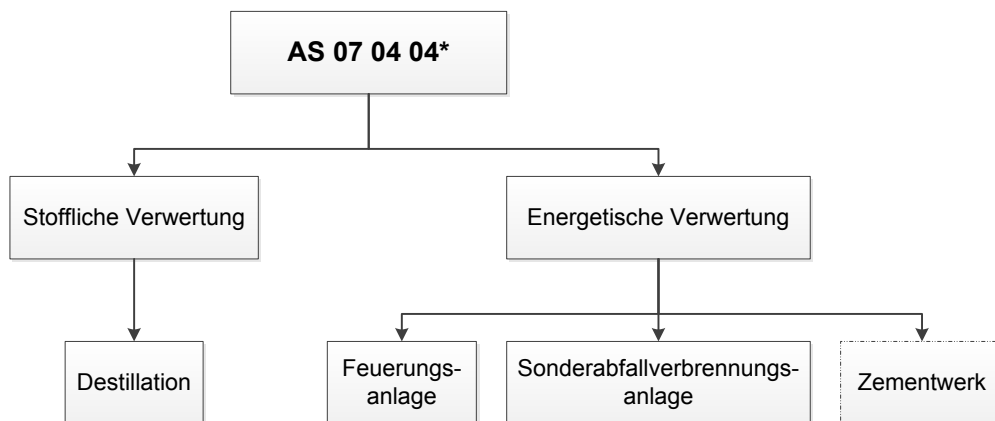
## 20 Verfahrenssteckbrief für AS 070404\* andere organische Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen aus HZVA von organischen Pflanzenschutzmitteln, Holzschutzmitteln und anderen Bioziden

Bei dieser Abfallart handelt es sich um nicht halogenhaltige organische Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen, die bei der Herstellung, der Zubereitung, dem Vertrieb und der Anwendung (HZVA) von organischen Pflanzenschutzmitteln, Holzschutzmitteln und anderen Bioziden.

Abfälle dieser Abfallart können ein oder mehrere Lösemittel sowie die unterschiedlichsten Begleitstoffe enthalten. Um welche Lösemittel und Begleitstoffe es sich im Einzelnen handelt, ist nicht bekannt. Aus diesem Grund ist es nicht möglich, spezielle Verwertungsverfahren für bestimmte Lösemittel oder andere Inhaltsstoffe zu benennen und vergleichend zu bewerten.

Für die stoffliche Verwertung von Lösemitteln kommt grundsätzlich die Destillation in Frage. Diese wird nur zu einem sehr geringen Teil angewendet. Eventuell müssen die Abfälle dazu vorher einer Vorbehandlung unterzogen werden. Die energetische Verwertung erfolgt in Kraftwerksfeuerungen. Der Einsatz in Zementwerken ist ebenfalls denkbar, findet aber nach AIDA in Nordrhein-Westfalen nicht statt. In beiden Fällen ist unter Umständen eine Vorbehandlung erforderlich, wenn der Abfall zu viel Wasser enthält. Der überwiegende Teil dieser Abfallart wird in Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt. Ob es sich dabei um Verwertung oder Beseitigung handelt, kann nur im Einzelfall festgestellt werden. Aus diesem Grund wird die Abfallverbrennung in Sonderabfallverbrennungsanlagen ebenfalls betrachtet und in die Bewertung der Verfahren aufgenommen.

Abbildung 11: Verwertungsschema für die Abfallart AS 070404\*



Eigene Darstellung

Für die vergleichende Bewertung herangezogen werden die Destillation sowie die energetische Verwertung in Feuerungsanlagen und Sonderabfallverbrennungsanlagen, da diese in AIDA als Entsorgungswege in den Jahren 2010 – 2013 aufgeführt werden. Hinzugenommen wird die energetische Verwertung in Zementwerken, da sie ebenfalls eine Möglichkeit darstellt.

### 20.1 Destillation

Für das Destillieren von organischen Abfalllösemitteln sowie Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung.

Für verunreinigte sortenreine Lösemittel kann die einfache Destillation zum Einsatz kommen [Martens 2011].

Um bei empfindlichen Stoffkomponenten den Siedepunkt zu senken und damit die Zersetzung zu vermeiden, wird unter Vakuum destilliert (Vakuumdestillation). Der Energieverbrauch des Destillierens wird damit gesenkt, dafür wird aber zusätzliche Energie für den Betrieb der Vakuumpumpen benötigt. Mit der Vakuumdestillation können Lösemittel bis zu einem Siedepunkt von 290 °C destilliert werden. [Martens 2011]

Die Trennung von Lösemittelgemischen erfolgt durch fraktionierte Destillation oder Rektifikation [Martens 2011].

Die Beheizung der Destillationsblasen wird mit Thermoöl, Heißwasser oder Dampf durchgeführt. Bei weitgehend feststofffreien Abfalllösemitteln kann anstelle einer Destillationsblase ein Dünnschichtverdampfer eingesetzt werden. [Martens 2011]

### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs**

Bei der Destillation von Abfalllösemitteln beträgt der Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs, hier das jeweilige Lösemittel bzw. die jeweiligen Lösemittel, durchschnittlich 70 % [Martens 2011].

### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Da es sich bei den gewonnenen Lösemitteln in der Regel um die Destillate handeln wird, kann davon ausgegangen werden, dass Schadstoffverschleppungen nur in geringem Umfang auftreten und keine Schadstoffanreicherung in den Verwertungserzeugnissen „Lösemittel“ erfolgt.

### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Der Hauptanteil der im Abfall enthaltenen Schadstoffe befindet sich nach der Destillation im Destillationsrückstand. Dies stellt eine Aufkonzentration von Schadstoffen dar. Die Destillationsrückstände werden nach AIDA zum überwiegenden Teil in Feuerungsanlagen, Zementwerken, Müllverbrennungsanlagen und Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt. Zu einem geringen Teil werden sie in CPB behandelt, wobei ein Teil konditioniert wird, um anschließend einer thermischen Behandlung unterzogen zu werden.

Die Verbrennung stellt eine Schadstoffsенke dar, da die enthaltenen organischen Schadstoffe fast vollständig zerstört werden. Die Behandlung in einer CPB an sich stellt keine Senke dar. Ob es sich um eine Senkenfunktion handelt, hängt von der anschließenden konkreten Entsorgung des Materials ab.

### **Rohstoffbedarf, Betriebsmitteleinsatz etc.**

Aus den vorliegenden Angaben ist nicht ersichtlich, dass zusätzliche Betriebsmittel etc. benötigt werden.

### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Als Abfall fällt der Destillationsrückstand an. Nach AIDA werden die Destillationsrückstände zum überwiegenden Teil in Feuerungsanlagen, Zementwerken, Müllverbrennungsanlagen und Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt. Zu einem geringen Teil werden sie auch in CPB behandelt und dabei zum Teil verfestigt. Bei der Verbrennung in Feuerungsanlagen, Zementwerken und Müllverbrennungsanlagen handelt es sich um energetische Verwertung. Ob es sich bei Verbrennung in einer Sonderabfallverbrennungsanlage um Verwertung oder Beseitigung handelt, kann nicht allgemeingültig gesagt werden. Das gleiche gilt für die in CPB verfestigten Destillationsrückstände. Sie könnten energetisch verwertet oder beseitigt werden. Da der Destillationsrückstand aber bereits im Ausgangs-



abfall (Abfalllösemittelgemisch) enthalten war, fallen bei der Destillation keine zusätzlichen nicht verwertbaren Abfälle an.

### **Energie**

Der Energieverbrauch ist beim Destillieren insbesondere von der Wärmekapazität und der Verdampfungswärme des zu destillierenden Lösemittels bzw. der zu destillierenden Lösemittel sowie der eingesetzten Destillationstechnik abhängig. Da die in den Abfällen enthaltenen Lösemittel nicht bekannt sind, können allgemeingültige Aussagen zum Energieverbrauch nicht getroffen werden. Zur Wiedergewinnung von 100 l/h Tetrachlorethylen wird abhängig von der Technik beispielsweise ein Energiebedarf von > 16 kWh bzw. 7 kWh angegeben [Ziermann/Mager 2013]. Die Summe aus Wärmekapazität und Verdampfungswärme beträgt beispielsweise für Aceton ca. 161 kWh/Mg und für Dimethylformamid ca. 238 kWh/Mg.

### **Treibhausgasemissionen**

Von einigen leichtflüchtigen organischen Lösemitteln ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie werden – wenngleich in geringem Umfang – beim Destillieren sowie bei Umschlag und Lagerung des Abfalls freigesetzt. Die nach der Abgasreinigung emittierte Menge kann aufgrund des niedrigen Volumenstroms als gering eingestuft werden. Handelt es sich bei der Abgasreinigung um eine Nachverbrennung, können über diesen Pfad nur geringste Mengen an Treibhausgasemissionen entstehen.

Nach AIDA werden die Destillationsrückstände zum überwiegenden Teil in Feuerungsanlagen, Zementwerken, Müllverbrennungsanlagen und Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt. Zu einem geringen Teil werden sie auch in CPB behandelt und dabei zum Teil verfestigt.

Bei der Verbrennung in Feuerungsanlagen, Zementwerken, Müllverbrennungsanlagen und Sonderabfallverbrennungsanlagen wird der enthaltene Kohlenstoff vollständig zu CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Beim Handling der Abfälle in der CPB können potenziell Treibhausgase in geringem Umfang aus dem Abfall freigesetzt werden. Wird der verfestigte Abfall anschließend verbrannt, wird der enthaltene Kohlenstoff vollständig zu CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Neben den direkten Emissionen entstehen auch Treibhausgasemissionen aus dem Energiebedarf (z. B. Strom) des Verwertungsverfahrens.

Außerdem wird in der Regel eine Gutschrift für die nicht erforderliche Neuherstellung von Produkten vergeben. Die Höhe dieser Gutschrift richtet sich nach dem Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs. Die Gutschrift steht den direkten Treibhausgasemissionen und den Emissionen aus dem Energiebedarf des Verwertungsverfahrens entgegen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Mit einer entsprechenden Abgasreinigung können Emissionswerte von 50 mg C/Nm<sup>3</sup> eingehalten werden [UBA 2006a], so dass in Verbindung mit den im Vergleich zur Verbrennung geringen Volumenströmen die Schadstofffreisetzungen in die Luft beim Destillieren gering sind.

Da es sich bei den organischen Lösemitteln i.d.R. um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls und des Destillationsrückstands zu diffusen Schadstoffemissionen kommen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Anfallendes Abwasser muss behandelt werden [UBA 2006a] und bestehende Einleitgrenzwerte sind einzuhalten.

## **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Bei Destillationen gehen wir davon aus, dass es sich um teilautomatisierte Prozesse handelt, und nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Es wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Inwieweit die hier relevanten Abfälle in der Abwasserbehandlungsanlage abgebaut bzw. unschädlich gemacht werden, hängt von den jeweiligen Stoffen und der Leistungsfähigkeit der Abwasserbehandlung ab.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

## **20.2 Energetische Verwertung**

Die energetische Verwertung von organischen Lösemitteln, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen erfolgt in Feuerungsanlagen, Zementwerken und Sonderabfallverbrennungsanlagen. Voraussetzung für den Einsatz in diesen Anlagen ist die Einhaltung der jeweils für die Anlage im Genehmigungsbescheid festgelegten Parameter [LUBW 1996]. Bei Zementwerken sind i.d.R. höhere Schadstoffgehalte an PCB und Halogenen in den Genehmigungen festgelegt [LUBW 1996].

### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs**

Bei der energetischen Verwertung verbleiben i.d.R. keine Wertstoffe im Wirtschaftskreislauf. Die stoffliche Verwertung ist daher in diesem Punkt i.d.R. besser zu bewerten als die energetische Verwertung.

### **Rohstoffbedarf und/oder Betriebsmitteleinsatz**

Bei allen hier betrachteten Verfahren zur energetischen Verwertung organischer Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen kommen im Zuge der nachgeschalteten Rauchgasreinigungseinrichtungen Betriebsmittel in geringem Umfang zum Einsatz.

### **Energie**

Der energetische Wirkungsgrad kann bei Feuerungs- und Sonderabfallverbrennungsanlagen nicht eindeutig bestimmt werden, da er davon abhängig ist, ob nur Strom oder nur Wärme oder beides erzeugt wird. Dies ist je nach Anlage unterschiedlich. Allgemein kann im Vergleich untereinander aber festgestellt werden, dass der energetische Netto-Wirkungsgrad beim Abfalleinsatz im Zementwerk am höchsten ist, da die erzeugte Energie als Wärme im Drehrohrofen direkt genutzt wird. Der energetische Netto-Wirkungsgrad von Feuerungsanlagen ist niedriger, aber höher als bei Sonderabfallverbrennungsanlagen, da der Eigenbedarf niedriger und damit der energetische Netto-Wirkungsgrad höher ist.

#### **20.2.1 Feuerungsanlagen**

##### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Bei der energetischen Verwertung in Feuerungsanlagen wird kein Verwertungserzeugnis hergestellt, in das Schadstoffe verschleppt und dort angereichert werden.

### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die im eingesetzten Abfall enthaltenen organischen Schadstoffe werden in der Feuerung weitgehend zerstört. Es handelt sich also um eine Schadstoffsenke.

Je nach Abfallzusammensetzung kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich in den Verbrennungsrückständen noch Schadstoffe befinden. Schlacken und Aschen aus Feuerungsanlagen, in denen Abfälle mitverbrannt werden, finden Verwendung im Bergversatz oder werden aufbereitet und anderweitig verwertet, zum Teil auch deponiert [Dehoust et al. 2008]. REA-Gips wird verwertet [Prognos 2003].

### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz von organischen Lösemitteln, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen in Feuerungsanlagen entstehen nur geringe Mengen an zusätzlichen Abfällen (Schlacken/Aschen, Flugaschen, REA-Gips), da der Feststoffanteil gering ist.

Schlacken und Aschen aus Feuerungsanlagen, in denen Abfälle mitverbrannt werden, finden Verwendung im Bergversatz oder werden aufbereitet und anderweitig verwertet, zum Teil auch deponiert [Dehoust et al. 2008]. REA-Gips wird verwertet [Prognos 2003].

Da die Schlacken und Aschen aus der Abfallmitverbrennung teilweise deponiert werden, fallen hier geringe Mengen an zusätzlichen nicht verwertbaren Abfällen an.

### **Treibhausgasemissionen**

Der im Abfall enthaltene Kohlenstoff wird zu Kohlendioxid verbrannt. Damit wird der Kohlenstoffanteil des ursprünglichen Abfalls mehr oder minder vollständig in CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Von einigen leichtflüchtigen organischen Lösemitteln ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie können bei Umschlag, Lagerung und Handhabung der organischen Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen freigesetzt werden.

Durch die Nutzung der im Abfall enthaltenen Energie wird eine Menge an Primärbrennstoffen substituiert, d.h. eingespart. Die eingesparte Menge an Primärbrennstoff wird mittels einer Gutschrift für Treibhausgasemissionen berücksichtigt. Diese Gutschrift steht den aus der Verbrennung des Abfalls resultierenden Treibhausgasemissionen entgegen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der Anlage 3 Nr. 3 der 17. BImSchV.

Da es sich bei den organischen Lösemitteln i.d.R. um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls zu diffusen Schadstoffemissionen kommen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Bei der Verbrennung in Feuerungsanlagen anfallende Abwässer müssen behandelt und aufbereitet werden [UBA 2006b].

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz der Abfälle in Feuerungsanlagen nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Allerdings gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstö-

rungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Es wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Inwieweit die hier relevanten Abfälle in der Abwasserbehandlungsanlage abgebaut bzw. unschädlich gemacht werden, hängt von den jeweiligen Stoffen und der Leistungsfähigkeit der Abwasserbehandlung ab.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

## **20.2.2 Zementwerk**

### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Organische Lösemittel werden bei der Verbrennung zerstört. Je nach Abfallzusammensetzung kann aber nicht ausgeschlossen werden, dass andere, nicht zerstörte Schadstoffe verbleiben und dann ins Produkt gelangen.

### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die im eingesetzten Abfall enthaltenen organischen Schadstoffe werden beim Einsatz im Zementwerk weitgehend zerstört. Entsprechend stellt das Zementwerk eine Senke für die organischen Schadstoffe dar.

### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz von organischen Lösemitteln, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen im Zementwerk entstehen nur geringe Mengen an zusätzlichen Abfällen, insbesondere Filterstäube, da der Feststoffanteil gering ist. Die Filterstäube können dem Klinker beigegeben oder an anderer Stelle dem Prozess wieder zugeführt werden [Davids/Lange 1986].

### **Treibhausgasemissionen**

Der im Abfall enthaltene Kohlenstoff wird zu Kohlendioxid verbrannt. Damit wird der Kohlenstoffanteil des ursprünglichen Abfalls mehr oder minder vollständig in CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Von einigen leichtflüchtigen organischen Lösemitteln ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie können bei Umschlag, Lagerung und Handhabung der organischen Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen freigesetzt werden.

Der eingesetzte Abfall ersetzt eine, seinem Heizwert entsprechende Menge an Primärbrennstoff, der dann nicht verbrannt wird. Für diese Substitution des Primärbrennstoffs wird eine Gutschrift erteilt, die dem Kohlendioxid (Lastschrift) aus der Verbrennung des Abfalls entgegensteht bzw. diese Lastschrift übertrifft.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der Anlage 3 Nr. 2 der 17. BImSchV.

Da es sich bei den organischen Lösemitteln i.d.R. um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls zu diffusen Schadstoffemissionen kommen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

In der Zementindustrie sind nassarbeitende Abgasreinigungsanlagen nicht im Einsatz [Davids/Lange 1986]. Zementwerke besitzen daher i.d.R. keine spezielle Abwasserreinigung bzw. keinen Wasserpfad, so dass keine Schadstofffreisetzung ins Wasser erfolgt.

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz der Abfälle in Zementwerken nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Allerdings gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Da Zementwerke i.d.R. nicht über eine spezielle Abwasserbehandlung verfügen, wird davon ausgegangen, dass hier ein erhöhtes Risiko besteht, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle, z. B. bei Regen, direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, wenn keine Vorkehrungen getroffen sind, um belastetes Betriebsflächenwasser auffangen und entsorgen zu können.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

### **20.2.3 Sonderabfallverbrennungsanlagen**

#### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Bei der energetischen Verwertung in Sonderabfallverbrennungsanlagen wird kein Verwertungserzeugnis hergestellt, in das Schadstoffe verschleppt und dort angereichert werden.

#### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die im eingesetzten Abfall enthaltenen organischen Schadstoffe werden in der Feuerung weitgehend zerstört. Entsprechend stellen Sonderabfallverbrennungsanlagen eine Senke für die organischen Schadstoffe dar.

Schlacken, Filterstäube und andere Rauschgasreinigungsrückstände, z. B. Salze, werden in Untertagedeponien beseitigt, auf oberirdischen Deponien verwertet oder beseitigt oder im Bergversatz verwertet.

#### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz der Abfälle in der Sonderabfallverbrennung entstehen nur geringe Mengen an zusätzlichen Abfällen (Aschen, Filterstäube), da der Feststoffanteil sowie der Anteil anderer Stoffe gering ist.

Da Schlacken und Filterstäube, insbesondere aber die anfallenden Salze, zu einem großen Teil beseitigt werden, fallen hier nicht verwertbare Abfälle an.

#### **Treibhausgasemissionen**

Der im Abfall enthaltene Kohlenstoff wird zu Kohlendioxid verbrannt. Damit wird der Kohlenstoffanteil des ursprünglichen Abfalls mehr oder minder vollständig in CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Von einigen leichtflüchtigen organischen Lösemitteln ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie können bei Umschlag, Lagerung und Handhabung der organischen Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen freigesetzt werden.

Durch die Nutzung der im Abfall enthaltenen Energie wird eine entsprechende Menge an Primärbrennstoffen substituiert, d.h. eingespart. Bei der Sonderabfallverbrennungsanlage hängt die tatsächlich eingesparte Menge an Primärbrennstoffen davon ab, wie viel Strom und/oder Wärme konkret erzeugt und ausgekoppelt wird. Die eingesparte Menge an Primärbrennstoff wird mittels einer Gutschrift für Treibhausgasemissionen berücksichtigt. Diese Gutschrift steht den aus der Verbrennung des Abfalls resultierenden Treibhausgasemissionen entgegen.

Der energetische Wirkungsgrad kann bei Feuerungs- sowie Müll- und Sonderabfallverbrennungsanlagen nicht eindeutig bestimmt werden, da er davon abhängig ist, ob nur Strom oder nur Wärme oder beides erzeugt wird. Dies ist je nach Anlage unterschiedlich.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der 17. BImSchV.

Da es sich bei den organischen Lösemitteln i.d.R. um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls zu diffusen Schadstoffemissionen kommen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Es wird davon ausgegangen, dass bei Sonderabfallverbrennungsanlagen kein Abwasser anfällt und damit kein Abwasserpfad besteht.

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz der Abfälle in Sonderabfallverbrennungsanlagen nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Allerdings gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Es wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, sondern aufgefangen und entsorgt werden.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

Sonderabfallverbrennungsanlagen haben den Zweck, Sonderabfälle zu verbrennen. Daher gehen wir davon aus, dass Prozesse, Anlagen und Mitarbeiter für ein sicheres Handling dieser Materialien in besonderem Maße ausgerichtet bzw. geschult sind. Damit wird das Risiko im Vergleich mit anderen Verfahren als geringer eingeschätzt.

## 21 Verfahrenssteckbrief für AS 070503\* - Halogenorganische Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen aus HZVA von Pharmazeutika

Bei dieser Abfallart handelt es sich um Abfälle aus organisch-chemischen Prozessen, die bei der Herstellung, der Zubereitung, dem Vertrieb und der Anwendung (HZVA) von Pharmazeutika anfallen.

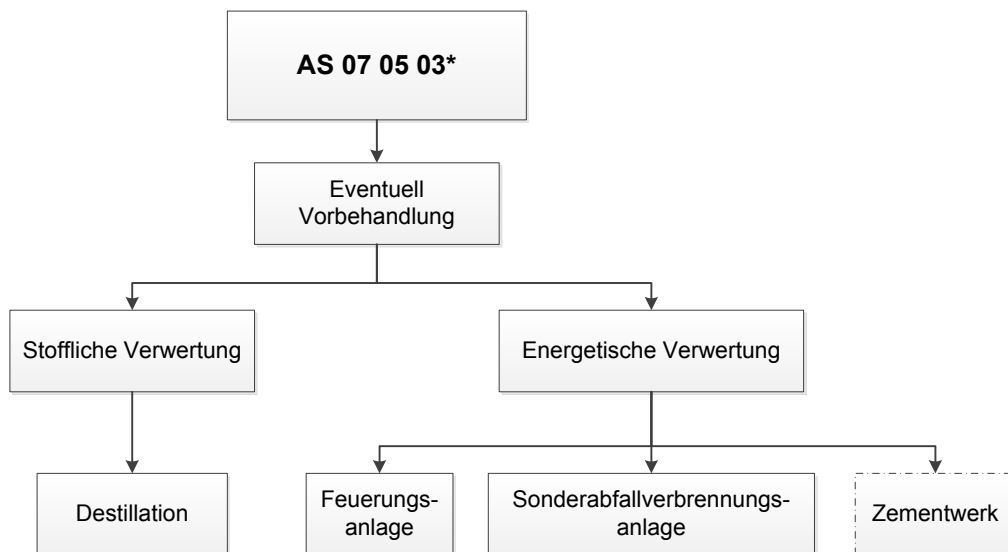
Abfälle dieser Abfallart können ein oder mehrere Lösemittel sowie die unterschiedlichsten Begleitstoffe enthalten. Um welche Lösemittel und Begleitstoffe es sich im Einzelnen handelt, ist nicht bekannt. Aus diesem Grund ist es nicht möglich, spezielle Verwertungsverfahren für bestimmte Lösemittel oder andere Inhaltsstoffe zu benennen und vergleichend zu bewerten.

Für die stoffliche Verwertung von Lösemitteln kommt grundsätzlich die Destillation in Frage. Eventuell müssen die Abfälle dafür vorher einer Vorbehandlung unterzogen werden.

Die energetische Verwertung ist grundsätzlich möglich und wird – wenn auch in geringem Umfang – in Kraftwerksfeuerungen durchgeführt. Der Einsatz in Zementwerken ist ebenfalls möglich, findet aber nach AIDA in Nordrhein-Westfalen nicht statt. Eine Vorbehandlung ist unter Umständen dann erforderlich, wenn der Abfall zu viel Wasser enthält.

Der überwiegende Teil dieser Abfallart wird in Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt. Ob es sich dabei um Verwertung oder Beseitigung handelt, kann nur im Einzelfall festgestellt werden. Aus diesem Grund wird die Verbrennung in Sonderabfallverbrennungsanlagen ebenfalls betrachtet und in die Bewertung der Verfahren aufgenommen.

Abbildung 12: Verwertungsschema für die Abfallart AS 070503\*



Eigene Darstellung

Für die vergleichende Bewertung herangezogen wird die Destillation und die energetische Verwertung in Kraftwerksfeuerungen und Sonderabfallverbrennungsanlagen, da diese in AIDA als Entsorgungswege in den Jahren 2010 – 2013 aufgeführt werden. Hinzugenommen wird der Einsatz im Zementwerk, da dieser wie der Einsatz in der Kraftwerksfeuerung möglich ist.

### 21.1 Destillation

Für das Destillieren von halogenorganischen Abfalllösemitteln sowie Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen, die halogenorganische Stoffe enthalten, stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung.

Für verunreinigte sortenreine Lösemittel kann die einfache Destillation zum Einsatz kommen [Martens 2011].

Um bei empfindlichen Stoffkomponenten den Siedepunkt zu senken und damit die Zersetzung zu vermeiden, wird unter Vakuum destilliert (Vakuumdestillation). Der Energieverbrauch des Destillierens wird damit gesenkt, dafür wird aber zusätzliche Energie für den Betrieb der Vakuumpumpen benötigt. Mit der Vakuumdestillation können Lösemittel bis zu einem Siedepunkt von 290 °C destilliert werden. [Martens 2011]

Die Trennung von Lösemittelgemischen erfolgt durch fraktionierte Destillation oder Rektifikation [Martens 2011].

Die Beheizung der Destillationsblasen wird mit Thermoöl, Heißwasser oder Dampf durchgeführt. Bei weitgehend feststofffreien Abfalllösemitteln kann anstelle einer Destillationsblase ein Dünnschichtverdampfer eingesetzt werden. [Martens 2011]

### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs**

Bei der Destillation von Abfalllösemitteln beträgt der Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs, hier das jeweilige Lösemittel bzw. die jeweiligen Lösemittel, durchschnittlich 70 % [Martens 2011].

### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Da es sich bei den gewonnenen Lösemitteln in der Regel um die Destillate handeln wird, kann davon ausgegangen werden, dass Schadstoffverschleppungen nur in geringem Umfang auftreten und keine Schadstoffanreicherung in den Verwertungserzeugnissen „Lösemittel“ erfolgt.

### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Der Hauptanteil der im Abfall enthaltenen Schadstoffe befindet sich nach der Destillation im Destillationsrückstand. Dies ist eine Aufkonzentration von Schadstoffen. Halogenierte Destillationsrückstände werden nach AIDA zum überwiegenden Teil in Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt und zu einem geringen Teil auch in CPB verfestigt.

Die Sonderabfallverbrennung stellt eine Schadstoffsенке dar, da die enthaltenen Schadstoffe fast vollständig zerstört werden. Die Verfestigung an sich stellt keine Senke dar. Ob es sich um eine Senkenfunktion handelt, hängt von der konkreten Entsorgung des Materials ab.

### **Rohstoffbedarf, Betriebsmitteleinsatz etc.**

Aus den vorliegenden Angaben ist nicht ersichtlich, dass zusätzliche Betriebsmittel etc. benötigt werden.

### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Als Abfall fällt der Destillationsrückstand an. Nach AIDA werden halogenierte Destillationsrückstände zum überwiegenden Teil in Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt. Zu einem geringen Teil werden sie auch in CPB verfestigt. Ob es sich bei Verbrennung in einer Sonderabfallverbrennungsanlage um Verwertung oder Beseitigung handelt, kann nicht allgemeingültig gesagt werden. Das gleiche gilt für die in CPB verfestigten Destillationsrückstände. Sie könnten energetisch verwertet oder beseitigt werden. Da der Destillationsrückstand bereits im Ausgangsabfall (Abfalllösemittelgemisch) enthalten war, fallen bei der Destillation keine zusätzlichen nicht verwertbaren Abfälle an.



## **Energie**

Der Energieverbrauch ist beim Destillieren insbesondere von der Wärmekapazität und der Verdampfungswärme des zu destillierenden Lösemittels bzw. der zu destillierenden Lösemittel sowie der eingesetzten Destillationstechnik abhängig. Da die in den Abfällen enthaltenen Lösemittel nicht bekannt sind, können allgemeingültige Aussagen zum Energieverbrauch nicht getroffen werden. Zur Wiedergewinnung von 100 l/h Tetrachlorethylen wird abhängig von der Technik beispielsweise ein Energiebedarf von > 16 kWh bzw. 7 kWh angegeben [Ziermann/Mager 2013]. Die Summe aus Wärmekapazität und Verdampfungswärme beträgt beispielsweise für Aceton ca. 161 kWh/Mg und für Dimethylformamid ca. 238 kWh/Mg.

## **Treibhausgasemissionen**

Bei den meisten halogenierten Lösemitteln handelt es sich um chlorierte Kohlenwasserstoffe. Zumindest die Leichtflüchtigen besitzen Treibhauspotenziale [ReCiPe 2014] und werden – wenngleich in geringem Umfang – beim Destillieren sowie bei Umschlag und Lagerung des Abfalls freigesetzt. Die nach der Abgasreinigung emittierte Menge kann aufgrund des niedrigen Volumenstroms als gering eingestuft werden. Handelt es sich bei der Abgasreinigung um eine Nachverbrennung, können über diesen Pfad nur geringste Mengen an Treibhausgasemissionen entstehen.

Halogenierte Destillationsrückstände werden nach AIDA zum überwiegenden Teil in Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt und zu einem geringen Teil auch in CPB verfestigt. In der Sonderabfallverbrennung wird der enthaltene Kohlenstoff vollständig zu CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Beim Handling der Abfälle in der CPB können potenziell Treibhausgase in geringem Umfang aus dem Abfall freigesetzt werden. Wird der verfestigte Abfall anschließend verbrannt, wird der enthaltene Kohlenstoff vollständig zu CO<sub>2</sub> umgesetzt (analog zur SAV).

Neben den direkten Emissionen entstehen auch Treibhausgasemissionen aus dem Energiebedarf (z. B. Strom) des Verwertungsverfahrens.

Außerdem wird in der Regel eine Gutschrift für die nicht erforderliche Neuherstellung von Produkten vergeben. Die Höhe dieser Gutschrift richtet sich nach dem Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs. Die Gutschrift steht den direkten Treibhausgasemissionen und den Emissionen aus dem Energiebedarf des Verwertungsverfahrens entgegen.

## **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Mit einer entsprechenden Abgasreinigung können Emissionswerte von 50 mg C/Nm<sup>3</sup> eingehalten werden [UBA 2006a], so dass in Verbindung mit den im Vergleich zur Verbrennung geringen Volumenströmen die Schadstofffreisetzungen in die Luft beim Destillieren gering sind.

Da es sich bei den halogenorganischen Lösemitteln i.d.R. um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls und des Destillationsrückstands zu diffusen Schadstoffemissionen kommen.

## **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Anfallendes Abwasser muss behandelt werden [UBA 2006a] und bestehende Einleitgrenzwerte sind einzuhalten.

## **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Bei Destillation gehen wir davon aus, dass es sich um teilautomatisierte Prozesse handelt, und nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Es wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Inwieweit die hier relevanten Abfälle in der Abwasserbehandlungsanlage abgebaut bzw. unschädlich gemacht werden, hängt von den jeweiligen Stoffen und der Leistungsfähigkeit der Abwasserbehandlung ab.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

## **21.2 Energetische Verwertung**

Die energetische Verwertung dieser Abfallart erfolgt bzw. kann in Kraftwerksfeuerungen, Zementwerken und Sonderabfallverbrennungsanlagen erfolgen. Voraussetzung für den Einsatz in diesen Anlagen ist die Einhaltung der jeweils für die Anlage im Genehmigungsbescheid festgelegten Parameter [LUBW 1996]. Bei Zementwerken sind i.d.R. höhere Schadstoffgehalte an PCB und Halogenen in den Genehmigungen festgelegt [LUBW 1996].

### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs**

Bei der energetischen Verwertung verbleiben i.d.R. keine Wertstoffe im Wirtschaftskreislauf. Die stoffliche Verwertung ist daher in diesem Punkt i.d.R. besser zu bewerten als die energetische Verwertung.

### **Rohstoffbedarf und/oder Betriebsmitteleinsatz**

Bei allen hier betrachteten Verfahren zur energetischen Verwertung halogenorganischer Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen kommen im Zuge der nachgeschalteten Rauchgasreinigungseinrichtungen Betriebsmittel in geringem Umfang zum Einsatz.

### **Energie**

Der energetische Wirkungsgrad kann bei Feuerungs- und Sonderabfallverbrennungsanlagen nicht eindeutig bestimmt werden, da er davon abhängig ist, ob nur Strom oder nur Wärme oder beides erzeugt wird. Dies ist je nach Anlage unterschiedlich. Allgemein kann im Vergleich untereinander aber festgestellt werden, dass der energetische Netto-Wirkungsgrad beim Abfalleinsatz im Zementwerk am höchsten ist, da die erzeugte Energie als Wärme im Drehrohrofen direkt genutzt wird. Der energetische Netto-Wirkungsgrad von Feuerungsanlagen ist niedriger, aber höher als bei Sonderabfallverbrennungsanlagen, da der Eigenbedarf niedriger und damit der energetische Netto-Wirkungsgrad höher ist.

#### **21.2.1 Feuerungsanlagen**

##### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Bei der energetischen Verwertung in Feuerungsanlagen wird kein Verwertungserzeugnis hergestellt, in das Schadstoffe verschleppt und dort angereichert werden.

### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die im eingesetzten Abfall enthaltenen organischen Schadstoffe werden in der Feuerung weitgehend zerstört. Es handelt sich also um eine Schadstoffsenke.

Je nach Abfallzusammensetzung kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich in den Verbrennungsrückständen noch Schadstoffe befinden. Schlacken und Aschen aus Feuerungsanlagen, in denen Abfälle mitverbrannt werden, finden Verwendung im Bergversatz oder werden aufbereitet und anderweitig verwertet, zum Teil auch deponiert [Dehoust et al. 2008]. REA-Gips wird verwertet [Prognos 2003].

### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz von halogenorganischen Lösemitteln, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen in Feuerungsanlagen entstehen nur geringe Mengen an zusätzlichen Abfällen (Schlacken/Aschen, Flugaschen, REA-Gips), da der Feststoffanteil gering ist.

Schlacken und Aschen aus Feuerungsanlagen, in denen Abfälle mitverbrannt werden, finden Verwendung im Bergversatz oder werden aufbereitet und anderweitig verwertet, zum Teil auch deponiert [Dehoust et al. 2008]. REA-Gips wird verwertet [Prognos 2003].

Da die Schlacken und Aschen aus der Abfallmitverbrennung teilweise deponiert werden, fallen hier geringe Mengen an zusätzlichen nicht verwertbaren Abfällen an.

### **Treibhausgasemissionen**

Der im Abfall enthaltene Kohlenstoff wird zu Kohlendioxid verbrannt. Damit wird der Kohlenstoffanteil des ursprünglichen Abfalls mehr oder minder vollständig in CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Bei den meisten halogenierten Lösemitteln handelt es sich um chlorierte Kohlenwasserstoffe. Zumindest die Leichtflüchtigen besitzen Treibhauspotenziale [ReCiPe 2014] und können bei Umschlag, Lagerung und Handhabung der halogenorganischen Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen freigesetzt werden.

Durch die Nutzung der im Abfall enthaltenen Energie wird eine Menge an Primärbrennstoffen substituiert, d.h. eingespart. Die eingesparte Menge an Primärbrennstoff wird mittels einer Gutschrift für Treibhausgasemissionen berücksichtigt. Diese Gutschrift steht den aus der Verbrennung des Abfalls resultierenden Treibhausgasemissionen entgegen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der Anlage 3 Nr. 3 der 17. BImSchV.

Da es sich bei den halogenierten organischen Lösemitteln i.d.R. um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls zu diffusen Schadstoffemissionen kommen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Bei der Verbrennung in Feuerungsanlagen anfallende Abwässer müssen behandelt und aufbereitet werden [UBA 2006b].

## **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz der Abfälle in Feuerungsanlagen nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Allerdings gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Es wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Inwieweit die hier relevanten Abfälle in der Abwasserbehandlungsanlage abgebaut bzw. unschädlich gemacht werden, hängt von den jeweiligen Stoffen und der Leistungsfähigkeit der Abwasserbehandlung ab.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

### **21.2.2 Zementwerk**

#### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Halogenorganische Lösemittel werden bei der Verbrennung zerstört. Je nach Abfallzusammensetzung kann aber nicht ausgeschlossen werden, dass andere, nicht zerstörte Schadstoffe verbleiben und dann ins Produkt gelangen.

#### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die im eingesetzten Abfall enthaltenen organischen Schadstoffe werden beim Einsatz im Zementwerk weitgehend zerstört. Entsprechend stellt das Zementwerk eine Senke für die organischen Schadstoffe dar.

#### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz von halogenorganischen Lösemitteln, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen im Zementwerk entstehen nur geringe Mengen an zusätzlichen Abfällen, insbesondere Filterstäube, da der Feststoffanteil gering ist. Die Filterstäube können dem Klinker beigegeben oder an anderer Stelle dem Prozess wieder zugeführt werden [Davids/Lange 1986]. Die Rückführung in den Prozess ist aber nur möglich, wenn der Chloridgehalt der Filterstäube aufgrund des Einsatzes halogenorganischer Lösemittel dafür nicht zu hoch wird.

#### **Treibhausgasemissionen**

Der im Abfall enthaltene Kohlenstoff wird zu Kohlendioxid verbrannt. Damit wird der Kohlenstoffanteil des ursprünglichen Abfalls mehr oder minder vollständig in CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Bei den meisten halogenierten Lösemitteln handelt es sich um chlorierte Kohlenwasserstoffe. Zumindest die Leichtflüchtigen besitzen Treibhauspotenziale [ReCiPe 2014] und werden bei Umschlag, Lagerung und Handhabung der halogenorganischen Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen in geringem Umfang freigesetzt.

Der eingesetzte Abfall ersetzt eine, seinem Heizwert entsprechende Menge an Primärbrennstoff, der dann nicht verbrannt wird. Für diese Substitution des Primärbrennstoffs wird eine Gutschrift erteilt,

die dem Kohlendioxid (Lastschrift) aus der Verbrennung des Abfalls entgegensteht bzw. diese Lastschrift übertrifft.

#### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der Anlage 3 Nr. 2 der 17. BImSchV.

Da es sich bei den halogenorganischen Lösemitteln i.d.R. um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls zu diffusen Schadstoffemissionen kommen.

#### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

In der Zementindustrie sind nassarbeitende Abgasreinigungsanlagen nicht im Einsatz [Davids/Lange 1986]. Zementwerke besitzen daher i.d.R. keine spezielle Abwasserreinigung bzw. keinen Wasserpfad, so dass keine Schadstofffreisetzung ins Wasser erfolgt.

#### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz der Abfälle in Zementwerken nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Allerdings gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Da Zementwerke i.d.R. nicht über eine spezielle Abwasserbehandlung verfügen, wird davon ausgegangen, dass hier ein erhöhtes Risiko besteht, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle, z. B. bei Regen, direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, wenn keine Vorkehrungen getroffen sind, um belastetes Betriebsflächenwasser auffangen und entsorgen zu können.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

### **21.2.3 Sonderabfallverbrennungsanlagen**

#### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Bei der energetischen Verwertung in Sonderabfallverbrennungsanlagen wird kein Verwertungserzeugnis hergestellt, in das Schadstoffe verschleppt und dort angereichert werden.

#### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die im eingesetzten Abfall enthaltenen organischen Schadstoffe werden in der Feuerung weitgehend zerstört. Entsprechend stellen Sonderabfallverbrennungsanlagen eine Senke für die organischen Schadstoffe dar.

Schlacken, Filterstäube und andere Rauschgasreinigungsrückstände, z. B. Salze, werden in Untertage- deponien beseitigt, auf oberirdischen Deponien verwertet oder beseitigt oder im Bergversatz verwertet.

### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz der Abfälle in der Sonderabfallverbrennung entstehen nur geringe Mengen an zusätzlichen Abfällen (Aschen, Filterstäube), da der Feststoffanteil sowie der Anteil anderer Stoffe außer Chlor gering ist. Da die eingesetzten halogenorganischen Lösemittel Chlor enthalten, entstehen bei der Eindampfung des Waschwassers Chloride als fester zusätzlicher Abfall.

Da Schlacken und Filterstäube, insbesondere aber die anfallenden Salze, zu einem großen Teil beseitigt werden, fallen hier nicht verwertbare Abfälle an.

### **Treibhausgasemissionen**

Der im Abfall enthaltene Kohlenstoff wird zu Kohlendioxid verbrannt. Damit wird der Kohlenstoffanteil des ursprünglichen Abfalls mehr oder minder vollständig in CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Bei den meisten halogenierten Lösemitteln handelt es sich um chlorierte Kohlenwasserstoffe. Zumindest die Leichtflüchtigen besitzen Treibhauspotenziale [ReCiPe 2014] und werden bei Umschlag, Lagerung und Handhabung der halogenorganischen Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen in geringem Umfang freigesetzt.

Durch die Nutzung der im Abfall enthaltenen Energie wird eine entsprechende Menge an Primärbrennstoffen substituiert, d.h. eingespart. Bei der Sonderabfallverbrennungsanlage hängt die tatsächlich eingesparte Menge an Primärbrennstoffen davon ab, wie viel Strom und/oder Wärme konkret erzeugt und ausgekoppelt wird. Die eingesparte Menge an Primärbrennstoff wird mittels einer Gutschrift für Treibhausgasemissionen berücksichtigt. Diese Gutschrift steht den aus der Verbrennung des Abfalls resultierenden Treibhausgasemissionen entgegen.

Der energetische Wirkungsgrad kann bei Feuerungs- sowie Müll- und Sonderabfallverbrennungsanlagen nicht eindeutig bestimmt werden, da er davon abhängig ist, ob nur Strom oder nur Wärme oder beides erzeugt wird. Dies ist je nach Anlage unterschiedlich.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der 17. BImSchV.

Da es sich bei den halogenorganischen Lösemitteln i.d.R. um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls zu diffusen Schadstoffemissionen kommen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Es wird davon ausgegangen, dass bei Sonderabfallverbrennungsanlagen kein Abwasser anfällt und damit kein Abwasserpfad besteht.

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz der Abfälle in Sonderabfallverbrennungsanlagen nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Allerdings gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Es wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, sondern aufgefangen und entsorgt werden.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

Sonderabfallverbrennungsanlagen haben den Zweck, Sonderabfälle zu verbrennen. Daher gehen wir davon aus, dass Prozesse, Anlagen und Mitarbeiter für ein sicheres Handling dieser Materialien in besonderem Maße ausgerichtet bzw. geschult sind. Damit wird das Risiko im Vergleich mit anderen Verfahren als geringer eingeschätzt.

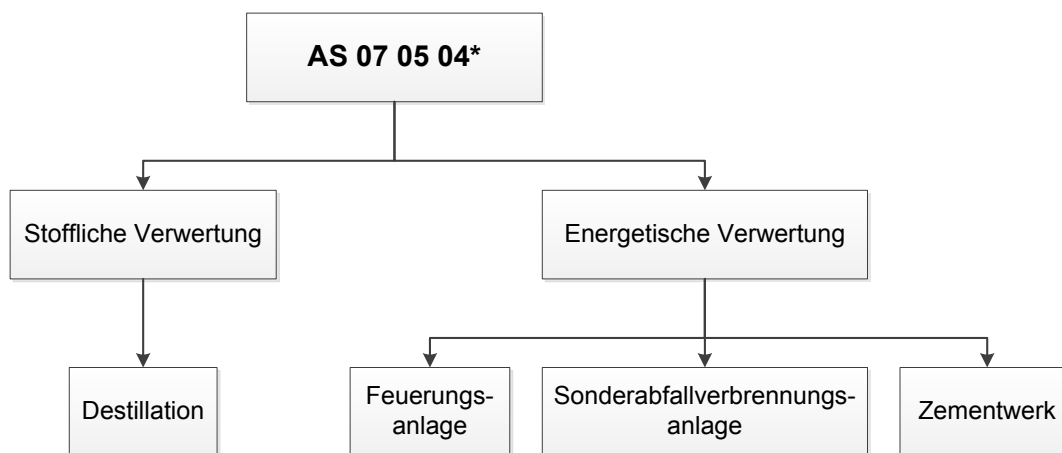
## 22 Verfahrenssteckbrief für AS 070504\* - organische Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen aus HZVA von Pharmazeutika

Bei dieser Abfallart handelt es sich um nicht halogenierte organische Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen, die bei der Herstellung, der Zubereitung, dem Vertrieb und der Anwendung (HZVA) von Pharmazeutika anfallen.

Abfälle dieser Abfallart können ein oder mehrere Lösemittel sowie die unterschiedlichsten Begleitstoffe enthalten. Um welche Lösemittel und Begleitstoffe es sich im Einzelnen handelt, ist nicht bekannt. Aus diesem Grund ist es nicht möglich, spezielle Verwertungsverfahren für bestimmte Lösemittel oder andere Inhaltsstoffe zu benennen und vergleichend zu bewerten.

Für die stoffliche Verwertung von Lösemitteln kommt grundsätzlich die Destillation in Frage, die zu einem geringen Teil auch durchgeführt wird. Eventuell müssen die Abfälle dazu vorher einer Vorbehandlung unterzogen werden. Die energetische Verwertung erfolgt in Kraftwerksfeuerungen und Zementwerken. Eine Vorbehandlung ist unter Umständen auch hier erforderlich, wenn der Abfall zu viel Wasser enthält. Ein nicht unerheblicher Teil dieser Abfallart wird in Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt. Ob es sich dabei um Verwertung oder Beseitigung handelt, kann nur im Einzelfall festgestellt werden, spielt für die Bewertung hier aber keine Rolle.

Abbildung 13: Verwertungsschema für die Abfallart AS 070504\*



Eigene Darstellung

Für die vergleichende Bewertung herangezogen werden die Destillation sowie die energetische Verwertung in Feuerungsanlagen, Zementwerken und Sonderabfallverbrennungsanlagen, da diese in AI-DA als Entsorgungswege in den Jahren 2010 – 2013 aufgeführt werden.

### 22.1 Destillation

Für das Destillieren von organischen Abfalllösemitteln sowie Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung.

Für verunreinigte sortenreine Lösemittel kann die einfache Destillation zum Einsatz kommen [Martens 2011].

Um bei empfindlichen Stoffkomponenten den Siedepunkt zu senken und damit die Zersetzung zu vermeiden, wird unter Vakuum destilliert (Vakuumdestillation). Der Energieverbrauch des Destillierens wird damit gesenkt, dafür wird aber zusätzliche Energie für den Betrieb der Vakuumpumpen benötigt. Mit der Vakuumdestillation können Lösemittel bis zu einem Siedepunkt von 290 °C destilliert werden. [Martens 2011]



Die Trennung von Lösemittelgemischen erfolgt durch fraktionierte Destillation oder Rektifikation [Martens 2011].

Die Beheizung der Destillationsblasen wird mit Thermoöl, Heißwasser oder Dampf durchgeführt. Bei weitgehend feststofffreien Abfalllösemitteln kann anstelle einer Destillationsblase ein Dünnschichtverdampfer eingesetzt werden. [Martens 2011]

#### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs**

Bei der Destillation von Abfalllösemitteln beträgt der Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs, hier das jeweilige Lösemittel bzw. die jeweiligen Lösemittel, durchschnittlich 70 % [Martens 2011].

#### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Da es sich bei den gewonnenen Lösemitteln in der Regel um die Destillate handeln wird, kann davon ausgegangen werden, dass Schadstoffverschleppungen nur in geringem Umfang auftreten und keine Schadstoffanreicherung in den Verwertungserzeugnissen „Lösemittel“ erfolgt.

#### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Der Hauptanteil der im Abfall enthaltenen Schadstoffe befindet sich nach der Destillation im Destillationsrückstand. Dies stellt eine Aufkonzentration von Schadstoffen dar. Die Destillationsrückstände werden nach AIDA zum überwiegenden Teil in Feuerungsanlagen, Zementwerken, Müllverbrennungsanlagen und Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt. Zu einem geringen Teil werden sie in CPB behandelt, wobei ein Teil konditioniert wird, um anschließend einer thermischen Behandlung unterzogen zu werden.

Die Verbrennung stellt eine Schadstoffsенке dar, da die enthaltenen organischen Schadstoffe fast vollständig zerstört werden. Die Behandlung in einer CPB an sich stellt keine Senke dar. Ob es sich um eine Senkenfunktion handelt, hängt von der anschließenden konkreten Entsorgung des Materials ab.

#### **Rohstoffbedarf, Betriebsmitteleinsatz etc.**

Aus den vorliegenden Angaben ist nicht ersichtlich, dass zusätzliche Betriebsmittel etc. benötigt werden.

#### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Als Abfall fällt der Destillationsrückstand an. Nach AIDA werden die Destillationsrückstände zum überwiegenden Teil in Feuerungsanlagen, Zementwerken, Müllverbrennungsanlagen und Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt. Zu einem geringen Teil werden sie auch in CPB behandelt und dabei zum Teil verfestigt. Bei der Verbrennung in Feuerungsanlagen, Zementwerken und Müllverbrennungsanlagen handelt es sich um energetische Verwertung. Ob es sich bei Verbrennung in einer Sonderabfallverbrennungsanlage um Verwertung oder Beseitigung handelt, kann nicht allgemeingültig gesagt werden. Das gleiche gilt für die in CPB verfestigten Destillationsrückstände. Sie könnten energetisch verwertet oder beseitigt werden. Da der Destillationsrückstand aber bereits im Ausgangsabfall (Abfalllösemittelgemisch) enthalten war, fallen bei der Destillation keine zusätzlichen nicht verwertbaren Abfälle an.

## **Energie**

Der Energieverbrauch ist beim Destillieren insbesondere von der Wärmekapazität und der Verdampfungswärme des zu destillierenden Lösemittels bzw. der zu destillierenden Lösemittel sowie der eingesetzten Destillationstechnik abhängig. Da die in den Abfällen enthaltenen Lösemittel nicht bekannt sind, können allgemeingültige Aussagen zum Energieverbrauch nicht getroffen werden. Zur Wiedergewinnung von 100 l/h Tetrachlorethylen wird abhängig von der Technik beispielsweise ein Energiebedarf von > 16 kWh bzw. 7 kWh angegeben [Ziermann/Mager 2013]. Die Summe aus Wärmekapazität und Verdampfungswärme beträgt beispielsweise für Aceton ca. 161 kWh/Mg und für Dimethylformamid ca. 238 kWh/Mg.

## **Treibhausgasemissionen**

Von einigen leichtflüchtigen organischen Lösemitteln ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie werden – wenngleich in geringem Umfang – beim Destillieren sowie bei Umschlag und Lagerung des Abfalls freigesetzt. Die nach der Abgasreinigung emittierte Menge kann aufgrund des niedrigen Volumenstroms als gering eingestuft werden. Handelt es sich bei der Abgasreinigung um eine Nachverbrennung, können über diesen Pfad nur geringste Mengen an Treibhausgasemissionen entstehen.

Nach AIDA werden die Destillationsrückstände zum überwiegenden Teil in Feuerungsanlagen, Zementwerken, Müllverbrennungsanlagen und Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt. Zu einem geringen Teil werden sie auch in CPB behandelt und dabei zum Teil verfestigt.

Bei der Verbrennung in Feuerungsanlagen, Zementwerken, Müllverbrennungsanlagen und Sonderabfallverbrennungsanlagen wird der enthaltene Kohlenstoff vollständig zu CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Beim Handling der Abfälle in der CPB können potenziell Treibhausgase in geringem Umfang aus dem Abfall freigesetzt werden. Wird der verfestigte Abfall anschließend verbrannt, wird der enthaltene Kohlenstoff vollständig zu CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Neben den direkten Emissionen entstehen auch Treibhausgasemissionen aus dem Energiebedarf (z. B. Strom) des Verwertungsverfahrens.

Außerdem wird in der Regel eine Gutschrift für die nicht erforderliche Neuherstellung von Produkten vergeben. Die Höhe dieser Gutschrift richtet sich nach dem Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs. Die Gutschrift steht den direkten Treibhausgasemissionen und den Emissionen aus dem Energiebedarf des Verwertungsverfahrens entgegen.

## **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Mit einer entsprechenden Abgasreinigung können Emissionswerte von 50 mg C/Nm<sup>3</sup> eingehalten werden [UBA 2006a], so dass in Verbindung mit den im Vergleich zur Verbrennung geringen Volumenströmen die Schadstofffreisetzungen in die Luft beim Destillieren gering sind.

Da es sich bei den organischen Lösemitteln i.d.R. um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls und des Destillationsrückstands zu diffusen Schadstoffemissionen kommen.

## **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Anfallendes Abwasser muss behandelt werden [UBA 2006a] und bestehende Einleitgrenzwerte sind einzuhalten.

## **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Bei Destillationen gehen wir davon aus, dass es sich um teilautomatisierte Prozesse handelt, und nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Es wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Inwieweit die hier relevanten Abfälle in der Abwasserbehandlungsanlage abgebaut bzw. unschädlich gemacht werden, hängt von den jeweiligen Stoffen und der Leistungsfähigkeit der Abwasserbehandlung ab.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

## **22.2 Energetische Verwertung**

Die energetische Verwertung von organischen Lösemitteln, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen erfolgt in Feuerungsanlagen, Zementwerken und Sonderabfallverbrennungsanlagen. Voraussetzung für den Einsatz in diesen Anlagen ist die Einhaltung der jeweils für die Anlage im Genehmigungsbescheid festgelegten Parameter [LUBW 1996]. Bei Zementwerken sind i.d.R. höhere Schadstoffgehalte an PCB und Halogenen in den Genehmigungen festgelegt [LUBW 1996].

### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs**

Bei der energetischen Verwertung verbleiben i.d.R. keine Wertstoffe im Wirtschaftskreislauf. Die stoffliche Verwertung ist daher in diesem Punkt i.d.R. besser zu bewerten als die energetische Verwertung.

### **Rohstoffbedarf und/oder Betriebsmitteleinsatz**

Bei allen hier betrachteten Verfahren zur energetischen Verwertung organischer Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen kommen im Zuge der nachgeschalteten Rauchgasreinigungseinrichtungen Betriebsmittel in geringem Umfang zum Einsatz.

### **Energie**

Der energetische Wirkungsgrad kann bei Feuerungs- und Sonderabfallverbrennungsanlagen nicht eindeutig bestimmt werden, da er davon abhängig ist, ob nur Strom oder nur Wärme oder beides erzeugt wird. Dies ist je nach Anlage unterschiedlich. Allgemein kann im Vergleich untereinander aber festgestellt werden, dass der energetische Netto-Wirkungsgrad beim Abfalleinsatz im Zementwerk am höchsten ist, da die erzeugte Energie als Wärme im Drehrohrofen direkt genutzt wird. Der energetische Netto-Wirkungsgrad von Feuerungsanlagen ist niedriger, aber höher als bei Sonderabfallverbrennungsanlagen, da der Eigenbedarf niedriger und damit der energetische Netto-Wirkungsgrad höher ist.

#### **22.2.1 Feuerungsanlagen**

##### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Bei der energetischen Verwertung in Feuerungsanlagen wird kein Verwertungserzeugnis hergestellt, in das Schadstoffe verschleppt und dort angereichert werden.

### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die im eingesetzten Abfall enthaltenen organischen Schadstoffe werden in der Feuerung weitgehend zerstört. Es handelt sich also um eine Schadstoffsenke.

Je nach Abfallzusammensetzung kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich in den Verbrennungsrückständen noch Schadstoffe befinden. Schlacken und Aschen aus Feuerungsanlagen, in denen Abfälle mitverbrannt werden, finden Verwendung im Bergversatz oder werden aufbereitet und anderweitig verwertet, zum Teil auch deponiert [Dehoust et al. 2008]. REA-Gips wird verwertet [Prognos 2003].

### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz von organischen Lösemitteln, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen in Feuerungsanlagen entstehen nur geringe Mengen an zusätzlichen Abfällen (Schlacken/Aschen, Flugaschen, REA-Gips), da der Feststoffanteil gering ist.

Schlacken und Aschen aus Feuerungsanlagen, in denen Abfälle mitverbrannt werden, finden Verwendung im Bergversatz oder werden aufbereitet und anderweitig verwertet, zum Teil auch deponiert [Dehoust et al. 2008]. REA-Gips wird verwertet [Prognos 2003].

Da die Schlacken und Aschen aus der Abfallmitverbrennung teilweise deponiert werden, fallen hier geringe Mengen an zusätzlichen nicht verwertbaren Abfällen an.

### **Treibhausgasemissionen**

Der im Abfall enthaltene Kohlenstoff wird zu Kohlendioxid verbrannt. Damit wird der Kohlenstoffanteil des ursprünglichen Abfalls mehr oder minder vollständig in CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Von einigen leichtflüchtigen organischen Lösemitteln ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie können bei Umschlag, Lagerung und Handhabung der organischen Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen freigesetzt werden.

Durch die Nutzung der im Abfall enthaltenen Energie wird eine Menge an Primärbrennstoffen substituiert, d.h. eingespart. Die eingesparte Menge an Primärbrennstoff wird mittels einer Gutschrift für Treibhausgasemissionen berücksichtigt. Diese Gutschrift steht den aus der Verbrennung des Abfalls resultierenden Treibhausgasemissionen entgegen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der Anlage 3 Nr. 3 der 17. BImSchV.

Da es sich bei den organischen Lösemitteln i.d.R. um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls zu diffusen Schadstoffemissionen kommen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Bei der Verbrennung in Feuerungsanlagen anfallende Abwässer müssen behandelt und aufbereitet werden [UBA 2006b].

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz der Abfälle in Feuerungsanlagen nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Allerdings gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstö-

rungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Es wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Inwieweit die hier relevanten Abfälle in der Abwasserbehandlungsanlage abgebaut bzw. unschädlich gemacht werden, hängt von den jeweiligen Stoffen und der Leistungsfähigkeit der Abwasserbehandlung ab.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

### **22.2.2 Zementwerk**

#### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Organische Lösemittel werden bei der Verbrennung zerstört. Je nach Abfallzusammensetzung kann aber nicht ausgeschlossen werden, dass andere, nicht zerstörte Schadstoffe verbleiben und dann ins Produkt gelangen.

#### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die im eingesetzten Abfall enthaltenen organischen Schadstoffe werden beim Einsatz im Zementwerk weitgehend zerstört. Entsprechend stellt das Zementwerk eine Senke für die organischen Schadstoffe dar.

#### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz von organischen Lösemitteln, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen im Zementwerk entstehen nur geringe Mengen an zusätzlichen Abfällen, insbesondere Filterstäube, da der Feststoffanteil gering ist. Die Filterstäube können dem Klinker beigegeben oder an anderer Stelle dem Prozess wieder zugeführt werden [Davids/Lange 1986].

#### **Treibhausgasemissionen**

Der im Abfall enthaltene Kohlenstoff wird zu Kohlendioxid verbrannt. Damit wird der Kohlenstoffanteil des ursprünglichen Abfalls mehr oder minder vollständig in CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Von einigen leichtflüchtigen organischen Lösemitteln ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie können bei Umschlag, Lagerung und Handhabung der organischen Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen freigesetzt werden.

Der eingesetzte Abfall ersetzt eine, seinem Heizwert entsprechende Menge an Primärbrennstoff, der dann nicht verbrannt wird. Für diese Substitution des Primärbrennstoffs wird eine Gutschrift erteilt, die dem Kohlendioxid (Lastschrift) aus der Verbrennung des Abfalls entgegensteht bzw. diese Lastschrift übertrifft.

#### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der Anlage 3 Nr. 2 der 17. BImSchV.

Da es sich bei den organischen Lösemitteln i.d.R. um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls zu diffusen Schadstoffemissionen kommen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

In der Zementindustrie sind nassarbeitende Abgasreinigungsanlagen nicht im Einsatz [Davids/Lange 1986]. Zementwerke besitzen daher i.d.R. keine spezielle Abwasserreinigung bzw. keinen Wasserpfad, so dass keine Schadstofffreisetzung ins Wasser erfolgt.

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz der Abfälle in Zementwerken nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Allerdings gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Da Zementwerke i.d.R. nicht über eine spezielle Abwasserbehandlung verfügen, wird davon ausgegangen, dass hier ein erhöhtes Risiko besteht, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle, z. B. bei Regen, direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, wenn keine Vorkehrungen getroffen sind, um belastetes Betriebsflächenwasser auffangen und entsorgen zu können.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

### **22.2.3 Sonderabfallverbrennungsanlagen**

#### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Bei der energetischen Verwertung in Sonderabfallverbrennungsanlagen wird kein Verwertungserzeugnis hergestellt, in das Schadstoffe verschleppt und dort angereichert werden.

#### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die im eingesetzten Abfall enthaltenen organischen Schadstoffe werden in der Feuerung weitgehend zerstört. Entsprechend stellen Sonderabfallverbrennungsanlagen eine Senke für die organischen Schadstoffe dar.

Schlacken, Filterstäube und andere Rauschgasreinigungsrückstände, z. B. Salze, werden in Untertagedeponien beseitigt, auf oberirdischen Deponien verwertet oder beseitigt oder im Bergversatz verwertet.

#### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz der Abfälle in der Sonderabfallverbrennung entstehen nur geringe Mengen an zusätzlichen Abfällen (Aschen, Filterstäube), da der Feststoffanteil sowie der Anteil anderer Stoffe gering ist.

Da Schlacken und Filterstäube, insbesondere aber die anfallenden Salze, zu einem großen Teil beseitigt werden, fallen hier nicht verwertbare Abfälle an.

#### **Treibhausgasemissionen**

Der im Abfall enthaltene Kohlenstoff wird zu Kohlendioxid verbrannt. Damit wird der Kohlenstoffanteil des ursprünglichen Abfalls mehr oder minder vollständig in CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Von einigen leichtflüchtigen organischen Lösemitteln ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie können bei Umschlag, Lagerung und Handhabung der organischen Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen freigesetzt werden.

Durch die Nutzung der im Abfall enthaltenen Energie wird eine entsprechende Menge an Primärbrennstoffen substituiert, d.h. eingespart. Bei der Sonderabfallverbrennungsanlage hängt die tatsächlich eingesparte Menge an Primärbrennstoffen davon ab, wie viel Strom und/oder Wärme konkret erzeugt und ausgekoppelt wird. Die eingesparte Menge an Primärbrennstoff wird mittels einer Gutschrift für Treibhausgasemissionen berücksichtigt. Diese Gutschrift steht den aus der Verbrennung des Abfalls resultierenden Treibhausgasemissionen entgegen.

Der energetische Wirkungsgrad kann bei Feuerungs- sowie Müll- und Sonderabfallverbrennungsanlagen nicht eindeutig bestimmt werden, da er davon abhängig ist, ob nur Strom oder nur Wärme oder beides erzeugt wird. Dies ist je nach Anlage unterschiedlich.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der 17. BImSchV.

Da es sich bei den organischen Lösemitteln i.d.R. um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls zu diffusen Schadstoffemissionen kommen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Es wird davon ausgegangen, dass bei Sonderabfallverbrennungsanlagen kein Abwasser anfällt und damit kein Abwasserpfad besteht.

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz der Abfälle in Sonderabfallverbrennungsanlagen nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Allerdings gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Es wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, sondern aufgefangen und entsorgt werden.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

Sonderabfallverbrennungsanlagen haben den Zweck, Sonderabfälle zu verbrennen. Daher gehen wir davon aus, dass Prozesse, Anlagen und Mitarbeiter für ein sicheres Handling dieser Materialien in besonderem ausgerichtet bzw. geschult sind. Damit wird das Risiko im Vergleich mit anderen Verfahren als geringer eingeschätzt.

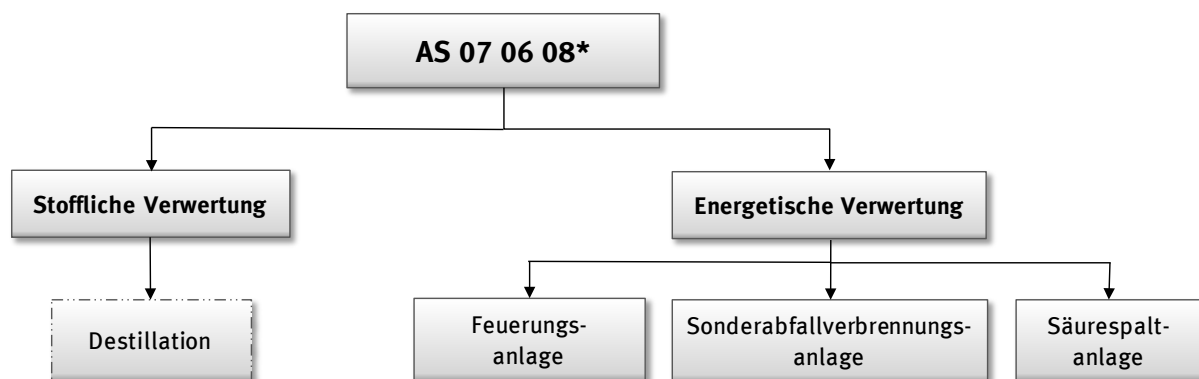
## 23 Verfahrenssteckbrief für AS 070608\* - andere Reaktions- und Destillationsrückstände (HZVA von Fetten, Schmierstoffen, Seifen, Waschmitteln, Desinfektionsmitteln und Körperpflegemitteln)

Dieser Abfallart werden nach dem Anhang der Abfallverzeichnis-Verordnung [AVV] alle die Reaktions- und Destillationsrückstände zugeordnet, die bei der Herstellung, der Zubereitung, dem Vertrieb und bei der Anwendung (HZVA) von Fetten, Schmierstoffen, Seifen, Waschmitteln, Desinfektionsmitteln und Körperpflegemitteln entstehen können.

Abfälle dieser Abfallart enthalten neben den für die Synthese eingesetzten organischen Lösemitteln sowohl Anteile der Synthese-Ausgangsstoffe, der -Zwischenprodukte und -Produkte als auch gegebenenfalls halogenierte Verbindungen als Verunreinigungen. Um welche Lösemittel, Reaktionsedukte/-produkte oder Verunreinigungsstoffe es sich im Einzelnen handelt, ist nicht bekannt. Aus diesem Grund ist es nicht möglich, spezielle Verwertungsverfahren für bestimmte, in den Rückständen enthaltene Lösemittel oder andere Inhaltsstoffe zu benennen und vergleichend zu bewerten.

Für die stoffliche Verwertung von Stoffgemischen, wie Reaktions- und Destillationsrückständen, kommt grundsätzlich die Destillation in Frage, die im Wesentlichen zur Wiedergewinnung einzelner Stoffkomponenten aus Reaktionsrückständen unterschiedlichster Zusammensetzung auch praktiziert wird. Eventuell müssen die Rückstände dazu vorher einer Vorbehandlung, z. B. zur Abtrennung noch enthaltener Feststoffe, unterzogen werden. Die energetische Verwertung der Abfallart erfolgt zum größten Teil in Kraftwerksfeuerungen und darüber hinaus, jedoch zu einem weitaus geringeren Teil, in Säurespaltanlagen. Auch hier ist unter Umständen eine Vorbehandlung erforderlich, wenn der Abfall zu viel Wasser enthält. Zum anderen wird ein ebenfalls geringer Teil dieser Abfallart in Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt. Ob es sich dabei um eine energetische Verwertung oder thermische Beseitigung handelt, kann nur im Einzelfall auf Basis der nach § 3 Abs. 23 Kreislaufwirtschaftsgesetz [KrWG] erforderlichen Substitutionswirkung der eingesetzten Abfälle – beispielweise in Abhängigkeit von den stofflichen Eigenschaften und dem konkreten Einsatzzweck der Rückstände, von der erzielten Energieeffizienz der Verbrennungsanlage oder vom Substitutionsumfang bzgl. der Primärenergieträger - festgestellt werden. Aus diesem Grund wird die Abfallverbrennung in Sonderabfallverbrennungsanlagen ebenfalls betrachtet und in die Bewertung der Verfahren aufgenommen.

Abbildung 14: Verwertungsschema für die Abfallart AS 070608\*



Eigene Darstellung

Für die vergleichende Bewertung herangezogen werden die energetische Verwertung in Feuerungsanlagen und Säurespaltanlagen sowie in Sonderabfallverbrennungsanlagen, da diese in AIDA als Entsorgungswege in den Jahren 2010 – 2013 durchgängig aufgeführt werden. Hinzugenommen wird die Des-



tillation, da diese Verfahrenstechnik in der Praxis ebenfalls als Verwertungsweg angeboten und beschritten wird [LUIS-BB 2016, WDG 2016, Reichenspurner 2016, Rematec 2016].

### **23.1 Destillation**

Die destillative Trennung der - hier praxisrelevanten - Reaktionsrückstände, also von Stoffgemischen unterschiedlichster organischer Verbindungen und teilweise auch wässrig-gelöster Komponenten, erfolgt in der Regel durch fraktionierte Destillation oder Rektifikation [Reichenspurner 2016, Rematec 2016].

Um bei einzelnen, empfindlichen Stoffkomponenten den Siedepunkt zu senken und damit deren Zersetzung zu vermeiden, wird unter Vakuum destilliert (Vakuumdestillation). Der Energieverbrauch des Destillierens wird damit gesenkt, dafür wird aber zusätzliche Energie für den Betrieb der Vakuumpumpen benötigt. Mit der Vakuumdestillation bzw. -rektifikation können enthaltene organische Stoffkomponenten, wie z. B. Lösemittel, bis zu einem Siedepunkt von 290 °C destilliert werden [Martens 2011, Reichenspurner 2016, Rematec 2016].

Die Beheizung der Destillationsblasen wird üblicherweise mit Thermoöl, Heißwasser oder Dampf durchgeführt [Martens 2011, Rematec 2016].

#### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs**

Der Gesamtanteil der bei der Destillation von Reaktionsrückständen im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffe - hier die in den Rückständen jeweils höherkonzentriert enthaltenen, organischen Stoffkomponenten - unterliegt aufgrund der vielfältigen stofflichen und quantitativ sehr unterschiedlichen Zusammensetzung der eingesetzten Rückstände großen Schwankungen. Der durchschnittliche, auf die Abfallart AS 07 06 08\* bezogene Wertstoff-Rückgewinnungsanteil wird daher auf ca. 50 % abgeschätzt, wobei im Einzelfall [Reichenspurner 2016] durchaus auch höhere Anteile erreicht werden können.

#### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Da es sich bei den zurückgewonnenen organischen Stoffkomponenten in der Regel um die Destillate handeln wird, kann davon ausgegangen werden, dass Schadstoffverschleppungen nur in geringem Umfang auftreten und keine Schadstoffanreicherung in den Verwertungserzeugnissen „organische Destillationsprodukte“ bzw. „Lösemittel“ erfolgt.

#### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Der Hauptanteil der in den Reaktionsrückständen enthaltenen Schadstoffe befindet sich nach deren Destillation im verbleibenden Behandlungsrückstand. Dies stellt eine Aufkonzentration von Schadstoffen dar. Diese Rückstände aus der Destillation werden nach AIDA zum überwiegenden Teil in Feuerungsanlagen, Sonderabfallverbrennungsanlagen, Zementwerken sowie in einer Klärschlammverbrennungsanlage verbrannt. Zu einem geringen Teil werden sie in CPB'n behandelt, wobei ein Teil konditioniert wird, um anschließend einer thermischen Behandlung unterzogen zu werden.

Die Verbrennung stellt eine Schadstoffsенке dar, da die enthaltenen organischen Schadstoffe fast vollständig zerstört werden. Die Behandlung an sich stellt keine Senke dar. Ob es sich um eine Senkenfunktion handelt, hängt von der anschließenden konkreten Entsorgung des Materials ab.

#### **Rohstoffbedarf, Betriebsmitteleinsatz etc.**

Aus den vorliegenden Angaben ist nicht ersichtlich, dass zusätzliche Betriebsmittel etc. benötigt werden.

## **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Als Abfall fällt der nach der Destillation der Reaktionsrückstände erhaltene Behandlungsrückstand an. Nach AIDA werden die entstandenen Behandlungsrückstände zum weitaus überwiegenden Teil in Feuerungsanlagen und darüber hinaus in Sonderabfallverbrennungsanlagen sowie in einer Müllverbrennungsanlage verbrannt. Zu einem weiteren geringen Teil werden sie auch in CPB'n behandelt und dabei zum Teil verfestigt. Bei der Verbrennung in Feuerungsanlagen handelt es sich um energetische Verwertung. Ob es sich bei Verbrennung in einer Sonderabfallverbrennungsanlage um Verwertung oder Beseitigung handelt, kann nicht allgemeingültig gesagt werden. Das gleiche gilt für die in der CPB verfestigten Behandlungsrückstände aus der Destillation. Diese könnten energetisch verwertet oder beseitigt werden. Da dieser Behandlungsrückstand aber bereits im Ausgangsabfall (Reaktionsrückstände) enthalten war, fallen bei der destillativen Aufbereitung keine zusätzlichen nicht verwertbaren Abfälle an.

## **Energie**

Der Energieverbrauch ist beim Destillieren insbesondere von der Wärmekapazität und der Verdampfungswärme der in den Rückständen enthaltenen organischen Stoffkomponenten (w.z. B. Lösemittel) sowie der eingesetzten Destillationstechnik abhängig. Da die in den Abfällen enthaltenen organischen Inhaltsstoffe/Lösemittel nicht bekannt sind, können allgemeingültige Aussagen zum Energieverbrauch nicht getroffen werden. Beispielsweise wird zur Wiedergewinnung von 100 l/h eines reinen Lösemittels (hier: Tetrachlorethen) in Abhängigkeit von der Technik ein Energiebedarf von > 16 kWh bzw. 7 kWh angegeben [Ziermann/Mager 2013]. Zur weiteren Orientierung kann die Summe aus spezifischer Wärmekapazität und Verdampfungswärme dienen. Diese beträgt zum Beispiel für Dimethylketon (Aceton) rund 161 kWh/Mg und für N,N-Dimethylformamid rund 238 kWh/Mg.

## **Treibhausgasemissionen**

Von einigen, in den Rückständen enthaltenen organischen Lösemitteln ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie werden – wenngleich in geringem Umfang – beim Destillieren sowie bei Umschlag und Lagerung des Abfalls freigesetzt. Die nach der Abgasreinigung emittierte Menge kann aufgrund des niedrigen Volumenstroms als gering eingestuft werden [LRA Dachau 2015]. Handelt es sich bei der Abgasreinigung um eine Nachverbrennung [Rematec 2016], können über diesen Pfad nur geringste Mengen an Treibhausgasemissionen entstehen.

Nach AIDA werden die nach der Destillation erhaltenen Behandlungsrückstände zum weitaus überwiegenden Teil in Feuerungsanlagen und darüber hinaus in Sonderabfallverbrennungsanlagen sowie in einer Müllverbrennungsanlage verbrannt. Zu einem weiteren geringen Teil werden sie auch in CPB'n behandelt und dabei zum Teil verfestigt.

Bei der Verbrennung in Feuerungsanlagen und Sonderabfallverbrennungsanlagen sowie in der Müllverbrennungsanlage wird der in den Behandlungsrückständen enthaltene Kohlenstoff vollständig zu CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Beim Handling der Abfälle in der CPB können potenziell Treibhausgase in geringem Umfang aus dem Abfall freigesetzt werden. Wird der verfestigte Abfall anschließend verbrannt, wird der enthaltene Kohlenstoff vollständig zu CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Neben den direkten Emissionen entstehen auch Treibhausgasemissionen aus dem Energiebedarf (z. B. Strom) des Verwertungsverfahrens.

Außerdem wird in der Regel eine Gutschrift für die nicht erforderliche Neuherstellung von Produkten vergeben. Die Höhe dieser Gutschrift richtet sich nach dem Anteil des im Wirtschaftskreislauf verblei-

benden Wertstoffs. Die Gutschrift steht den direkten Treibhausgasemissionen und den Emissionen aus dem Energiebedarf des Verwertungsverfahrens entgegen.

#### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Mit einer entsprechenden Abgasreinigung können Emissionswerte von 50 mg C/Nm<sup>3</sup> eingehalten werden [UBA 2006a, LRA Dachau 2015, Rematec 2016], so dass in Verbindung mit dem im Vergleich zur Verbrennung geringen Volumenströmen die Schadstofffreisetzungen in die Luft beim Destillieren gering sind.

Da es sich bei den in den Reaktionsrückständen enthaltenen organischen Stoffkomponenten gegebenenfalls auch um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des Behandlungsrückstands aus der Destillation zu geringen diffusen Schadstoffemissionen kommen.

#### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Anfallendes Abwasser muss behandelt werden [UBA 2006a] und bestehende Einleitgrenzwerte sind einzuhalten.

#### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Bei Destillationen gehen wir davon aus, dass es sich um teilautomatisierte Prozesse handelt, und nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Es wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in einen Vorfluter gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Inwieweit die hier relevanten Abfälle in der Abwasserbehandlungsanlage abgebaut bzw. unschädlich gemacht werden, hängt von den jeweiligen Stoffen und der Leistungsfähigkeit der Abwasserbehandlung ab.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

## **23.2 Energetische Verwertung**

Die energetische Verwertung von Reaktions- und Destillationsrückständen aus der HZVA von Fetten, Schmierstoffen, Seifen, Waschmitteln, Desinfektionsmitteln und Körperpflegemitteln erfolgt in Feuerungsanlagen, Sonderabfallverbrennungsanlagen und Säurespaltanlagen. Voraussetzung für den Einsatz in diesen Anlagen ist die Einhaltung der jeweils für die Anlage im Genehmigungsbescheid festgelegten Parameter [LUBW 1996].

#### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs**

Bei der energetischen Verwertung verbleiben i.d.R. keine Wertstoffe im Wirtschaftskreislauf. Die stoffliche Verwertung ist daher in diesem Punkt i.d.R. besser zu bewerten als die energetische Verwertung.

## **Rohstoffbedarf und/oder Betriebsmitteleinsatz**

Bei allen hier betrachteten Verfahren zur energetischen Verwertung von Reaktions- und Destillationsrückständen kommen im Zuge der nachgeschalteten Rauchgasreinigungseinrichtungen Betriebsmittel in geringem Umfang zum Einsatz.

## **Energie**

Der energetische Wirkungsgrad kann bei Feuerungs- und Sonderabfallverbrennungsanlagen nicht eindeutig bestimmt werden, da er davon abhängig ist, ob nur Strom oder nur Wärme oder beides erzeugt wird. Dies ist je nach Anlage unterschiedlich. Allgemein kann im Vergleich untereinander aber festgestellt werden, dass der energetische Netto-Wirkungsgrad beim Abfalleinsatz in einer Säurespaltanlage am höchsten ist, da die erzeugte Wärmeenergie als Spaltenergie direkt im Drehofen genutzt wird. (Gleichwohl zeichnet sich der stark endotherme Säurespaltprozess insgesamt durch einen sehr hohen Gesamt-Energiebedarf von rund 1.770 KWh pro Mg Schwefelsäure [bei 30 M.-% Wasser] aus [Groß 2016].)

Den zweithöchsten energetischen Netto-Wirkungsgrad weisen Feuerungsanlagen auf, die gegenüber den Sonderabfallverbrennungsanlagen einen vergleichsweise geringeren Energie-Eigenbedarf besitzen und somit einen höheren energetischen Netto-Wirkungsgrad als die Sonderabfallverbrennung aufweisen.

### **23.2.1 Feuerungsanlagen**

#### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Bei der energetischen Verwertung von Reaktions- und Destillationsrückständen in Feuerungsanlagen wird kein Verwertungserzeugnis hergestellt, in das Schadstoffe verschleppt und dort angereichert werden.

#### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die im eingesetzten Abfall enthaltenen organischen Schadstoffe werden in der Feuerung weitgehend zerstört. Es handelt sich also um eine Schadstoffsenke.

Je nach Abfallzusammensetzung kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich in den Verbrennungsrückständen noch Schadstoffe befinden. Schlacken und Aschen aus Feuerungsanlagen, in denen Abfälle mitverbrannt werden, finden Verwendung im Bergversatz oder werden aufbereitet und anderweitig verwertet, zum Teil auch deponiert [Dehoust et al. 2008]. REA-Gips wird verwertet [Prognos 2003].

#### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz von (organischen) Reaktions- und Destillationsrückständen in Feuerungsanlagen entstehen nur geringe Mengen an zusätzlichen Abfällen (Schlacken/Aschen, Flugaschen, REA-Gips), da der Feststoffanteil gering ist.

Schlacken und Aschen aus Feuerungsanlagen, in denen Abfälle mitverbrannt werden, finden Verwendung im Bergversatz oder werden aufbereitet und anderweitig verwertet, zum Teil auch deponiert [Dehoust et al. 2008]. REA-Gips wird verwertet [Prognos 2003].

Da die Schlacken und Aschen aus der Abfallmitverbrennung teilweise deponiert werden, fallen hier geringe Mengen an zusätzlichen nicht verwertbaren Abfällen an.

## **Treibhausgasemissionen**

Der im Abfall enthaltene Kohlenstoff wird zu Kohlendioxid verbrannt. Damit wird der Kohlenstoffanteil des ursprünglichen Abfalls mehr oder minder vollständig in CO<sub>2</sub> umgesetzt.

**Von einigen, in den Reaktions- und Destillationsrückständen enthaltenen organischen Lösemitteln ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie können bei Umschlag, Lagerung und Handhabung der (organischen) Reaktions- und Destillationsrückstände freigesetzt werden.**

Durch die Nutzung der im Abfall enthaltenen Energie wird eine Menge an Primärbrennstoffen substituiert, d.h. eingespart. Die eingesparte Menge an Primärbrennstoff wird mittels einer Gutschrift für Treibhausgasemissionen berücksichtigt. Diese Gutschrift steht den aus der Verbrennung des Abfalls resultierenden Treibhausgasemissionen entgegen.

## **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der Anlage 3 Nr. 3 der 17. BImSchV.

Da es sich bei den in den Reaktions- und Destillationsrückständen enthaltenen organischen Stoffkomponenten gegebenenfalls auch um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls zu geringen diffusen Schadstoffemissionen kommen.

## **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Bei der Verbrennung in Feuerungsanlagen anfallende Abwässer müssen behandelt und aufbereitet werden [UBA 2006b].

## **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz von Reaktions- und Destillationsrückständen in Feuerungsanlagen nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Allerdings gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Ferner wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in einen Vorfluter gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Inwieweit die hier relevanten Abfälle in der Abwasserbehandlungsanlage abgebaut bzw. unschädlich gemacht werden, hängt von den jeweiligen Stoffen und der Leistungsfähigkeit der Abwasserbehandlung ab.

Wenn Flächen auf denen Reaktions- und Destillationsrückstände gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

## **23.2.2 Sonderabfallverbrennungsanlagen**

### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Bei der energetischen Verwertung von Reaktions- und Destillationsrückständen in Sonderabfallverbrennungsanlagen wird kein Verwertungserzeugnis hergestellt, in das Schadstoffe verschleppt und dort angereichert werden.

### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die im eingesetzten Abfall enthaltenen organischen Schadstoffe werden in der Feuerung weitgehend zerstört. Entsprechend stellen Sonderabfallverbrennungsanlagen eine Senke für die organischen Schadstoffe dar.

Schlacken, Filterstäube und andere Rauchgasreinigungsrückstände, z. B. Salze, werden in Untertagedeponien beseitigt, auf oberirdischen Deponien verwertet oder beseitigt oder im Bergversatz verwertet.

### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz von (organischen) Reaktions- und Destillationsrückständen in der Sonderabfallverbrennung entstehen nur geringe Mengen an zusätzlichen Abfällen (Aschen, Filterstäube), da der Feststoffanteil sowie der Anteil anderer Stoffe gering ist.

Da Schlacken und Filterstäube, insbesondere aber die anfallenden Salze, zu einem großen Teil beseitigt werden, fallen hier nicht verwertbare Abfälle an.

### **Treibhausgasemissionen**

Der im Abfall enthaltene Kohlenstoff wird zu Kohlendioxid verbrannt. Damit wird der Kohlenstoffanteil des ursprünglichen Abfalls mehr oder minder vollständig in CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Von einigen, in den Reaktions- und Destillationsrückständen enthaltenen organischen Lösemitteln ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie können bei Umschlag, Lagerung und Handhabung der (organischen) Reaktions- und Destillationsrückstände freigesetzt werden.

Durch die Nutzung der im Abfall enthaltenen Energie wird eine entsprechende Menge an Primärbrennstoffen substituiert, d.h. eingespart. Bei der Sonderabfallverbrennungsanlage hängt die tatsächlich eingesparte Menge an Primärbrennstoffen davon ab, wie viel Strom und/oder Wärme konkret erzeugt und ausgekoppelt wird. Die eingesparte Menge an Primärbrennstoff wird mittels einer Gutschrift für Treibhausgasemissionen berücksichtigt. Diese Gutschrift steht den aus der Verbrennung des Abfalls resultierenden Treibhausgasemissionen entgegen.

Der energetische Wirkungsgrad kann bei Feuerungs- sowie Müll- und Sonderabfallverbrennungsanlagen nicht eindeutig bestimmt werden, da er davon abhängig ist, ob nur Strom oder nur Wärme oder beides erzeugt wird. Dies ist je nach Anlage unterschiedlich.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der 17. BImSchV.

Da es sich bei den in den Reaktions- und Destillationsrückständen enthaltenen organischen Stoffkomponenten gegebenenfalls auch um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls zu geringen diffusen Schadstoffemissionen kommen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Es wird davon ausgegangen, dass bei Sonderabfallverbrennungsanlagen kein Abwasser anfällt und damit kein Abwasserpfad besteht.

## **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz von Reaktions- und Destillationsrückständen in Sonderabfallverbrennungsanlagen nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Allerdings gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Ferner wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in einen Vorfluter gelangen können, sondern aufgefangen und entsorgt werden.

Wenn Flächen auf denen Reaktions- und Destillationsrückstände gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

### **23.2.3 Säurespaltanlagen**

Neben signifikant schwefelhaltigen Abfällen (in erster Linie Abfallschwefelsäuren aber auch Teersäuren aus der Erdgas-, Öl- und Altölaufbereitung sowie aus der Kohleveredelung) als Rohstoffträger werden den endothermen Prozessen der Säurespaltanlagen auch heizwertreiche Abfälle als (Sekundär-)Energieträger zugeführt. Hierzu zählen neben Altölen verschiedener Herkunft auch die flüssigen Reaktions- und Destillationsrückstände des AS 070608\*.

Bei dem im Rahmen dieser Untersuchung praxisrelevantem Säurespaltverfahren werden die Reaktions- und Destillationsrückstände, Altöle sowie Abfallschwefelsäuren und flüssiger Schwefel in den freien Gasraum des Spaltreaktors eingedüst, während zähflüssige Säureteere über Säurelanzen bzw. feinkörniger fester Schwefel über eine Rutsche mittels Luft auf ein im Reaktor (Drehofen) befindliches Koks Bett aufgebracht werden. Durch die Verbrennung der eingebrachten Rohstoff- und Energieträger werden im Drehofen Temperaturen von rund 950°C erreicht [Schulte 2009].

(Im Zuge des eigentlichen Hauptprozesses werden unter den im Drehofen herrschenden reduzierenden Bedingungen Schwefelverbindungen zu SO<sub>2</sub> und Kohlenwasserstoff-Verbindungen zu CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O überführt, wobei auch Ruß anfallen kann. Das schwefeldioxidhaltige Produktgas aus dem Drehofen durchläuft eine mehrstufige Nachverbrennung und wird im Abhitzekegel und nachgeschalteten Waschtürmen abgekühlt. Das im gekühlten Gas enthaltene SO<sub>2</sub> wird in einer Anlage durch Absorption und Desorption aus dem Gas in reiner Form abgetrennt und verflüssigt [Schulte 2009].)

Da die hier interessierenden Reaktions- und Destillationsrückstände zwar einerseits geringe bis sehr geringe Schwefelgehalte (0,1 – 2,3 M.-%) aufweisen, andererseits aber über sehr beachtliche Energieinhalte (Heizwerte bis maximal 42.200 kJ/kg) verfügen [ABANDA 2016], liegt der Fokus beim Einsatz dieser Reaktions- und Destillationsrückstände in erster Linie auf der Substitution von anderen Energieträgern, die sonst zur Generierung der erforderlichen Wärme für den Ablauf der endothermen Reaktion als auch für die Kompensation von Wärmeverlusten im Spaltofen hätten aufgewendet werden müssen.

Dem hauptsächlichen Einsatzzweck der Abfälle folgend, wird der Einsatz von Rückständen des AS 070608\* in Säurespaltanlagen prioritär als energetische Verwertungsmaßnahme eingestuft.

### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Bei der energetischen Verwertung von Reaktions- und Destillationsrückständen in Säurespaltanlagen wird kein Verwertungserzeugnis (Schwefeldioxid) hergestellt, in das Schadstoffe verschleppt und dort angereichert werden [Groß 2016].

### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die im eingesetzten Abfall enthaltenen organischen Schadstoffe werden beim Einsatz in Säurespaltanlagen weitgehend zerstört. Entsprechend stellt der oxidative Säurespaltprozess eine Senke für die organischen Schadstoffe dar [Groß 2016].

Hinsichtlich des im Rahmen dieser Untersuchung betrachteten Säurespaltverfahrens ist noch zu ergänzen, dass sich im - durch die thermischen Umsetzungsprozesse im Koksbett - gebildeten Koksgrus nahezu alle über die Rohstoff- und Energieträger in den Spaltprozess eingebrachten Aschebildner bzw. Aschen anreichern. Dieser Koksgrus wird bei Überschuss aus dem Spaltreaktor abgezogen und kann in (externen) Feuerungs- oder Verbrennungsanlagen energetisch verwertet oder thermisch entsorgt werden [Schulte 2009].

Die Rauchgasreinigungsrückstände (Filterstäube) und Abwasserschlämme (chemisch-physikalisch behandelte Abwasserteilströme aus der Nasswäsche) werden überwiegend auf oberirdischen Depo-nien beseitigt.

### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz von Reaktions- und Destillationsrückständen in Säurespaltanlagen entstehen gewisse Mengen an zusätzlichen Abfällen, insbesondere Filterstäube aus der Rohgasreinigung und Schlämme aus der Abwasserbehandlung (chemisch-physikalisch behandelte Abwasserteilströme aus der Nasswäsche). In Abhängigkeit vom jeweiligen Einzelfall werden die anfallenden Filterstäube auch wieder dem Säurespaltprozess zugesetzt [UBA 2007].

Da Filterstäube und behandelte Abwasserreinigungsschlämme zu einem großen Teil beseitigt werden, fallen hier nicht verwertbare Abfälle an.

(Da Reaktions- und Destillationsrückstände in der Regel nur äußerst geringe Anteile an Aschebildnern [z. B. Metallverbindungen oder anorganische Feststoffbestandteile] aufweisen, ist ihr Beitrag an den im Koksgrusaustrag enthaltenen Aschen im Rahmen dieser Betrachtung zu vernachlässigen.)

### **Treibhausgasemissionen**

Der im Abfall enthaltene Kohlenstoff wird zu Kohlendioxid verbrannt. Damit wird der Kohlenstoffanteil des ursprünglichen Abfalls mehr oder minder vollständig in CO<sub>2</sub> umgesetzt [Groß 2016].

Von einigen, in den Reaktions- und Destillationsrückständen enthaltenen organischen Lösemitteln ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie können bei Umschlag, Lagerung und Handhabung der (organischen) Reaktions- und Destillationsrückstände freigesetzt werden.

Neben den direkten Emissionen entstehen auch Treibhausgasemissionen aus dem Energiebedarf (z. B. Strom) des Verwertungsverfahrens.

Außerdem wird in der Regel eine Gutschrift für die nicht erforderliche Neuherstellung von Produkten vergeben. Die Höhe dieser Gutschrift richtet sich nach dem Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs. Die Gutschrift steht den direkten Treibhausgasemissionen und den Emissionen aus dem Energiebedarf des Verwertungsverfahrens entgegen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen (Trockene Abscheider und Naßwäscher) gemindert. Für die Emissionen aus Anlagen der Schwefeldioxid-Herstellung gelten zunächst die Begrenzungen der Nr. 5.4.4.1 m.2 der TA Luft; für die Mitverbrennung von Reaktions- und Destillati-



onsrückständen in diesen Anlagen darüber hinaus die Bestimmungen und Grenzwerte der Anlage 3 Nr. 2 der 17. BImSchV.

Da es sich bei den in den Reaktions- und Destillationsrückständen enthaltenen organischen Lösemitteln gegebenenfalls auch um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls zu geringen diffusen Schadstoffemissionen kommen.

#### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Emissionen ins Wasser (Abwasserteilströme aus der Nasswäsche) werden durch Abwasserreinigungsverfahren verringert [UBA 2007] und müssen die jeweils festgelegten Einleitgrenzwerte einhalten.

#### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz von Reaktions- und Destillationsrückständen in Säurespaltanlagen nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Allerdings gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Weiterhin wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Betriebsstoffe und Abfälle nicht direkt in einen Vorfluter gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Inwieweit die hier relevanten Betriebsstoffe und Abfälle in der Abwasserbehandlungsanlage abgebaut bzw. unschädlich gemacht werden, hängt von den jeweiligen Stoffen und der Leistungsfähigkeit der Abwasserbehandlung ab.

Wenn Flächen auf denen Reaktions- und Destillationsrückstände gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

## 24 Verfahrenssteckbrief für AS 070703\* - Halogenorganische Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen aus HZVA von Pharmazeutika

Bei dieser Abfallart handelt es sich um Abfälle aus organisch-chemischen Prozessen, die bei der Herstellung, der Zubereitung, dem Vertrieb und der Anwendung (HZVA) von Feinchemikalien und Chemikalien anfallen und an anderer Stelle nicht genannt sind.

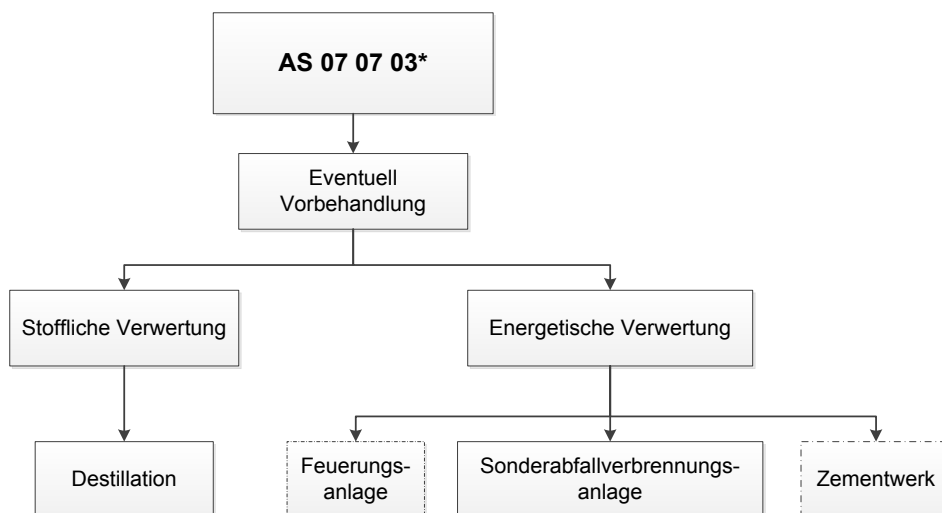
Abfälle dieser Abfallart können ein oder mehrere Lösemittel sowie die unterschiedlichsten Begleitstoffe enthalten. Um welche Lösemittel und Begleitstoffe es sich im Einzelnen handelt, ist nicht bekannt. Aus diesem Grund ist es nicht möglich, spezielle Verwertungsverfahren für bestimmte Lösemittel oder andere Inhaltsstoffe zu benennen und vergleichend zu bewerten.

Für die stoffliche Verwertung von Lösemitteln kommt grundsätzlich die Destillation in Frage. Eventuell müssen die Abfälle dafür vorher einer Vorbehandlung unterzogen werden.

Die energetische Verwertung ist grundsätzlich möglich, findet aber nach AIDA in Nordrhein-Westfalen nicht statt. Da aber ein nicht unerheblicher Teil dieser Abfallart in chemisch-physikalischen Behandlungsanlagen behandelt wird, besteht auch die Möglichkeit des Einsatzes in Kraftwerksfeuerungen und Zementwerken.

Der überwiegende Teil dieser Abfallart wird in Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt. Ob es sich dabei um Verwertung oder Beseitigung handelt, kann nur im Einzelfall festgestellt werden. Aus diesem Grund wird die Verbrennung in Sonderabfallverbrennungsanlagen ebenfalls betrachtet und in die Bewertung der Verfahren aufgenommen.

Abbildung 15: Verwertungsschema für die Abfallart AS 070703\*



Eigene Darstellung

Für die vergleichende Bewertung herangezogen wird die Destillation und Verbrennung in Sonderabfallverbrennungsanlagen, da diese in AIDA als Entsorgungswege in den Jahren 2010 – 2013 aufgeführt werden. Hinzugenommen wird der Einsatz als Ersatzbrennstoff in Feuerungsanlagen und Zementwerken, da dies ebenfalls möglich ist.

### 24.1 Destillation

Für das Destillieren von halogenorganischen Abfalllösemitteln sowie Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen, die halogenorganische Stoffe enthalten, stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung.

Für verunreinigte sortenreine Lösemittel kann die einfache Destillation zum Einsatz kommen [Martens 2011].

Um bei empfindlichen Stoffkomponenten den Siedepunkt zu senken und damit die Zersetzung zu vermeiden, wird unter Vakuum destilliert (Vakuumdestillation). Der Energieverbrauch des Destillierens wird damit gesenkt, dafür wird aber zusätzliche Energie für den Betrieb der Vakuumpumpen benötigt. Mit der Vakuumdestillation können Lösemittel bis zu einem Siedepunkt von 290 °C destilliert werden. [Martens 2011]

Die Trennung von Lösemittelgemischen erfolgt durch fraktionierte Destillation oder Rektifikation [Martens 2011].

Die Beheizung der Destillationsblasen wird mit Thermoöl, Heißwasser oder Dampf durchgeführt. Bei weitgehend feststofffreien Abfalllösemitteln kann anstelle einer Destillationsblase ein Dünnschichtverdampfer eingesetzt werden. [Martens 2011]

### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs**

Bei der Destillation von Abfalllösemitteln beträgt der Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs, hier das jeweilige Lösemittel bzw. die jeweiligen Lösemittel, durchschnittlich 70 % [Martens 2011].

### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Da es sich bei den gewonnenen Lösemitteln in der Regel um die Destillate handeln wird, kann davon ausgegangen werden, dass Schadstoffverschleppungen nur in geringem Umfang auftreten und keine Schadstoffanreicherung in den Verwertungserzeugnissen „Lösemittel“ erfolgt.

### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Der Hauptanteil der im Abfall enthaltenen Schadstoffe befindet sich nach der Destillation im Destillationsrückstand. Dies ist eine Aufkonzentration von Schadstoffen. Halogenierte Destillationsrückstände werden nach AIDA zum überwiegenden Teil in Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt und zu einem geringen Teil auch in CPB verfestigt.

Die Sonderabfallverbrennung stellt eine Schadstoffsенке dar, da die enthaltenen Schadstoffe fast vollständig zerstört werden. Die Verfestigung an sich stellt keine Senke dar. Ob es sich um eine Senkenfunktion handelt, hängt von der konkreten Entsorgung des Materials ab.

### **Rohstoffbedarf, Betriebsmitteleinsatz etc.**

Aus den vorliegenden Angaben ist nicht ersichtlich, dass zusätzliche Betriebsmittel etc. benötigt werden.

### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Als Abfall fällt der Destillationsrückstand an. Nach AIDA werden halogenierte Destillationsrückstände zum überwiegenden Teil in Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt. Zu einem geringen Teil werden sie auch in CPB verfestigt. Ob es sich bei Verbrennung in einer Sonderabfallverbrennungsanlage um Verwertung oder Beseitigung handelt, kann nicht allgemeingültig gesagt werden. Das gleiche gilt für die in CPB verfestigten Destillationsrückstände. Sie könnten energetisch verwertet oder beseitigt werden. Da der Destillationsrückstand bereits im Ausgangsabfall (Abfalllösemittelgemisch) enthalten war, fallen bei der Destillation keine zusätzlichen nicht verwertbaren Abfälle an.

## **Energie**

Der Energieverbrauch ist beim Destillieren insbesondere von der Wärmekapazität und der Verdampfungswärme des zu destillierenden Lösemittels bzw. der zu destillierenden Lösemittel sowie der eingesetzten Destillationstechnik abhängig. Da die in den Abfällen enthaltenen Lösemittel nicht bekannt sind, können allgemeingültige Aussagen zum Energieverbrauch nicht getroffen werden. Zur Wiedergewinnung von 100 l/h Tetrachlorethylen wird abhängig von der Technik beispielsweise ein Energiebedarf von > 16 kWh bzw. 7 kWh angegeben [Ziermann/Mager 2013]. Die Summe aus Wärmekapazität und Verdampfungswärme beträgt beispielsweise für Aceton ca. 161 kWh/Mg und für Dimethylformamid ca. 238 kWh/Mg.

## **Treibhausgasemissionen**

Bei den meisten halogenierten Lösemitteln handelt es sich um chlorierte Kohlenwasserstoffe. Zumindest die Leichtflüchtigen besitzen Treibhauspotenziale [ReCiPe 2014] und werden – wenngleich in geringem Umfang – beim Destillieren sowie bei Umschlag und Lagerung des Abfalls freigesetzt. Die nach der Abgasreinigung emittierte Menge kann aufgrund des niedrigen Volumenstroms als gering eingestuft werden. Handelt es sich bei der Abgasreinigung um eine Nachverbrennung, können über diesen Pfad nur geringste Mengen an Treibhausgasemissionen entstehen.

Halogenierte Destillationsrückstände werden nach AIDA zum überwiegenden Teil in Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt und zu einem geringen Teil auch in CPB verfestigt. In der Sonderabfallverbrennung wird der enthaltene Kohlenstoff vollständig zu CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Beim Handling der Abfälle in der CPB können potenziell Treibhausgase in geringem Umfang aus dem Abfall freigesetzt werden. Wird der verfestigte Abfall anschließend verbrannt, wird der enthaltene Kohlenstoff vollständig zu CO<sub>2</sub> umgesetzt (analog zur SAV).

Neben den direkten Emissionen entstehen auch Treibhausgasemissionen aus dem Energiebedarf (z. B. Strom) des Verwertungsverfahrens.

Außerdem wird in der Regel eine Gutschrift für die nicht erforderliche Neuherstellung von Produkten vergeben. Die Höhe dieser Gutschrift richtet sich nach dem Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs. Die Gutschrift steht den direkten Treibhausgasemissionen und den Emissionen aus dem Energiebedarf des Verwertungsverfahrens entgegen.

## **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Mit einer entsprechenden Abgasreinigung können Emissionswerte von 50 mg C/Nm<sup>3</sup> eingehalten werden [UBA 2006a], so dass in Verbindung mit den im Vergleich zur Verbrennung geringen Volumenströmen die Schadstofffreisetzungen in die Luft beim Destillieren gering sind.

Da es sich bei den halogenorganischen Lösemitteln i.d.R. um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls und des Destillationsrückstands zu diffusen Schadstoffemissionen kommen.

## **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Anfallendes Abwasser muss behandelt werden [UBA 2006a] und bestehende Einleitgrenzwerte sind einzuhalten.

## **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Bei Destillation gehen wir davon aus, dass es sich um teilautomatisierte Prozesse handelt, und nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Es wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Inwieweit die hier relevanten Abfälle in der Abwasserbehandlungsanlage abgebaut bzw. unschädlich gemacht werden, hängt von den jeweiligen Stoffen und der Leistungsfähigkeit der Abwasserbehandlung ab.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

## **24.2 Energetische Verwertung**

Die energetische Verwertung dieser Abfallart erfolgt bzw. kann in Kraftwerksfeuerungen, Zementwerken und Sonderabfallverbrennungsanlagen erfolgen. Voraussetzung für den Einsatz in diesen Anlagen ist die Einhaltung der jeweils für die Anlage im Genehmigungsbescheid festgelegten Parameter [LUBW 1996]. Bei Zementwerken sind i.d.R. höhere Schadstoffgehalte an PCB und Halogenen in den Genehmigungen festgelegt [LUBW 1996].

### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs**

Bei der energetischen Verwertung verbleiben i.d.R. keine Wertstoffe im Wirtschaftskreislauf. Die stoffliche Verwertung ist daher in diesem Punkt i.d.R. besser zu bewerten als die energetische Verwertung.

### **Rohstoffbedarf und/oder Betriebsmitteleinsatz**

Bei allen hier betrachteten Verfahren zur energetischen Verwertung halogenorganischer Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen kommen im Zuge der nachgeschalteten Rauchgasreinigungseinrichtungen Betriebsmittel in geringem Umfang zum Einsatz.

### **Energie**

Der energetische Wirkungsgrad kann bei Feuerungs- und Sonderabfallverbrennungsanlagen nicht eindeutig bestimmt werden, da er davon abhängig ist, ob nur Strom oder nur Wärme oder beides erzeugt wird. Dies ist je nach Anlage unterschiedlich. Allgemein kann im Vergleich untereinander aber festgestellt werden, dass der energetische Netto-Wirkungsgrad beim Abfalleinsatz im Zementwerk am höchsten ist, da die erzeugte Energie als Wärme im Drehrohrofen direkt genutzt wird. Der energetische Netto-Wirkungsgrad von Feuerungsanlagen ist niedriger, aber höher als bei Sonderabfallverbrennungsanlagen, da der Eigenbedarf niedriger und damit der energetische Netto-Wirkungsgrad höher ist.

#### **24.2.1 Feuerungsanlagen**

##### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Bei der energetischen Verwertung in Feuerungsanlagen wird kein Verwertungserzeugnis hergestellt, in das Schadstoffe verschleppt und dort angereichert werden.

### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die im eingesetzten Abfall enthaltenen organischen Schadstoffe werden in der Feuerung weitgehend zerstört. Es handelt sich also um eine Schadstoffsenke.

Je nach Abfallzusammensetzung kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich in den Verbrennungsrückständen noch Schadstoffe befinden. Schlacken und Aschen aus Feuerungsanlagen, in denen Abfälle mitverbrannt werden, finden Verwendung im Bergversatz oder werden aufbereitet und anderweitig verwertet, zum Teil auch deponiert [Dehoust et al. 2008]. REA-Gips wird verwertet [Prognos 2003].

### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz von halogenorganischen Lösemitteln, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen in Feuerungsanlagen entstehen nur geringe Mengen an zusätzlichen Abfällen (Schlacken/Aschen, Flugaschen, REA-Gips), da der Feststoffanteil gering ist.

Schlacken und Aschen aus Feuerungsanlagen, in denen Abfälle mitverbrannt werden, finden Verwendung im Bergversatz oder werden aufbereitet und anderweitig verwertet, zum Teil auch deponiert [Dehoust et al. 2008]. REA-Gips wird verwertet [Prognos 2003].

Da die Schlacken und Aschen aus der Abfallmitverbrennung teilweise deponiert werden, fallen hier geringe Mengen an zusätzlichen nicht verwertbaren Abfällen an.

### **Treibhausgasemissionen**

Der im Abfall enthaltene Kohlenstoff wird zu Kohlendioxid verbrannt. Damit wird der Kohlenstoffanteil des ursprünglichen Abfalls mehr oder minder vollständig in CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Bei den meisten halogenierten Lösemitteln handelt es sich um chlorierte Kohlenwasserstoffe. Zumindest die Leichtflüchtigen besitzen Treibhauspotenziale [ReCiPe 2014] und können bei Umschlag, Lagerung und Handhabung der halogenorganischen Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen freigesetzt werden.

Durch die Nutzung der im Abfall enthaltenen Energie wird eine Menge an Primärbrennstoffen substituiert, d.h. eingespart. Die eingesparte Menge an Primärbrennstoff wird mittels einer Gutschrift für Treibhausgasemissionen berücksichtigt. Diese Gutschrift steht den aus der Verbrennung des Abfalls resultierenden Treibhausgasemissionen entgegen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der Anlage 3 Nr. 3 der 17. BImSchV.

Da es sich bei den halogenierten organischen Lösemitteln i.d.R. um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls zu diffusen Schadstoffemissionen kommen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Bei der Verbrennung in Feuerungsanlagen anfallende Abwässer müssen behandelt und aufbereitet werden [UBA 2006b].

## **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz der Abfälle in Feuerungsanlagen nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Allerdings gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Es wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Inwieweit die hier relevanten Abfälle in der Abwasserbehandlungsanlage abgebaut bzw. unschädlich gemacht werden, hängt von den jeweiligen Stoffen und der Leistungsfähigkeit der Abwasserbehandlung ab.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

### **24.2.2 Zementwerk**

#### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Halogenorganische Lösemittel werden bei der Verbrennung zerstört. Je nach Abfallzusammensetzung kann aber nicht ausgeschlossen werden, dass andere, nicht zerstörte Schadstoffe verbleiben und dann ins Produkt gelangen.

#### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die im eingesetzten Abfall enthaltenen organischen Schadstoffe werden beim Einsatz im Zementwerk weitgehend zerstört. Entsprechend stellt das Zementwerk eine Senke für die organischen Schadstoffe dar.

#### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz von halogenorganischen Lösemitteln, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen im Zementwerk entstehen nur geringe Mengen an zusätzlichen Abfällen, insbesondere Filterstäube, da der Feststoffanteil gering ist. Die Filterstäube können dem Klinker beigegeben oder an anderer Stelle dem Prozess wieder zugeführt werden [Davids/Lange 1986]. Die Rückführung in den Prozess ist aber nur möglich, wenn der Chloridgehalt der Filterstäube aufgrund des Einsatzes halogenorganischer Lösemittel dafür nicht zu wird.

#### **Treibhausgasemissionen**

Der im Abfall enthaltene Kohlenstoff wird zu Kohlendioxid verbrannt. Damit wird der Kohlenstoffanteil des ursprünglichen Abfalls mehr oder minder vollständig in CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Bei den meisten halogenierten Lösemitteln handelt es sich um chlorierte Kohlenwasserstoffe. Zumindest die Leichtflüchtigen besitzen Treibhauspotenziale [ReCiPe 2014] und werden bei Umschlag, Lagerung und Handhabung der halogenorganischen Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen in geringem Umfang freigesetzt.

Der eingesetzte Abfall ersetzt eine, seinem Heizwert entsprechende Menge an Primärbrennstoff, der dann nicht verbrannt wird. Für diese Substitution des Primärbrennstoffs wird eine Gutschrift erteilt,

die dem Kohlendioxid (Lastschrift) aus der Verbrennung des Abfalls entgegensteht bzw. diese Lastschrift übertrifft.

#### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der Anlage 3 Nr. 2 der 17. BImSchV.

Da es sich bei den halogenorganischen Lösemitteln i.d.R. um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls zu diffusen Schadstoffemissionen kommen.

#### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

In der Zementindustrie sind nassarbeitende Abgasreinigungsanlagen nicht im Einsatz [Davids/Lange 1986]. Zementwerke besitzen daher i.d.R. keine spezielle Abwasserreinigung bzw. keinen Wasserpfad, so dass keine Schadstofffreisetzung ins Wasser erfolgt.

#### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz der Abfälle in Zementwerken nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Allerdings gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Da Zementwerke i.d.R. nicht über eine spezielle Abwasserbehandlung verfügen, wird davon ausgegangen, dass hier ein erhöhtes Risiko besteht, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle, z. B. bei Regen, direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, wenn keine Vorkehrungen getroffen sind, um belastetes Betriebsflächenwasser auffangen und entsorgen zu können.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

### **24.2.3 Sonderabfallverbrennungsanlagen**

#### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Bei der energetischen Verwertung in Sonderabfallverbrennungsanlagen wird kein Verwertungserzeugnis hergestellt, in das Schadstoffe verschleppt und dort angereichert werden.

#### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die im eingesetzten Abfall enthaltenen organischen Schadstoffe werden in der Feuerung weitgehend zerstört. Entsprechend stellen Sonderabfallverbrennungsanlagen eine Senke für die organischen Schadstoffe dar.

Schlacken, Filterstäube und andere Rauschgasreinigungsrückstände, z. B. Salze, werden in Untertage- deponien beseitigt, auf oberirdischen Deponien verwertet oder beseitigt oder im Bergversatz verwertet.



### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz der Abfälle in der Sonderabfallverbrennung entstehen nur geringe Mengen an zusätzlichen Abfällen (Aschen, Filterstäube), da der Feststoffanteil sowie der Anteil anderer Stoffe außer Chlor gering ist. Da die eingesetzten halogenorganischen Lösemittel Chlor enthalten, entstehen bei der Eindampfung des Waschwassers Chloride als fester zusätzlicher Abfall.

Da Schlacken und Filterstäube, insbesondere aber die anfallenden Salze, zu einem großen Teil beseitigt werden, fallen hier nicht verwertbare Abfälle an.

### **Treibhausgasemissionen**

Der im Abfall enthaltene Kohlenstoff wird zu Kohlendioxid verbrannt. Damit wird der Kohlenstoffanteil des ursprünglichen Abfalls mehr oder minder vollständig in CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Bei den meisten halogenierten Lösemitteln handelt es sich um chlorierte Kohlenwasserstoffe. Zumindest die Leichtflüchtigen besitzen Treibhauspotenziale [ReCiPe 2014] und werden bei Umschlag, Lagerung und Handhabung der halogenorganischen Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen in geringem Umfang freigesetzt.

Durch die Nutzung der im Abfall enthaltenen Energie wird eine entsprechende Menge an Primärbrennstoffen substituiert, d.h. eingespart. Bei der Sonderabfallverbrennungsanlage hängt die tatsächlich eingesparte Menge an Primärbrennstoffen davon ab, wie viel Strom und/oder Wärme konkret erzeugt und ausgekoppelt wird. Die eingesparte Menge an Primärbrennstoff wird mittels einer Gutschrift für Treibhausgasemissionen berücksichtigt. Diese Gutschrift steht den aus der Verbrennung des Abfalls resultierenden Treibhausgasemissionen entgegen.

Der energetische Wirkungsgrad kann bei Feuerungs- sowie Müll- und Sonderabfallverbrennungsanlagen nicht eindeutig bestimmt werden, da er davon abhängig ist, ob nur Strom oder nur Wärme oder beides erzeugt wird. Dies ist je nach Anlage unterschiedlich.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der 17. BImSchV.

Da es sich bei den halogenorganischen Lösemitteln i.d.R. um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls zu diffusen Schadstoffemissionen kommen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Es wird davon ausgegangen, dass bei Sonderabfallverbrennungsanlagen kein Abwasser anfällt und damit kein Abwasserpfad besteht.

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz der Abfälle in Sonderabfallverbrennungsanlagen nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Allerdings gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Es wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, sondern aufgefangen und entsorgt werden.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

Sonderabfallverbrennungsanlagen haben den Zweck, Sonderabfälle zu verbrennen. Daher gehen wir davon aus, dass Prozesse, Anlagen und Mitarbeiter für ein sicheres Handling dieser Materialien in besonderem Maße ausgerichtet bzw. geschult sind. Damit wird das Risiko im Vergleich mit anderen Verfahren als geringer eingeschätzt.

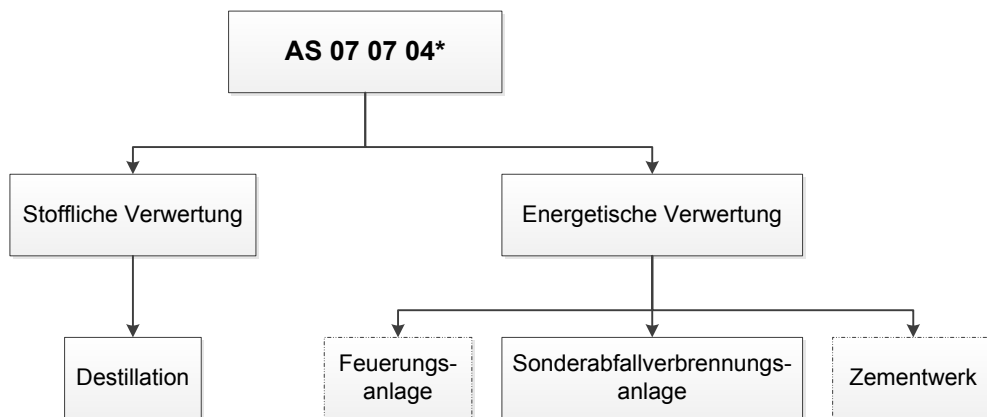
## 25 Verfahrenssteckbrief für AS 070704\* - organische Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen aus HZVA von Feinchemikalien und Chemikalien a. n. g.

Bei dieser Abfallart handelt es sich um nicht halogenierte organische Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen, die bei der Herstellung, der Zubereitung, dem Vertrieb und der Anwendung (HZVA) von Feinchemikalien und Chemikalien anfallen und an anderer Stelle nicht genannt sind.

Abfälle dieser Abfallart können ein oder mehrere Lösemittel sowie die unterschiedlichsten Begleitstoffe enthalten. Um welche Lösemittel und Begleitstoffe es sich im Einzelnen handelt, ist nicht bekannt. Aus diesem Grund ist es nicht möglich, spezielle Verwertungsverfahren für bestimmte Lösemittel oder andere Inhaltsstoffe zu benennen und vergleichend zu bewerten.

Für die stoffliche Verwertung von Lösemitteln kommt grundsätzlich die Destillation in Frage, die zum Teil auch erfolgt. Eventuell müssen die Abfälle dazu vorher einer Vorbehandlung unterzogen werden. Ein weiterer Teil dieser Abfallart wird in Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt. Ob es sich dabei um Verwertung oder Beseitigung handelt, kann nur im Einzelfall festgestellt werden. Aus diesem Grund wird die Abfallverbrennung in Sonderabfallverbrennungsanlagen ebenfalls betrachtet und in die Bewertung der Verfahren aufgenommen. Eine energetische Verwertung in Feuerungsanlagen oder Zementwerken findet in Nordrhein-Westfalen nach AIDA nicht statt. Aus einem Teil der Abfälle werden aber durch Behandlung Ersatzbrennstoffe hergestellt. Es ist daher davon auszugehen, dass diese Ersatzbrennstoffe in Feuerungsanlagen und Zementwerken zum Einsatz kommen und dort energetisch verwertet werden.

Abbildung 16: Verwertungsschema für die Abfallart AS 070704\*



Eigene Darstellung

Für die vergleichende Bewertung herangezogen wird die Destillation und die energetische Verwertung in Sonderabfallverbrennungsanlagen, da diese in AIDA als Entsorgungswege in den Jahren 2010 – 2013 aufgeführt werden. Hinzugenommen wird die energetische Verwertung in Feuerungsanlagen und Zementwerken, da davon ausgegangen werden kann, dass die hergestellten Ersatzbrennstoffe dort zum Einsatz kommen.

### 25.1 Destillation

Für das Destillieren von organischen Abfalllösemitteln sowie Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung.

Für verunreinigte sortenreine Lösemittel kann die einfache Destillation zum Einsatz kommen [Martens 2011].

Um bei empfindlichen Stoffkomponenten den Siedepunkt zu senken und damit die Zersetzung zu vermeiden, wird unter Vakuum destilliert (Vakuumdestillation). Der Energieverbrauch des Destillierens wird damit gesenkt, dafür wird aber zusätzliche Energie für den Betrieb der Vakuumpumpen benötigt. Mit der Vakuumdestillation können Lösemittel bis zu einem Siedepunkt von 290 °C destilliert werden. [Martens 2011]

Die Trennung von Lösemittelgemischen erfolgt durch fraktionierte Destillation oder Rektifikation [Martens 2011].

Die Beheizung der Destillationsblasen wird mit Thermoöl, Heißwasser oder Dampf durchgeführt. Bei weitgehend feststofffreien Abfalllösemitteln kann anstelle einer Destillationsblase ein Dünnschichtverdampfer eingesetzt werden. [Martens 2011]

### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs**

Bei der Destillation von Abfalllösemitteln beträgt der Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs, hier das jeweilige Lösemittel bzw. die jeweiligen Lösemittel, durchschnittlich 70 % [Martens 2011].

### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Da es sich bei den gewonnenen Lösemitteln in der Regel um die Destillate handeln wird, kann davon ausgegangen werden, dass Schadstoffverschleppungen nur in geringem Umfang auftreten und keine Schadstoffanreicherung in den Verwertungserzeugnissen „Lösemittel“ erfolgt.

### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Der Hauptanteil der im Abfall enthaltenen Schadstoffe befindet sich nach der Destillation im Destillationsrückstand. Dies stellt eine Aufkonzentration von Schadstoffen dar. Die Destillationsrückstände werden nach AIDA zum überwiegenden Teil in Feuerungsanlagen, Zementwerken, Müllverbrennungsanlagen und Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt. Zu einem geringen Teil werden sie in CPB behandelt, wobei ein Teil konditioniert wird, um anschließend einer thermischen Behandlung unterzogen zu werden.

Die Verbrennung stellt eine Schadstoffsенke dar, da die enthaltenen organischen Schadstoffe fast vollständig zerstört werden. Die Behandlung in einer CPB an sich stellt keine Senke dar. Ob es sich um eine Senkenfunktion handelt, hängt von der anschließenden konkreten Entsorgung des Materials ab.

### **Rohstoffbedarf, Betriebsmitteleinsatz etc.**

Aus den vorliegenden Angaben ist nicht ersichtlich, dass zusätzliche Betriebsmittel etc. benötigt werden.

### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Als Abfall fällt der Destillationsrückstand an. Nach AIDA werden die Destillationsrückstände zum überwiegenden Teil in Feuerungsanlagen, Zementwerken, Müllverbrennungsanlagen und Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt. Zu einem geringen Teil werden sie auch in CPB behandelt und dabei zum Teil verfestigt. Bei der Verbrennung in Feuerungsanlagen, Zementwerken und Müllverbrennungsanlagen handelt es sich um energetische Verwertung. Ob es sich bei Verbrennung in einer Sonderabfallverbrennungsanlage um Verwertung oder Beseitigung handelt, kann nicht allgemeingültig gesagt werden. Das gleiche gilt für die in CPB verfestigten Destillationsrückstände. Sie könnten energetisch verwertet oder beseitigt werden. Da der Destillationsrückstand aber bereits im Ausgangs-

abfall (Abfalllösemittelgemisch) enthalten war, fallen bei der Destillation keine zusätzlichen nicht verwertbaren Abfälle an.

### **Energie**

Der Energieverbrauch ist beim Destillieren insbesondere von der Wärmekapazität und der Verdampfungswärme des zu destillierenden Lösemittels bzw. der zu destillierenden Lösemittel sowie der eingesetzten Destillationstechnik abhängig. Da die in den Abfällen enthaltenen Lösemittel nicht bekannt sind, können allgemeingültige Aussagen zum Energieverbrauch nicht getroffen werden. Zur Wiedergewinnung von 100 l/h Tetrachlorethylen wird abhängig von der Technik beispielsweise ein Energiebedarf von > 16 kWh bzw. 7 kWh angegeben [Ziermann/Mager 2013]. Die Summe aus Wärmekapazität und Verdampfungswärme beträgt beispielsweise für Aceton ca. 161 kWh/Mg und für Dimethylformamid ca. 238 kWh/Mg.

### **Treibhausgasemissionen**

Von einigen leichtflüchtigen organischen Lösemitteln ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie werden – wenngleich in geringem Umfang – beim Destillieren sowie bei Umschlag und Lagerung des Abfalls freigesetzt. Die nach der Abgasreinigung emittierte Menge kann aufgrund des niedrigen Volumenstroms als gering eingestuft werden. Handelt es sich bei der Abgasreinigung um eine Nachverbrennung, können über diesen Pfad nur geringste Mengen an Treibhausgasemissionen entstehen.

Nach AIDA werden die Destillationsrückstände zum überwiegenden Teil in Feuerungsanlagen, Zementwerken, Müllverbrennungsanlagen und Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt. Zu einem geringen Teil werden sie auch in CPB behandelt und dabei zum Teil verfestigt.

Bei der Verbrennung in Feuerungsanlagen, Zementwerken, Müllverbrennungsanlagen und Sonderabfallverbrennungsanlagen wird der enthaltene Kohlenstoff vollständig zu CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Beim Handling der Abfälle in der CPB können potenziell Treibhausgase in geringem Umfang aus dem Abfall freigesetzt werden. Wird der verfestigte Abfall anschließend verbrannt, wird der enthaltene Kohlenstoff vollständig zu CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Neben den direkten Emissionen entstehen auch Treibhausgasemissionen aus dem Energiebedarf (z. B. Strom) des Verwertungsverfahrens.

Außerdem wird in der Regel eine Gutschrift für die nicht erforderliche Neuherstellung von Produkten vergeben. Die Höhe dieser Gutschrift richtet sich nach dem Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs. Die Gutschrift steht den direkten Treibhausgasemissionen und den Emissionen aus dem Energiebedarf des Verwertungsverfahrens entgegen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Mit einer entsprechenden Abgasreinigung können Emissionswerte von 50 mg C/Nm<sup>3</sup> eingehalten werden [UBA 2006a], so dass in Verbindung mit den im Vergleich zur Verbrennung geringen Volumenströmen die Schadstofffreisetzungen in die Luft beim Destillieren gering sind.

Da es sich bei den organischen Lösemitteln i.d.R. um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls und des Destillationsrückstands zu diffusen Schadstoffemissionen kommen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Anfallendes Abwasser muss behandelt werden [UBA 2006a] und bestehende Einleitgrenzwerte sind einzuhalten.

## **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Bei Destillationen gehen wir davon aus, dass es sich um teilautomatisierte Prozesse handelt, und nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Es wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Inwieweit die hier relevanten Abfälle in der Abwasserbehandlungsanlage abgebaut bzw. unschädlich gemacht werden, hängt von den jeweiligen Stoffen und der Leistungsfähigkeit der Abwasserbehandlung ab.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

## **25.2 Energetische Verwertung**

Die energetische Verwertung von organischen Lösemitteln, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen erfolgt in Feuerungsanlagen, Zementwerken und Sonderabfallverbrennungsanlagen. Voraussetzung für den Einsatz in diesen Anlagen ist die Einhaltung der jeweils für die Anlage im Genehmigungsbescheid festgelegten Parameter [LUBW 1996]. Bei Zementwerken sind i.d.R. höhere Schadstoffgehalte an PCB und Halogenen in den Genehmigungen festgelegt [LUBW 1996].

### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs**

Bei der energetischen Verwertung verbleiben i.d.R. keine Wertstoffe im Wirtschaftskreislauf. Die stoffliche Verwertung ist daher in diesem Punkt i.d.R. besser zu bewerten als die energetische Verwertung.

### **Rohstoffbedarf und/oder Betriebsmitteleinsatz**

Bei allen hier betrachteten Verfahren zur energetischen Verwertung organische Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen kommen im Zuge der nachgeschalteten Rauchgasreinigungseinrichtungen Betriebsmittel in geringem Umfang zum Einsatz.

### **Energie**

Der energetische Wirkungsgrad kann bei Feuerungs- und Sonderabfallverbrennungsanlagen nicht eindeutig bestimmt werden, da er davon abhängig ist, ob nur Strom oder nur Wärme oder beides erzeugt wird. Dies ist je nach Anlage unterschiedlich. Allgemein kann im Vergleich untereinander aber festgestellt werden, dass der energetische Netto-Wirkungsgrad beim Abfalleinsatz im Zementwerk am höchsten ist, da die erzeugte Energie als Wärme im Drehrohrofen direkt genutzt wird. Der energetische Netto-Wirkungsgrad von Feuerungsanlagen ist niedriger, aber höher als bei Sonderabfallverbrennungsanlagen, da der Eigenbedarf niedriger und damit der energetische Netto-Wirkungsgrad höher ist.

#### **25.2.1 Feuerungsanlagen**

##### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Bei der energetischen Verwertung in Feuerungsanlagen wird kein Verwertungserzeugnis hergestellt, in das Schadstoffe verschleppt und dort angereichert werden.

### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die im eingesetzten Abfall enthaltenen organischen Schadstoffe werden in der Feuerung weitgehend zerstört. Es handelt sich also um eine Schadstoffsenke.

Je nach Abfallzusammensetzung kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich in den Verbrennungsrückständen noch Schadstoffe befinden. Schlacken und Aschen aus Feuerungsanlagen, in denen Abfälle mitverbrannt werden, finden Verwendung im Bergversatz oder werden aufbereitet und anderweitig verwertet, zum Teil auch deponiert [Dehoust et al. 2008]. REA-Gips wird verwertet [Prognos 2003].

### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz von organischen Lösemitteln, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen in Feuerungsanlagen entstehen nur geringe Mengen an zusätzlichen Abfällen (Schlacken/Aschen, Flugaschen, REA-Gips), da der Feststoffanteil gering ist.

Schlacken und Aschen aus Feuerungsanlagen, in denen Abfälle mitverbrannt werden, finden Verwendung im Bergversatz oder werden aufbereitet und anderweitig verwertet, zum Teil auch deponiert [Dehoust et al. 2008]. REA-Gips wird verwertet [Prognos 2003].

Da die Schlacken und Aschen aus der Abfallmitverbrennung teilweise deponiert werden, fallen hier geringe Mengen an zusätzlichen nicht verwertbaren Abfällen an.

### **Treibhausgasemissionen**

Der im Abfall enthaltene Kohlenstoff wird zu Kohlendioxid verbrannt. Damit wird der Kohlenstoffanteil des ursprünglichen Abfalls mehr oder minder vollständig in CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Von einigen leichtflüchtigen organischen Lösemitteln ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie können bei Umschlag, Lagerung und Handhabung der organischen Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen freigesetzt werden.

Durch die Nutzung der im Abfall enthaltenen Energie wird eine Menge an Primärbrennstoffen substituiert, d.h. eingespart. Die eingesparte Menge an Primärbrennstoff wird mittels einer Gutschrift für Treibhausgasemissionen berücksichtigt. Diese Gutschrift steht den aus der Verbrennung des Abfalls resultierenden Treibhausgasemissionen entgegen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der Anlage 3 Nr. 3 der 17. BImSchV.

Da es sich bei den organischen Lösemitteln i.d.R. um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls zu diffusen Schadstoffemissionen kommen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Bei der Verbrennung in Feuerungsanlagen anfallende Abwässer müssen behandelt und aufbereitet werden [UBA 2006b].

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz der Abfälle in Feuerungsanlagen nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Allerdings gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstö-

rungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Es wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Inwieweit die hier relevanten Abfälle in der Abwasserbehandlungsanlage abgebaut bzw. unschädlich gemacht werden, hängt von den jeweiligen Stoffen und der Leistungsfähigkeit der Abwasserbehandlung ab.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

### **25.2.2 Zementwerk**

#### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Organische Lösemittel werden bei der Verbrennung zerstört. Je nach Abfallzusammensetzung kann aber nicht ausgeschlossen werden, dass andere, nicht zerstörte Schadstoffe verbleiben und dann ins Produkt gelangen.

#### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die im eingesetzten Abfall enthaltenen organischen Schadstoffe werden beim Einsatz im Zementwerk weitgehend zerstört. Entsprechend stellt das Zementwerk eine Senke für die organischen Schadstoffe dar.

#### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz von organischen Lösemitteln, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen im Zementwerk entstehen nur geringe Mengen an zusätzlichen Abfällen, insbesondere Filterstäube, da der Feststoffanteil gering ist. Die Filterstäube können dem Klinker beigegeben oder an anderer Stelle dem Prozess wieder zugeführt werden [Davids/Lange 1986].

#### **Treibhausgasemissionen**

Der im Abfall enthaltene Kohlenstoff wird zu Kohlendioxid verbrannt. Damit wird der Kohlenstoffanteil des ursprünglichen Abfalls mehr oder minder vollständig in CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Von einigen leichtflüchtigen organischen Lösemitteln ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie können bei Umschlag, Lagerung und Handhabung der organischen Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen freigesetzt werden.

Der eingesetzte Abfall ersetzt eine, seinem Heizwert entsprechende Menge an Primärbrennstoff, der dann nicht verbrannt wird. Für diese Substitution des Primärbrennstoffs wird eine Gutschrift erteilt, die dem Kohlendioxid (Lastschrift) aus der Verbrennung des Abfalls entgegensteht bzw. diese Lastschrift übertrifft.

#### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der Anlage 3 Nr. 2 der 17. BImSchV.

Da es sich bei den organischen Lösemitteln i.d.R. um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls zu diffusen Schadstoffemissionen kommen.



### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

In der Zementindustrie sind nassarbeitende Abgasreinigungsanlagen nicht im Einsatz [Davids/Lange 1986]. Zementwerke besitzen daher i.d.R. keine spezielle Abwasserreinigung bzw. keinen Wasserpfad, so dass keine Schadstofffreisetzung ins Wasser erfolgt.

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz der Abfälle in Zementwerken nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Allerdings gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Da Zementwerke i.d.R. nicht über eine spezielle Abwasserbehandlung verfügen, wird davon ausgegangen, dass hier ein erhöhtes Risiko besteht, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle, z. B. bei Regen, direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, wenn keine Vorkehrungen getroffen sind, um belastetes Betriebsflächenwasser auffangen und entsorgen zu können.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

### **25.2.3 Sonderabfallverbrennungsanlagen**

#### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Bei der energetischen Verwertung in Sonderabfallverbrennungsanlagen wird kein Verwertungserzeugnis hergestellt, in das Schadstoffe verschleppt und dort angereichert werden.

#### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die im eingesetzten Abfall enthaltenen organischen Schadstoffe werden in der Feuerung weitgehend zerstört. Entsprechend stellen Sonderabfallverbrennungsanlagen eine Senke für die organischen Schadstoffe dar.

Schlacken, Filterstäube und andere Rauschgasreinigungsrückstände, z. B. Salze, werden in Untertagedeponien beseitigt, auf oberirdischen Deponien verwertet oder beseitigt oder im Bergversatz verwertet.

#### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz der Abfälle in der Sonderabfallverbrennung entstehen nur geringe Mengen an zusätzlichen Abfällen (Aschen, Filterstäube), da der Feststoffanteil sowie der Anteil anderer Stoffe gering ist.

Da Schlacken und Filterstäube, insbesondere aber die anfallenden Salze, zu einem großen Teil beseitigt werden, fallen hier nicht verwertbare Abfälle an.

#### **Treibhausgasemissionen**

Der im Abfall enthaltene Kohlenstoff wird zu Kohlendioxid verbrannt. Damit wird der Kohlenstoffanteil des ursprünglichen Abfalls mehr oder minder vollständig in CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Von einigen leichtflüchtigen organischen Lösemitteln ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie können bei Umschlag, Lagerung und Handhabung der organischen Lösemittel, Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen freigesetzt werden.

Durch die Nutzung der im Abfall enthaltenen Energie wird eine entsprechende Menge an Primärbrennstoffen substituiert, d.h. eingespart. Bei der Sonderabfallverbrennungsanlage hängt die tatsächlich eingesparte Menge an Primärbrennstoffen davon ab, wie viel Strom und/oder Wärme konkret erzeugt und ausgekoppelt wird. Die eingesparte Menge an Primärbrennstoff wird mittels einer Gutschrift für Treibhausgasemissionen berücksichtigt. Diese Gutschrift steht den aus der Verbrennung des Abfalls resultierenden Treibhausgasemissionen entgegen.

Der energetische Wirkungsgrad kann bei Feuerungs- sowie Müll- und Sonderabfallverbrennungsanlagen nicht eindeutig bestimmt werden, da er davon abhängig ist, ob nur Strom oder nur Wärme oder beides erzeugt wird. Dies ist je nach Anlage unterschiedlich.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der 17. BImSchV.

Da es sich bei den organischen Lösemitteln i.d.R. um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls zu diffusen Schadstoffemissionen kommen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Es wird davon ausgegangen, dass bei Sonderabfallverbrennungsanlagen kein Abwasser anfällt und damit kein Abwasserpfad besteht.

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz der Abfälle in Sonderabfallverbrennungsanlagen nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Allerdings gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Es wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, sondern aufgefangen und entsorgt werden.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

Sonderabfallverbrennungsanlagen haben den Zweck, Sonderabfälle zu verbrennen. Daher gehen wir davon aus, dass Prozesse, Anlagen und Mitarbeiter für ein sicheres Handling dieser Materialien in besonderem Maße ausgerichtet bzw. geschult sind. Damit wird das Risiko im Vergleich mit anderen Verfahren als geringer eingeschätzt.

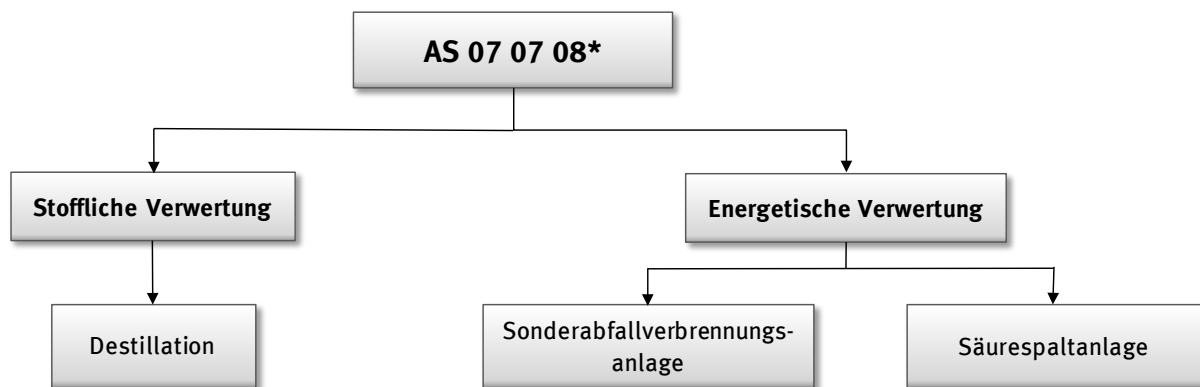
## 26 Verfahrenssteckbrief für AS 070708\* - andere Reaktions- und Destillationsrückstände (HZVA von Feinchemikalien und Chemikalien a. n. g.)

Dieser Abfallart werden nach dem Anhang der Abfallverzeichnis-Verordnung [AVV] alle die Reaktions- und Destillationsrückstände zugeordnet, die bei der Herstellung, der Zubereitung, dem Vertrieb und bei der Anwendung (HZVA) von Feinchemikalien und Chemikalien (a. n. g.) anfallen können.

Abfälle dieser Abfallart enthalten neben den für die Synthese eingesetzten organischen Lösemitteln sowohl Anteile der Synthese-Ausgangsstoffe, der -Zwischenprodukte und -Produkte als auch gegebenenfalls halogenierte Verbindungen als Verunreinigungen. Um welche Lösemittel, Reaktionsedukte/-produkte oder Verunreinigungsstoffe es sich im Einzelnen handelt, ist nicht bekannt. Aus diesem Grund ist es nicht möglich, spezielle Verwertungsverfahren für bestimmte, in den Rückständen enthaltene Lösemittel oder andere Inhaltsstoffe zu benennen und vergleichend zu bewerten.

Für die stoffliche Verwertung von Stoffgemischen, wie Reaktions- und Destillationsrückständen, kommt grundsätzlich die Destillation in Frage, die im Wesentlichen zur Wiedergewinnung einzelner Stoffkomponenten aus Reaktionsrückständen unterschiedlichster Zusammensetzung auch praktiziert wird. Eventuell müssen die Rückstände dazu vorher einer Vorbehandlung, z. B. zur Abtrennung noch enthaltener Feststoffe, unterzogen werden. Die energetische Verwertung der Abfallart erfolgt zunächst zu einem geringeren Teil in Säurespaltanlagen. Auch hier ist unter Umständen eine Vorbehandlung erforderlich, wenn der Abfall zu viel Wasser enthält. Zum anderen wird ein größerer Teil dieser Abfallart in Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt. Ob es sich dabei um eine energetische Verwertung oder thermische Beseitigung handelt, kann nur im Einzelfall auf Basis der nach § 3 Abs. 23 Kreislaufwirtschaftsgesetz [KrWG] erforderlichen Substitutionswirkung der eingesetzten Abfälle – beispielweise in Abhängigkeit von den stofflichen Eigenschaften und dem konkreten Einsatzzweck der Rückstände, von der erzielten Energieeffizienz der Verbrennungsanlage oder vom Substitutionsumfang bzgl. der Primärenergieträger - festgestellt werden. Aus diesem Grund wird die Abfallverbrennung in Sonderabfallverbrennungsanlagen ebenfalls betrachtet und in die Bewertung der Verfahren aufgenommen.

Abbildung 17: Verwertungsschema für die Abfallart AS 070708\*



Eigene Darstellung

Für die vergleichende Bewertung herangezogen werden die Destillation sowie die energetische Verwertung in Sonderabfallverbrennungsanlagen und Säurespaltanlagen, da diese in AIDA als Entsorgungswege in den Jahren 2010 – 2013 aufgeführt werden.

## 26.1 Destillation

Die destillative Trennung der - hier praxisrelevanten - Reaktionsrückstände, also von Stoffgemischen unterschiedlichster organischer Verbindungen und teilweise auch wässrig-gelöster Komponenten, erfolgt in der Regel durch fraktionierte Destillation oder Rektifikation [Reichenspurner 2016, Rematec 2016].

Um bei einzelnen, empfindlichen Stoffkomponenten den Siedepunkt zu senken und damit deren Zersetzung zu vermeiden, wird unter Vakuum destilliert (Vakuumdestillation). Der Energieverbrauch des Destillierens wird damit gesenkt, dafür wird aber zusätzliche Energie für den Betrieb der Vakuumpumpen benötigt. Mit der Vakuumdestillation bzw. -rektifikation können enthaltene organische Stoffkomponenten, w.z. B. Lösemittel, bis zu einem Siedepunkt von 290 °C destilliert werden [Martens 2011, Reichenspurner 2016, Rematec 2016].

Die Beheizung der Destillationsblasen wird üblicherweise mit Thermoöl, Heißwasser oder Dampf durchgeführt [Martens 2011, Rematec 2016].

### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs**

Der Gesamtanteil der bei der Destillation von Reaktionsrückständen im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffe - hier die in den Rückständen jeweils höherkonzentriert enthaltenen, organischen Stoffkomponenten - unterliegt aufgrund der vielfältigen stofflichen und quantitativ sehr unterschiedlichen Zusammensetzung der eingesetzten Rückstände großen Schwankungen. Der durchschnittliche, auf die Abfallart AS 07 07 08\* bezogene Wertstoff-Rückgewinnungsanteil wird daher auf ca. 50 % abgeschätzt, wobei im Einzelfall [Reichenspurner 2016] durchaus auch höhere Anteile erreicht werden können.

### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Da es sich bei den zurückgewonnenen organischen Stoffkomponenten in der Regel um die Destillate handeln wird, kann davon ausgegangen werden, dass Schadstoffverschleppungen nur in geringem Umfang auftreten und keine Schadstoffanreicherung in den Verwertungserzeugnissen „organische Destillationsprodukte“ bzw. „Lösemittel“ erfolgt.

### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Der Hauptanteil der in den Reaktionsrückständen enthaltenen Schadstoffe befindet sich nach deren Destillation im verbleibenden Behandlungsrückstand. Dies stellt eine Aufkonzentration von Schadstoffen dar. Diese Rückstände aus der Destillation werden nach AIDA zum weitaus überwiegenden Teil in Feuerungsanlagen und darüber hinaus in Sonderabfallverbrennungsanlagen sowie in einer Müllverbrennungsanlage verbrannt. Zu einem weiteren geringen Teil werden sie in CPB'n behandelt, wobei ein Teil konditioniert wird, um anschließend einer thermischen Behandlung unterzogen zu werden.

Die Verbrennung stellt eine Schadstoffsенке dar, da die enthaltenen organischen Schadstoffe fast vollständig zerstört werden. Die Behandlung an sich stellt keine Senke dar. Ob es sich um eine Senkenfunktion handelt, hängt von der anschließenden konkreten Entsorgung des Materials ab.

### **Rohstoffbedarf, Betriebsmitteleinsatz etc.**

Aus den vorliegenden Angaben ist nicht ersichtlich, dass zusätzliche Betriebsmittel etc. benötigt werden.

## **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Als Abfall fällt der nach der Destillation der Reaktionsrückstände erhaltene Behandlungsrückstand an. Nach AIDA werden die entstandenen Behandlungsrückstände zum größeren Teil in Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt. Zu einem geringen Teil werden sie auch in CPB'n behandelt und dabei zum Teil verfestigt. Ob es sich bei Verbrennung in einer Sonderabfallverbrennungsanlage um Verwertung oder Beseitigung handelt, kann nicht allgemeingültig gesagt werden. Das gleiche gilt für die in der CPB verfestigten Behandlungsrückstände aus der Destillation. Diese könnten energetisch verwertet oder beseitigt werden. Da dieser Behandlungsrückstand aber bereits im Ausgangsabfall (Reaktionsrückstände) enthalten war, fallen bei der destillativen Aufbereitung keine zusätzlichen nicht verwertbaren Abfälle an.

## **Energie**

Der Energieverbrauch ist beim Destillieren insbesondere von der Wärmekapazität und der Verdampfungswärme der in den Rückständen enthaltenen organischen Stoffkomponenten (w.z. B. Lösemittel) sowie der eingesetzten Destillationstechnik abhängig. Da die in den Abfällen enthaltenen organischen Inhaltsstoffe/Lösemittel nicht bekannt sind, können allgemeingültige Aussagen zum Energieverbrauch nicht getroffen werden. Beispielsweise wird zur Wiedergewinnung von 100 l/h eines reinen Lösemittels (hier: Tetrachlorethen) in Abhängigkeit von der Technik ein Energiebedarf von > 16 kWh bzw. 7 kWh angegeben [Ziermann/Mager 2013]. Zur weiteren Orientierung kann die Summe aus spezifischer Wärmekapazität und Verdampfungswärme dienen. Diese beträgt zum Beispiel für Dimethylketon (Aceton) rund 161 kWh/Mg und für N,N-Dimethylformamid rund 238 kWh/Mg.

## **Treibhausgasemissionen**

Von einigen, in den Rückständen enthaltenen organischen Lösemitteln ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie werden – wenngleich in geringem Umfang – beim Destillieren sowie bei Umschlag und Lagerung des Abfalls freigesetzt. Die nach der Abgasreinigung emittierte Menge kann aufgrund des niedrigen Volumenstroms als gering eingestuft werden [LRA Dachau 2015]. Handelt es sich bei der Abgasreinigung um eine Nachverbrennung [Rematec 2016], können über diesen Pfad nur geringste Mengen an Treibhausgasemissionen entstehen.

Nach AIDA werden die nach der Destillation erhaltenen Behandlungsrückstände zum größeren Teil in Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt. Zu einem geringen Teil werden sie auch in CPB'n behandelt und dabei zum Teil verfestigt.

Bei der Verbrennung in Sonderabfallverbrennungsanlagen wird der in den Behandlungsrückständen enthaltene Kohlenstoff vollständig zu CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Beim Handling der Abfälle in der CPB können potenziell Treibhausgase in geringem Umfang aus dem Abfall freigesetzt werden. Wird der verfestigte Abfall anschließend verbrannt, wird der enthaltene Kohlenstoff vollständig zu CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Neben den direkten Emissionen entstehen auch Treibhausgasemissionen aus dem Energiebedarf (z. B. Strom) des Verwertungsverfahrens.

Außerdem wird in der Regel eine Gutschrift für die nicht erforderliche Neuherstellung von Produkten vergeben. Die Höhe dieser Gutschrift richtet sich nach dem Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs. Die Gutschrift steht den direkten Treibhausgasemissionen und den Emissionen aus dem Energiebedarf des Verwertungsverfahrens entgegen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Mit einer entsprechenden Abgasreinigung können Emissionswerte von 50 mg C/Nm<sup>3</sup> eingehalten werden [UBA 2006a, LRA Dachau 2015, Rematec 2016], so dass in Verbindung mit dem im Vergleich zur Verbrennung geringen Volumenströmen die Schadstofffreisetzungen in die Luft beim Destillieren gering sind.

Da es sich bei den in den Reaktionsrückständen enthaltenen organischen Stoffkomponenten gegebenenfalls auch um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des Behandlungsrückstands aus der Destillation zu geringen diffusen Schadstoffemissionen kommen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Anfallendes Abwasser muss behandelt werden [UBA 2006a] und bestehende Einleitgrenzwerte sind einzuhalten.

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Bei Destillationen gehen wir davon aus, dass es sich um teilautomatisierte Prozesse handelt, und nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Es wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in einen Vorfluter gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Inwieweit die hier relevanten Abfälle in der Abwasserbehandlungsanlage abgebaut bzw. unschädlich gemacht werden, hängt von den jeweiligen Stoffen und der Leistungsfähigkeit der Abwasserbehandlung ab.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

## **26.2 Energetische Verwertung**

Die energetische Verwertung von Reaktions- und Destillationsrückständen aus der HZVA von Feinchemikalien und Chemikalien (a. n. g.) erfolgt in Sonderabfallverbrennungsanlagen und Säurespaltanlagen. Voraussetzung für den Einsatz in diesen Anlagen ist die Einhaltung der jeweils für die Anlage im Genehmigungsbescheid festgelegten Parameter [LUBW 1996].

### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs**

Bei der energetischen Verwertung verbleiben i.d.R. keine Wertstoffe im Wirtschaftskreislauf. Die stoffliche Verwertung ist daher in diesem Punkt i.d.R. besser zu bewerten als die energetische Verwertung.

### **Rohstoffbedarf und/oder Betriebsmitteleinsatz**

Bei den hier betrachteten Verfahren zur energetischen Verwertung von Reaktions- und Destillationsrückständen kommen im Zuge der nachgeschalteten Rauchgasreinigungseinrichtungen Betriebsmittel in geringem Umfang zum Einsatz.

## **Energie**

Der energetische Wirkungsgrad kann Sonderabfallverbrennungsanlagen nicht eindeutig bestimmt werden, da er davon abhängig ist, ob nur Strom oder nur Wärme oder beides erzeugt wird. Dies ist je nach Anlage unterschiedlich.

Allgemein kann im Vergleich untereinander aber festgestellt werden, dass der energetische Netto-Wirkungsgrad beim Abfalleinsatz in einer Säurespaltanlage höher ist, da die erzeugte Wärmeenergie als Spaltenergie direkt im Drehofen genutzt wird. (Gleichwohl zeichnet sich der stark endotherme Säurespaltprozess insgesamt durch einen sehr hohen Gesamt-Energiebedarf von rund 1.770 KWh pro Mg Schwefelsäure [bei 30 M.-% Wasser] aus [Groß 2016].)

### **26.2.1 Sonderabfallverbrennungsanlagen**

#### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Bei der energetischen Verwertung von Reaktions- und Destillationsrückständen in Sonderabfallverbrennungsanlagen wird kein Verwertungserzeugnis hergestellt, in das Schadstoffe verschleppt und dort angereichert werden.

#### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die im eingesetzten Abfall enthaltenen organischen Schadstoffe werden in der Feuerung weitgehend zerstört. Entsprechend stellen Sonderabfallverbrennungsanlagen eine Senke für die organischen Schadstoffe dar.

Schlacken, Filterstäube und andere Rauchgasreinigungsrückstände, z. B. Salze, werden in Untertage-deponien beseitigt, auf oberirdischen Deponien verwertet oder beseitigt oder im Bergversatz verwertet.

#### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz von (organischen) Reaktions- und Destillationsrückständen in der Sonderabfallverbrennung entstehen nur geringe Mengen an zusätzlichen Abfällen (Aschen, Filterstäube), da der Feststoffanteil sowie der Anteil anderer Stoffe gering ist.

Da Schlacken und Filterstäube, insbesondere aber die anfallenden Salze, zu einem großen Teil beseitigt werden, fallen hier nicht verwertbare Abfälle an.

#### **Treibhausgasemissionen**

Der im Abfall enthaltene Kohlenstoff wird zu Kohlendioxid verbrannt. Damit wird der Kohlenstoffanteil des ursprünglichen Abfalls mehr oder minder vollständig in CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Von einigen, in den Reaktions- und Destillationsrückständen enthaltenen organischen Lösemitteln ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie können bei Umschlag, Lagerung und Handhabung der (organischen) Reaktions- und Destillationsrückstände freigesetzt werden.

Durch die Nutzung der im Abfall enthaltenen Energie wird eine entsprechende Menge an Primärbrennstoffen substituiert, d.h. eingespart. Bei der Sonderabfallverbrennungsanlage hängt die tatsächlich eingesparte Menge an Primärbrennstoffen davon ab, wie viel Strom und/oder Wärme konkret erzeugt und ausgekoppelt wird. Die eingesparte Menge an Primärbrennstoff wird mittels einer Gutschrift für Treibhausgasemissionen berücksichtigt. Diese Gutschrift steht den aus der Verbrennung des Abfalls resultierenden Treibhausgasemissionen entgegen.

Der energetische Wirkungsgrad kann bei Feuerungs- sowie Müll- und Sonderabfallverbrennungsanlagen nicht eindeutig bestimmt werden, da er davon abhängig ist, ob nur Strom oder nur Wärme oder beides erzeugt wird. Dies ist je nach Anlage unterschiedlich.

#### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der 23. BImSchV.

Da es sich bei den in den Reaktions- und Destillationsrückständen enthaltenen organischen Stoffkomponenten gegebenenfalls auch um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls zu geringen diffusen Schadstoffemissionen kommen.

#### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Es wird davon ausgegangen, dass bei Sonderabfallverbrennungsanlagen kein Abwasser anfällt und damit kein Abwasserpfad besteht.

#### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz von Reaktions- und Destillationsrückständen in Sonderabfallverbrennungsanlagen nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Allerdings gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Ferner wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in einen Vorfluter gelangen können, sondern aufgefangen und entsorgt werden.

Wenn Flächen auf denen Reaktions- und Destillationsrückstände gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

#### **26.2.2 Säurespaltanlagen**

Neben signifikant schwefelhaltigen Abfällen (in erster Linie Abfallschwefelsäuren aber auch Teersäuren aus der Erdgas-, Öl- und Altölaufbereitung sowie aus der Kohleveredelung) als Rohstoffträger werden den endothermen Prozessen der Säurespaltanlagen auch heizwertreiche Abfälle als (Sekundär-)Energieträger zugeführt. Hierzu zählen neben Altölen verschiedener Herkunft auch die flüssigen Reaktions- und Destillationsrückstände des AS 070708\*.

Bei dem im Rahmen dieser Untersuchung praxisrelevantem Säurespaltverfahren werden die Reaktions- und Destillationsrückstände, Altöle sowie Abfallschwefelsäuren und flüssiger Schwefel in den freien Gasraum des Spaltreaktors eingedüst, während zähflüssige Säureteere über Säurelanzen bzw. feinkörniger fester Schwefel über eine Rutsche mittels Luft auf ein im Reaktor (Drehofen) befindliches Koksbed aufgebracht werden. Durch die Verbrennung der eingebrachten Rohstoff- und Energieträger werden im Drehofen Temperaturen von rund 950°C erreicht [Schulte 2009].

(Im Zuge des eigentlichen Hauptprozesses werden unter den im Drehofen herrschenden reduzierenden Bedingungen Schwefelverbindungen zu SO<sub>2</sub> und Kohlenwasserstoff-Verbindungen zu CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O überführt, wobei auch Ruß anfallen kann. Das schwefeldioxidhaltige Produktgas aus dem Drehofen durchläuft eine mehrstufige Nachverbrennung und wird im Abhitzeessel und nachgeschalteten Waschtürmen abgekühlt. Das im gekühlten Gas enthaltene SO<sub>2</sub> wird in einer Anlage durch Absorption und Desorption aus dem Gas in reiner Form abgetrennt und verflüssigt [Schulte 2009].)



Da die hier interessierenden Reaktions- und Destillationsrückstände zwar einerseits geringe bis sehr geringe Schwefelgehalte (0,01 – 2,0 M.-%) aufweisen, andererseits aber über sehr beachtliche Energieinhalte (Heizwerte bis maximal 38.000 kJ/kg) verfügen [ABANDA 2016], liegt der Fokus beim Einsatz dieser Reaktions- und Destillationsrückstände in erster Linie auf der Substitution von anderen Energieträgern, die sonst zur Generierung der erforderlichen Wärme für den Ablauf der endothermen Reaktion als auch für die Kompensation von Wärmeverlusten im Spaltofen hätten aufgewendet werden müssen.

Dem hauptsächlichsten Einsatzzweck der Abfälle folgend, wird der Einsatz von Rückständen des AS 070708\* in Säurespaltanlagen prioritär als energetische Verwertungsmaßnahme eingestuft.

### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Bei der energetischen Verwertung von Reaktions- und Destillationsrückständen in Säurespaltanlagen wird kein Verwertungserzeugnis (Schwefeldioxid) hergestellt, in das Schadstoffe verschleppt und dort angereichert werden [Groß 2016].

### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die im eingesetzten Abfall enthaltenen organischen Schadstoffe werden beim Einsatz in Säurespaltanlagen weitgehend zerstört. Entsprechend stellt der oxidative Säurespaltprozess eine Senke für die organischen Schadstoffe dar [Groß 2016].

Hinsichtlich des im Rahmen dieser Untersuchung betrachteten Säurespaltverfahrens ist noch zu ergänzen, dass sich im - durch die thermischen Umsetzungsprozesse im Koksbett - gebildeten Koksgrus nahezu alle über die Rohstoff- und Energieträger in den Spaltprozess eingebrachten Aschebildner bzw. Aschen anreichern. Dieser Koksgrus wird bei Überschuss aus dem Spaltreaktor abgezogen und kann in (externen) Feuerungs- oder Verbrennungsanlagen energetisch verwertet oder thermisch entsorgt werden [Schulte 2009].

Die Rauchgasreinigungsrückstände (Filterstäube) und Abwasserschlämme (chemisch-physikalisch behandelte Abwasserteilströme aus der Nasswäsche) werden überwiegend auf oberirdischen Depo-nien beseitigt.

### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz von Reaktions- und Destillationsrückständen in Säurespaltanlagen entstehen gewisse Mengen an zusätzlichen Abfällen, insbesondere Filterstäube aus der Rohgasreinigung und Schlämme aus der Abwasserbehandlung (chemisch-physikalisch behandelte Abwasserteilströme aus der Nasswäsche). In Abhängigkeit vom jeweiligen Einzelfall werden die anfallenden Filterstäube auch wieder dem Säurespaltprozess zugesetzt [UBA 2007].

Da Filterstäube und behandelte Abwasserreinigungsschlämme zu einem großen Teil beseitigt werden, fallen hier nicht verwertbare Abfälle an.

(Da Reaktions- und Destillationsrückstände in der Regel nur äußerst geringe Anteile an Aschebildnern [z. B. Metallverbindungen oder anorganische Feststoffbestandteile] aufweisen, ist ihr Beitrag an den im Koksgrusaustrag enthaltenen Aschen im Rahmen dieser Betrachtung zu vernachlässigen.)

### **Treibhausgasemissionen**

Der im Abfall enthaltene Kohlenstoff wird zu Kohlendioxid verbrannt. Damit wird der Kohlenstoffanteil des ursprünglichen Abfalls mehr oder minder vollständig in CO<sub>2</sub> umgesetzt [Groß 2016].

Von einigen, in den Reaktions- und Destillationsrückständen enthaltenen organischen Lösemitteln ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie können bei Umschlag, Lagerung und Handhabung der (organischen) Reaktions- und Destillationsrückstände freigesetzt werden.

Neben den direkten Emissionen entstehen auch Treibhausgasemissionen aus dem Energiebedarf (z. B. Strom) des Verwertungsverfahrens.

Außerdem wird in der Regel eine Gutschrift für die nicht erforderliche Neuherstellung von Produkten vergeben. Die Höhe dieser Gutschrift richtet sich nach dem Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs. Die Gutschrift steht den direkten Treibhausgasemissionen und den Emissionen aus dem Energiebedarf des Verwertungsverfahrens entgegen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen (Trockene Abscheider und Nasswäscher) gemindert. Für die Emissionen aus Anlagen der Schwefeldioxid-Herstellung gelten zunächst die Begrenzungen der Nr. 5.4.4.1 m.2 der TA Luft; für die Mitverbrennung von Reaktions- und Destillationsrückständen in diesen Anlagen darüber hinaus die Bestimmungen und Grenzwerte der Anlage 3 Nr. 2 der 17. BImSchV.

Da es sich bei den in den Reaktions- und Destillationsrückständen enthaltenen organischen Lösemitteln gegebenenfalls auch um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls zu geringen diffusen Schadstoffemissionen kommen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Emissionen ins Wasser (Abwasserteilströme aus der Nasswäsche) werden durch Abwasserreinigungsverfahren verringert [UBA 2007] und müssen die jeweils festgelegten Einleitgrenzwerte einhalten.

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz von Reaktions- und Destillationsrückständen in Säurespaltanlagen nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Allerdings gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Weiterhin wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Betriebsstoffe und Abfälle nicht direkt in einen Vorfluter gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Inwieweit die hier relevanten Betriebsstoffe und Abfälle in der Abwasserbehandlungsanlage abgebaut bzw. unschädlich gemacht werden, hängt von den jeweiligen Stoffen und der Leistungsfähigkeit der Abwasserbehandlung ab.

Wenn Flächen auf denen Reaktions- und Destillationsrückstände gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

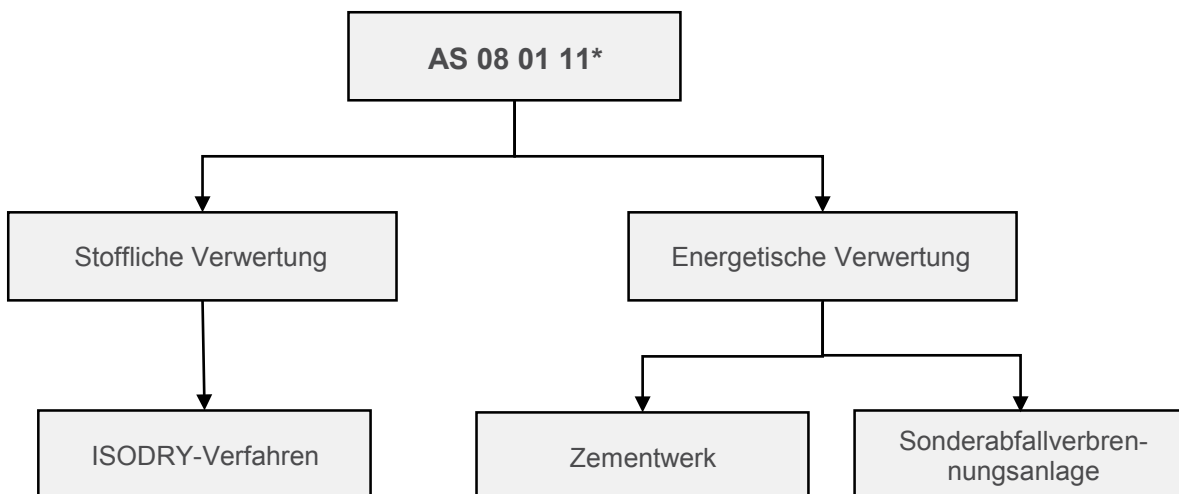
## 27 Verfahrenssteckbrief für AS 080111\* - Farb- und Lackabfälle, die organische Lösemittel oder andere gefährliche Stoffe enthalten (HZVA und Entfernung von Farben und Lacken)

Unter diese Abfallart fallen nicht ausgehärtete Farb- und Lackabfälle aus der Herstellung oder Anwendung dieser Produkte. Neben den anorganischen oder organischen Farbpigmenten sowie den Füllstoffen sind mit Anteilen von 30-55 % organische Lösemittel in Farben und Lacken enthalten. Als organische Lösemittel werden aliphatische oder aromatische Kohlenwasserstoffe eingesetzt. Außerdem werden Alkohole, Ketone, Ester und Ether als Lösemittel verwendet. Bei bläuewidrigen Anstrichmitteln sind Biozide bis zu ca. 1 % zugesetzt. Die Gefahrenmerkmale der Farben und Lacke gehen dabei in der Regel von den Lösemitteln aus, so dass die lösemittelhaltigen Produkte nach dem Globalen Harmonisierten System (GHS)<sup>1</sup> häufig als entzündlich mit H3A oder leicht entzündlich H3B (früher R 30) und ökotoxisch mit H14 (früher R 58 umweltgefährlich) eingestuft werden (EU 2008).

Für die stoffliche Verwertung von lösemittelhaltigen Farb- und Lackgemischen kommt das kombinierte Konditionierungs-Trocknungsverfahren ISODRY zum Einsatz. Die energetische Verwertung findet sowohl in Zementwerken als auch in Sonderabfallverbrennungsanlagen statt. Ob es sich dabei um eine energetische Verwertung oder thermische Beseitigung handelt, kann nur im Einzelfall auf Basis der nach § 3 Abs. 23 Kreislaufwirtschaftsgesetz [KrWG] erforderlichen Substitutionswirkung der eingesetzten Abfälle – beispielweise in Abhängigkeit von den stofflichen Eigenschaften und dem konkreten Einsatzzweck der Rückstände, von der erzielten Energieeffizienz der Verbrennungsanlage oder vom Substitutionsumfang bzgl. der Primärenergieträger - festgestellt werden. Aus diesem Grund wird die Abfallverbrennung in Sonderabfallverbrennungsanlagen ebenfalls betrachtet und in die Bewertung der Verfahren aufgenommen.

Das Schema der stofflichen oder energetischen Verwertung zeigt die folgende Abbildung:

Abbildung 18: Verwertungsschema für die Abfallart AS 080111\*



Eigene Darstellung

Für die vergleichende Bewertung herangezogen werden die energetische Verwertung in Zementwerken sowie in Sonderabfallverbrennungsanlagen, da diese in AIDA als Entsorgungswege in den Jahren 2010 – 2013 durchgängig aufgeführt werden. Hinzugenommen wird das ISODRY-Verfahren, da diese

<sup>1</sup> englisch: Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS)

Verfahrenstechnik in der Praxis ebenfalls als stofflicher Verwertungsweg angeboten und besprochen wird [Rematec 2016].

## 27.1 Stoffliche Verwertung

### 27.1.1 ISODRY-Verfahren

Die Firma Rematec/ Chemische Werke Kluthe GmbH betreibt am Standort Mügeln/ Sachsen seit 1993 eine Anlage zur Lagerung und Behandlung (stofflichen Verwertung) von Altlacken, Altfarben, Lackschlämmen und Lackkoagulaten bzw. von verschmutzten organischen, nicht halogenierten Lösemitteln.

Die Aufbereitungskapazität der Anlage beträgt 50 t/ Tag für Altlacke/ Altfarben, Lackschlämme und Lackoagulate bzw. 50 t/ Tag für verschmutzte organische, nicht halogenierte Lösemittel [Rematec 2016].

Das ISODRY-Verfahren steht aus den Hauptverfahrensstufen Lackschlamm Trocknung (Vakuumschau-feltrockner und Scheibentrockner, jeweils mit Kühler und Destillatvorlagen), Blasendestillation, Absiebstation, Konditioniereinrichtung, Pelletier- und Pulveraufbereitungsanlage.

Es zeigte sich, dass Farb- und Lackabfälle beim Trocknungsprozess eine zähpastöse Phase durchlaufen. Gegen Ende der Trocknung entstehen im Trockner stark anhaftende, harte Agglomerate, bestehend aus den ausgehärteten Bindemitteln in Verbindung mit den Pigmenten und Füllstoffen der Lacke. Die Trocknung war somit nur unter sehr hohem apparativem Aufwand, mit erheblichem Energie-Einsatz und geringen Durchsatzmengen möglich. Um diese Schwierigkeiten zu überwinden, wurde ein kombiniertes Konditionierungs-Trocknungsverfahren entwickelt – das **ISODRY-Verfahren**. Durch diesen Prozess wird es möglich, mit herkömmlichen Trocknern zu arbeiten. Die kritische, zähpastöse Phase wird überwunden, und außerdem wird durch die gleichzeitig erreichte Vergrößerung der Oberfläche des kompakten Lackkoagulats eine deutliche Steigerung der Verdampfungsleistung der flüchtigen Bestandteile erreicht. Das Trockengut fällt am Ende des Prozesses als rieselfähiges Material an. Die bei der Trocknung anfallenden flüchtigen Bestandteile bestehen aus einem Lösemittel-Wassergemisch. In einer ersten Stufe wird das Lösemittel abgetrennt und nach einer nochmaligen Feindestillation als Wertstoff gewonnen. Das Wasser, das noch geringe Mengen Lösemittel enthält, wird einer weiteren Reinigung unterzogen und dient aufgrund des Gehalts an Alkoholen und Glykolethern als Rohstoff. Das Trockengut, bestehend aus dem energiereichen Bindemittel (ca. 25.000 kJ/kg), den Füllstoffen – wie Talkum, Dolomit, Kaolin, Bentone und Aerosil – und den Pigmenten und wird auf definierte Korngrößen gemahlen. Einige Zementwerke haben ebenfalls die technischen Voraussetzungen, das Trockengut sowohl als Energieträger als auch die Füllstoffe zur Anreicherung der im Zement benötigten Verbindungen zu nutzen

#### Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs

Der Gesamtanteil der bei dem ISODRY-Verfahren im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffe - hier die in den Farb- und Lackrückständen jeweils enthaltenen Füllstoffe, wie Talkum, Dolomit, Kaolin, Bentone und Aerosil sowie den Pigmenten unterliegt aufgrund der vielfältigen stofflichen und quantitativ sehr unterschiedlichen Zusammensetzung der eingesetzten Rückstände großen Schwankungen. Der durchschnittliche, auf die Abfallart AS 08 01 11\* bezogene Wertstoff-Rückgewinnungsanteil des ISODRY-Verfahrens wird daher auf ca. 30-40 % abgeschätzt, wobei im Einzelfall durchaus auch höhere Anteile erreicht werden können.

#### Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis

Da es sich bei den zurückgewonnenen Farb- und Lackanteilen v.a. um die anorganischen Stoffkomponenten handelt, kann davon ausgegangen werden, dass Schadstoffverschleppungen nur in geringem

Umfang auftreten und keine Schadstoffanreicherung in den Verwertungserzeugnissen „pelletiertes Trockengut“ erfolgt.

### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Der Hauptanteil der in den Farb- und Lackabfällen enthaltenen Schadstoffe befindet sich nach deren Trocknung und Destillation im verbleibenden Behandlungsrückstand. Dies stellt eine Aufkonzentration von Schadstoffen dar. Diese Rückstände aus der Destillation werden nach AIDA zum überwiegenden Teil in Feuerungsanlagen, Sonderabfallverbrennungsanlagen, Zementwerken sowie in einer Klärschlammverbrennungsanlage verbrannt. Zu einem geringen Teil werden sie in CPB'n behandelt, wobei ein Teil konditioniert wird, um anschließend einer thermischen Behandlung unterzogen zu werden.

Die Verbrennung stellt eine Schadstoffsenke dar, da die enthaltenen organischen Schadstoffe fast vollständig zerstört werden. Die Behandlung an sich stellt keine Senke dar. Ob es sich um eine Senkenfunktion handelt, hängt von der anschließenden konkreten Entsorgung des Materials ab.

### **Rohstoffbedarf, Betriebsmitteleinsatz etc.**

Aus den vorliegenden Angaben ist nicht ersichtlich, dass zusätzliche Betriebsmittel etc. benötigt werden.

### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Es fallen keine weiteren Abfälle beim ISODRY-Verfahren an.

### **Energie**

Der Energieverbrauch ist beim ISODRY-Verfahren in den beiden Verfahrensschritten Trocknung und Destillation insbesondere von der Wärmekapazität und der Verdampfungswärme der in den Rückständen enthaltenen organischen Stoffkomponenten (wie z. B. Lösemittel) abhängig. Da die in den Abfällen enthaltenen organischen Inhaltsstoffe/ Lösemittel nicht bekannt sind, können allgemeingültige Aussagen zum Energieverbrauch nicht getroffen werden. Beispielsweise wird zur Wiedergewinnung von 100 l/h eines reinen Lösemittels (hier: Tetrachlorethen) in Abhängigkeit von der Technik ein Energiebedarf von > 16 kWh bzw. 7 kWh angegeben [Ziermann/Mager 2013]. Zur weiteren Orientierung kann die Summe aus spezifischer Wärmekapazität und Verdampfungswärme dienen. Diese beträgt zum Beispiel für Dimethylketon (Aceton) rund 161 kWh/Mg und für N,N-Dimethylformamid rund 238 kWh/Mg.

### **Treibhausgasemissionen**

Von einigen, in den Rückständen enthaltenen organischen Lösemitteln ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie werden – wenngleich in geringem Umfang – beim Destillieren sowie bei Umschlag und Lagerung des Abfalls freigesetzt. Die nach der Abgasreinigung emittierte Menge kann aufgrund des niedrigen Volumenstroms als gering eingestuft werden [LRA Dachau 2015]. Handelt es sich bei der Abgasreinigung um eine Nachverbrennung [Rematec 2016], können über diesen Pfad nur geringste Mengen an Treibhausgasemissionen entstehen.

Neben den direkten Emissionen entstehen auch Treibhausgasemissionen aus dem Energiebedarf (z. B. Strom) des Verwertungsverfahrens.

Außerdem wird in der Regel eine Gutschrift für die nicht erforderliche Neuherstellung von Produkten vergeben. Die Höhe dieser Gutschrift richtet sich nach dem Anteil des im Wirtschaftskreislauf verblei-

benden Wertstoffs. Die Gutschrift steht den direkten Treibhausgasemissionen und den Emissionen aus dem Energiebedarf des Verwertungsverfahrens entgegen.

#### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Mit einer entsprechenden Abgasreinigung können Emissionswerte von 50 mg C/Nm<sup>3</sup> eingehalten werden [UBA 2006a, LRA Dachau 2015, Rematec 2016], so dass in Verbindung mit dem im Vergleich zur Verbrennung geringen Volumenströmen die Schadstofffreisetzungen in die Luft beim Destillieren gering sind.

Da es sich bei den in den Farb- und Lackabfällen enthaltenen organischen Stoffkomponenten gegebenenfalls auch um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des Behandlungsrückstands aus der Destillation zu geringen diffusen Schadstoffemissionen kommen.

#### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Anfallendes Abwasser muss behandelt werden [UBA 2006a] und bestehende Einleitgrenzwerte sind einzuhalten.

#### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Bei Destillationen gehen wir davon aus, dass es sich um teilautomatisierte Prozesse handelt, und nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Es wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in einen Vorfluter gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Inwieweit die hier relevanten Abfälle in der Abwasserbehandlungsanlage abgebaut bzw. unschädlich gemacht werden, hängt von den jeweiligen Stoffen und der Leistungsfähigkeit der Abwasserbehandlung ab.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

## **27.2 Energetische Verwertung**

Die energetische Verwertung von Farb- und Lackabfällen, die organische Lösemittel oder andere gefährliche Stoffe enthalten (HZVA und Entfernung von Farben und Lacken - AS 08 01 11) erfolgt in Zementwerken und Sonderabfallverbrennungsanlagen. Voraussetzung für den Einsatz in diesen Anlagen ist die Einhaltung der jeweils für die Anlage im Genehmigungsbescheid festgelegten Parameter [LUBW 1996].

#### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs**

Bei der energetischen Verwertung verbleiben i.d.R. keine Wertstoffe im Wirtschaftskreislauf. Die stoffliche Verwertung ist daher in diesem Punkt i.d.R. besser zu bewerten als die energetische Verwertung.

#### **Rohstoffbedarf und/oder Betriebsmitteleinsatz**

Bei allen hier betrachteten Verfahren zur energetischen Verwertung von Farb- und Lackabfällen kommen im Zuge der nachgeschalteten Rauchgasreinigungseinrichtungen Betriebsmittel in geringem Umfang zum Einsatz.

## **Energie**

Der energetische Wirkungsgrad kann bei Sonderabfallverbrennungsanlagen nicht eindeutig bestimmt werden, da er davon abhängig ist, ob nur Strom oder nur Wärme oder beides erzeugt wird. Dies ist je nach Anlage unterschiedlich. Allgemein kann im Vergleich untereinander aber festgestellt werden, dass der energetische Netto-Wirkungsgrad beim Abfalleinsatz in einem Zementwerk am höchsten ist, da die erzeugte Wärmeenergie direkt im Drehofen genutzt wird.

### **27.2.1 Zementwerk**

#### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Organische Lösemittel werden bei der Verbrennung zerstört. Je nach Abfallzusammensetzung kann aber nicht ausgeschlossen werden, dass andere, nicht zerstörte v.a. anorganische Schadstoffe aus den Farb- und Lackabfällen verbleiben und dann ins Produkt (Zement) gelangen.

#### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die in den eingesetzten Farb- und Lackabfällen enthaltenen organischen Schadstoffe werden beim Einsatz im Zementwerk weitgehend zerstört. Entsprechend stellt das Zementwerk eine Senke für die organischen Schadstoffe dar.

#### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz von Farb- und Lackabfällen im Zementwerk entstehen nur geringe Mengen an zusätzlichen Abfällen, insbesondere Filterstäube, da der Feststoffanteil gering ist. Die Filterstäube können dem Klinker beigegeben oder an anderer Stelle dem Prozess wieder zugeführt werden [Davids/Lange 1986].

#### **Treibhausgasemissionen**

Der in den Farb- und Lackabfällen enthaltene Kohlenstoff wird zu Kohlendioxid verbrannt. Damit wird der Kohlenstoffanteil des ursprünglichen Abfalls mehr oder minder vollständig in CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Von einigen leichtflüchtigen organischen Lösemitteln ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie können bei Umschlag, Lagerung und Handhabung der Farb- und Lackabfälle freigesetzt werden.

Der eingesetzte Abfall ersetzt eine, seinem Heizwert entsprechende Menge an Primärbrennstoff, der dann nicht verbrannt wird. Für diese Substitution des Primärbrennstoffs wird eine Gutschrift erteilt, die dem Kohlendioxid (Lastschrift) aus der Verbrennung des Abfalls entgegensteht bzw. diese Lastschrift übertrifft.

#### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der Anlage 3 Nr. 2 der 17. BImSchV.

Da es sich bei den organischen Lösemitteln i.d.R. um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls zu diffusen Schadstoffemissionen kommen.

#### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

In der Zementindustrie sind nassarbeitende Abgasreinigungsanlagen nicht im Einsatz [Davids/Lange 1986]. Zementwerke besitzen daher i.d.R. keine spezielle Abwasserreinigung bzw. keinen Wasserpfad, so dass keine Schadstofffreisetzung ins Wasser erfolgt.

## **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz der Abfälle in Zementwerken nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Allerdings gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Da Zementwerke i.d.R. nicht über eine spezielle Abwasserbehandlung verfügen, wird davon ausgegangen, dass hier ein erhöhtes Risiko besteht, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle, z. B. bei Regen, direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, wenn keine Vorkehrungen getroffen sind, um belastetes Betriebsflächenwasser auffangen und entsorgen zu können.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

### **27.2.2 Sonderabfallverbrennungsanlagen**

#### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Bei der energetischen Verwertung von Farb- und Lackabfällen in Sonderabfallverbrennungsanlagen wird kein Verwertungserzeugnis hergestellt, in das Schadstoffe verschleppt und dort angereichert werden.

#### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die im eingesetzten Abfall enthaltenen organischen Schadstoffe werden in der Feuerung weitgehend zerstört. Entsprechend stellen Sonderabfallverbrennungsanlagen eine Senke für die organischen Schadstoffe dar.

Schlacken, Filterstäube und andere Rauchgasreinigungsrückstände, z. B. Salze, werden in Untertage- deponien beseitigt, auf oberirdischen Deponien verwertet oder beseitigt oder im Bergversatz verwertet.

#### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz von Farb- und Lackabfällen in der Sonderabfallverbrennung entstehen nur geringe Mengen an zusätzlichen Abfällen (Aschen, Filterstäube), da der Feststoffanteil sowie der Anteil anderer Stoffe gering ist.

Da Schlacken und Filterstäube, insbesondere aber die anfallenden Salze, zu einem großen Teil beseitigt werden, fallen hier nicht verwertbare Abfälle an.

#### **Treibhausgasemissionen**

Der im Abfall enthaltene Kohlenstoff wird zu Kohlendioxid verbrannt. Damit wird der Kohlenstoffanteil des ursprünglichen Abfalls mehr oder minder vollständig in CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Von einigen, in den Farb- und Lackabfällen enthaltenen organischen Lösemitteln ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie können bei Umschlag, Lagerung und Handhabung der Abfälle freigesetzt werden.

Durch die Nutzung der im Abfall enthaltenen Energie wird eine entsprechende Menge an Primärbrennstoffen substituiert, d.h. eingespart. Bei der Sonderabfallverbrennungsanlage hängt die tat-



sächlich eingesparte Menge an Primärbrennstoffen davon ab, wie viel Strom und/oder Wärme konkret erzeugt und ausgekoppelt wird. Die eingesparte Menge an Primärbrennstoff wird mittels einer Gutschrift für Treibhausgasemissionen berücksichtigt. Diese Gutschrift steht den aus der Verbrennung des Abfalls resultierenden Treibhausgasemissionen entgegen.

Der energetische Wirkungsgrad kann bei Feuerungs- sowie Müll- und Sonderabfallverbrennungsanlagen nicht eindeutig bestimmt werden, da er davon abhängig ist, ob nur Strom oder nur Wärme oder beides erzeugt wird. Dies ist je nach Anlage unterschiedlich.

#### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der 17. BImSchV.

Da es sich bei den in den Farb- und Lackabfällen enthaltenen organischen Stoffkomponenten gegebenenfalls auch um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls zu geringen diffusen Schadstoffemissionen kommen.

#### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Es wird davon ausgegangen, dass bei Sonderabfallverbrennungsanlagen kein Abwasser anfällt und damit kein Abwasserpfad besteht.

#### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz von Farb- und Lackabfällen in Sonderabfallverbrennungsanlagen nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Allerdings gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Ferner wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in einen Vorfluter gelangen können, sondern aufgefangen und entsorgt werden.

Wenn Flächen auf denen Farb- und Lackabfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

## 28 Verfahrenssteckbrief für AS 080113\* - Farb- oder Lackschlämme, die organische Lösemittel oder andere gefährliche Stoffe enthalten (HZVA und Entfernung von Farben und Lacken)

Wässrige Farb- oder Lackschlämme fallen in der Regel bei der Koagulation farbverschmutzter Wasch- und Spülwässer aus Reinigungsvorgängen an. Diese Schlämme sind im Allgemeinen nicht entwässert, sondern sedimentiert und weisen einen Feststoffanteil von ca. 5 % auf. Wird das Wasser der Farbauffangsysteme im Kreislauf geführt, werden häufig Biozide zugesetzt. Die eingesetzten Koagulationsmittel sind nicht gefährlich und die enthaltenen Biozide liegen nicht in relevanten Konzentrationen vor. Die gefahrenrelevanten Eigenschaften des Abfalls gehen in der Regel auf die enthaltenen Lösemittel zurück, die jedoch in der Regel in Gehalten von unter 5 % vorliegen. Der Abfall besteht hauptsächlich aus Wasser und der Flammpunkt liegt oft oberhalb von 55° C. In einigen Fällen konnten auch Flammpunkte zwischen 21°C und 55°C festgestellt werden. Die Gefahrenmerkmale der Farb- und Lackschlämme gehen dabei in der Regel von den Lösemitteln aus, so dass die lösemittelhaltigen Produkte nach GHS häufig als entzündlich mit H3A oder leicht entzündlich H3B und ökotoxisch mit H14 eingestuft werden (EU 2008).

Für die Behandlung von Farb- und Lackschlämmen, die organische Lösemittel oder andere gefährliche Stoffe enthalten kommt nur die Entsorgung in der Sonderabfallverbrennung in Betracht.

### 28.1 Sonderabfallverbrennungsanlagen

#### Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs

Bei der SAV verbleiben i.d.R. keine Wertstoffe im Wirtschaftskreislauf. Die stoffliche Verwertung ist daher in diesem Punkt i.d.R. besser zu bewerten als die energetische Verwertung.

#### Rohstoffbedarf und/oder Betriebsmitteleinsatz

Bei der SAV kommen im Zuge der nachgeschalteten Rauchgasreinigungseinrichtungen Betriebsmittel in geringem Umfang zum Einsatz.

#### Energie

Der energetische Wirkungsgrad kann bei Sonderabfallverbrennungsanlagen nicht eindeutig bestimmt werden, da er davon abhängig ist, ob nur Strom oder nur Wärme oder beides erzeugt wird. Dies ist je nach Anlage unterschiedlich.

#### Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis

Bei der energetischen Verwertung von Farb- und Lackschlämmen, die organische Lösemittel oder andere gefährliche Stoffe enthalten in Sonderabfallverbrennungsanlagen wird kein Verwertungserzeugnis hergestellt, in das Schadstoffe verschleppt und dort angereichert werden.

#### Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen

Die im eingesetzten Abfall enthaltenen organischen Schadstoffe werden in der Feuerung weitgehend zerstört. Entsprechend stellen Sonderabfallverbrennungsanlagen eine Senke für die organischen Schadstoffe dar.

Schlacken, Filterstäube und andere Rauchgasreinigungsrückstände, z. B. Salze, werden in Untertagedeponien beseitigt, auf oberirdischen Deponien verwertet oder beseitigt oder im Bergversatz verwertet.

### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz von Farb- und Lachsclämmen, die organische Lösemittel oder andere gefährliche Stoffe enthalten in der Sonderabfallverbrennung entstehen nur geringe Mengen an zusätzlichen Abfällen (Aschen, Filterstäube), da der Feststoffanteil sowie der Anteil anderer Stoffe gering ist.

Da Schlacken und Filterstäube, insbesondere aber die anfallenden Salze, zu einem großen Teil beseitigt werden, fallen hier nicht verwertbare Abfälle an.

### **Treibhausgasemissionen**

Der im Abfall enthaltene Kohlenstoff wird zu Kohlendioxid verbrannt. Damit wird der Kohlenstoffanteil des ursprünglichen Abfalls mehr oder minder vollständig in CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Von einigen, in den Farb- und Lachsclämmen enthaltenen organischen Lösemitteln ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie können bei Umschlag, Lagerung und Handhabung der (organischen) Farb- und Lachsclämme freigesetzt werden.

Durch die Nutzung der im Abfall enthaltenen Energie wird eine entsprechende Menge an Primärbrennstoffen substituiert, d.h. eingespart. Bei der Sonderabfallverbrennungsanlage hängt die tatsächlich eingesparte Menge an Primärbrennstoffen davon ab, wie viel Strom und/oder Wärme konkret erzeugt und ausgekoppelt wird. Die eingesparte Menge an Primärbrennstoff wird mittels einer Gutschrift für Treibhausgasemissionen berücksichtigt. Diese Gutschrift steht den aus der Verbrennung des Abfalls resultierenden Treibhausgasemissionen entgegen.

Der energetische Wirkungsgrad kann bei Feuerungs- sowie Müll- und Sonderabfallverbrennungsanlagen nicht eindeutig bestimmt werden, da er davon abhängig ist, ob nur Strom oder nur Wärme oder beides erzeugt wird. Dies ist je nach Anlage unterschiedlich.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der 17. BImSchV.

Da es sich bei den in den Farb- und Lachsclämmen enthaltenen organischen Stoffkomponenten gegebenenfalls auch um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls zu geringen diffusen Schadstoffemissionen kommen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Es wird davon ausgegangen, dass bei Sonderabfallverbrennungsanlagen kein Abwasser anfällt und damit kein Abwasserpfad besteht.

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz von Farb- und Lachsclämmen, die organische Lösemittel oder andere gefährliche Stoffe enthalten in Sonderabfallverbrennungsanlagen nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Allerdings gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Ferner wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in einen Vorfluter gelangen können, sondern aufgefangen und entsorgt werden.

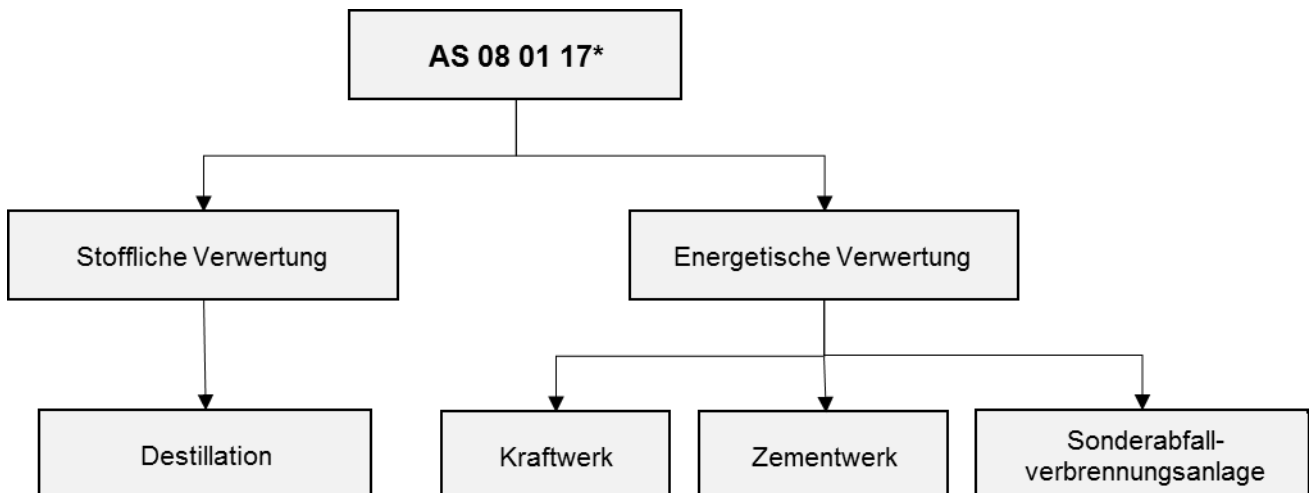
Wenn Flächen auf denen Farb- und Lachsclämmen gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

## 29 Verfahrenssteckbrief für AS 080117\* - Abfälle aus der Farb- oder Lackentfernung, die organische Lösemittel oder andere gefährliche Stoffe enthalten (HZVA und Entfernung von Farben und Lacken)

Je nach Entlackungsverfahren können sehr unterschiedliche Abfälle aus der Farb- und Lackentfernung anfallen. Die relevanten Gefahrenmerkmale werden hier im Allgemeinen durch die bei einigen Verfahren eingesetzten organischen Lösemittel verursacht. Der Abfall ist daher als entzündlich bzw. leicht entzündlich einzustufen

Für die stoffliche Verwertung von Abfällen aus der Farb- und Lackentfernung kommt grundsätzlich die Destillation in Frage, die im Wesentlichen zur Wiedergewinnung einzelner Stoffkomponenten aus diesen Rückständen unterschiedlichster Zusammensetzung auch praktiziert wird. Eventuell müssen die Rückstände der Farb- und Lackentfernung dazu vorher einer Vorbehandlung, z. B. zur Abtrennung noch enthaltener Feststoffe, unterzogen werden. Die energetische Verwertung der Abfälle aus der Farb- und Lackentfernung erfolgt zum größten Teil in Kraftwerksfeuerungen und in Zementwerken. Auch hier ist unter Umständen eine Vorbehandlung erforderlich, wenn der Abfall zu viel Wasser enthält. Zum anderen wird ein ebenfalls geringer Teil dieser Abfallart in Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt. Ob es sich dabei um eine energetische Verwertung oder thermische Beseitigung handelt, kann nur im Einzelfall auf Basis der nach § 3 Abs. 23 Kreislaufwirtschaftsgesetz [KrWG] erforderlichen Substitutionswirkung der eingesetzten Abfälle – beispielweise in Abhängigkeit von den stofflichen Eigenschaften und dem konkreten Einsatzzweck der Rückstände, von der erzielten Energieeffizienz der Verbrennungsanlage oder vom Substitutionsumfang bzgl. der Primärenergieträger - festgestellt werden. Aus diesem Grund wird die Abfallverbrennung in Sonderabfallverbrennungsanlagen ebenfalls betrachtet und in die Bewertung der Verfahren aufgenommen.

Abbildung 19: Verwertungsschema für die Abfallart AS 080117\*



Eigene Darstellung

### 29.1 Destillation

Die destillative Trennung der - hier praxisrelevanten - Abfälle aus der Farb- und Lackentfernung, also von Stoffgemischen unterschiedlichster organischer Verbindungen und teilweise auch wässrig-gelöster Komponenten, erfolgt in der Regel durch fraktionierte Destillation oder Rektifikation [Reichenspurner 2016, Rematec 2016].

Um bei einzelnen, empfindlichen Stoffkomponenten den Siedepunkt zu senken und damit deren Zersetzung zu vermeiden, wird unter Vakuum destilliert (Vakuumdestillation). Der Energieverbrauch des

Destillierens wird damit gesenkt, dafür wird aber zusätzliche Energie für den Betrieb der Vakuumpumpen benötigt. Mit der Vakuumdestillation bzw. -rektifikation können enthaltene organische Stoffkomponenten, wie z. B. Lösemittel, bis zu einem Siedepunkt von 290 °C destilliert werden [Martens 2011, Reichenspurner 2016, Rematec 2016].

Die Beheizung der Destillationsblasen wird üblicherweise mit Thermoöl, Heißwasser oder Dampf durchgeführt [Martens 2011, Rematec 2016].

### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs**

Der Gesamtanteil der bei der Destillation von Abfällen aus der Farb- und Lackentfernung im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffe - hier die in den Rückständen jeweils höherkonzentriert enthaltenen, organischen Stoffkomponenten - unterliegt aufgrund der vielfältigen stofflichen und quantitativ sehr unterschiedlichen Zusammensetzung der eingesetzten Rückstände großen Schwankungen. Der durchschnittliche, auf die Abfallart AS 08 01 17\* bezogene Wertstoff-Rückgewinnungsanteil wird daher auf ca. 30-50 % abgeschätzt, wobei im Einzelfall [Reichenspurner 2016] durchaus auch höhere Anteile erreicht werden können.

### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Da es sich bei den zurückgewonnenen organischen Stoffkomponenten in der Regel um die Destillate handeln wird, kann davon ausgegangen werden, dass Schadstoffverschleppungen nur in geringem Umfang auftreten und keine Schadstoffanreicherung in den Verwertungserzeugnissen „organische Destillationsprodukte“ bzw. „Lösemittel“ erfolgt.

### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Der Hauptanteil der in den Abfällen aus der Farb- und Lackentfernung enthaltenen Schadstoffe befindet sich nach deren Destillation im verbleibenden Behandlungsrückstand. Dies stellt eine Aufkonzentration von Schadstoffen dar. Diese Rückstände aus der Destillation werden nach AIDA zum überwiegenden Teil in Feuerungsanlagen, Sonderabfallverbrennungsanlagen, Zementwerken sowie in einer Klärschlammverbrennungsanlage verbrannt. Zu einem geringen Teil werden sie in CPB'n behandelt, wobei ein Teil konditioniert wird, um anschließend einer thermischen Behandlung unterzogen zu werden.

Die Verbrennung dieser Rückstände stellt eine Schadstoffsенke dar, da die enthaltenen organischen Schadstoffe fast vollständig zerstört werden. Die Behandlung an sich stellt keine Senke dar. Ob es sich um eine Senkenfunktion handelt, hängt von der anschließenden konkreten Entsorgung des Materials ab.

### **Rohstoffbedarf, Betriebsmitteleinsatz etc.**

Aus den vorliegenden Angaben ist nicht ersichtlich, dass zusätzliche Betriebsmittel etc. benötigt werden.

### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Als Abfall fällt der nach der Destillation der Abfälle aus der Farb- und Lackentfernung erhaltene Behandlungsrückstand an. Nach AIDA werden die entstandenen Behandlungsrückstände zum weitaus überwiegenden Teil in Feuerungsanlagen und darüber hinaus in Sonderabfallverbrennungsanlagen sowie in einer Müllverbrennungsanlage verbrannt. Zu einem weiteren geringen Teil werden sie auch in CPB'n behandelt und dabei zum Teil verfestigt. Bei der Verbrennung in Feuerungsanlagen handelt es sich um eine energetische Verwertung. Ob es sich bei Verbrennung in einer Sonderabfallverbren-

nungsanlage um Verwertung oder Beseitigung handelt, kann nicht allgemeingültig gesagt werden. Das gleiche gilt für die in der CPB verfestigten Behandlungsrückstände aus der Destillation. Diese könnten energetisch verwertet oder beseitigt werden. Da dieser Behandlungsrückstand aber bereits im Ausgangsabfall (Abfälle aus der Farb- und Lackentfernung) enthalten war, fallen bei der destillativen Aufbereitung keine zusätzlichen nicht verwertbaren Abfälle an.

### **Energie**

Der Energieverbrauch ist beim Destillieren insbesondere von der Wärmekapazität und der Verdampfungswärme der in den Rückständen enthaltenen organischen Stoffkomponenten (w.z. B. Lösemittel) sowie der eingesetzten Destillationstechnik abhängig. Da die in den Abfällen enthaltenen organischen Inhaltsstoffe/Lösemittel nicht bekannt sind, können allgemeingültige Aussagen zum Energieverbrauch nicht getroffen werden. Beispielsweise wird zur Wiedergewinnung von 100 l/h eines reinen Lösemittels (hier: Tetrachlorethen) in Abhängigkeit von der Technik ein Energiebedarf von > 16 kWh bzw. 7 kWh angegeben [Ziermann/Mager 2013]. Zur weiteren Orientierung kann die Summe aus spezifischer Wärmekapazität und Verdampfungswärme dienen. Diese beträgt zum Beispiel für Dimethylketon (Aceton) rund 161 kWh/Mg und für N,N-Dimethylformamid rund 238 kWh/Mg.

### **Treibhausgasemissionen**

Von einigen, in den Abfällen aus der Farb- und Lackentfernung enthaltenen organischen Lösemitteln ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie werden – wenngleich in geringem Umfang – beim Destillieren sowie bei Umschlag und Lagerung des Abfalls freigesetzt. Die nach der Abgasreinigung emittierte Menge kann aufgrund des niedrigen Volumenstroms als gering eingestuft werden [LRA Dachau 2015]. Handelt es sich bei der Abgasreinigung um eine Nachverbrennung [Rematec 2016], können über diesen Pfad nur geringste Mengen an Treibhausgasemissionen entstehen.

Nach AIDA werden die nach der Destillation erhaltenen Behandlungsrückstände zum weitaus überwiegenden Teil in Feuerungsanlagen und darüber hinaus in Sonderabfallverbrennungsanlagen sowie in einer Müllverbrennungsanlage verbrannt. Zu einem weiteren geringen Teil werden sie auch in CPB'n behandelt und dabei zum Teil verfestigt. Bei dieser Verbrennung in Feuerungsanlagen und Sonderabfallverbrennungsanlagen sowie in der Müllverbrennungsanlage wird der in den Behandlungsrückständen enthaltene Kohlenstoff vollständig zu CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Beim Handling der Abfälle in der CPB können potenziell Treibhausgase in geringem Umfang aus dem Abfall freigesetzt werden. Wird der verfestigte Abfall anschließend verbrannt, wird der enthaltene Kohlenstoff vollständig zu CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Neben den direkten Emissionen entstehen auch Treibhausgasemissionen aus dem Energiebedarf (z. B. Strom) des Verwertungsverfahrens.

Außerdem wird in der Regel eine Gutschrift für die nicht erforderliche Neuherstellung von Produkten vergeben. Die Höhe dieser Gutschrift richtet sich nach dem Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs. Die Gutschrift steht den direkten Treibhausgasemissionen und den Emissionen aus dem Energiebedarf des Verwertungsverfahrens entgegen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Mit einer entsprechenden Abgasreinigung können Emissionswerte von 50 mg C/Nm<sup>3</sup> eingehalten werden [UBA 2006a, LRA Dachau 2015, Rematec 2016], so dass in Verbindung mit dem im Vergleich zur Verbrennung geringen Volumenströmen die Schadstofffreisetzungen in die Luft beim Destillieren gering sind.

Da es sich bei den in den Abfällen aus der Farb- und Lackentfernung enthaltenen organischen Stoffkomponenten gegebenenfalls auch um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des Behandlungsrückstands aus der Destillation zu geringen diffusen Schadstoffemissionen kommen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Anfallendes Abwasser muss behandelt werden [UBA 2006a] und bestehende Einleitgrenzwerte sind einzuhalten.

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Bei Destillationen gehen wir davon aus, dass es sich um teilautomatisierte Prozesse handelt, und nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Es wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in einen Vorfluter gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Inwieweit die hier relevanten Abfälle in der Abwasserbehandlungsanlage abgebaut bzw. unschädlich gemacht werden, hängt von den jeweiligen Stoffen und der Leistungsfähigkeit der Abwasserbehandlung ab.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

## **29.2 Energetische Verwertung**

Die energetische Verwertung von Abfällen aus der Farb- und Lackentfernung erfolgt in Feuerungsanlagen, Zementwerken und in Sonderabfallverbrennungsanlagen. Voraussetzung für den Einsatz in diesen Anlagen ist die Einhaltung der jeweils für die Anlage im Genehmigungsbescheid festgelegten Parameter [LUBW 1996].

### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs**

Bei der energetischen Verwertung verbleiben i.d.R. keine Wertstoffe im Wirtschaftskreislauf. Die stoffliche Verwertung ist daher in diesem Punkt i.d.R. besser zu bewerten als die energetische Verwertung.

### **Rohstoffbedarf und/oder Betriebsmitteleinsatz**

Bei allen hier betrachteten Verfahren zur energetischen Verwertung von Abfällen aus der Farb- und Lackentfernung kommen im Zuge der nachgeschalteten Rauchgasreinigungseinrichtungen Betriebsmittel in geringem Umfang zum Einsatz.

### **Energie**

Der energetische Wirkungsgrad kann bei Feuerungsanlagen und Sonderabfallverbrennungsanlagen nicht eindeutig bestimmt werden, da er davon abhängig ist, ob nur Strom oder nur Wärme oder beides erzeugt wird. Dies ist je nach Anlage unterschiedlich. Allgemein kann im Vergleich untereinander aber festgestellt werden, dass der energetische Netto-Wirkungsgrad beim Abfalleinsatz in einem Zementwerk am höchsten ist, da die erzeugte Wärmeenergie direkt im Drehofen genutzt wird.

Den zweithöchsten energetischen Netto-Wirkungsgrad weisen Feuerungsanlagen auf, die gegenüber den Sonderabfallverbrennungsanlagen einen vergleichsweise geringeren Energie-Eigenbedarf besit-



zen und somit einen höheren energetischen Netto-Wirkungsgrad als die Sonderabfallverbrennung aufweisen.

### **29.2.1 Feuerungsanlagen**

#### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Bei der energetischen Verwertung von Abfällen aus der Farb- und Lackentfernung in Feuerungsanlagen wird kein Verwertungserzeugnis hergestellt, in das Schadstoffe verschleppt und dort angereichert werden.

#### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die im eingesetzten Abfall enthaltenen organischen Schadstoffe werden in der Feuerung weitgehend zerstört. Es handelt sich also um eine Schadstoffsenke.

Je nach Abfallzusammensetzung kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich in den Verbrennungsrückständen noch Schadstoffe befinden. Schlacken und Aschen aus Feuerungsanlagen, in denen Abfälle mitverbrannt werden, finden Verwendung im Bergversatz oder werden aufbereitet und anderweitig verwertet, zum Teil auch deponiert [Dehoust et al. 2008]. REA-Gips wird verwertet [Prognos 2003].

#### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz von Abfällen aus der Farb- und Lackentfernung in Feuerungsanlagen entstehen nur geringe Mengen an zusätzlichen Abfällen (Schlacken/ Aschen, Flugaschen, REA-Gips), da der Feststoffanteil in diesen Abfällen gering ist.

Schlacken und Aschen aus Feuerungsanlagen, in denen Abfälle mitverbrannt werden, finden Verwendung im Bergversatz oder werden aufbereitet und anderweitig verwertet, zum Teil auch deponiert [Dehoust et al. 2008]. REA-Gips wird verwertet [Prognos 2003].

Da die Schlacken und Aschen aus der Abfallmitverbrennung teilweise deponiert werden, fallen hier geringe Mengen an zusätzlichen nicht verwertbaren Abfällen an.

#### **Treibhausgasemissionen**

Der in Abfällen aus der Farb- und Lackentfernung enthaltene Kohlenstoff wird zu Kohlendioxid verbrannt. Damit wird der Kohlenstoffanteil des ursprünglichen Abfalls mehr oder minder vollständig in CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Von einigen, in den Abfällen aus der Farb- und Lackentfernung enthaltenen organischen Lösemitteln ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie können bei Umschlag, Lagerung und Handhabung der Abfälle aus der Farb- und Lackentfernung freigesetzt werden.

Durch die Nutzung der im Abfall enthaltenen Energie wird eine Menge an Primärbrennstoffen substituiert, d.h. eingespart. Die eingesparte Menge an Primärbrennstoff wird mittels einer Gutschrift für Treibhausgasemissionen berücksichtigt. Diese Gutschrift steht den aus der Verbrennung des Abfalls resultierenden Treibhausgasemissionen entgegen.

#### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der Anlage 3 Nr. 3 der 17. BImSchV.

Da es sich bei den in den Abfällen aus der Farb- und Lackentfernung enthaltenen organischen Stoffkomponenten gegebenenfalls auch um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls zu geringen diffusen Schadstoffemissionen kommen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Bei der Verbrennung in Feuerungsanlagen anfallende Abwässer müssen behandelt und aufbereitet werden [UBA 2006b].

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz von Abfällen aus der Farb- und Lackentfernung in Feuerungsanlagen nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Allerdings gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Ferner wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in einen Vorfluter gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Inwieweit die hier relevanten Abfälle in der Abwasserbehandlungsanlage abgebaut bzw. unschädlich gemacht werden, hängt von den jeweiligen Stoffen und der Leistungsfähigkeit der Abwasserbehandlung ab.

Wenn Flächen auf denen Abfälle aus der Farb- und Lackentfernung gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/ oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

## **29.2.2 Zementwerk**

### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Organische Lösemittel werden bei der Verbrennung zerstört. Je nach Abfallzusammensetzung kann aber nicht ausgeschlossen werden, dass andere, nicht zerstörte Schadstoffe aus den Abfällen aus der Farb- und Lackentfernung verbleiben und dann ins Produkt (Zement) gelangen.

### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die in den eingesetzten Abfällen aus der Farb- und Lackentfernung enthaltenen organischen Schadstoffe werden beim Einsatz im Zementwerk weitgehend zerstört. Entsprechend stellt das Zementwerk eine Senke für die organischen Schadstoffe dar.

### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz von Abfällen aus der Farb- und Lackentfernung im Zementwerk entstehen nur geringe Mengen an zusätzlichen Abfällen, insbesondere Filterstäube, da der Feststoffanteil gering ist. Die Filterstäube können dem Klinker beigegeben oder an anderer Stelle dem Prozess wieder zugeführt werden [Davids/Lange 1986].

### **Treibhausgasemissionen**

Der im Abfall enthaltene Kohlenstoff wird zu Kohlendioxid verbrannt. Damit wird der Kohlenstoffanteil des ursprünglichen Abfalls mehr oder minder vollständig in CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Von einigen leichtflüchtigen organischen Lösemitteln ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie können bei Umschlag, Lagerung und Handhabung der Abfälle aus der Farb- und Lackentfernung freigesetzt werden.

Der eingesetzte Abfall ersetzt eine, seinem Heizwert entsprechende Menge an Primärbrennstoff, der dann nicht verbrannt wird. Für diese Substitution des Primärbrennstoffs wird eine Gutschrift erteilt, die dem Kohlendioxid (Lastschrift) aus der Verbrennung des Abfalls entgegensteht bzw. diese Lastschrift übertrifft.

#### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der Anlage 3 Nr. 2 der 17. BImSchV.

Da es sich bei den organischen Lösemitteln i.d.R. um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls zu diffusen Schadstoffemissionen kommen.

#### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

In der Zementindustrie sind nassarbeitende Abgasreinigungsanlagen nicht im Einsatz [Davids/Lange 1986]. Zementwerke besitzen daher i.d.R. keine spezielle Abwasserreinigung bzw. keinen Wasserpfad, so dass keine Schadstofffreisetzung ins Wasser erfolgt.

#### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz der Abfälle in Zementwerken nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Allerdings gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Da Zementwerke i.d.R. nicht über eine spezielle Abwasserbehandlung verfügen, wird davon ausgegangen, dass hier ein erhöhtes Risiko besteht, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle, z. B. bei Regen, direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, wenn keine Vorkehrungen getroffen sind, um belastetes Betriebsflächenwasser auffangen und entsorgen zu können.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

### **29.2.3 Sonderabfallverbrennungsanlagen**

#### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Bei der energetischen Verwertung von Abfällen aus der Farb- und Lackentfernung in Sonderabfallverbrennungsanlagen wird kein Verwertungserzeugnis hergestellt, in das Schadstoffe verschleppt und dort angereichert werden.

#### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die im eingesetzten Abfall enthaltenen organischen Schadstoffe werden in der Feuerung weitgehend zerstört. Entsprechend stellen Sonderabfallverbrennungsanlagen eine Senke für die organischen Schadstoffe dar.

Schlacken, Filterstäube und andere Rauchgasreinigungsrückstände, z. B. Salze, werden in Untertagedeponien beseitigt, auf oberirdischen Deponien verwertet oder beseitigt oder im Bergversatz verwertet.

### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz von Abfällen aus der Farb- und Lackentfernung in der Sonderabfallverbrennung entstehen nur geringe Mengen an zusätzlichen Abfällen (Aschen, Filterstäube), da der Feststoffanteil sowie der Anteil anderer Stoffe gering ist.

Da Schlacken und Filterstäube, insbesondere aber die anfallenden Salze, zu einem großen Teil beseitigt werden, fallen hier nicht verwertbare Abfälle an.

### **Treibhausgasemissionen**

Der im Abfall enthaltene Kohlenstoff wird zu Kohlendioxid verbrannt. Damit wird der Kohlenstoffanteil des ursprünglichen Abfalls mehr oder minder vollständig in CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Von einigen, in den Abfällen aus der Farb- und Lackentfernung enthaltenen organischen Lösemitteln ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie können bei Umschlag, Lagerung und Handhabung der Abfälle freigesetzt werden.

Durch die Nutzung der im Abfall enthaltenen Energie wird eine entsprechende Menge an Primärbrennstoffen substituiert, d.h. eingespart. Bei der Sonderabfallverbrennungsanlage hängt die tatsächlich eingesparte Menge an Primärbrennstoffen davon ab, wie viel Strom und/oder Wärme konkret erzeugt und ausgekoppelt wird. Die eingesparte Menge an Primärbrennstoff wird mittels einer Gutschrift für Treibhausgasemissionen berücksichtigt. Diese Gutschrift steht den aus der Verbrennung des Abfalls resultierenden Treibhausgasemissionen entgegen.

Der energetische Wirkungsgrad kann bei Feuerungs- sowie Müll- und Sonderabfallverbrennungsanlagen nicht eindeutig bestimmt werden, da er davon abhängig ist, ob nur Strom oder nur Wärme oder beides erzeugt wird. Dies ist je nach Anlage unterschiedlich.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der 17. BImSchV.

Da es sich bei den in den Abfällen aus der Farb- und Lackentfernung enthaltenen organischen Stoffkomponenten gegebenenfalls auch um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls zu geringen diffusen Schadstoffemissionen kommen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Es wird davon ausgegangen, dass bei Sonderabfallverbrennungsanlagen kein Abwasser anfällt und damit kein Abwasserpfad besteht.

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz von Abfällen aus der Farb- und Lackentfernung in Sonderabfallverbrennungsanlagen nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Allerdings gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Ferner wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in einen Vorfluter gelangen können, sondern aufgefangen und entsorgt werden.

Wenn Flächen auf denen Abfälle aus der Farb- und Lackentfernung gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

### 30 Verfahrenssteckbrief für AS 100401\* Schlacken (Erst- und Zweitschmelze) aus der thermischen Bleimetallurgie

Schlacken aus der thermischen Bleimetallurgie fallen in Primär- und Sekundär-Bleihütten an, wobei auch in den Primärbleihütten Sekundärrohstoffe (bleihaltige Abfälle) eingesetzt werden.

Schlacken aus Bleihütten enthalten zwar noch Zink in relevanten Umfängen (je nach Verfahren zwischen 6 % und 25 % [Berzelius 2007]), so dass eine Rückgewinnung interessant erscheint. Die pyrometallurgische Rückgewinnung, z. B. mit dem Wälzverfahren, wird aber durch die starke Legierungsbildung, die amorphe Struktur und die insgesamt ungünstigen Verbindungsformen verhindert [Dehoust et al. 2015]. Das gleiche gilt für die in den Schlacken mit unterschiedlichen Konzentrationen enthaltenen anderen Metalle wie Kupfer und Zinn.

Es ist zwar grundsätzlich möglich, einen Teil diese Metalle aus den Schlacken hydrometallurgisch zurückzugewinnen, derzeit ist aber kein Verfahren in der betrieblichen Anwendung, sondern die Schlacken werden überwiegend deponiert und zu einem geringen Teil mechanisch aufbereitet. Über die Verwendung der aufbereiteten Schlacken liegen keine Angaben vor. Es besteht aber die Möglichkeit, dass sie beispielsweise im Straßenbau Verwendung zu finden.

Da derzeit keine Verwertungsverfahren vorhanden sind, erübrigt sich eine Bewertung. Derzeit werden die anfallenden Abfälle mit dieser Schlüsselnummer vor allem deponiert oder im Deponiebau eingesetzt. Außerdem besteht die Möglichkeit, dass sie zu einem geringen Teil auch im Straßenbau verwendet werden. Daher können die oberirdische Deponierung bzw. der Deponiebau auf DK II oder DK III mit der Verwertung im Bergversatz und im Straßenbau verglichen und bewertet werden.

Die Schlacken aus der thermischen Bleimetallurgie enthalten neben anderen Stoffen verschiedene Metalle und Schwermetalle in unterschiedlichen Konzentrationen. Diese Metalle und Schwermetalle stellen nach der Ablagerung eine Gefahr für Boden und Grundwasser dar, wenn sie am Ablagerungsort nicht langzeitsicher eingeschlossen werden (Senkenfunktion).

Im Straßenbau existiert keine definierte Barriere zum Untergrund, so dass es sich beim dortigen Einsatz der Schlacke nicht um eine sichere Ausschleusung der Schadstoffe aus der belebten Umwelt handelt und demnach auch nicht um eine sichere Senke. Der Einsatz der Schlacken aus der thermischen Bleimetallurgie im Straßenbau kann daher nur als kurzfristig (weniger als 100 Jahre) sicher gelten [Dehoust et al. 2007].

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. Das obertägige Deponieren bzw. der Deponiebau können demnach nicht als langzeitsicher eingestuft werden, da ein sicherer Einschluss je nach Beschaffenheit der Deponie nicht über einen Zeitraum von mehr als 1.000 Jahren gesichert ist. Die Ablagerung auf Deponien der Deponieklassen II und III ist daher als mittelfristig sicher einzustufen (100 – 1.000 Jahre) [Dehoust et al. 2007].

Bei der Ablagerung der Schlacke als Versatzmaterial im Salzbergwerk mit Langzeitsicherheitsnachweis stellt sich das anders dar:

Aufgrund der Eigenschaften der geologischen Formation („Wirtsgestein“, „einschlusswirksamer Gebirgsbereich“), der Abwesenheit bzw. der Unbeweglichkeit von Transportmedien verbleiben die 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. Der Einschluss muss nach Deponie- 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 Deponieverordnung zu entsprechen und entsprechende Untersuchungen über deren Wirksamkeit liegen vor. [Dehoust et al. 2007]

Demnach kann die Ablagerung als Versatzmaterial im Salzbergwerk mit Langzeitsicherheitsnachweis als langfristig sichere Senke eingestuft werden (1.000 – 10.000 Jahre) [Dehoust et al. 2007].

Sollten in der Zukunft Verfahren entwickelt und eingesetzt werden, die es ermöglichen, die in den abgelagerten Abfällen in relevanten Mengen enthaltenen Metalle und Schwermetalle zurückzugewinnen, ist bei der Bewertung folgendes zu berücksichtigen:

- Die Ablagerung auf Deponien der Deponieklassen II und III ermöglicht eine Rückholung der relevanten Abfälle, insbesondere dann, wenn sie auf Monodeponien bzw. Monodeponieabschnitten einer Deponie abgelagert wurden.
- Die Verwendung der Abfälle als Versatzmaterial macht eine Rückholung so gut wie unmöglich.
- Der Einsatz der Abfälle im Straßenbau macht eine Rückholung zwar nicht unmöglich, es ist aber fraglich, ob zum Zeitpunkt einer Straßenerneuerung noch bekannt ist, ob unter der erneuerten Straßendecke Schlacke aus der Bleimetallurgie verbaut wurde.

Andere Bewertungskriterien wie Treibhausgasemissionen oder die Freisetzung von Luftschadstoffen durch unterschiedlich lange Transportwege spielen für die Bewertung keine entscheidende Rolle [Dehoust et al. 2007]. Beim Einsatz im Straßenbau wirkt sich aber die erforderliche Aufbereitung, z. B. aufgrund des Energieeinsatzes, negativ auf das Bewertungsergebnis aus.

### 31 Verfahrenssteckbrief für AS 110105\* - saure Beizlösungen (Abfälle aus der chemischen Oberflächenbearbeitung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen (z. B. Galvanik, Verzinkung, Beizen, alkalisches Entfetten))

Durch sogenanntes „Beizen“ werden auf Metallen befindliche oxidische Schichten bzw. Korrosionsprodukten chemisch aufgelöst. Werkstücke aus Aluminium, Stahl, Edelstahl, Kupfer oder unterschiedlichen Metalllegierungen werden so vor der eigentlichen galvanotechnischen Beschichtung, u. a. mit Hilfe einer sauren Beizlösung gereinigt (entzundert, entrostet) und von unerwünschten Ablagerungen (Oxidschichten, Metallverbindungen) an der Werkstoffoberfläche befreit. Gebeizt werden sowohl Band oder Draht als auch Stückgut im Durchlauf- bzw. Taktverfahren.

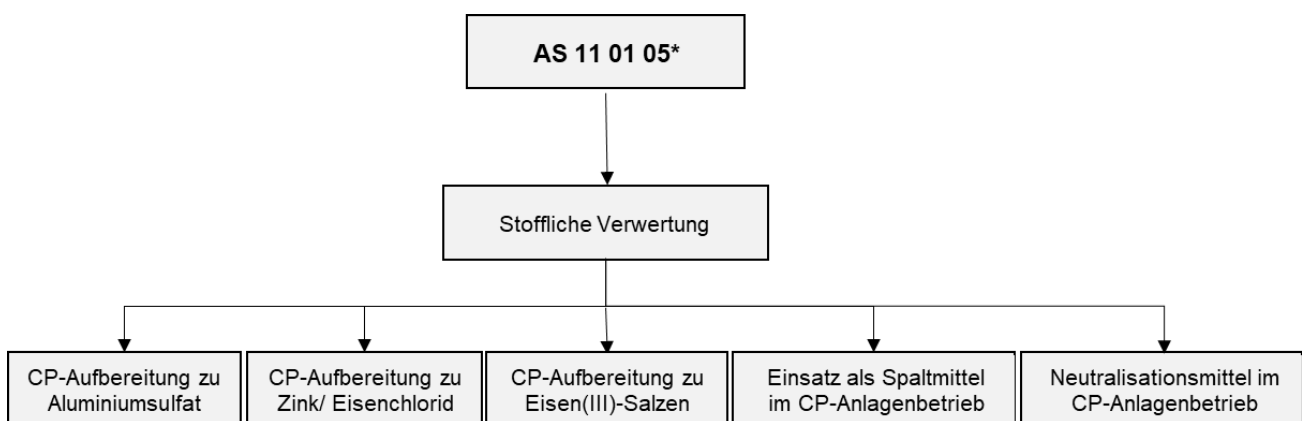
Die Beizlösungen sollen aber möglichst nur oxidische und sonstige anorganische Schichten entfernen, nicht jedoch das Grundmetall selbst auflösen. Hierfür kommen saure Beizlösungen, u. a. für die Behandlung von Stahl, Aluminium und Zink zum Einsatz und bestehen aus Mineralsäuren (Salz-, Schwefel-, Salpeter-, Fluß-, Chrom-, Phosphorsäure oder Gemische daraus) und Beizinhibitoren (Sparbeizzusätze), die das Auflösen der zu beizenden Metalle verhindern sollen.

Aluminium kann sowohl sauer – mit einem Zusatz an Flusssäure – als auch alkalisch – mit Komplexbildner enthaltender Natronlauge bzw. alkalischen Reinigern – gebeizt werden. Die alkalische Beizung führt zur Mattierung, welche durch saures Nachbeizen entfernt werden kann. Das aktivierende, saure Anbeizen von Aluminium nennt man auch „Dekapieren“.

Verbrauchte saure Beizlösungen (AS 110105\*) enthalten noch reaktiv wirksame Restsäuren. Je nach Säuregemisch und behandelten Werkstoff liegt der Säuregehalt im Bereich zwischen 10 – 30 % [IPA NRW 2015]. Darüber hinaus enthält die Beizlösung die entsprechend der behandelten Werkstücke gebildeten Metallsalze der eingesetzten Säuren, u. a. Chloride, Sulfate, Nitrate oder Chromate der Metalle Eisen, Nickel, Zink, Chrom, Kupfer oder Cadmium [KAS 2012].

Das Schema der Verwertung von Beizlösungen (AS 110105\*) zeigt die folgende Abbildung:

Abbildung 20: Verwertungsschema für die Abfallart AS 110105\*



Eigene Darstellung

Der Mengenanteil von rund 63 % der sauren Altbeizen des AS 110105\*, der einer stofflichen Verwertung zugeordnet werden kann, wird im Wesentlichen durch Verfahrenstechniken zur Aufbereitung zu einem Sekundärrohstoff (rund 25 % - 2 Anlagenstandorte in NRW) bzw. zu Aluminiumsulfat (rund 14 % - 1 Altsäureaufbereitungsanlage in NRW) sowie durch den Einsatz als Ersatz-Neutralisationsmittel in chemisch-physikalischen Behandlungsanlagen (rund 24 % - 2 Standorte in NRW) repräsentiert.



Als Input wird ferner ein Mengenanteil von insgesamt rund 37 % des AS 110105\* mehreren chemisch-physikalische Behandlungsanlagen (4 Anlagenstandorte in NRW) zugeführt, in denen die sauren Altbeizen für ihre weitere End-Entsorgung im Wesentlichen entgiftet und neutralisiert werden.

Während vor rund zwei Jahrzehnten der Einsatz von Abfall-Säuren, wie die sauren Beizlösungen als Ersatz-Neutralisationsmittel quasi als Stand der Technik in chemisch-physikalischen Abfallbehandlungsanlagen (CBP'n) angesehen wurde [Rudolph 1995], wird diese Verwertungsvariante aktuell nur noch in relativ wenigen Behandlungsanlagen praktiziert. Gleichwohl wird die Substitution von Neutralisationsmitteln in CPB'n ebenfalls betrachtet und in die Bewertung der Verfahren mit aufgenommen.

Für die vergleichende Bewertung werden alle fünf Verfahren zur Aufbereitung von sauren Beizlösungen herangezogen und im Folgenden beschrieben.

### **31.1 Stoffliche Verwertung**

#### **31.1.1 Chemisch-physikalische/ thermische Aufbereitung zu Aluminiumsulfat**

Retardation (oder Adsorption von Säuren durch Harze) ist eine Trenntechnik, die auf Ionenaustausch beruht. Das Retardationsverfahren wird in erster Linie zur Regeneration von verbrauchten Beizen und zur Konstanthaltung des Aluminiumgehalts beim Anodisieren eingesetzt.

In der ersten Stufe wird eine hochkonzentrierte metallhaltige (oder eine saure Salze enthaltende) Lösung im Aufstrom durch ein Ionenaustauscherharzbett gepumpt, wo der größte Teil der Säure vom Ionenaustauscherharz adsorbiert wird, während die Metallkationen elektrostatisch abgestoßen werden und vorbei strömen. In einer zweiten Stufe wird Wasser im Abstrom durch das Harzbett gepumpt, das die freigesetzte Säure aufnimmt. Die zurückgewonnene Säure kann wiederverwendet werden. Abhängig von der Art der Säure und des Metalls lässt sich eine Abreicherungsrate von 40 bis 60 % erzielen

Die Aluminiumkonzentration muss in schwefelsauren Anodisierелеktrolyten auf niedrigem Niveau gehalten werden. Sobald ein Aluminiumgehalt von 15 - 20 g/l erreicht ist, wird der Elektrolyt umgefüllt oder verworfen. Eine kontinuierliche Reinigung durch Retardation kann Abfall verhindern und die Gleichmäßigkeit der Oxidschicht erhöhen. Ein Elektrolyt zum Anodisieren, der 200 g/l H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> und 5 - 10 g/l Al enthält, wird durch ein Anionenaustauscherharzbett geführt (vorzugsweise im Aufstrom) bis die Schwefelsäure über dem Harzbett wieder austritt; dann ist das Harz mit Schwefelsäure gesättigt. Sobald das Harz mit vollentsalztem Wasser gespült wird, erscheint als erstes das vom Harz nicht adsorbierte Aluminiumsulfat im Eluat, das durch Verdampfung einem weiteren Prozessschritt unterzogen werden kann, danach folgt die Schwefelsäure, die durch das vollentsalzte Wasser aus dem Harz verdrängt worden ist [UBA 2005].

#### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs**

Verlängern der Standzeit des Elektrolyten. Der noch brauchbare Teil der Beizlösung kann zurückgewonnen werden. Durch das Retardationsverfahren kann nur ein Teil der freien oder unverbrauchten Säure zurückgewonnen werden. Die als Anion im Salz gebundene Säure kann nicht zurückgewonnen werden. Daraus ergibt sich, dass etwa 35 bis 70 % der gesamten verbrauchten Säure ins Abwasser des Prozesses gelangen und behandelt werden müssen [UBA 2005]. Je nach Metall wird die Behandlung nur eine herkömmliche Neutralisation (pH-Werteinstellung mit Natronlauge) oder eine Metallentfernung (z. B. durch Fällung) sein müssen.

#### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Es findet keine Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in das Aluminiumsulfat statt.

### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Durch Retardation entsteht eine größere Menge Abwasser. Alternativ kann Abfallsäure statt frischer Säure bei der Abwasserbehandlung zur Neutralisation genutzt werden. Die Entscheidung darüber wird von der anfallenden Abfallsäure und den Erfordernissen der Abwasserbehandlung abhängen. Der Hauptanteil der in den sauren Beizlösungen enthaltenen Schadstoffe befindet sich nach deren Aufbereitung in den festen Behandlungsrückständen (Filterkuchen). Dies stellt eine Aufkonzentration von Schadstoffen dar. Im Rahmen der weiteren Entsorgung werden die Filterkuchen auf einer oberirdischen Deponie beseitigt.

### **Rohstoffbedarf, Betriebsmitteleinsatz etc.**

Im Zuge der chemisch-physikalischen Aufbereitung der sauren Beizlösungen werden als Betriebsmittel im wesentlichen Anionenaustauscherharze, vollentsalztes Wasser und Strom eingesetzt [UBA 2005].

### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Als Abfall fallen die nach der Aufbereitung der sauren Beizlösungen erhaltenen Filterkuchen aus der Abwasserreinigung an. Diese Filterkuchen gelangen auf eine oberirdische Deponie zur Beseitigung und sind somit als nicht verwertbare Abfälle einzustufen.

### **Energie**

Der Energieverbrauch im Zuge der Aufbereitung von Rückstandssäuren durch Retardation ist relativ gering. Für die Verdampfung der hochkonzentrierten Aluminiumsulfatlösung ist jedoch ein hoher Energieverbrauch anzusetzen.

### **Treibhausgasemissionen**

Sowohl in den im Aufbereitungsverfahren eingesetzten sauren Beizlösungen als auch in deren Behandlungsrückständen sind keine Bestandteile enthalten, die ein Treibhauspotenzial [UBA 2015] aufweisen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die realisierte Behandlungstechnik zur Aufbereitung der sauren Beizbäder macht keine Abgasreinigung erforderlich.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Anfallendes Abwasser wird behandelt (Neutralisation-Fällung-Filtration, um die zur Einleitung in den Vorfluter bestehenden Einleitgrenzwerte einzuhalten).

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Bei der installierten Behandlungstechnik gehen wir davon aus, dass es sich im Einzelnen um teilautomatisierte Prozesse handelt, und nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein gewisses Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer vorliegt.

Ferner wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in einen Vorfluter gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Da Abwasserbehandlungseinrichtungen vorhanden sind, in denen die schadstoffrelevanten Abfallbestandteile abgetrennt werden, ist das Risiko einer Schadstofffreisetzung über den Abwasserpfad als gering bis sehr gering einzuschätzen.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/ oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein gewisses Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

### 31.1.2 Chemisch-physikalische Aufbereitung zu Zink-/ Eisenchlorid

In der Vergangenheit war es üblich, eine Beizlösung für alle Beizarbeiten zu verwenden. Dadurch fielen in diesen Lösungen unterschiedliche Metalle als Inhaltsstoffe an, was in der Folge die Entsorgungskosten wegen der aufwendigen Abfallbehandlung stark erhöht hat. Die Kreislaufwirtschaft sieht vor, nun die Beizprozesse sinnvoll zu trennen, um dadurch eine gezielte Verwertung zu erreichen. Beim Beispiel der Feuerverzinker werden folgende Kategorien der Altbeizen (i. d. R. Salzsäure) unterschieden:

- hoch zinkhaltige Säure, eisenarm
- hoch eisenhaltige Säure, zinkarm
- Mischsäure, zink- und eisenhaltig.

Die Prozesse werden also in Eisenbeizen und Zinkbeizen getrennt. In Eisenbeizen werden nur Stahlsubstrate gebeizt; sie reichern sich hauptsächlich mit Eisen an. In Zinkbeizen werden Fehlproduktionen zur erneuten Verzinkung abgebeizt; sie reichern sich hauptsächlich mit Zink an. So konnte in den letzten 40 Jahren der Anteil von Mischsäuren von über 80 % auf unter 10 % gesenkt werden. Der Anteil von hoch eisenhaltigen Beizen konnte von weniger als 20 % auf 60 % und der von zinkhaltigen Beizen von unter 2 % auf über 30 % gesteigert werden.

Damit die Voraussetzungen für einen Qualitätsabfall erfüllt werden, müssen neben der Trennung und Anpassung der Prozesse auch Rohstoffe geeigneter Qualität eingesetzt werden. Dies bedeutet, dass im Vorfeld die Beizen mit Salzsäure einer bestimmten Qualität abgesetzt werden müssen. Weiter muss mit Unterstützung einer regelmäßigen analytischen Kontrolle im Betrieb die Performance der Beize in einem optimalen Bereich gehalten werden, wodurch am Ende eine entsprechende Qualität des Abfalls gewährleistet werden kann.

Um eine Vorstellung zu bekommen, welche Anforderungen an Altbeizen zur Einordnung in entsprechende Kategorien gestellt werden, sind in der folgenden Tabelle die Grenzwerte für Zink und Eisen nach derzeitiger marktüblicher Einstufung aufgeführt, wobei mehrere Qualitätsstufen unterschieden werden

Tabelle 1: Qualitätseinstufungen bei Altbeizen

	Eisenbeize I. Qualität	Eisenbeize II. Qualität	Eisenbeize III. Qualität	Zinkbeize I. Qualität	Zinkbeize II. Qualität
Eisen (g/l)	mind. 130	mind. 130	mind. 130		
Zink (g/l)	max. 1	1–5	5–10	> 150	> 75
Verhältnis Zn:Fe				> 8:1	> 5:1

Zur Rückgewinnung der freien Säure aus den erschöpften Beizlösungen kann das Retardationsverfahren eingesetzt werden. Es beruht auf dem Adsorptionseffekt bestimmter Harze, welche kationische, austauschaktive Gruppen besitzen, an die die freie (undissoziierte) Säure gebunden wird. Beim Beaufschlagen mit Wasser werden die Säuren aufgrund osmotischer Druckverhältnisse aus dem Harzbett freigesetzt. Das Verfahren ist besonders interessant, wenn mit niedrigen Eisenkonzentrationen bis etwa 60 g/l gebeizt werden soll.

Als Einsatzgrenzen werden in der Literatur ausreichende Trennscharfe genannt, sowie die Tatsache, dass der wieder verwertbare Teil nach der Behandlung den ursprünglichen Säuregehalt und 50 % des Metallgehaltes hat. Das Nutzen/Kosten-Verhältnis wird mit mittel angegeben, die ökologische Bewertung als insgesamt vorteilhaft beurteilt [Fresner 2006].

Der dabei produzierte Abfall wird bei einem qualifizierten Entsorger sinnvoll weiterverarbeitet. Hoch eisenhaltige, zinkarme Säuren werden als Rohstoff für synthetische Pigmente (Eisenoxidfarben) genutzt oder zu Abwasserbehandlungschemikalien weiterverarbeitet. Die hoch zinkhaltigen, eisen-armen Säuren finden Anwendung in verschiedenen Prozessen vom Ausgangsstoff für die Herstellung von verschiedenen Zinkchemikalien bis hin zu zinkhaltigen Präparaten in der Pharmazie.

#### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs**

Es können rund 75 bis 90 % der freien Säure mit dem Retardationsverfahren wiedergewonnen werden.

#### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Es findet keine Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in das Eisen-/ Zinkchlorid statt.

#### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Durch Retardation entsteht eine größere Menge Abwasser. Der Hauptanteil der in den sauren Beizlösungen enthaltenen Schadstoffe befindet sich nach deren Aufbereitung in den festen Behandlungsrückständen (Filterkuchen). Dies stellt eine Aufkonzentration von Schadstoffen dar.

Im Rahmen der weiteren Entsorgung werden die Filterkuchen auf einer oberirdischen Deponie beseitigt.

#### **Rohstoffbedarf, Betriebsmitteleinsatz etc.**

Im Zuge der chemisch-physikalischen Aufbereitung der sauren Beizlösungen werden als Betriebsmittel im Wesentlichen enthärtetes Wasser eingesetzt. Pro m<sup>3</sup> Beizlösung wird ungefähr 1 m<sup>3</sup> enthärtetes Wasser gebraucht [Fresner 2006].

#### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Als Abfall fallen die nach der Aufbereitung der sauren Beizlösungen erhaltenen Filterkuchen aus der Abwasserreinigung an. Diese Filterkuchen gelangen auf eine oberirdische Deponie zur Beseitigung und sind somit als nicht verwertbare Abfälle einzustufen.

#### **Energie**

Als Energie wird in diesem Verfahren nur Strom benötigt. Pro kg Eisen beträgt der Stromverbrauch 0,25 - 0,40 kWh [Fresner 2006]. Der Energieverbrauch im Zuge der Aufbereitung der Rückstandssäuren ist somit relativ hoch.

## **Treibhausgasemissionen**

Sowohl in den im Aufbereitungsverfahren eingesetzten sauren Beizlösungen als auch in deren Behandlungsrückständen sind keine Bestandteile enthalten, die ein Treibhauspotenzial [UBA 2015] aufweisen.

## **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die realisierte Behandlungstechnik zur Aufbereitung der Rückstandslaugen macht keine Abgasreinigung erforderlich.

## **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Anfallendes Abwasser wird behandelt (Neutralisation-Fällung-Filtration, um die zur Einleitung in den Vorfluter bestehenden Einleitgrenzwerte einzuhalten

## **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Bei der installierten Behandlungstechnik gehen wir davon aus, dass es sich im Einzelnen um teilautomatisierte Prozesse handelt, und nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein gewisses Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer vorliegt.

Ferner wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in einen Vorfluter gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Da Abwasserbehandlungseinrichtungen vorhanden sind, in denen die schadstoffrelevanten Abfallbestandteile abgetrennt werden, ist das Risiko einer Schadstofffreisetzung über den Abwasserpfad als gering bis sehr gering einzuschätzen.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/ oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein gewisses Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

### **31.1.3 Chemisch-physikalische Aufbereitung zu Eisen(III)-Salzen**

Das beim Beizen anfallende Eisenchlorid kann durch Oxidation in ein verkaufsfähiges Produkt, nämlich Fe(III)-Chlorid umgewandelt werden. Fe(III)-Chlorid wird als Fällungsmittel benutzt. Als Oxidationsmittel kommen Luftsauerstoff, Chlorgas oder Wasserstoffperoxid in Frage. Die Oxidation mit Luftsauerstoff verläuft langsam. Daher wird bei ca. 60 °C Druckluft in die erschöpfte Beizlösung eingeleitet. Die freiwerdenden Salzsäure-Nebel müssen in einem Wäscher ausgewaschen werden.

Beim Einsatz von Chlorgas findet die Reaktion schon bei Raumtemperatur schneller statt, bei nicht vollständiger Reaktion entweicht jedoch freies Chlor. Eine umweltfreundlichere Methode mit vergleichbaren Reaktionsgeschwindigkeiten ist der Einsatz von Wasserstoffperoxid.

Die Kosten aller drei Verfahren sind ähnlich.

Anschließend an die Oxidation muss das Eisenchlorid, z. B. mittels Ionentauscher aus der Lösung abgetrennt werden [FRESNER 2006].

### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs**

Der Anteil der im Wirtschaftskreislauf dabei verbleibenden Eisen(III)-Salzen (z. B.  $\text{FeCl}_3$ ) ist als hoch einzuschätzen (mindestens 95 %) [FRESNER 2006].

### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Eine Verschleppung von Schadstoffen in das Fe(III)-Chlorid findet nicht statt

### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Der Hauptanteil der in den sauren Beizlösungen enthaltenen Schadstoffe befindet sich nach deren Aufbereitung in den festen Behandlungsrückständen (Filterkuchen). Dies stellt eine Aufkonzentration von Schadstoffen dar. Im Rahmen der weiteren Entsorgung werden die Filterkuchen auf einer oberirdischen Deponie beseitigt.

### **Rohstoffbedarf, Betriebsmitteleinsatz etc.**

Im Zuge der chemisch-physikalischen Aufbereitung der sauren Beizlösungen werden als Betriebsmittel – je nach angewandtem Verfahren – Salzsäure/ Luftsauerstoff, Chlorgas oder Salzsäure/ Wasserstoffperoxid eingesetzt. Zudem fallen periodisch Ionenaustauscherharze als Betriebsmittel an [FRESNER 2006].

### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Als Abfall fallen die nach der Aufbereitung der sauren Beizlösungen erhaltenen Filterkuchen aus der Abwasserreinigung an. Diese Filterkuchen gelangen auf eine oberirdische Deponie zur Beseitigung und sind somit als nicht verwertbare Abfälle einzustufen.

### **Energie**

Der Energieverbrauch im Zuge der Aufbereitung der Rückstandssäuren ist relativ hoch.

### **Treibhausgasemissionen**

Sowohl in den im Aufbereitungsverfahren eingesetzten sauren Beizlösungen als auch in deren Behandlungsrückständen sind keine Bestandteile enthalten, die ein Treibhauspotenzial [UBA 2015] aufweisen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die realisierte Behandlungstechnik zur Aufbereitung der Rückstandslaugen macht keine Abgasreinigung erforderlich.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Anfallendes Abwasser wird behandelt (Neutralisation-Fällung-Filtration, um die zur Einleitung in den Vorfluter bestehenden Einleitgrenzwerte einzuhalten

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Bei der installierten Behandlungstechnik gehen wir davon aus, dass es sich im Einzelnen um teilautomatisierte Prozesse handelt, und nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein ver-

gleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein gewisses Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer vorliegt.

Ferner wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in einen Vorfluter gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Da Abwasserbehandlungseinrichtungen vorhanden sind, in denen die schadstoffrelevanten Abfallbestandteile abgetrennt werden, ist das Risiko einer Schadstofffreisetzung über den Abwasserpfad als gering bis sehr gering einzuschätzen.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/ oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein gewisses Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

#### **31.1.4 Einsatz als Spaltnittel oder Ersatz-Neutralisationsmittel im CPB-Anlagenbetrieb**

Neutralisation und Fällung sind Verfahren für die Behandlung von Säuren, Laugen, metallhaltigen wässrigen Lösungen, sowie fluorid-, phosphat-, sulfat- und sulfidhaltigen Lösungen. Ziel der Neutralisation ist die Erreichung des vorgeschriebenen pH-Wertes zur direkten (pH 6,5-8,5) oder indirekten (pH 6,5-10) Ableitung oder zur Metallausfällung. Dies erfolgt durch Zugabe von Säuren oder Basen zur Lösung; es können geeignete Abfälle oder Rohchemikalien sein. Ziel der Fällung ist die Überführung von löslichen Substanzen in nichtlösliche Verbindungen. Dies erfolgt durch chemische Reaktionen wie Neutralisation und die anschließende Abtrennung der Feststoffe, um die gesetzlichen Schwermetall-Grenzwerte im Ablauf zu erreichen. Beispiele für Metalle, die ausgefällt werden, sind Zn, Ni, Cr, Pb, Cd, Sn, Al und Cu.

Hierbei stellt die Neutralisation und Fällung in den meisten Fällen den vorletzten Schritt der eigentlichen chemisch-physikalischen Behandlung dar. Dieser Behandlungsstufe werden neben den entgifteten flüssigen Abfällen auch die nur sauren, basischen oder schwach metallhaltigen Abfälle zugeführt. Die basisch bzw. sauer anfallenden Abfallmengen neutralisieren sich in der Regel gegenseitig, so dass nur gelegentlich auftretende Säure- bzw. Alkaliüberflüsse neutralisiert werden müssen [MUNLV NRW 2007]. Die ausgefällten Stoffe werden durch mechanische Trennverfahren, wie Filtration und Sedimentation/ Zentrifugation, abgetrennt.

Zu diesem Zweck werden in einigen Behandlungsanlagen saure Altbeizen als Spaltnittel oder Ersatz-Neutralisationsmittel eingesetzt [AIDA 2016b].

#### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs**

Durch den anlageninternen Einsatz von sauren Altbeizen des AS 110105\* in den CBP werden dem (externen) Wirtschaftskreislauf keine Wertstoffe zugeführt.

#### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Durch den CPB-internen Einsatz von sauren Altbeizen des AS 110105\* wird kein Verwertungserzeugnis hergestellt, in das Schadstoffe verschleppt und dort angereichert werden.

#### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Der Hauptanteil der in den sauren Altbeizen noch enthaltenen Schadstoffe befindet sich nach deren Sedimentation und Filtration in den festen Behandlungsrückständen (Filterkuchen). Dies stellt eine Aufkonzentration von Schadstoffen dar.

Im Rahmen der weiteren Entsorgung werden die Filterkuchen in der Regel auf einer oberirdischen Deponie beseitigt.

### **Rohstoffbedarf, Betriebsmitteleinsatz etc.**

Nach ihrem Einsatz als Spaltmittel oder in den Neutralisations-/ Fällungsvorrichtungen gelangen die neutralisierten sauren Altbeizen – in anteiliger Mischung mit dem übrigen Abwasserstrom - in die Sedimentationsstufe der CPB. Hier werden den flüssigen Abfällen polymere Flockungsmittel zur Sedimentationsbeschleunigung hinzugegeben.

### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Als Abfall aus der anteiligen Mit-Sedimentation und Mit-Filtration der ursprünglich eingesetzten sauren Altbeizenmengen fallen Filterkuchen an. Diese Filterkuchen gelangen auf eine oberirdische Deponie zur Beseitigung und sind somit als nicht verwertbare Abfälle einzustufen.

### **Energie**

Der Energieverbrauch im Zuge der Mit-Behandlung der eingesetzten sauren Altbeizen und der sich anschließenden Abwasserreinigung ist in erster Linie von der hierzu benötigten Strommenge abhängig. Unter Bezugnahme auf spezifische Energieverbrauchsangaben für komplette chemisch-physikalische Behandlungslinien lässt sich spezifische Behandlungsaufwand in grober Näherung zu ungefähr  $< 15 \text{ kWh/m}^3$  eingesetzter saurer Altbeizen abschätzen [NEHLSSEN 2016, Bremen 2014].

### **Treibhausgasemissionen**

Sowohl in den zur Neutralisation eingesetzten sauren Altbeizen des AS 110105\* als auch in deren Behandlungsrückständen sind keine Bestandteile enthalten, die ein Treibhauspotenzial aufweisen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die zur (anorganischen,) chemisch-physikalischen Mit-Behandlung der sauren Altbeizen realisierte Verfahrenstechnik macht keine Abgasreinigung erforderlich [MUNLV NRW 2007].

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Anfallendes Abwasser wird behandelt (Sedimentation – Abtrennung fällbarer Metallionen – Grobfiltration – Aktivkohleadsorption) [MUNLV NRW 2007], um die zur Einleitung in den Vorfluter bestehenden Einleitgrenzwerte einzuhalten.

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Hinsichtlich der realisierten CPB-Prozessketten gehen wir davon aus, dass es sich im Einzelnen um teilautomatisierte Prozesse handelt, und nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein gewisses Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer vorliegt.

Ferner wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in einen Vorfluter gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Da Abwasserbehandlungseinrichtungen vorhanden sind, in denen die schadstoffrelevanten Abfallbestandteile abgetrennt werden, ist das Risiko einer Schadstofffreisetzung über den Abwasserpfad als gering bis sehr gering einzuschätzen.



Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein gewisses Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

### 32 Verfahrenssteckbrief für AS 110107\* - alkalische Beizlösungen (Abfälle aus der chemischen Oberflächenbearbeitung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen (z. B. Galvanik, Verzinkung, Beizen, alkalisches Entfetten))

Alkalische Beizlösungen, z. B. Natronlauge, werden im Allgemeinen bei der Behandlung von Aluminium- oder Zinkwerkstücken eingesetzt. Der Abfall besteht im Wesentlichen aus Natronlauge und enthält Aluminium, Zink und Legierungsmetalle, z. B. Mangan und Kupfer. Die Abfallinhaltsstoffe erfüllen die nach Gefahrstoffverordnung relevanten Gefahrenmerkmale nicht [Hegemann 2012].

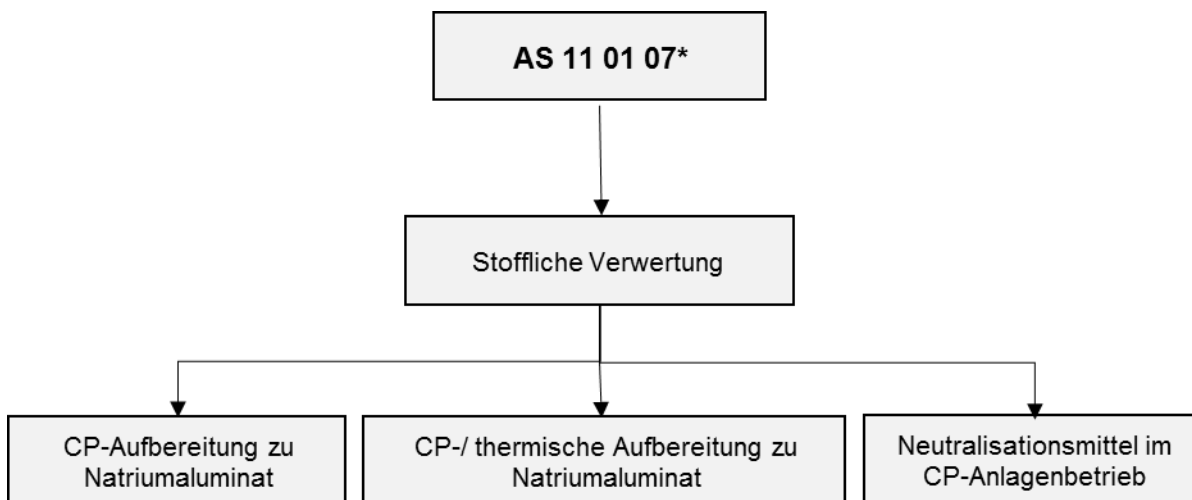
Die alkalischen Beizlösungen entstehen überwiegend als Rückstände bei der Beschichtung von Metallen (v.a. von Aluminium und Zink) und anderen Werkstoffen, z. B. durch Galvanik, Verzinkung, Beizen oder alkalisches Entfetten in der metallherzeugenden und -verarbeitenden Industrie und sind aufgrund von Verschleppungen und/ oder entsprechend ihrer Verwendung oft mit weiteren Komponenten vermischt (z. B. andere Laugenarten, Komplexbildnern oder organischen Verbindungen).

Um welche Begleit- oder Verunreinigungsstoffe es sich im Einzelnen handelt, ist nicht bekannt. Aus diesem Grund ist es nicht möglich, spezielle Verwertungsverfahren für bestimmte, in den alkalischen Beizlösungen enthaltene Verschleppungskomponenten zu benennen und zu bewerten.

Das Maß der stofflichen Verwertung von alkalischen Beizlösungen wird entscheidend vom jeweiligen Wertstoffgehalt, also in der Regel vom Gehalt der Metallhydroxide, der Abfälle bestimmt. Die in den alkalischen Beizlösungen vorhandenen Aluminium- und Natrium-Konzentrationen reichen jedoch häufig aus, um diese Abfälle chemisch-physikalisch zu marktgängigen Natriumaluminaten aufzubereiten [REMONDIS 2016].

Während vor rund zwei Jahrzehnten der Einsatz von Abfall-Laugen, wie die alkalischen Beizlösungen als Ersatz-Neutralisationsmittel quasi als Stand der Technik in chemisch-physikalischen Abfallbehandlungsanlagen (CBP'n) angesehen wurde [Rudolph 1995], wird diese Verwertungsvariante aktuell nur noch in relativ wenigen Behandlungsanlagen praktiziert. Gleichwohl wird die Substitution von Neutralisationsmitteln in CPB'n ebenfalls betrachtet und in die Bewertung der Verfahren mit aufgenommen.

Abbildung 21: Verwertungsschema für die Abfallart AS 110107\*



Eigene Darstellung

Für die vergleichende Bewertung wird die chemisch-physikalische Aufbereitung der alkalischen Beizlösungen zu Natriumaluminaten herangezogen, da diese in AIDA als Verwertungsweg für die Jahre

2010 – 2013 aufgeführt wird. Wegen der geringen Unterschiede werden die chemisch-physikalische und die chemisch-physikalisch-thermische Aufbereitung zusammen betrachtet. Hinzugenommen wird der Einsatz von alkalischen Beizlösungen als Ersatz-Neutralisationsmittel in CPB'n, da diese Verwertungsvariante auch (noch) in einigen Behandlungsanlagen praktiziert wird.

## **32.1 Stoffliche Verwertung**

### **32.1.1 Chemisch-physikalische/ thermische Aufbereitung zu Natriumaluminat**

Verbrauchte Aluminatlösungen (Rückstandslaugen) werden durch die Aufbereitungsschritte Dekontamination – Filtration – Mischen - Eindampfen - Filtrieren und Neutralisieren gereinigt und zum Teil zusammen mit Rohstoffen (Aluminiumhydroxiden) zu marktgängigen Natriumaluminat-Erzeugnissen verarbeitet. Die Natriumaluminat-Produkte werden in der kommunalen und industriellen Abwasserreinigung beispielsweise als alkalisches Fällungsmittel zur Phosphat-Elimination eingesetzt, oder dienen der Reduzierung von lipophilen Stoffen, Sulfaten und Schwermetallen. Weitere Einsatzgebiete sind die Bauchemie, die chemische Produktion sowie die Herstellung von Weißpigmenten [AIDA 2016a].

#### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs**

Der Gesamtanteil der durch die Natriumaluminat-Aufbereitung im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffe - hier die jeweiligen Aluminate – beträgt um die 65 % [REMONDIS 2016].

#### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Im Zuge der Aufbereitung der verbrauchten Aluminatlösungen werden enthaltene Schadstoffe (z. B. Schwermetalle) durch Fällung, Sedimentation und Filtration weitgehend abgetrennt [REMONDIS 2016]. Es kann somit davon ausgegangen werden, dass Schadstoffverschleppungen nur in sehr geringem Umfang auftreten und keine Schadstoffanreicherung im Verwertungserzeugnis „Natriumaluminat“ erfolgt.

#### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Der Hauptanteil der in den alkalischen Beizlösungen enthaltenen Schadstoffe befindet sich nach deren Aufbereitung in den festen Behandlungsrückständen (Filterkuchen). Dies stellt eine Aufkonzentration von Schadstoffen dar.

Im Rahmen der weiteren Entsorgung werden die Filterkuchen auf einer oberirdischen Deponie beseitigt [REMONDIS 2016].

#### **Rohstoffbedarf, Betriebsmitteleinsatz etc.**

Im Zuge der chemisch-physikalischen Aufbereitung der alkalischen Beizlösungen werden als Betriebsmittel im wesentlichen Natriumsulfid (Schwermetall-Fällungsmittel), polymere Flockungsmittel (zur Sedimentationsbeschleunigung) und Schwefelsäure (als Neutralisationsmittel) eingesetzt.

Zur Erzielung höherer Produktqualitäten werden den erzeugten Natriumaluminaten reine Aluminiumhydroxide (als Rohstoffe) zugesetzt [REMONDIS 2016].

#### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Als Abfall fallen die nach der Aufbereitung der alkalischen Beizlösungen erhaltenen Filterkuchen aus der Abwasserreinigung an. Diese Filterkuchen gelangen auf eine oberirdische Deponie zur Beseitigung [REMONDIS 2016] und sind somit als nicht verwertbare Abfälle einzustufen.

## **Energie**

Der Energieverbrauch im Zuge der Aufbereitung von Rückstandslaugen ist im Wesentlichen von der hierzu benötigten Strom- und Wärmemenge abhängig. Der Betreiber einer Aufbereitungsanlage gibt als Referenzgrößen einen spezifischen Stromverbrauch von rund 30 kWh pro Mg Natriumaluminat und einen Dampfverbrauch von rund 0,25 Mg Dampf pro Mg Natriumaluminat (entsprechend ca. 171 kWh/Mg Natriumaluminat) an [REMONDIS 2016]. Der spezifische Aufbereitungsaufwand lässt sich somit zu insgesamt rund 201 kWh/Mg Natriumaluminat abschätzen.

## **Treibhausgasemissionen**

Sowohl in den im Aufbereitungsverfahren eingesetzten alkalischen Beizlösungen als auch in deren Behandlungsrückständen sind keine Bestandteile enthalten, die ein Treibhauspotenzial [UBA 2015] aufweisen.

Neben den direkten Emissionen entstehen auch Treibhausgasemissionen aus dem Energiebedarf (z. B. Strom) des Verwertungsverfahrens.

Außerdem wird in der Regel eine Gutschrift für die nicht erforderliche Neuerstellung von Produkten vergeben. Die Höhe dieser Gutschrift richtet sich nach dem Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs. Die Gutschrift steht den direkten Treibhausgasemissionen und den Emissionen aus dem Energiebedarf des Verwertungsverfahrens entgegen.

## **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die realisierte Behandlungstechnik zur Aufbereitung der Rückstandslaugen macht keine Abgasreinigung erforderlich [REMONDIS 2016].

## **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Anfallendes Abwasser wird behandelt (Neutralisation-Fällung-Filtration) [REMONDIS 2016], um die zur Einleitung in den Vorfluter bestehenden Einleitgrenzwerte einzuhalten

## **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Bei der installierten Behandlungstechnik gehen wir davon aus, dass es sich im Einzelnen um teilautomatisierte Prozesse handelt, und nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein gewisses Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer vorliegt.

Ferner wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in einen Vorfluter gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Da Abwasserbehandlungseinrichtungen vorhanden sind, in denen die schadstoffrelevanten Abfallbestandteile abgetrennt werden, ist das Risiko einer Schadstofffreisetzung über den Abwasserpfad als gering bis sehr gering einzuschätzen.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/ oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein gewisses Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

### **32.1.2 Einsatz als Ersatz-Neutralisationsmittel im CPB-Anlagenbetrieb**

Gefährliche flüssige Abfälle, wie z. B. Alt-Säuren, Alt-Laugen, schwermetallhaltige Lösungen, Dünnschlämme oder Flüssigkeiten mit schadstoffhaltigen Inhaltsstoffen (→ Nitrite, Chromate und Cyanide), werden i.d.R. im anorganischen Behandlungsstrang einer CPB ihrer physikalischen und chemischen Behandlung unterzogen. Ziel der Behandlung ist die Entgiftung der enthaltenen toxischen Anionen, die Neutralisation von Säuren und Laugen, die Abtrennung von fällbaren Kationen (insbesondere der Schwermetalle) und die Entwässerung von angefallenen Schlämmen.

Hierbei stellt die Neutralisation und Fällung in den meisten Fällen den vorletzten Schritt der eigentlichen chemisch-physikalischen Behandlung dar. Dieser Behandlungsstufe werden neben den entgifteten flüssigen Abfällen auch die nur sauren, basischen oder schwach metallhaltigen Abfälle zugeführt. Die basisch bzw. sauer anfallenden Abfallmengen neutralisieren sich in der Regel gegenseitig, so dass nur gelegentlich auftretende Säure- bzw. Alkaliüberflüsse neutralisiert werden müssen [MUNLV NRW 2007].

Zu diesem Zweck werden in einigen Behandlungsanlagen alkalische Beizlösungen als Ersatz-Neutralisationsmittel eingesetzt [AIDA 2016b].

Im nächsten CP-Behandlungsschritt werden die flüssigen Abfälle dann nach Hinzugabe von geeigneten Flockungsmitteln, mit denen eine schnelle und wirksame Abtrennung der ausgefällten Metallgehalte realisiert wird, sedimentiert und filtriert.

#### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs**

Durch den anlageninternen Einsatz von alkalischen Beizlösungen des AS 110107\* werden dem (externen) Wirtschaftskreislauf keine Wertstoffe zugeführt.

#### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnisse**

Durch den CPB-internen Einsatz von alkalischen Beizlösungen des AS 110107\* wird kein Verwertungserzeugnis hergestellt, in das Schadstoffe verschleppt und dort angereichert werden.

#### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Der Hauptanteil der in den alkalischen Beizlösungen enthaltenen Schadstoffe befindet sich nach deren Sedimentation und Filtration in den festen Behandlungsrückständen (Filterkuchen). Dies stellt eine Aufkonzentration von Schadstoffen dar.

Im Rahmen der weiteren Entsorgung werden die Filterkuchen in der Regel auf einer oberirdischen Deponie beseitigt.

#### **Rohstoffbedarf, Betriebsmitteleinsatz etc.**

Nach ihrem Einsatz in den Neutralisations-/ Fällungsvorrichtungen gelangen die neutralisierten alkalischen Beizlösungen – in anteiliger Mischung mit dem übrigen Abwasserstrom - in die Sedimentationsstufe der CPB. Hier werden den flüssigen Abfällen polymere Flockungsmittel zur Sedimentationsbeschleunigung hin-zugegeben.

#### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Als Abfall aus der anteiligen Mit-Sedimentation und Mit-Filtration der ursprünglich eingesetzten alkalischen Beizlösungen fallen Filterkuchen an. Diese Filterkuchen gelangen auf eine oberirdische Deponie zur Beseitigung und sind somit als nicht verwertbare Abfälle einzustufen.

## **Energie**

Der Energieverbrauch im Zuge der Mit-Behandlung der eingesetzten alkalischen Beizlösungen und der sich anschließenden Abwasserreinigung ist in erster Linie von der hierzu benötigten Strommenge abhängig. Unter Bezugnahme auf spezifische Energieverbrauchsangaben für komplette chemisch-physikalische Behandlungslinien lässt sich der spezifische Behandlungsaufwand in grober Näherung zu ungefähr  $< 15 \text{ kWh/m}^3$  eingesetzter alkalischer Beizlösung abschätzen [NEHLESEN 2016, Bremen 2014].

## **Treibhausgasemissionen**

Sowohl in den zur Neutralisation eingesetzten alkalischen Beizlösungen des AS 110107\* als auch in deren Behandlungsrückständen sind keine Bestandteile enthalten, die ein Treibhauspotenzial [UBA 2015] aufweisen.

Neben den direkten Emissionen entstehen auch Treibhausgasemissionen aus dem Energiebedarf (z. B. Strom) des Verwertungsverfahrens.

Außerdem wird in der Regel eine Gutschrift für die nicht erforderliche Neuherstellung von Produkten vergeben. Die Höhe dieser Gutschrift richtet sich nach dem Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs. Die Gutschrift steht den direkten Treibhausgasemissionen und den Emissionen aus dem Energiebedarf des Verwertungsverfahrens entgegen.

## **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die zur (anorganischen,) chemisch-physikalischen Mit-Behandlung der alkalischen Beizlösungen realisierte Verfahrenstechnik macht keine Abgasreinigung erforderlich [MUNLV NRW 2007].

## **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Anfallendes Abwasser wird behandelt (Sedimentation – Abtrennung fällbarer Metallionen – Grobfiltration – Aktivkohleadsorption) [MUNLV NRW 2007], um die zur Einleitung in den Vorfluter bestehenden Einleitgrenzwerte einzuhalten.

## **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Hinsichtlich der realisierten CPB-Prozessketten gehen wir davon aus, dass es sich im Einzelnen um teilautomatisierte Prozesse handelt, und nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein gewisses Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer vorliegt.

Ferner wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in einen Vorfluter gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Da Abwasserbehandlungseinrichtungen vorhanden sind, in denen die schadstoffrelevanten Abfallbestandteile abgetrennt werden, ist das Risiko einer Schadstofffreisetzung über den Abwasserpfad als gering bis sehr gering einzuschätzen.

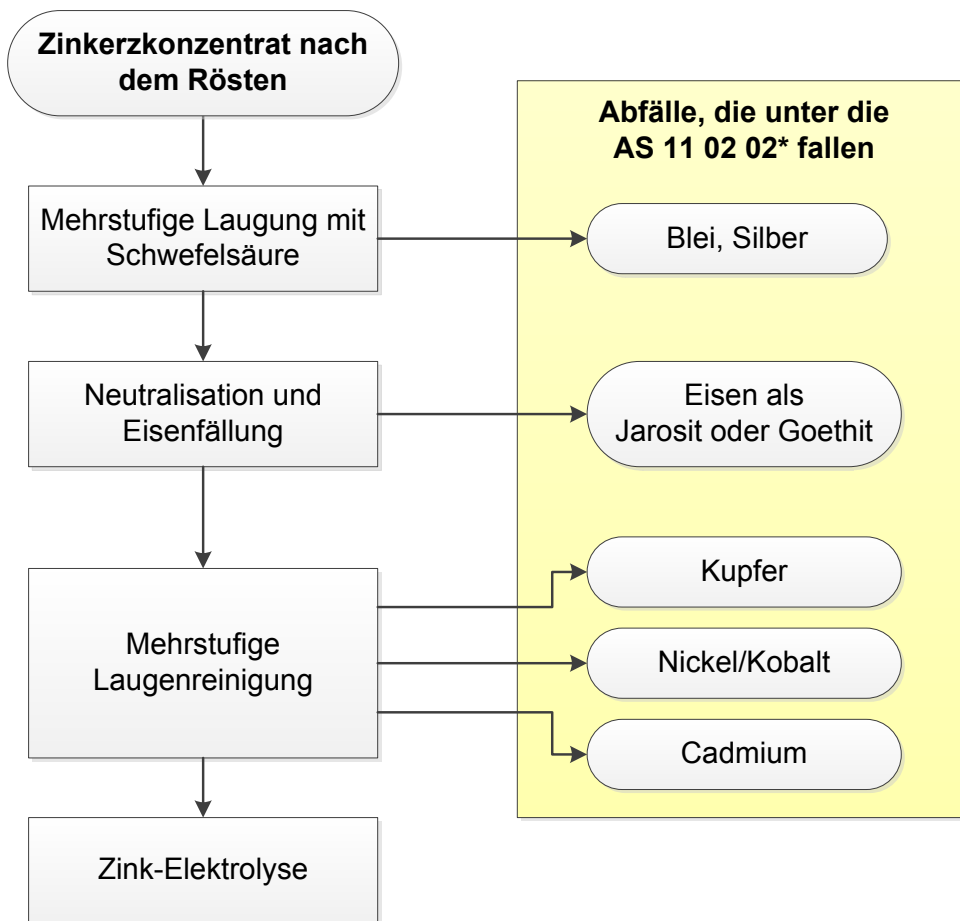
Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/ oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein gewisses Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

### 33 Verfahrenssteckbrief für AS 110202\* - Schlämme aus der Zink-Hydrometallurgie (einschließlich Jarosit, Goethit) (Abfälle aus Prozessen der Nichteisen-Hydrometallurgie)

Bei den als Schlämme anfallenden Abfällen dieser Schlüsselnummer handelt es sich um Schlämme aus den Laugungs- und Laugenreinigungsprozessen der Zink-Hydrometallurgie. Neben mineralischen Stoffen sind in ihnen Begleitmetalle enthalten. [UM B-W 2003]

Ein vereinfachtes Verfahrensschema mit den an den verschiedenen Stellen anfallenden Abfällen der AS 11 02 02\* zeigt Abbildung 22.

Abbildung 22 Vereinfachtes Verfahrensschema der Zink-Hydrometallurgie mit den Begleitmetallen in den Abfällen, die unter AS 11 02 02\* fallen



Eigene Darstellung

Bei den mehrstufigen Laugungsprozessen mit Schwefelsäure werden als erstes die unlöslichen Begleitmetalle Blei und Silber als Schlamm abgeschieden (siehe Abbildung 22), da sie nicht in Lösung gehen [Brauer 1996]. Dieser Abfall wird aufgrund seines hohen Bleigehalts in der Regel verwertet.

Aus der so erhaltenen Lösung (Lauge) wird nach Neutralisation das enthaltene Eisen ausgefällt (siehe Abbildung 22) [Brauer 1996]. Dafür werden zwei Fällungsverfahren angewandt: die Fällung als Jarosit und die Fällung als Goethit.

- Bei Jarosit handelt es sich um ein Eisenmineral mit einem hohen Eisenanteil, in dem ein großer Anteil des Eisens in Schwefelverbindungen vorliegt. Da in der Regel in Stahlanlagen keine Entschwefelung der Abgase vorhanden ist, kann dieses Mineral aufgrund der entstehenden hohen

SO<sub>2</sub>-Konzentrationen im Abgas schwer eingesetzt werden und wird daher deponiert. [Dehoust et al. 2015]

- ▶ Bei Goethit handelt es sich ebenfalls um ein Eisenmineral mit einem hohen Eisenanteil. Es kann aufgrund der enthaltenen Verunreinigungen, z. B. eingebautem Chlor im Gitter der Eisenkristalle, meistens nicht in der Eisenmetallurgie eingesetzt werden und wird daher ebenfalls deponiert. [Dehoust et al. 2015]

Nach der Eisenfällung als Jarosit oder Goethit (siehe Abbildung 22) erfolgt die Laugenreinigung. Dabei werden in den verschiedenen Stufen Kupfer, Nickel und Kobalt sowie Cadmium durch Zementation mit Zinkstaub ausgefällt und ausgeschleust [Brauer 1996]. Diese Abfälle können in der Regel verwertet werden.

In den fünf Abfällen, die bei der Laugung, der Eisenfällung und der Laugenreinigung anfallen (siehe Abbildung 22), ist auch Zink in unterschiedlichen Konzentrationen enthalten. Außerdem sind in all diesen Abfällen neben dem/den jeweils ausgeschleusten Hauptmetall/Hauptmetallen auch die anderen Begleitmetalle mit unterschiedlichen Gehalten vorhanden.

Die hier unter einer Schlüsselnummer zusammengefassten Abfälle, weisen je nach Anfallstelle im Prozess (siehe Abbildung 22) sehr unterschiedliche Gehalte an Zink und den Begleitmetallen Blei, Eisen, Nickel, Kupfer, Kobalt, Cadmium und Silber etc. auf (siehe Tabelle 2). Daher ist es nicht möglich, einen Abfall der Schlüsselnummer 11 02 02\* einem oder mehreren Verwertungsverfahren sinnvoll zuzuordnen, ohne Kenntnisse über dessen genaue Zusammensetzung, insbesondere hinsichtlich der Gehalte der verschiedenen Metalle, zu besitzen.

Beispiel: Der bei der Laugung anfallende bleihaltige Schlamm kann grundsätzlich in einer Sekundärbleihütte verwertet werden. Ob er aufgrund seines hohen Bleigehalts auch in anderen Verfahren, in denen Blei zurückgewonnen wird, verwertet werden kann, ist fraglich. Für den Einsatz im DK-Prozess fehlt das Eisen und der Bleigehalt ist zu hoch. Für den Einsatz im Wälzverfahren ist nicht in ausreichendem Umfang Zink enthalten und für die Verwertung in einer Sekundärkupferhütte ist der Kupfergehalt zu gering.

Die Abfälle der Schlüsselnummer 11 02 02\* werden zwar beispielsweise von Sekundärbleihütten (z. B. Berzelius-Gruppe), Sekundärkupferhütten (z. B. Aurubis AG) und Nickelhütten (z. B. Nickelhütte GmbH) sowie für das Wälzverfahren (Befesa Zinc GmbH, Harz-Metall GmbH) und den DK-Prozess (DK Recycling und Roheisen GmbH) angenommen, aber nur, wenn sie bestimmte Bedingungen hinsichtlich ihrer Metallgehalte und Störstoffgehalte erfüllen [Dehoust et al. 2015].

Tabelle 2 Metallgehalte (Auswahl) der AS 11 02 02\* [ABANDA 2016]

Metall	Gehalt Minimum [mg/kg]	Gehalt Maximum [mg/kg]
Cadmium	0,2	300
Eisen	8.200	249.000
Kupfer	98	11.000
Nickel	400	1.850
Zink	44	568.889

Eine vergleichende Bewertung der Verwertungsverfahren ist aus o. g. Gründen nicht zielführend. Da die derzeit anfallenden Abfälle mit dieser Schlüsselnummer vor allem deponiert werden, können hier aber die oberirdische Deponierung bzw. der Deponiebau auf DK II oder DK III mit der Verwertung im Bergversatz verglichen und bewertet werden.

Wie oben bereits ausgeführt enthalten die Abfälle der Schlüsselnummer 11 02 02\* verschiedene Metalle und Schwermetalle in unterschiedlichen Konzentrationen. Neben den in Tabelle 2 bereits aufge-



fürten Konzentrationsbereichen wurden beispielsweise in einem zu deponierenden Jarosit-Schlamm 53.332 ppm Blei und 33.646 ppm Zink analysiert [Dehoust et al. 2015].

Diese Metalle und Schwermetalle stellen nach der Ablagerung eine Gefahr für Boden und Grundwasser dar, wenn sie am Ablagerungsort nicht langzeitsicher eingeschlossen werden (Senkenfunktion).

Das Konzept, Schadstoffe in obertägigen Deponien einzukapseln (Hochsicherheitsdeponie, Multibarrierensystem), ist systembedingt mit dem Problem verbunden, dass über den Zeitraum der Funktionsfähigkeit 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. Das obertägige Deponieren bzw. der Deponiebau können demnach nicht als langzeitsicher eingestuft werden, da ein sicherer Einschluss je nach Beschaffenheit der Deponie nicht über einen Zeitraum von mehr als 1.000 Jahren gesichert ist. Die Ablagerung auf Deponien der Deponieklassen II und III ist daher als mittelfristig sicher einzustufen (100 – 1.000 Jahre) [Dehoust et al. 2007].

Bei der Ablagerung der Schlacke als Versatzmaterial im Salzbergwerk mit Langzeitsicherheitsnachweis stellt sich das anders dar:

Aufgrund der Eigenschaften der geologischen Formation („Wirtsgestein“, „einschlusswirksamer Gebirgsbereich“), der Abwesenheit bzw. der Unbeweglichkeit von Transportmedien verbleiben die 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. Der Einschluss muss nach Deponie- 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 Deponieverordnung zu entsprechen und entsprechende Untersuchungen über deren Wirksamkeit liegen vor. [Dehoust et al. 2007]

Demnach kann die Ablagerung als Versatzmaterial im Salzbergwerk mit Langzeitsicherheitsnachweis als langfristig sichere Senke eingestuft werden (1.000 – 10.000 Jahre) [Dehoust et al. 2007].

Sollten in der Zukunft Verfahren entwickelt und eingesetzt werden, die es ermöglichen, die in den abgelagerten Abfällen in relevanten Mengen enthaltenen Metalle und Schwermetalle zurückzugewinnen, ist bei der Bewertung folgendes zu berücksichtigen:

- ▶ Die Ablagerung auf Deponien der Deponieklassen II und III ermöglicht eine Rückholung der relevanten Abfälle, insbesondere dann, wenn sie auf Monodeponien bzw. Monodeponieabschnitten einer Deponie abgelagert wurden.
- ▶ Die Verwendung der Abfälle als Versatzmaterial macht eine Rückholung so gut wie unmöglich.

Andere Bewertungskriterien wie Treibhausgasemissionen oder die Freisetzung von Luftschadstoffen durch unterschiedlich lange Transportwege spielen für die Bewertung keine entscheidende Rolle [Dehoust et al. 2007].

### **Anmerkung**

Im Jahr 1990 hat die Ruhr-Zink GmbH, Datteln, ein Patent für ein Verfahren zur Aufarbeitung von Jarosit-Schlamm angemeldet. Die Patentschrift wurde 1994 veröffentlicht [EP 1994]. Danach werden die

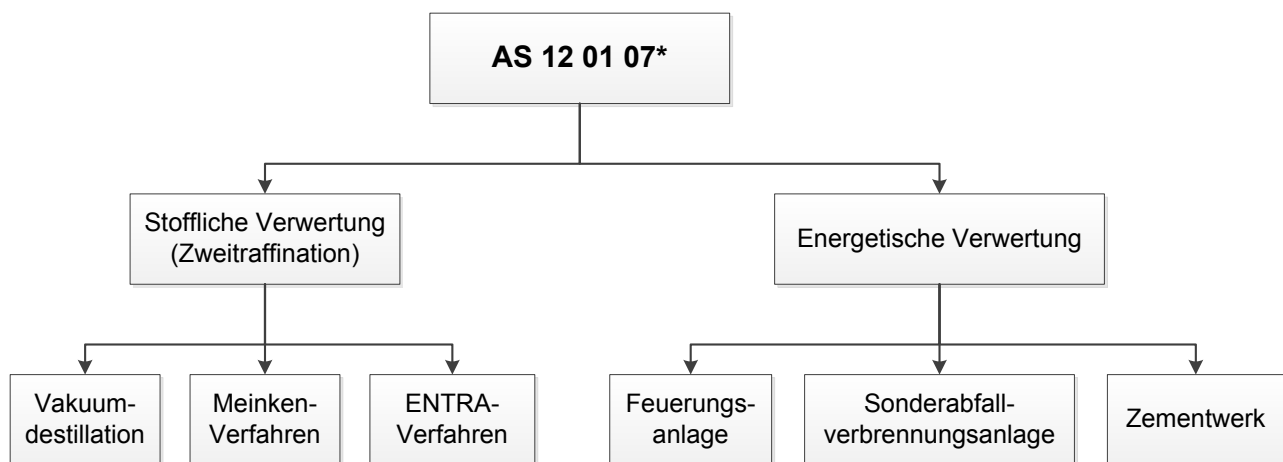
Jarosit-haltigen Rückstände und Zinksulfid enthaltende Konzentrate in verdünnter Schwefelsäure mit einem Gehalt von 40 bis 100 g/l freier Schwefelsäure in einem Autoklaven bei einem Sauerstoff-Partialdruck von mindestens 1.000 kPa und einer Temperatur von 130 bis 170 °C gerührt, wobei Eisen und Zink weitgehend in Lösung gebracht werden. Nach der Entspannung erfolgt eine Trennung in Lösung und Feststoff. Die Lösung wird in den Laugenkreislauf einer Zinkelektrolyse mit Fällung des Eisens als Hämatit geleitet. Aus dem Feststoff wird der elementare Schwefel abgetrennt und der Rückstand einer Weiterverwendung zugeführt.

Das Werk der Ruhr-Zink GmbH wurde 2008 geschlossen und dieses Verfahren findet derzeit keine Anwendung.

## 34 Verfahrenssteckbrief für AS 120107\* - Halogenfreie Bearbeitungsöle auf Mineralölbasis (außer Emulsionen und Lösungen) aus Prozessen der mechanischen Formgebung sowie der physikalischen und mechanischen Oberflächenbearbeitung von Metallen und Kunststoffen

Bei dieser Abfallart handelt es sich um verbrauchte Öle auf Mineralölbasis, die bei der Metallbearbeitung zum Schmierem, Kühlen und Späneabtransport eingesetzt werden (KSS-Öle). Neben dem Hauptbestandteil Öl sind darin Metallabrieb, Additive, Rost, Schmutz und Zersetzungsprodukte enthalten [Denz 2009]. Sie können ohne Vorbehandlung einer Entsorgung zugeführt werden: Zweitraffination (Altölraffination) und energetische Verwertung [UM B-W 2003] (siehe Abbildung unten). Gegebenenfalls müssen vorher die Feststoffe abgetrennt werden [Denz 2009].

Abbildung 23: Verwertungsschema für die Abfallart AS 120107\*



Eigene Darstellung

Soll eine stoffliche Verwertung erfolgen, muss das KSS-Öl der sogenannten Zweitraffination unterzogen werden. Hierfür stehen die Vakuumdestillation mit Dünnschichtverdampfern und die Schwefelsäure-Bleicherdeverfahren (Meinken- und ENTRA-Verfahren) zur Verfügung.

Die KSS-Öle können in Altölverwertungsanlagen aufgearbeitet werden, wenn die Parameter der Altölverordnung [AltölV 2012] entsprechen [LUBW 1996]. D. h., sie dürfen nicht mehr als 20 mg PCB/kg und 2 g Gesamthalogen/kg enthalten.

Durch Zweitraffination können Altöle auf Mineralölbasis zu Grund- und Schmierölen aufgearbeitet werden. Außerdem entstehen bei der Zweitölraffination Destillate, die als Heizöl oder Fluxöle für Bitumen eingesetzt werden. [LUBW 1996]

### 34.1 Stoffliche Verwertung

#### 34.1.1 Destillation

Bei der Vakuumdestillation mit Dünnschichtverdampfung werden die Wirkstoffe durch Destillation im Hochvakuum entfernt und anschließend das Öl über Dünnschichtverdampfer geführt. In einem nachgeschalteten Kondensationssystem werden die einzelnen Fraktionen gewonnen. Diese Fraktionen müssen in geringem Maße mit Bleicherde nachbehandelt werden. [LUBW 1996]

#### Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs/Abfalls

Die Produktausbeute beträgt über 70 % [UBA 2006a].

### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Eine Schadstoffanreicherung im Produkt erfolgt nicht. Die Schadstoffverschleppung ist zwar nicht "Null", sie darf aber aufgrund bestehender Grenzgehalte in den erzeugten Produkten nicht höher sein als in den ersetzten Neuprodukten.

### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die Schadstoffe befinden sich nach der Destillation zum überwiegenden Teil im Destillat. Die restlichen Schadstoffe werden nach der anschließenden Behandlung der Ölphase mit der Bleicherde ausge-  
tragen. Über die Entsorgung des Destillats liegen keine Informationen vor. Die Bleicherde wird im Zementwerk verwertet.

Es wird davon ausgegangen, dass der organische Schadstoffanteil in der Bleicherde im Zementwerk zerstört wird, und damit eine Senkenfunktion vorliegt. Eventuell noch vorhandene Schadstoffe verbleiben mit der Bleicherde im Zement.

### **Rohstoffbedarf, Betriebsmitteleinsatz**

Es kommt in geringem Maße Bleicherde zur Nachbehandlung der einzelnen Fraktionen zum Einsatz [LUBW 1996]. Genaue Angaben liegen nicht vor.

### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Der Bleicherderückstand fällt ohne Metallanteile an. Er kann unter Nutzung des Ölanteils als Energielieferant in der Zementindustrie eingesetzt werden und bleibt als reine Tonerde Bestandteil des herzustellenden Zements [LUBW 1996]. Das als Abfall anfallende Destillat stellt keinen zusätzlichen Abfall dar, da es bereits im behandelten Abfall enthalten war.

Über andere zusätzlich anfallende Abfälle liegen keine Informationen vor.

### **Energie**

Für die Vakuumdestillation wird Energie benötigt. Nähere Angaben über den Energieverbrauch liegen nicht vor.

### **Treibhausgasemissionen**

Bei der energetischen Verwertung des zusätzlich als Abfall anfallenden Bleicherderückstands werden Treibhausgasemissionen durch die Verbrennung der enthaltenen organischen Bestandteile verursacht. Treibhausgase werden ebenfalls emittiert, wenn das Destillat zur Entsorgung einer Verbrennung zugeführt wird.

Neben den direkten Emissionen entstehen auch Treibhausgasemissionen aus dem Energiebedarf (z. B. Strom) des Verwertungsverfahrens.

Außerdem wird in der Regel eine Gutschrift für die nicht erforderliche Neuherstellung von Produkten vergeben. Die Höhe dieser Gutschrift richtet sich nach dem Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs. Die Gutschrift steht den direkten Treibhausgasemissionen und den Emissionen aus dem Energiebedarf des Verwertungsverfahrens entgegen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen (z. B. thermische Nachverbrennung) gemindert und sind nicht höher als bei der Verbrennung in Müllverbrennungsanlagen [LUBW 1996].

Da es sich bei dem eingesetzten Abfall um ein KSS-Öl handelt, das keine leichtflüchtigen Bestandteile enthalten sollte, wird angenommen, dass es bei Umschlag, Lagerung und Handling zu keinen relevanten diffusen Schadstoffemissionen kommt.

Gleiches gilt für Umschlag, Lagerung und Handling des Betriebsmittels „Bleicherde“ und des Abfalls „beladene Bleicherde“.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Emissionen ins Wasser werden durch Abwasserreinigungsverfahren verringert [LUBW 1996] und müssen die jeweils festgelegten Einleitgrenzwerte eingehalten.

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Bei der Vakuumdestillation gehen wir davon aus, dass es sich um einen teilautomatisierten Prozess handelt, und nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein gewisses Risiko von Fehlbedienungen. Es wird aber davon ausgegangen, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle und der Bleicherde kein besonderes Risiko für die Arbeitnehmer und die Nachbarschaft vorliegt.

Weiterhin wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Inwieweit die hier relevanten Abfälle in der Abwasserbehandlungsanlage abgebaut bzw. unschädlich gemacht werden, hängt von den jeweiligen Stoffen und der Leistungsfähigkeit der Abwasserbehandlung ab.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

#### **34.1.2 Schwefelsäure-Bleicherde-Verfahren (Meinken-Verfahren)**

Beim Meinken-Verfahren werden Wasser und Schlämme zunächst in einem Sedimentationsprozess abgetrennt. Anschließend werden thermisch leichtsiedende Anteile und Restwasser entfernt. Der Rückstand wird in einer Kolonne zur Zersetzung der Additive gecrackt. Nach Zugabe von Schwefelsäure werden Oxygenkohlenwasserstoffe, noch nicht zersetzte Additive und Aromaten zersetzt, die sich als Säureteer abscheiden. Das verbleibende Saueröl wird mit Bleicherde versetzt und einem Verdampfungsprozess unterzogen. Dort werden weitere verbleibende Störstoffe abgeschieden. In Raffinationskolonnen werden nach Fest-Flüssig-Trennschritten die eigentlichen Produkte wie Grund- und Fluxöle gewonnen. [LUBW 1996]

### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs/Abfalls**

Die Produktausbeute beträgt pro Tonne Altöl (trocken) 848 kg [Möller 1999], also rund 85 %.

### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Eine Schadstoffanreicherung im Produkt erfolgt nicht. Die Schadstoffverschleppung ist zwar nicht "Null", sie darf aber aufgrund bestehender Grenzgehalte in den erzeugten Produkten nicht höher sein als in den ersetzten Neuprodukten.

### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die Hauptschadstoffmenge wird mit dem Säureteer und der beladenen Bleicherde ausgetragen. Der Säureteer wird unter Rückgewinnung von SO<sub>2</sub> verbrannt. Die beladene Bleicherde wird im Zementwerk eingesetzt.

Es wird davon ausgegangen, dass der organische Schadstoffanteil sowohl in der Bleicherde im Zementwerk als auch im Säureteer bei der Verbrennung zerstört wird, und damit eine Senkenfunktion vorliegt. Eventuell noch vorhandene Schadstoffe verbleiben mit der Bleicherde im Zement. Über den Verbleib eventuell noch vorhandener Schadstoffe im Rückstand aus der Säureteerverbrennung liegen keine Informationen vor.

### **Rohstoffbedarf, Betriebsmitteleinsatz**

Pro Tonne Altöl (trocken) werden 85 kg Schwefelsäure (96 %ig) und 87 kg Bleicherde eingesetzt [Möller 1999].

### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Als Hauptabfälle fallen pro Tonne Altöl (trocken) 165 kg Säureteere und 159 kg beladene Bleicherde an [Möller 1999]. Die Säureteere werden verbrannt, wobei das SO<sub>2</sub> zurückgewonnen und zur erneuten Herstellung von Schwefelsäure verwendet wird. Die beladene Bleicherde wird unter Nutzung des Ölanteils als Energielieferant in der Zementindustrie eingesetzt und bleibt als reine Tonerde Bestandteil des herzustellenden Zements. [LUBW 1996]

Über andere anfallende Abfälle, z. B. Ölschlämme, ihre Massen und ihre Entsorgungswege liegen keine Angaben vor.

### **Energie**

Pro Tonne erzeugtem Raffinat werden ca. 47 kWh Strom und 82 kg Heizöl EL benötigt [Möller 1999]. 82 kg Heizöl entsprechen rund 968 kWh.

### **Treibhausgasemissionen**

Beim Cracken des Rückstands aus der Sedimentation und der Entfernung von Leicht siedern und Restwasser können organische Substanzen entstehen, die ein Treibhausgaspotenzial besitzen können.

Bei der Verbrennung der zusätzlich als Abfall anfallenden Säureteere und der Verwertung der mit organischen Stoffen beladenen Bleicherden entstehen relevante Treibhausgasemissionen.

Neben den direkten Emissionen entstehen auch Treibhausgasemissionen aus dem Energiebedarf (z. B. Strom) des Verwertungsverfahrens.

Außerdem wird in der Regel eine Gutschrift für die nicht erforderliche Neuherstellung von Produkten vergeben. Die Höhe dieser Gutschrift richtet sich nach dem Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs. Die Gutschrift steht den direkten Treibhausgasemissionen und den Emissionen aus dem Energiebedarf des Verwertungsverfahrens entgegen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Abluft wird einer thermischen Nachverbrennung unterzogen, saure Abgase werden gewaschen [LUBW 1996]. Die Emissionen sind nicht höher als bei der Verbrennung in Müllverbrennungsanlagen [LUBW 1996].

Da es sich bei dem eingesetzten Abfall um ein KSS-Öl handelt, das keine leichtflüchtigen Bestandteile enthalten sollte, wird angenommen, dass es bei Umschlag, Lagerung und Handling zu keinen relevanten diffusen Schadstoffemissionen kommt.

Gleiches gilt für Umschlag, Lagerung und Handling der Betriebsmittel Bleicherde und Schwefelsäure sowie der Abfälle an beladene Bleicherde und Säureteer.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Emissionen ins Wasser werden durch Abwasserreinigungsverfahren verringert [LUBW 1996] und müssen die jeweils festgelegten Einleitgrenzwerte eingehalten.

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Beim Meinken-Verfahren gehen wir davon aus, dass es sich um einen kontinuierlichen und weitgehend automatisierten Prozess handelt, bei dem nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass aufgrund des Einsatzes von Schwefelsäure ein gewisses Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer besteht. Ein besonderes Risiko für die Nachbarschaft besteht aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle, der Bleicherde und der Schwefelsäure nicht.

Weiterhin wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Betriebsstoffe und Abfälle nicht direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Inwieweit die hier relevanten Betriebsstoffe und Abfälle in der Abwasserbehandlungsanlage abgebaut bzw. unschädlich gemacht werden, hängt von den jeweiligen Stoffen und der Leistungsfähigkeit der Abwasserbehandlung ab.

Wenn Flächen auf denen Betriebsstoffe und Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

#### **34.1.3 Schwefelsäure-Bleicherde-Verfahren (ENTRA-Verfahren)**

Das von der SÜDÖL Mineralöl-Raffinerie entwickelte ENTRA-Verfahren ist dem Meinken-Verfahren sehr ähnlich. Die Kolonne zur Zersetzung der Additive wurde durch einen Rohrreaktor ersetzt. Die nachfolgenden Verfahrensschritte wurden umgestellt. Zusätzlich wird eine 50 %ige Natronlauge benötigt und zudosiert. [Möller 1999]

Vorteile des Verfahrens sind [Möller 1999]

- die höhere Produktausbeute von rund 99 % gegenüber 85 % beim Meinken-Verfahren,
- der geringere Einsatz von Schwefelsäure (10 kg gegenüber 85 kg beim Meinken-Verfahren) und Bleicherde (12 kg gegenüber 87 kg beim Meinken-Verfahren) sowie
- der mit dem verringerten Hilfsstoffeinsatz verbundene geringere Anfall an Säureteeren (19 kg gegenüber 165 kg beim Meinken-Verfahren) und beladener Bleicherde (23 kg gegenüber 159 kg beim Meinken-Verfahren).

Der zusätzliche Einsatz von 50 %iger Natronlauge beträgt 22 kg/Mg Altöl (trocken) [Möller 1999].

#### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs/Abfalls**

Die Produktausbeute beträgt rund 99 % [Möller 1999].

### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Eine Schadstoffanreicherung im Produkt erfolgt nicht. Die Schadstoffverschleppung ist zwar nicht "Null", sie darf aber aufgrund bestehender Grenzwerte in den erzeugten Produkten nicht höher sein als in den ersetzten Neuprodukten.

### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die Hauptschadstoffmenge wird mit dem Sumpf, dem Säureteer und der beladenen Bleicherde ausgelesen. Der Sumpf findet Verwendung als Fluxöl oder Brennstoff [Möller 1999]. Der Säureteer wird unter Rückgewinnung von  $\text{SO}_2$  verbrannt. Die beladene Bleicherde wird im Zementwerk eingesetzt.

Es wird davon ausgegangen, dass der organische Schadstoffanteil sowohl in der Bleicherde im Zementwerk als auch im Säureteer bei der Verbrennung zerstört wird, und damit eine Senkenfunktion vorliegt. Eventuell noch vorhandene Schadstoffe verbleiben mit der Bleicherde im Zement. Über den Verbleib eventuell noch vorhandener Schadstoffe im Rückstand aus der Säureteerverbrennung liegen keine Informationen vor.

### **Rohstoffbedarf, Betriebsmitteleinsatz**

Pro Tonne Altöl (trocken) werden 10 kg Schwefelsäure (96 %ig), 12 kg Bleicherde und 22 kg Natronlauge (50 %ig) eingesetzt [Möller 1999]. Da die Natronlauge zur Entfernung von Halogenverbindungen zugesetzt wird, die KSS-Öle aber halogenfrei sein sollten, wird der Natronlaugeneinsatz deutlich geringer sein, als es für die Altölverwertung in der Literatur angegeben ist.

### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Als Hauptabfälle fallen pro Tonne Altöl (trocken) 19 kg Säureteere und 23 kg beladene Bleicherde an [Möller 1999].

Die Säureteere können auch hier verbrannt werden (energetische Verwertung), wobei das  $\text{SO}_2$  zurückgewonnen und zur erneuten Herstellung von Schwefelsäure verwendet wird. Die beladene Bleicherde kann ebenfalls unter Nutzung des Ölanteils als Energielieferant in der Zementindustrie eingesetzt werden und bleibt als reine Tonerde Bestandteil des herzustellenden Zements. [Möller 1999].

Über andere anfallende Abfälle, ihre Massen und ihre Entsorgungswege liegen keine Angaben vor.

### **Energie**

Der Stromverbrauch beträgt mehr als 83 kWh pro erzeugter Tonne Raffinat. Der Heizölverbrauch liegt in der gleichen Größenordnung wie beim Meinken-Verfahren (82 kg pro erzeugter Tonne Raffinat, entspricht rund 968 kWh). [Möller 1999]

### **Treibhausgasemissionen**

Aufgrund des Ersatzes der Kolonne zur Zersetzung (Cracken) der Additive durch einen Rohrreaktor wird beim ENTRA-Verfahren ein Cracken fast vollständig vermieden [Möller 1999]. Entsprechend entstehen aus diesem Verfahrensschritt keine relevanten Treibhausgasemissionen.

Bei der Verbrennung der zusätzlich als Abfall anfallenden Säureteere und der Verwertung der mit organischen Stoffen beladenen Bleicherden entstehen relevante Treibhausgasemissionen.

Neben den direkten Emissionen entstehen auch Treibhausgasemissionen aus dem Energiebedarf (z. B. Strom) des Verwertungsverfahrens.



Außerdem wird in der Regel eine Gutschrift für die nicht erforderliche Neuherstellung von Produkten vergeben. Die Höhe dieser Gutschrift richtet sich nach dem Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs. Die Gutschrift steht den direkten Treibhausgasemissionen und den Emissionen aus dem Energiebedarf des Verwertungsverfahrens entgegen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Abluft wird einer thermischen Nachverbrennung unterzogen [Möller 1999].

Da es sich bei dem eingesetzten Abfall um ein KSS-Öl handelt, das keine leichtflüchtigen Bestandteile enthalten sollte, wird angenommen, dass es bei Umschlag, Lagerung und Handling zu keinen relevanten diffusen Schadstoffemissionen kommt.

Gleiches gilt für Umschlag, Lagerung und Handling der Betriebsmittel Bleicherde, Schwefelsäure und Natronlauge sowie der Abfälle an beladene Bleicherde und Säureteer.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Da die SÜDÖL bereits beim Schwefelsäure-Bleicherdeverfahren das anfallende Abwasser vor der Einleitung entsprechend reinigte, wird dies auch beim ENTRA-Verfahren der Fall sein. Die bestehenden Einleitgrenzwerte sind auf jeden Fall einzuhalten.

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Beim ENTRA-Verfahren gehen wir davon aus, dass es sich um einen kontinuierlichen und weitgehend automatisierten Prozess handelt, bei dem nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass aufgrund des Einsatzes von Schwefelsäure und Natronlauge ein gewisses Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer besteht. Ein besonderes Risiko für die Nachbarschaft besteht aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle, der Bleicherde, der Schwefelsäure und der Natronlauge nicht.

Es wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Betriebsstoffe und Abfälle nicht direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Inwieweit die hier relevanten Betriebsstoffe und Abfälle in der Abwasserbehandlungsanlage abgebaut bzw. unschädlich gemacht werden, hängt von den jeweiligen Stoffen und der Leistungsfähigkeit der Abwasserbehandlung ab.

Wenn Flächen auf denen Betriebsstoffe und Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

## **34.2 Energetische Verwertung**

Die energetische Verwertung von KSS-Altölen erfolgt z. B. in Feuerungsanlagen, Zementwerken und Sonderabfall Müllverbrennungsanlagen. Voraussetzung für den Einsatz in diesen Anlagen ist die Einhaltung der jeweils für die Anlage im Genehmigungsbescheid festgelegten Parameter [LUBW 1996]. Bei Zementwerken sind i.d.R. höhere Schadstoffgehalte an PCB und Halogenen in den Genehmigungen festgelegt [LUBW 1996].

### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs/Abfalls**

Bei der energetischen Verwertung verbleiben i.d.R. keine Wertstoffe im Wirtschaftskreislauf. Die stoffliche Verwertung ist daher in diesem Punkt i.d.R. besser zu bewerten als die energetische Verwertung.

## **Rohstoffbedarf und/oder Betriebsmitteleinsatz**

Bei allen hier betrachteten Verfahren zur energetischen Verwertung halogenfreier Bearbeitungsöle auf Mineralölbasis kommen im Zuge der nachgeschalteten Rauchgasreinigungseinrichtungen Betriebsmittel in geringem Umfang zum Einsatz.

## **Energie**

Der energetische Wirkungsgrad kann bei Feuerungs- und Sonderabfallverbrennungsanlagen nicht eindeutig bestimmt werden, da er davon abhängig ist, ob nur Strom oder nur Wärme oder beides erzeugt wird. Dies ist je nach Anlage unterschiedlich. Allgemein kann im Vergleich untereinander aber festgestellt werden, dass der energetische Netto-Wirkungsgrad beim Abfalleinsatz im Zementwerk am höchsten ist, da die Energie direkt im Prozess genutzt wird. Der energetische Netto-Wirkungsgrad von Feuerungsanlagen ist niedriger, aber höher als bei Sonderabfallverbrennungsanlagen, da der Eigenbedarf niedriger und damit der energetische Netto-Wirkungsgrad höher ist.

### **34.2.1 Feuerungsanlagen**

#### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Bei der energetischen Verwertung in Feuerungsanlagen wird kein Verwertungserzeugnis hergestellt, in das Schadstoffe verschleppt und dort angereichert werden.

#### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die in den als Brennstoff eingesetzten KSS-Ölen enthaltenen organischen Schadstoffe werden in der Feuerung weitgehend zerstört.

Schlacken und Aschen aus Feuerungsanlagen, in denen Abfälle mitverbrannt werden, finden Verwendung im Bergversatz oder werden aufbereitet und anderweitig verwertet, zum Teil auch deponiert. REA-Gips wird verwertet.

#### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz der KSS-Öle in Feuerungsanlagen entstehen nur geringe Mengen an Abfällen (Schlacken/Aschen, Flugaschen, REA-Gips), da der Feststoffanteil sowie der Schwefel- und Stickstoffgehalt gering sind.

Schlacken und Aschen aus der Steinkohlefeuerung werden hauptsächlich im Erd-, Tief-, Straßen- und Wegebau verwendet. Flugaschen finden u.a. Verwendung als Zusatzstoff in Beton und werden im Erd-, Tief-, Straßen- und Wegebau eingesetzt. [Dehoust et al. 2008]

Kesselaschen aus der Braunkohlefeuerung werden überwiegend im Tagebau verwendet, aber auch als Zusatz zu Zement/Beton, als Verfüllbaustoff und im Straßen- und Wegebau. Haupteinsatzgebiet der Flugaschen ist der Tagebau. Daneben kommen sie auch als Verfüllbaustoff zur Bodenverbesserung und in Zement/Beton zum Einsatz. [Dehoust et al. 2008]

Schlacken und Aschen aus Feuerungsanlagen, in denen Abfälle mitverbrannt werden, finden Verwendung im Bergversatz oder werden aufbereitet und anderweitig verwertet, zum Teil auch deponiert [Dehoust et al. 2008].

REA-Gips wird verwertet [Prognos 2003].

Da die Schlacken und Aschen aus der Abfallmitverbrennung teilweise deponiert werden, fallen hier geringe Mengen an nicht verwertbaren Abfällen an.

### **Treibhausgasemissionen**

Der in den eingesetzten KSS-Ölen enthaltene Kohlenstoff wird vollständig in Kohlendioxid umgesetzt. Damit wird der Hauptanteil des ursprünglichen Abfalls in CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Durch die Nutzung der im Abfall enthaltenen Energie wird eine Menge an Primärbrennstoffen substituiert, d.h. eingespart. Die eingesparte Menge an Primärbrennstoff wird mittels einer Gutschrift für Treibhausgasemissionen berücksichtigt. Diese Gutschrift steht den aus der Verbrennung des Abfalls resultierenden Treibhausgasemissionen entgegen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der Anlage 3 Nr. 3 der 17. BImSchV.

Da es sich bei dem eingesetzten Abfall um ein KSS-Öl handelt, das keine leichtflüchtigen Bestandteile enthalten sollte, wird angenommen, dass es bei Umschlag, Lagerung und Handling zu keinen relevanten diffusen Schadstoffemissionen kommt.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Bei der Verbrennung in Feuerungsanlagen anfallende Abwässer müssen behandelt und aufbereitet werden [UBA 2006b].

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz der Abfälle (KSS-Öle) in Feuerungsanlagen nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Weiterhin gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle (KSS-Öle) kein besonderes Risiko für die Arbeitnehmer und die Nachbarschaft vorliegt.

Es wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Inwieweit die hier relevanten Abfälle in der Abwasserbehandlungsanlage abgebaut bzw. unschädlich gemacht werden, hängt von den jeweiligen Stoffen und der Leistungsfähigkeit der Abwasserbehandlung ab.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

## **34.2.2 Sonderabfallverbrennung**

### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Bei der energetischen Verwertung in Müllverbrennungsanlagen wird kein Verwertungserzeugnis hergestellt, in das Schadstoffe verschleppt und dort angereichert werden.

### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die in den als Brennstoff eingesetzten KSS-Ölen enthaltenen organischen Schadstoffe werden in der Feuerung weitgehend zerstört.

Schlacken, Filterstäube und andere Rauschgasreinigungsrückstände, z. B. Salze, werden in Untertagedeponien beseitigt, auf oberirdischen Deponien verwertet oder beseitigt oder im Bergversatz verwertet.

### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz der KSS-Öle in der Sonderabfallverbrennung entstehen nur geringe Mengen an Abfällen (Aschen, Filterstäube, andere Abgasreinigungsrückstände), da der Feststoffanteil sowie der Schwefel- und Stickstoffgehalt gering sind.

Da Schlacken und Filterstäube, insbesondere aber die anfallenden Salze, zu einem großen Teil beseitigt werden, fallen hier nicht verwertbare Abfälle an.

### **Treibhausgasemissionen**

Der in den eingesetzten KSS-Ölen enthaltene Kohlenstoff wird vollständig in Kohlendioxid umgesetzt. Damit wird der Hauptanteil des ursprünglichen Abfalls in CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Durch die Nutzung der im Abfall enthaltenen Energie wird eine entsprechende Menge an Primärbrennstoffen substituiert, d.h. eingespart. Bei der Sonderabfallverbrennungsanlage hängt die tatsächlich eingesparte Menge an Primärbrennstoffen davon ab, wie viel Strom und/oder Wärme konkret erzeugt und ausgekoppelt wird. Die eingesparte Menge an Primärbrennstoff wird mittels einer Gutschrift für Treibhausgasemissionen berücksichtigt. Diese Gutschrift steht den aus der Verbrennung des Abfalls resultierenden Treibhausgasemissionen entgegen.

Der energetische Wirkungsgrad kann bei Feuerungs- sowie Müll- und Sonderabfallverbrennungsanlagen nicht eindeutig bestimmt werden, da er davon abhängig ist, ob nur Strom oder nur Wärme oder beides erzeugt wird. Dies ist je nach Anlage unterschiedlich.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der 17. BImSchV.

Da es sich bei dem eingesetzten Abfall um ein KSS-Öl handelt, das keine leichtflüchtigen Bestandteile enthalten sollte, wird angenommen, dass es bei Umschlag, Lagerung und Handling zu keinen relevanten diffusen Schadstoffemissionen kommt.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Es wird davon ausgegangen, dass bei Sonderabfallverbrennungsanlagen kein Abwasser anfällt und damit kein Abwasserpfad besteht.

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz der Abfälle (KSS-Öle) in Sonderabfallverbrennungsanlagen nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Weiterhin gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle (KSS-Öle) kein besonderes Risiko für die Arbeitnehmer und die Nachbarschaft vorliegt.

Es wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, sondern aufgefangen und entsorgt werden.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

Sonderabfallverbrennungsanlagen haben den Zweck, Sonderabfälle zu verbrennen. Daher gehen wir davon aus, dass Prozesse, Anlagen und Mitarbeiter für ein sicheres Handling dieser Materialien in besonderem Maße ausgerichtet bzw. geschult sind. Damit wird das Risiko im Vergleich mit anderen Verfahren als geringer eingeschätzt.

### **34.2.3 Zementwerk**

#### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Es wird davon ausgegangen, dass der organische Schadstoffanteil im Zementwerk bei der Verbrennung weitgehend zerstört wird, und damit eine Senkenfunktion vorliegt. Eventuell noch vorhandene Schadstoffe verbleiben im Zement.

#### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die in den als Brennstoff eingesetzten KSS-Ölen enthaltenen organischen Schadstoffe werden bei der Verbrennung im Zementwerk weitgehend zerstört.

#### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz der KSS-Öle im Zementwerk entstehen nur geringe Mengen an Abfällen, insbesondere Filterstäube, da der Feststoffanteil sowie der Schwefel- und Stickstoffgehalt gering sind.

Die Filterstäube können dem Klinker beigegeben oder an anderer Stelle dem Prozess wieder zugeführt werden [Davids/Lange 1986].

#### **Treibhausgasemissionen**

Der in den eingesetzten KSS-Ölen enthaltene Kohlenstoff wird vollständig in Kohlendioxid umgesetzt. Damit wird der Hauptanteil des ursprünglichen Abfalls in CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Der eingesetzte Abfall ersetzt eine, seinem Heizwert entsprechende Menge an Primärbrennstoff, der dann nicht verbrannt wird. Für diese Substitution des Primärbrennstoffs wird eine Gutschrift erteilt, die dem Kohlendioxid (Lastschrift) aus der Verbrennung des Abfalls entgegensteht bzw. diese Lastschrift übertrifft.

#### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der Anlage 3 Nr. 2 der 17. BImSchV.

Da es sich bei dem eingesetzten Abfall um ein KSS-Öl handelt, das keine leichtflüchtigen Bestandteile enthalten sollte, wird angenommen, dass es bei Umschlag, Lagerung und Handling zu keinen relevanten diffusen Schadstoffemissionen kommt.

#### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

In der Zementindustrie sind nassarbeitende Abgasreinigungsanlagen nicht im Einsatz [Davids/Lange 1986]. Zementwerke besitzen daher i.d.R. keine spezielle Abwasserreinigung bzw. keinen Wasserpfad, so dass keine Schadstofffreisetzung ins Wasser erfolgt.

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz der Abfälle (KSS-Öle) in Zementwerken nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Weiterhin gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle (KSS-Öle) kein besonderes Risiko für die Arbeitnehmer und die Nachbarschaft vorliegt.

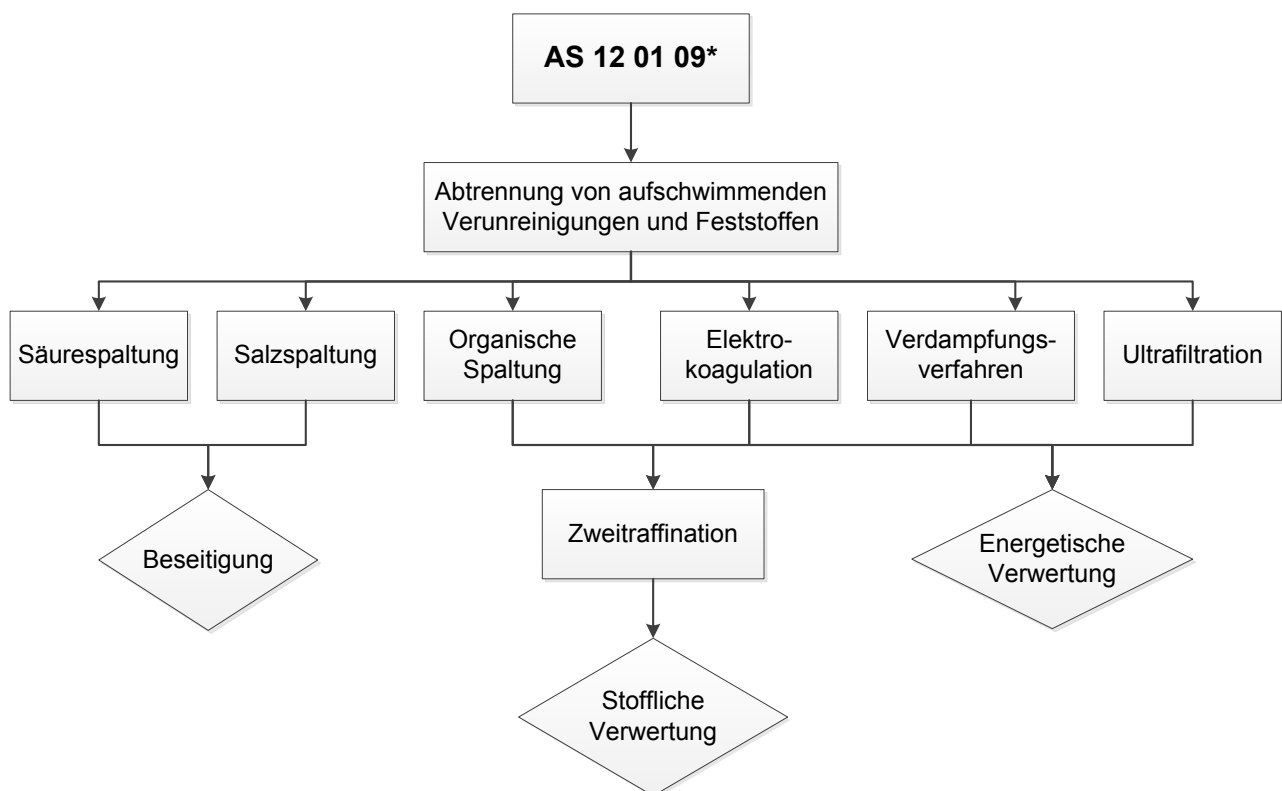
Da Zementwerke i.d.R. nicht über eine spezielle Abwasserbehandlung verfügen, wird davon ausgegangen, dass hier ein erhöhtes Risiko besteht, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle, z. B. bei Regen, direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, wenn keine Vorkehrungen getroffen sind, um belastetes Betriebsflächenwasser auffangen und entsorgen zu können.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

## 35 Verfahrenssteckbrief für AS 120109\* - Halogenfreie Bearbeitungs-emulsionen und -lösungen aus Prozessen der mechanischen Formgebung sowie der physikalischen und mechanischen Oberflächenbearbeitung von Metallen und Kunststoffen

Bei dieser Abfallart handelt es sich insbesondere um verbrauchte Kühlschmierstoffe (KSS). Neben den Hauptbestandteilen Öl und Wasser sind darin die aus der Anwendung stammenden Metallteilchen sowie die Chemikalien der Ausgangskühlschmierstoffe, wie Emulgatoren, Korrosionsinhibitoren, polare Wirkstoffe und EP-Additive, Mikrobiozide, Lösungsvermittler und Entschäumer [Denz 2009a], enthalten. Um eine Verwertung des enthaltenen Öls und u. U. auch des Wassers zu ermöglichen, sind mehrere Behandlungsschritte erforderlich. Auch bei Einleitung der Wasserphase als Abwasser wird i.d.R. eine Nachbehandlung erforderlich sein, um die Einleitgrenzwerte einzuhalten.

Abbildung 24: Verwertungsschema für die Abfallart AS 120109\*



Eigene Darstellung

### 35.1 Abtrennen von aufschwimmenden Verunreinigungen und Feststoffen

Ziel dieser Vorbehandlung ist es, die Emulsionsspaltanlagen zu entlasten, die bei der Emulsionsspaltung anfallende Rückstandsmenge zu reduzieren und die Ölphase nicht mit ölfremden Bestandteilen (Feststoffen) zu belasten, um ihre Verwertung zu erleichtern [LUBW 1996].

Zur Abscheidung von sedimentierbaren Feststoffen und aufschwimmenden Verunreinigungen werden die gleichen Verfahren wie bei der Badpflege angewandt [LUBW 1996]. Für Feststoffe sind dies Sedimentieren, Zentrifugieren, Filtrieren, Flotieren und die Magnetabscheidung. Zur Abtrennung der aufschwimmenden Verunreinigungen kommen Skimmer, Ölabsauggeräte, Koaleszenzabscheider, Lamellenseparatoren, Zentrifugen, Ringkammerentöler und die Flotation zum Einsatz.

In der Praxis erfolgt im Rahmen der produktionsbegleitenden Badpflege oftmals eine so weitgehende Abscheidung der sedimentierbaren Feststoffe und aufschwimmenden Verunreinigungen, dass Vorbehandlungsschritte vor der Emulsionsspaltung nicht notwendig sind [LUBW 1996].

Das Abtrennen von aufschwimmenden Verunreinigungen und Feststoffen ist je nach Abfallzusammensetzung entweder bei allen Verfahren gleich oder aufgrund der vom Abfallerzeuger vorgenommenen Badpflege nicht erforderlich, so dass dieser Verfahrensschritt nicht in die Bewertung aufgenommen wird.

## 35.2 Emulsionstrennverfahren

Im ersten zu bewertenden Verfahrensschritt sind für die Auftrennung der Öl-Wasser-Emulsion nur die organische Spaltung, das Verdampfungsverfahren und die Ultrafiltration relevant, da

- ▶ die Säure- und die Salzsäure-Spaltung nicht mehr dem Stand der Technik entsprechen,
- ▶ nicht bekannt ist, ob die Elektrokoagulation überhaupt zur Anwendung kommt, und
- ▶ die Emulsionsspaltung durch temperaturaktivierte Druckhydrolyse nicht ausgereift ist.

Die stoffliche Verwertung der Ölphasen ist bei den drei in die Bewertung aufgenommenen Verfahren z. B. durch Zweitraffination möglich.

Ab einem Ölgehalt von ca. 30 % wird ein Heizwert von  $\geq 11.000$  kJ/kg erreicht, so dass die direkte energetische Verwertung möglich ist [LUBW 1996]. Dieser Ölgehalt wird bei den drei in die Bewertung aufgenommenen Verfahren erreicht bzw. überschritten, so dass die gewonnenen Ölphasen i.d.R. direkt der energetischen Verwertung zugeführt werden (Feuerungsanlagen, Zementwerken, Müllverbrennungsanlagen) können.

Die Wasserphasen können nach allen Trennverfahren aufgearbeitet und das Wasser wieder eingesetzt werden. Für die Bewertung wird daher davon ausgegangen, dass dies geschieht.

### 35.2.1 Emulsionsspaltung mit organischen Chemikalien

Hier werden zur Spaltung synthetische, hochpolymere Substanzen, meist tertiäre und quartäre Polyamine oder Polyamide, eingesetzt. Diese heben die stabilisierende Wirkung der Emulgatoren auf, indem sie deren Ladung neutralisieren. [ATZ-EVUS 2001]

#### Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs/Abfalls

Mit dieser Technik können ca. 90 % des emulgierten Öls abgetrennt werden [ATZ-EVUS 2001].

Die zunächst entstehende nichtionogene Öl-Wasser-Polymer-Phase mit einem Restwasseranteil von ca. 30 % lässt sich in einem zweiten Schritt durch die Zugabe von neutralen sog. Sekundärspaltern oder Fließverbesserern auf einen Restwassergehalt von 5 – 10 % nachbehandeln. Die Reaktionszeiten für die Demulgierung betragen zwischen 10 Minuten und einer Stunde. [LUBW 1996]

#### Zerstörung oder Abtrennung von Schadstoffen

In der Ölphase kommt es zwangsläufig zu einer begrenzten Anreicherung von Schadstoffen. Dies ist aber erwünscht, um die Verwertbarkeit bzw. die Einleitbarkeit der Wasserphase zu realisieren. [LUBW 1996]

Es findet also weder eine Zerstörung noch eine Abtrennung von Schadstoffen statt, sondern die Schadstoffe werden lediglich auf die beiden Phasen verteilt.



### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die Schadstoffe werden bei dieser Vorbehandlung nicht zerstört. Sie befinden sich nach der Behandlung zum überwiegenden Teil in der Ölphase und zum Teil in der Wasserphase. Die Ölphase geht entweder zur stofflichen Verwertung in die Zweitraffination oder wird energetisch verwertet. Die Wasserphase wird aufbereitet und kann wieder eingesetzt werden. Auf welchem Weg die bei der Abwasserbehandlung anfallenden Abfälle entsorgt werden, in denen sich der Hauptteil der Schadstoffe aus der behandelten Wasserphase befindet, ist nicht bekannt.

Da die Schadstoffe nicht zerstört werden, der Hauptteil der Schadstoffe mit der Ölphase in die Verwertung gelangt und über den Entsorgungsweg des geringeren Anteils der Schadstoffe keine Angaben vorliegen, muss davon ausgegangen werden, dass diese Vorbehandlung keine geschlossene Senke darstellt (hier wird keine nachgeschaltete Senke betrachtet und bewertet, Ölphase mit aufkonzentrierten Schadstoffen geht in die Verwertung).

### **Rohstoffbedarf, Betriebsmitteleinsatz**

In Abhängigkeit vom Ölgehalt werden pro Kubikmeter Emulsion 1 – 3 kg Primärspalter und 2 – 10 kg Sekundärspalter benötigt [LUBW 1996].

### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Die anfallenden Ölphasen werden entweder direkt energetisch verwertet oder gehen in die Zweitraffination. Die bei der Aufbereitung der Wasserphase anfallenden Abfälle sind bei allen Verfahren gleich und gehen daher nicht in die Bewertung ein. Andere Abfälle, die möglicherweise noch anfallen, sind von untergeordneter Bedeutung und haben keinen Einfluss auf die Bewertung.

### **Energie**

Der Energieverbrauch liegt in der Größenordnung von 2 kWh/m<sup>3</sup> [LUBW 1996].

### **Treibhausgasemissionen**

Aus der Verfahrensbeschreibung ist keine Quelle für direkte Treibhausgasemissionen aus den Abfällen oder Betriebsstoffen ersichtlich.

Neben den direkten Emissionen entstehen auch Treibhausgasemissionen aus dem Energiebedarf (z. B. Strom) des Verwertungsverfahrens.

Außerdem wird in der Regel eine Gutschrift für die nicht erforderliche Neuherstellung von Produkten vergeben. Die Höhe dieser Gutschrift richtet sich nach dem Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs. Die Gutschrift steht den direkten Treibhausgasemissionen und den Emissionen aus dem Energiebedarf des Verwertungsverfahrens entgegen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Emissionen in die Luft sind nicht relevant [LUBW 1996]. Dies ist aufgrund der Abgasbehandlung und der geringen Volumenströme auch nachvollziehbar. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die Schadstofffreisetzung nach der Abgasbehandlung gering ist.

Da es sich bei dem eingesetzten Abfall um eine Öl-Wasser-Emulsion handelt, wird angenommen, dass es bei Umschlag, Lagerung und Handling zu keinen relevanten diffusen Schadstoffemissionen kommt.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Die Wasserphasen weisen Restölgehalte von < 50 mg/l auf [ATZ-EVUS 2001]. Bei Einsatz von Primär- und Sekundärsplaltern ist davon auszugehen, dass beide Spaltfraktionen (Öl- und Wasserphase) einer vollständigen Verwertung zugeführt werden können [LUBW 1996].

Emissionen ins Wasser sind nur dann relevant, wenn die Wasserphase nach einer zwingend erforderlichen Nachbehandlung als Abwasser eingeleitet wird [LUBW 1996] und nicht wieder eingesetzt wird.

Für die Bewertung wird davon ausgegangen, dass die Wasserphase aufgearbeitet und wieder eingesetzt wird, so dass keine Schadstoffe über das Abwasser freigesetzt werden.

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Bei der Emulsionsspaltung mit organischen Chemikalien gehen wir davon aus, dass es sich nicht um einen kontinuierlichen, vollautomatisierten Prozess handelt, sondern der Umgang mit den Abfällen und Chemikalien händisch erfolgt. Insofern besteht ein gewisses Risiko von Fehlbedienungen. Es wird aber davon ausgegangen, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Chemikalien/Abfälle kein besonderes Risiko für die Arbeitnehmer und die Nachbarschaft vorliegt.

Es wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Chemikalien und Abfälle nicht direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Inwieweit die hier relevanten Chemikalien/Abfälle in der Abwasserbehandlungsanlage abgebaut bzw. unschädlich gemacht werden, hängt von den jeweiligen Stoffen und der Leistungsfähigkeit der Abwasserbehandlung ab.

Wenn Flächen auf denen Chemikalien/Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

#### **35.2.2 Verdampfungsverfahren (Destillation)**

Das Verdampfungsverfahren ist vor allem für Mischemulsionen in Anwendung, die unterschiedliche Tenside enthalten. Als Verdampfer kommen bevorzugt Dünnschicht- oder Umlaufverdampfer zum Einsatz. Eine Erhitzung bewirkt bereits eine geringe Emulsionsspaltung. Durch eine Vakuumverdampfung gelingt aber die Abtrennung der Hauptmenge des Wassers. Der Ölgehalt der Emulsion beträgt dann ca. 20 %. Für die weitere Behandlung werden Zentrifugen eingesetzt, die eine Ölphase mit 25 % Restwasser liefern. [Martens 2011]

Als nachfolgender Verfahrensschritt kann aber eine weitere Entwässerung in einem Desorber erfolgen, in dem über einen Düsenboden erhitzte Luft eingeblasen wird, die sich mit Wasserdampf sättigt und dadurch das Öl auf 5 % Wasser entwässert [Martens 2011]. Die stoffliche Verwertung ist z. B. durch Zweitraffination möglich [LUBW 1996].

### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs/Abfalls**

Bei der organischen Spaltung können ca. 90 % des emulgierten Öls abgetrennt werden [ATZ-EVUS 2001]. Da bei Verdampfungsverfahren die Ölgehalte in der Wasserphase geringer sind als bei der organischen Spaltung, kann davon ausgegangen werden, dass der abgetrennte Ölanteil nicht niedriger ist.

### **Zerstörung oder Abtrennung von Schadstoffen**

In der Ölphase kommt es zwangsläufig zu einer begrenzten Anreicherung von Schadstoffen. Dies ist aber erwünscht, um die Verwertbarkeit bzw. die Einleitbarkeit der Wasserphase zu realisieren.

[LUBW 1996]

Es findet also weder eine Zerstörung noch eine Abtrennung von Schadstoffen statt, sondern die Schadstoffe werden lediglich auf die beiden Phasen verteilt.

### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die Schadstoffe werden bei dieser Vorbehandlung nicht zerstört. Sie befinden sich nach der Behandlung zum überwiegenden Teil in der Ölphase und zum Teil in der Wasserphase. Die Ölphase geht entweder zur stofflichen Verwertung in die Zweitrefination oder wird energetisch verwertet. Die Wasserphase wird aufbereitet und kann wieder eingesetzt werden. Auf welchem Weg die bei der Abwasserbehandlung anfallenden Abfälle entsorgt werden, in denen sich der Hauptteil der Schadstoffe aus der behandelten Wasserphase befindet, ist nicht bekannt.

Da die Schadstoffe nicht zerstört werden, der Hauptteil der Schadstoffe mit der Ölphase in die Verwertung gelangt und über den Entsorgungsweg des geringeren Anteils der Schadstoffe keine Angaben vorliegen, muss davon ausgegangen werden, dass diese Vorbehandlung keine geschlossene Senke darstellt (hier wird keine nachgeschaltete Senke betrachtet und bewertet, Ölphase mit aufkonzentrierten Schadstoffen geht in die Verwertung).

### **Rohstoffbedarf, Betriebsmitteleinsatz**

In der Literatur werden keine Rohstoffe oder Betriebsmittel genannt, die bei Verdampfungsverfahren zum Einsatz kämen. Dies ist plausibel.

### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Die anfallenden Ölphasen werden entweder direkt energetisch verwertet oder gehen in die Zweitrefination. Die bei der Aufbereitung der Wasserphase anfallenden Abfälle sind bei allen Verfahren gleich und gehen daher nicht in die Bewertung ein. Andere Abfälle, die möglicherweise noch anfallen, sind von untergeordneter Bedeutung und haben keinen Einfluss auf die Bewertung.

### **Energie**

Der Energieverbrauch ist relevant [LUBW 1996], von Nachteil [Denz 2009b] und kann bis zu 1.000 kWh/m<sup>3</sup> betragen [ATZ-EVUS 2001].

### **Treibhausgasemissionen**

Aus der Verfahrensbeschreibung ist keine Quelle für direkte Treibhausgasemissionen aus den Abfällen ersichtlich.

Neben den direkten Emissionen entstehen auch Treibhausgasemissionen aus dem Energiebedarf (z. B. Strom) des Verwertungsverfahrens.

Außerdem wird in der Regel eine Gutschrift für die nicht erforderliche Neuherstellung von Produkten vergeben. Die Höhe dieser Gutschrift richtet sich nach dem Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs. Die Gutschrift steht den direkten Treibhausgasemissionen und den Emissionen aus dem Energiebedarf des Verwertungsverfahrens entgegen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Emissionen in die Luft sind nicht relevant [LUBW 1996]. Dies ist aufgrund der Abgasbehandlung und der geringen Volumenströme auch nachvollziehbar. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die Schadstofffreisetzung nach der Abgasbehandlung gering ist.

Da es sich bei dem eingesetzten Abfall um eine Öl-Wasser-Emulsion handelt, wird angenommen, dass es bei Umschlag, Lagerung und Handling zu keinen relevanten diffusen Schadstoffemissionen kommt.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Die Wasserphasen weisen Restölgehalte von < 20 mg/l auf [ATZ-EVUS 2001]. Die Wasserdestillate müssen von Restöl befreit werden (mechanisch und durch Ansäuern). Das behandelte Destillat kann dann in die Herstellung neuer KSS zurückgeführt werden. [Martens 2011]

Emissionen ins Wasser sind relevant, wenn das Destillat als Abwasser eingeleitet wird. Sie sind aber gering, wenn eine entsprechende Nachbehandlung erfolgt [LUBW 1996].

Für die Bewertung wird davon ausgegangen, dass die Wasserphase aufgearbeitet und wieder eingesetzt wird, so dass keine Schadstoffe über das Abwasser freigesetzt werden.

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Bei den Verdampfungsverfahren gehen wir davon aus, dass es sich nicht um kontinuierliche, vollautomatisierte Prozesse handelt, sondern der Umgang mit den Abfällen händisch erfolgt. Insofern besteht ein gewisses Risiko von Fehlbedienungen. Es wird aber davon ausgegangen, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle kein besonderes Risiko für die Arbeitnehmer und die Nachbarschaft vorliegt.

Es wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Inwieweit die hier relevanten Abfälle in der Abwasserbehandlungsanlage abgebaut bzw. unschädlich gemacht werden, hängt von den jeweiligen Stoffen und der Leistungsfähigkeit der Abwasserbehandlung ab.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

### **35.2.3 Ultrafiltration**

Bei der Ultrafiltration überströmt die zu trennende Emulsion mit hoher Geschwindigkeit unter Druck (3 - 10 bar) eine poröse Membran [Denz 2009b]. Das Wasser, wasserlösliche Salze und wasserlösliche organische Stoffe passieren die Poren der Membran (Permeat) und Öle, Fette, hydrophobe Emulgatoren, Metallhydroxide und Schleifabrieb verbleiben im Retentat [Denz 2009b, Martens 2011]. Mit der Ultrafiltration können Ölgehalte von 30 - 50 % in der Retentatphase erzielt werden [LUBW 1996]. Nach Denz verbleiben Restfeuchten von ca. 30 - 50 % im Retentat [Denz 2009b].

Das Retentat kann aber auch mittels Dünnschichtverdampfung oder Zentrifugieren auf ca. 90 % Öl angereichert werden [Martens 2011]. Die stoffliche Verwertung ist z. B. durch Zweitraffination möglich [LUBW 1996].

### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs/Abfalls**

Bei der organischen Spaltung können ca. 90 % des emulgierten Öls abgetrennt werden [ATZ-EVUS 2001]. Da bei der Ultrafiltration die Ölgehalte in der Wasserphase geringer sind als bei der organischen Spaltung, kann davon ausgegangen werden, dass der abgetrennte Ölanteil nicht niedriger ist.

### **Zerstörung oder Abtrennung von Schadstoffen**

In der Ölphase kommt es zwangsläufig zu einer begrenzten Anreicherung von Schadstoffen. Dies ist aber erwünscht, um die Verwertbarkeit bzw. die Einleitbarkeit der Wasserphase zu realisieren. [LUBW 1996]

Es findet also weder eine Zerstörung noch eine Abtrennung von Schadstoffen statt, sondern die Schadstoffe werden lediglich auf die beiden Phasen verteilt.

### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die Schadstoffe werden bei dieser Vorbehandlung nicht zerstört. Sie befinden sich nach der Behandlung zum überwiegenden Teil in der Ölphase und zum Teil in der Wasserphase. Die Ölphase geht entweder zur stofflichen Verwertung in die Zweitraffination oder wird energetisch verwertet. Die Wasserphase wird aufbereitet und kann wieder eingesetzt werden. Auf welchem Weg die bei der Abwasserbehandlung anfallenden Abfälle entsorgt werden, in denen sich der Hauptteil der Schadstoffe aus der behandelten Wasserphase befindet, ist nicht bekannt.

Da die Schadstoffe nicht zerstört werden, der Hauptteil der Schadstoffe mit der Ölphase in die Verwertung gelangt und über den Entsorgungsweg des geringeren Anteils der Schadstoffe keine Angaben vorliegen, muss davon ausgegangen werden, dass diese Vorbehandlung keine geschlossene Senke darstellt (hier wird keine nachgeschaltete Senke betrachtet und bewertet, Ölphase mit aufkonzentrierten Schadstoffen geht in die Verwertung).

### **Rohstoffbedarf, Betriebsmitteleinsatz**

Der Einsatz chemischer Hilfsstoffe ist nicht erforderlich [LUBW 1996].

### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Die anfallenden Ölphasen werden entweder direkt energetisch verwertet oder gehen in die Zweitraffination. Die bei der Aufbereitung der Wasserphase anfallenden Abfälle sind bei allen Verfahren gleich und gehen daher nicht in die Bewertung ein. Die Entsorgung verbrauchter Membranen und anderer Abfälle, die möglicherweise noch anfallen, ist von untergeordneter Bedeutung und hat keinen Einfluss auf die Bewertung.

### **Energie**

Der Energieverbrauch ist relevant, da in jedem Fall Energie erforderlich ist [LUBW 1996]. Allgemeingültige Angaben über den Energieverbrauch liegen nicht vor. Eine Beispielrechnung ergab rund 32 kWh/m<sup>3</sup> [LUBW 1996].

Auch wenn der Energieverbrauch bei der Ultrafiltration deutlich über dem der organischen Spaltung liegt, ist er im Vergleich mit Verdampfungsverfahren relativ gering.

### **Treibhausgasemissionen**

Aus der Verfahrensbeschreibung ist keine Quelle für direkte Treibhausgasemissionen aus den Abfällen ersichtlich.

Neben den direkten Emissionen entstehen auch Treibhausgasemissionen aus dem Energiebedarf (z. B. Strom) des Verwertungsverfahrens.

Außerdem wird in der Regel eine Gutschrift für die nicht erforderliche Neuherstellung von Produkten vergeben. Die Höhe dieser Gutschrift richtet sich nach dem Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs. Die Gutschrift steht den direkten Treibhausgasemissionen und den Emissionen aus dem Energiebedarf des Verwertungsverfahrens entgegen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Emissionen in die Luft sind nicht relevant [LUBW 1996]. Dies ist aufgrund der Abgasbehandlung und der geringen Volumenströme auch nachvollziehbar. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die Schadstofffreisetzung nach der Abgasbehandlung gering ist.

Da es sich bei dem eingesetzten Abfall um eine Öl-Wasser-Emulsion handelt, wird angenommen, dass es bei Umschlag, Lagerung und Handling zu keinen relevanten diffusen Schadstoffemissionen kommt.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Die Ölrestgehalte im Permeat betragen  $< 5 \text{ mg/l}$  [ATZ-EVUS 2001] bzw. ca.  $20 \text{ mg/l}$  [Martens 2011].

Emissionen ins Wasser sind relevant, wenn das Permeat als Abwasser eingeleitet wird. Sie sind aber gering, wenn eine entsprechende Nachbehandlung erfolgt [LUBW 1996].

Für die Bewertung wird davon ausgegangen, dass die Wasserphase aufgearbeitet und wieder eingesetzt wird, so dass keine Schadstoffe über das Abwasser freigesetzt werden.

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Bei der Ultrafiltration gehen wir davon aus, dass es sich nicht um einen kontinuierlichen, vollautomatisierten Prozess handelt, sondern der Umgang mit den Abfällen händisch erfolgt. Insofern besteht ein gewisses Risiko von Fehlbedienungen. Es wird aber davon ausgegangen, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle kein besonderes Risiko für die Arbeitnehmer und die Nachbarschaft vorliegt.

Es wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Inwieweit die hier relevanten Abfälle in der Abwasserbehandlungsanlage abgebaut bzw. unschädlich gemacht werden, hängt von den jeweiligen Stoffen und der Leistungsfähigkeit der Abwasserbehandlung ab.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

#### **35.2.4 Emulsionsspaltung mit Säuren und Salzen**

Beim Zusatz von Säuren oder Salzlösungen zu Emulsionen lagern sich die Säureprotonen bzw. die Kationen an die anionenaktiven Gruppen der Emulgatoren an und machen sie inaktiv. Dadurch werden ein Zusammenfließen der Öltröpfchen und deren Aufschwimmen möglich. Das Aufsteigen der Öltröpf-

chen ist durch Einblasen feiner Luftblasen unter Ausnutzung des Flotationseffekts sehr wirksam zu verbessern. Eine Erwärmung der Emulsion unterstützt die Spaltvorgänge. [Martens 2011]

Der Ölgehalt nach der Säurespaltung beträgt ca. 50 %. Nach der Salzsäurespaltung liegt er im entstandenen Hydroxidschlamm zwischen 40 und 50 %. Die Wasserphasen weisen Restölgehalte von < 50 mg/l bei der Säurespaltung und < 20 mg/l bei der Salzsäurespaltung auf. [ATZ-EVUS 2001]

Nachteile dieser Verfahren sind der Chemikalienbedarf und die hohe Salzfracht der Abwässer [Martens 2011, Denz 2009b]. Außerdem können mit beiden Spaltverfahren weder die Anforderungen an die Ölphase für eine rohstoffliche Verwertung noch diejenigen für eine energetische Nutzung entsprechend der Altölverordnung [AltöV 2012] erfüllt werden [LUBW 1996], so dass auch die Ölphase als gefährlicher Abfall beseitigt werden muss.

Die Emulsionsspaltung mit anorganischen Spaltchemikalien (Säuren und Salze) entspricht nicht mehr dem Stand der Technik [ATZ-EVUS 2001, Denz 2009b].

Emissionen in die Luft sind relevant, da Abluftbelastungen durch chemische Reaktionen nicht auszuschließen sind [LUBW 1996].

Emissionen ins Wasser sind relevant, da das Spaltwasser als Abwasser eingeleitet werden muss und zusätzlich zur Restkontamination aus der KSS-Emulsion durch den Spaltprozess aufgesalzen ist [LUBW 1996].

Der Energieverbrauch ist relevant, da zahlreiche elektrische Verbraucher, wie Pumpen, Kammerfilterpresse etc. betrieben werden [LUBW 1996]. Allgemeingültige Angaben über den Energieverbrauch liegen nicht vor.

### **35.2.5 Elektrokoagulation**

Die Ladungen der emulgierten Öltröpfchen werden bei der Elektrokoagulation über Elektroden abgeführt. Es stellt sich der gleiche Effekt wie bei der Säure- und Salzsäurespaltung ein. Die Öltröpfchen können sich daraufhin zu einer abscheidbaren Ölphase vereinigen (koagulieren). [Denz 2009b]

Die abgetrennte Ölphase kann einen Wassergehalt von bis zu 70 % aufweisen [BW 2014]. Ab einem Ölgehalt von ca. 30 % wird ein Heizwert von  $\geq 11.000$  kJ/kg erreicht, der eine direkte energetische Verwertung ermöglicht [LUBW 1996]. Die direkte energetische Verwertung der Ölphase sollte daher i.d.R. auch hier möglich sein.

Weitere Angaben zum Verfahren liegen nicht vor.

### **35.2.6 Emulsionsspaltung durch temperaturaktivierte Druckhydrolyse (TDH)**

Das Entwicklungszentrum für Verfahrenstechnik untersuchte von 1998 bis 2001 in einem Forschungsprojekt die Emulsionsspaltung von Kühlschmierstoffen durch temperaturaktivierte Druckhydrolyse (180 °C und 40 bar) [ATZ-EVUS 2001]. Die Versuche lieferten zwar erfolgversprechende Ergebnisse, aufgrund technischer Probleme konnte das Verfahren aber im Zeitrahmen dieses Forschungsprojekts nicht vollständig entwickelt werden. Da keine Hinweise dafür vorliegen, dass dieses Verfahren in der Praxis zum Einsatz kommt oder zur Marktreife weiterentwickelt wurde, wird es hier nicht weiter betrachtet.

## **35.3 Zweitraffination**

Soll eine stoffliche Verwertung erfolgen, muss die Ölphase der sogenannten Zweitraffination unterzogen werden (2. Verfahrensschritt). Hierfür stehen die Vakuumdestillation mit Dünnschichtverdampfern und die Schwefelsäure-Bleicherdeverfahren (Meinken- und ENTRA-Verfahren) zur Verfügung.

Die Ölphasen aus Emulsionstrennanlagen können in Altölverwertungsanlagen aufgearbeitet werden, wenn die Parameter der Altölverordnung [AltöIV 2012] entsprechen [LUBW 1996]. D. h., sie dürfen nicht mehr als 20 mg PCB/kg und 2 g Gesamthalogen/kg enthalten.

Durch Zweitraffination können Altöle auf Mineralölbasis zu Grund- und Schmierölen aufgearbeitet werden. Außerdem entstehen bei der Zweitölraffination Destillate, die als Heizöl oder Fluxöle für Bitumen eingesetzt werden. [LUBW 1996]

### **35.3.1 Vakuumdestillation**

Bei der Vakuumdestillation mit Dünnschichtverdampfung werden die Wirkstoffe durch Destillation im Hochvakuum entfernt und anschließend das Öl über Dünnschichtverdampfer geführt. In einem nachgeschalteten Kondensationssystem werden die einzelnen Fraktionen gewonnen. Diese Fraktionen müssen in geringem Maße mit Bleicherde nachbehandelt werden. [LUBW 1996]

#### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs/Abfalls**

Die Produktausbeute beträgt über 70 % [UBA 2006a].

#### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Eine Schadstoffanreicherung im Produkt erfolgt nicht. Die Schadstoffverschleppung ist zwar nicht "Null", sie darf aber aufgrund bestehender Grenzgehalte in den erzeugten Produkten nicht höher sein als in den ersetzten Neuprodukten.

#### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die Schadstoffe befinden sich nach der Destillation zum überwiegenden Teil im Destillat. Die restlichen Schadstoffe werden nach der anschließenden Behandlung der Ölphase mit der Bleicherde ausge tragen. Über die Entsorgung des Destillats liegen keine Informationen vor. Die Bleicherde wird im Zementwerk verwertet.

Es wird davon ausgegangen, dass der organische Schadstoffanteil in der Bleicherde im Zementwerk zerstört wird, und damit eine Senkenfunktion vorliegt. Eventuell noch vorhandene Schadstoffe verbleiben mit der Bleicherde im Zement.

#### **Rohstoffbedarf, Betriebsmitteleinsatz**

Es kommt in geringem Maße Bleicherde zur Nachbehandlung der einzelnen Fraktionen zum Einsatz [LUBW 1996]. Genaue Angaben liegen nicht vor.

#### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Der Bleicherderückstand fällt ohne Metallanteile an. Er kann unter Nutzung des Ölanteils als Energielieferant in der Zementindustrie eingesetzt werden und bleibt als reine Tonerde Bestandteil des herzustellenden Zements [LUBW 1996]. Das als Abfall anfallende Destillat stellt keinen zusätzlichen Abfall dar, da es bereits im behandelten Abfall enthalten war.

Im Falle, dass die eingesetzte Ölphase aus der Emulsionsspaltung mit organischen Chemikalien stammt, stellen die Spaltchemikalien einen zusätzlichen Abfall dar. Es wird vermutet, dass die Spaltchemikalien mit der Bleicherde ins Zementwerk gelangen und dort verbrannt werden.

Über andere zusätzlich anfallende Abfälle liegen keine Informationen vor.



## **Energie**

Für die Vakuumdestillation wird Energie benötigt. Nähere Angaben über den Energieverbrauch liegen nicht vor.

## **Treibhausgasemissionen**

Bei der energetischen Verwertung des zusätzlich als Abfall anfallenden Bleicherderückstands werden Treibhausgasemissionen durch die Verbrennung der enthaltenen organischen Bestandteile verursacht. Treibhausgase werden ebenfalls emittiert, wenn das Destillat zur Entsorgung einer Verbrennung zugeführt wird.

Neben den direkten Emissionen entstehen auch Treibhausgasemissionen aus dem Energiebedarf (z. B. Strom) des Verwertungsverfahrens.

Außerdem wird in der Regel eine Gutschrift für die nicht erforderliche Neuherstellung von Produkten vergeben. Die Höhe dieser Gutschrift richtet sich nach dem Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs. Die Gutschrift steht den direkten Treibhausgasemissionen und den Emissionen aus dem Energiebedarf des Verwertungsverfahrens entgegen.

## **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen (z. B. thermische Nachverbrennung) gemindert und sind nicht höher als bei der Verbrennung in Müllverbrennungsanlagen [LUBW 1996].

Da es sich bei dem eingesetzten Abfall um eine Öl-Wasser-Emulsion handelt, wird angenommen, dass es bei Umschlag, Lagerung und Handling zu keinen relevanten diffusen Schadstoffemissionen kommt.

Gleiches gilt für Umschlag, Lagerung und Handling des Betriebsmittels „Bleicherde“ und des Abfalls „beladene Bleicherde“.

## **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Emissionen ins Wasser werden durch Abwasserreinigungsverfahren verringert [LUBW 1996] und müssen die jeweils festgelegten Einleitgrenzwerte eingehalten.

## **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Bei der Vakuumdestillation gehen wir davon aus, dass es sich um einen teilautomatisierten Prozess handelt, und nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein gewisses Risiko von Fehlbedienungen. Es wird aber davon ausgegangen, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle und der Bleicherde kein besonderes Risiko für die Arbeitnehmer und die Nachbarschaft vorliegt.

Weiterhin wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Inwieweit die hier relevanten Abfälle in der Abwasserbehandlungsanlage abgebaut bzw. unschädlich gemacht werden, hängt von den jeweiligen Stoffen und der Leistungsfähigkeit der Abwasserbehandlung ab.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

### **35.3.2 Schwefelsäure-Bleicherde-Verfahren (Meinken-Verfahren)**

Beim Meinken-Verfahren werden Wasser und Schlämme zunächst in einem Sedimentationsprozess abgetrennt. Anschließend werden thermisch leichtsiedende Anteile und Restwasser entfernt. Der Rückstand wird in einer Kolonne zur Zersetzung der Additive gecrackt. Nach Zugabe von Schwefelsäure werden Oxygenkohlenwasserstoffe, noch nicht zersetzte Additive und Aromaten zersetzt, die sich als Säureteer abscheiden. Das verbleibende Saueröl wird mit Bleicherde versetzt und einem Verdampfungsprozess unterzogen. Dort werden weitere verbleibende Störstoffe abgeschieden. In Raffinationskolonnen werden nach Fest-Flüssig-Trennschritten die eigentlichen Produkte wie Grund- und Fluxöle gewonnen. [LUBW 1996]

#### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs/Abfalls**

Die Produktausbeute beträgt pro Tonne Altöl (trocken) 848 kg [Möller 1999], also rund 85 %.

#### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Eine Schadstoffanreicherung im Produkt erfolgt nicht. Die Schadstoffverschleppung ist zwar nicht "Null", sie darf aber aufgrund bestehender Grenzwerte in den erzeugten Produkten nicht höher sein als in den ersetzten Neuprodukten.

#### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die Hauptschadstoffmenge wird mit dem Säureteer und der beladenen Bleicherde ausgetragen. Der Säureteer wird unter Rückgewinnung von  $\text{SO}_2$  verbrannt. Die beladene Bleicherde wird im Zementwerk eingesetzt.

Es wird davon ausgegangen, dass der organische Schadstoffanteil sowohl in der Bleicherde im Zementwerk als auch im Säureteer bei der Verbrennung zerstört wird, und damit eine Senkenfunktion vorliegt. Eventuell noch vorhandene Schadstoffe verbleiben mit der Bleicherde im Zement. Über den Verbleib eventuell noch vorhandener Schadstoffe im Rückstand aus der Säureteerverbrennung liegen keine Informationen vor.

#### **Rohstoffbedarf, Betriebsmitteleinsatz**

Pro Tonne Altöl (trocken) werden 85 kg Schwefelsäure (96 %ig) und 87 kg Bleicherde eingesetzt [Möller 1999].

#### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Als Hauptabfälle fallen pro Tonne Altöl (trocken) 165 kg Säureteere und 159 kg beladene Bleicherde an [Möller 1999]. Die Säureteere werden verbrannt, wobei das  $\text{SO}_2$  zurückgewonnen und zur erneuten Herstellung von Schwefelsäure verwendet wird. Die beladene Bleicherde wird unter Nutzung des Ölanteils als Energielieferant in der Zementindustrie eingesetzt und bleibt als reine Tonerde Bestandteil des herzustellenden Zements. [LUBW 1996]

Über andere anfallende Abfälle, z. B. Ölschlämme, ihre Massen und ihre Entsorgungswege liegen keine Angaben vor.

#### **Energie**

Pro Tonne erzeugtem Raffinat werden ca. 47 kWh Strom und 82 kg Heizöl EL benötigt [Möller 1999]. 82 kg Heizöl entsprechen rund 968 kWh.

### **Treibhausgasemissionen**

Beim Cracken des Rückstands aus der Sedimentation und der Entfernung von Leicht siedern und Restwasser können organische Substanzen entstehen, die ein Treibhausgaspotenzial besitzen können.

Bei der Verbrennung der zusätzlich als Abfall anfallenden Säureteere und der Verwertung der mit organischen Stoffen beladenen Bleicherden entstehen relevante Treibhausgasemissionen.

Neben den direkten Emissionen entstehen auch Treibhausgasemissionen aus dem Energiebedarf (z. B. Strom) des Verwertungsverfahrens.

Außerdem wird in der Regel eine Gutschrift für die nicht erforderliche Neuherstellung von Produkten vergeben. Die Höhe dieser Gutschrift richtet sich nach dem Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs. Die Gutschrift steht den direkten Treibhausgasemissionen und den Emissionen aus dem Energiebedarf des Verwertungsverfahrens entgegen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Abluft wird einer thermischen Nachverbrennung unterzogen, saure Abgase werden gewaschen [LUBW 1996]. Die Emissionen sind nicht höher als bei der Verbrennung in Müllverbrennungsanlagen [LUBW 1996].

Da es sich bei dem eingesetzten Abfall um eine Öl-Wasser-Emulsion handelt, wird angenommen, dass es bei Umschlag, Lagerung und Handling zu keinen relevanten diffusen Schadstoffemissionen kommt.

Gleiches gilt für Umschlag, Lagerung und Handling der Betriebsmittel Bleicherde und Schwefelsäure sowie der Abfälle an beladene Bleicherde und Säureteer.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Emissionen ins Wasser werden durch Abwasserreinigungsverfahren verringert [LUBW 1996] und müssen die jeweils festgelegten Einleitgrenzwerte eingehalten.

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Beim Meinken-Verfahren gehen wir davon aus, dass es sich um einen kontinuierlichen und weitgehend automatisierten Prozess handelt, bei dem nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass aufgrund des Einsatzes von Schwefelsäure ein gewisses Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer besteht. Ein besonderes Risiko für die Nachbarschaft besteht aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle, der Bleicherde und der Schwefelsäure nicht.

Weiterhin wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Betriebsstoffe und Abfälle nicht direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Inwieweit die hier relevanten Betriebsstoffe und Abfälle in der Abwasserbehandlungsanlage abgebaut bzw. unschädlich gemacht werden, hängt von den jeweiligen Stoffen und der Leistungsfähigkeit der Abwasserbehandlung ab.

Wenn Flächen auf denen Betriebsstoffe und Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

### 35.3.3 Schwefelsäure-Bleicherde-Verfahren (ENTRA-Verfahren)

Das von der SÜDÖL Mineralöl-Raffinerie entwickelte ENTRA-Verfahren ist dem Meinken-Verfahren sehr ähnlich. Die Kolonne zur Zersetzung der Additive wurde durch einen Rohrreaktor ersetzt. Die nachfolgenden Verfahrensschritte wurden umgestellt. Zusätzlich wird eine 50 %ige Natronlauge benötigt und zudosiert. [Möller 1999]

Vorteile des Verfahrens sind [Möller 1999]

- ▶ die höhere Produktausbeute von rund 99 % gegenüber 85 % beim Meinken-Verfahren,
- ▶ der geringere Einsatz von Schwefelsäure (10 kg gegenüber 85 kg beim Meinken-Verfahren) und Bleicherde (12 kg gegenüber 87 kg beim Meinken-Verfahren) sowie
- ▶ der mit dem verringerten Hilfsstoffeinsatz verbundene geringere Anfall an Säureteeren (19 kg gegenüber 165 kg beim Meinken-Verfahren) und beladener Bleicherde (23 kg gegenüber 159 kg beim Meinken-Verfahren).

Der zusätzliche Einsatz von 50 %iger Natronlauge beträgt 22 kg/Mg Altöl (trocken) [Möller 1999].

#### Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs/Abfalls

Die Produktausbeute beträgt rund 99 % [Möller 1999].

#### Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis

Eine Schadstoffanreicherung im Produkt erfolgt nicht. Die Schadstoffverschleppung ist zwar nicht "Null", sie darf aber aufgrund bestehender Grenzgehalte in den erzeugten Produkten nicht höher sein als in den ersetzten Neuprodukten.

#### Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen

Die Hauptschadstoffmenge wird mit dem Sumpf, dem Säureteer und der beladenen Bleicherde ausge-  
tragen. Der Sumpf findet Verwendung als Fluxöl oder Brennstoff [Möller 1999]. Der Säureteer wird  
unter Rückgewinnung von SO<sub>2</sub> verbrannt. Die beladene Bleicherde wird im Zementwerk eingesetzt.

Es wird davon ausgegangen, dass der organische Schadstoffanteil sowohl in der Bleicherde im Ze-  
mentwerk als auch im Säureteer bei der Verbrennung zerstört wird, und damit eine Senkenfunktion  
vorliegt. Eventuell noch vorhandene Schadstoffe verbleiben mit der Bleicherde im Zement. Über den  
Verbleib eventuell noch vorhandener Schadstoffe im Rückstand aus der Säureteerverbrennung liegen  
keine Informationen vor.

#### Rohstoffbedarf, Betriebsmitteleinsatz

Pro Tonne Altöl (trocken) werden 10 kg Schwefelsäure (96 %ig), 12 kg Bleicherde und 22 kg Natron-  
lauge (50 %ig) eingesetzt [Möller 1999]. Da die Natronlauge zur Entfernung von Halogenverbindun-  
gen zugesetzt wird, die aus der Emulsionsspaltung stammenden Öle aber halogenfrei sein sollten, wird  
der Natronlaugeeinsatz deutlich geringer sein, als es für die Altölverwertung in der Literatur angege-  
ben ist.

#### Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle

Als Hauptabfälle fallen pro Tonne Altöl (trocken) 19 kg Säureteere und 23 kg beladene Bleicherde an  
[Möller 1999].

Die Säureteere können auch hier verbrannt werden (energetische Verwertung), wobei das SO<sub>2</sub> zurückgewonnen und zur erneuten Herstellung von Schwefelsäure verwendet wird. Die beladene Bleicherde kann ebenfalls unter Nutzung des Ölanteils als Energielieferant in der Zementindustrie eingesetzt werden und bleibt als reine Tonerde Bestandteil des herzustellenden Zements. [Möller 1999].

Über andere anfallende Abfälle, ihre Massen und ihre Entsorgungswege liegen keine Angaben vor.

### **Energie**

Der Stromverbrauch beträgt mehr als 83 kWh pro erzeugter Tonne Raffinat. Der Heizölverbrauch liegt in der gleichen Größenordnung wie beim Meinken-Verfahren (82 kg pro erzeugter Tonne Raffinat, entspricht rund 968 kWh). [Möller 1999]

### **Treibhausgasemissionen**

Aufgrund des Ersatzes der Kolonne zur Zersetzung (Cracken) der Additive durch einen Rohrreaktor wird beim ENTRA-Verfahren ein Cracken fast vollständig vermieden [Möller 1999]. Entsprechend entstehen aus diesem Verfahrensschritt keine relevanten Treibhausgasemissionen.

Bei der Verbrennung der zusätzlich als Abfall anfallenden Säureteere und der Verwertung der mit organischen Stoffen beladenen Bleicherden entstehen relevante Treibhausgasemissionen.

Neben den direkten Emissionen entstehen auch Treibhausgasemissionen aus dem Energiebedarf (z. B. Strom) des Verwertungsverfahrens.

Außerdem wird in der Regel eine Gutschrift für die nicht erforderliche Neuherstellung von Produkten vergeben. Die Höhe dieser Gutschrift richtet sich nach dem Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs. Die Gutschrift steht den direkten Treibhausgasemissionen und den Emissionen aus dem Energiebedarf des Verwertungsverfahrens entgegen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Abluft wird einer thermischen Nachverbrennung unterzogen [Möller 1999].

Da es sich bei dem eingesetzten Abfall um eine Öl-Wasser-Emulsion handelt, wird angenommen, dass es bei Umschlag, Lagerung und Handling zu keinen relevanten diffusen Schadstoffemissionen kommt.

Gleiches gilt für Umschlag, Lagerung und Handling der Betriebsmittel Bleicherde, Schwefelsäure und Natronlauge sowie der Abfälle an beladene Bleicherde und Säureteer.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Da die SÜDÖL bereits beim Schwefelsäure-Bleicherdeverfahren das anfallende Abwasser vor der Einleitung entsprechend reinigte, wird dies auch beim ENTRA-Verfahren der Fall sein. Die bestehenden Einleitgrenzwerte sind auf jeden Fall einzuhalten.

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Beim ENTRA-Verfahren gehen wir davon aus, dass es sich um einen kontinuierlichen und weitgehend automatisierten Prozess handelt, bei dem nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass aufgrund des Einsatzes von Schwefelsäure und Natronlauge ein gewisses Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer besteht. Ein besonderes Risiko für die Nachbarschaft besteht aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle, der Bleicherde, der Schwefelsäure und der Natronlauge nicht.

Es wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Betriebsstoffe und Abfälle nicht direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Inwieweit die hier relevanten Betriebsstoffe und Abfälle in der Abwasserbehandlungsanlage abgebaut bzw. unschädlich gemacht werden, hängt von den jeweiligen Stoffen und der Leistungsfähigkeit der Abwasserbehandlung ab.

Wenn Flächen auf denen Betriebsstoffe und Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

### **35.4 Energetische Verwertung**

Die energetische Verwertung von KSS-Altölen, abgetrennten Fremdölen und ölhaltiger Rückstände aus der Emulsionstrennung erfolgt z. B. in Feuerungsanlagen, Zementwerken und Sonderabfallverbrennungsanlagen. Voraussetzung für den Einsatz in diesen Anlagen ist die Einhaltung der jeweils für die Anlage im Genehmigungsbescheid festgelegten Parameter [LUBW 1996]. Bei Zementwerken sind i.d.R. höhere Schadstoffgehalte an PCB und Halogenen in den Genehmigungen festgelegt [LUBW 1996].

#### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs/Abfalls**

Bei der energetischen Verwertung verbleiben i.d.R. keine Wertstoffe im Wirtschaftskreislauf. Die stoffliche Verwertung ist daher in diesem Punkt i.d.R. besser zu bewerten als die energetische Verwertung.

#### **Rohstoffbedarf und/oder Betriebsmitteleinsatz**

Bei allen hier betrachteten Verfahren zur energetischen Verwertung halogenfreier Bearbeitungsemulsionen und -lösungen kommen im Zuge der nachgeschalteten Rauchgasreinigungseinrichtungen Betriebsmittel in geringem Umfang zum Einsatz.

#### **Energie**

Der energetische Wirkungsgrad kann bei Feuerungs- und Sonderabfallverbrennungsanlagen nicht eindeutig bestimmt werden, da er davon abhängig ist, ob nur Strom oder nur Wärme oder beides erzeugt wird. Dies ist je nach Anlage unterschiedlich. Allgemein kann im Vergleich untereinander aber festgestellt werden, dass der energetische Netto-Wirkungsgrad beim Abfalleinsatz im Zementwerk am höchsten ist, da die Energie direkt im Prozess genutzt wird. Der energetische Netto-Wirkungsgrad von Feuerungsanlagen ist niedriger, aber höher als bei Sonderabfallverbrennungsanlagen, da der Eigenbedarf niedriger und damit der energetische Netto-Wirkungsgrad höher ist.

#### **35.4.1 Feuerungsanlagen**

##### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Bei der energetischen Verwertung in Feuerungsanlagen wird kein Verwertungserzeugnis hergestellt, in das Schadstoffe verschleppt und dort angereichert werden.

##### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die in der als Brennstoff eingesetzten Ölphase aus der Emulsionstrennung enthaltenen organischen Schadstoffe werden in der Feuerung weitgehend zerstört.

Schlacken und Aschen aus Feuerungsanlagen, in denen Abfälle mitverbrannt werden, finden Verwendung im Bergversatz oder werden aufbereitet und anderweitig verwertet, zum Teil auch deponiert. REA-Gips wird verwertet.

### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz der abgetrennten Ölphase in Feuerungsanlagen entstehen nur geringe Mengen an Abfällen (Schlacken/Aschen, Flugaschen, REA-Gips), da der Feststoffanteil sowie der Schwefel- und Stickstoffgehalt gering sind.

Schlacken und Aschen aus der Steinkohlefeuerung werden hauptsächlich im Erd-, Tief-, Straßen- und Wegebau verwendet. Flugaschen finden u.a. Verwendung als Zusatzstoff in Beton und werden im Erd-, Tief-, Straßen- und Wegebau eingesetzt. [Dehoust et al. 2008]

Kesselaschen aus der Braunkohlefeuerung werden überwiegend im Tagebau verwendet, aber auch als Zusatz zu Zement/Beton, als Verfüllbaustoff und im Straßen- und Wegebau. Haupteinsatzgebiet der Flugaschen ist der Tagebau. Daneben kommen sie auch als Verfüllbaustoff zur Bodenverbesserung und in Zement/Beton zum Einsatz. [Dehoust et al. 2008]

Schlacken und Aschen aus Feuerungsanlagen, in denen Abfälle mitverbrannt werden, finden Verwendung im Bergversatz oder werden aufbereitet und anderweitig verwertet, zum Teil auch deponiert [Dehoust et al. 2008].

REA-Gips wird verwertet [Prognos 2003].

Da die Schlacken und Aschen aus der Abfallmitverbrennung teilweise deponiert werden, fallen hier geringe Mengen an nicht verwertbaren Abfällen an.

### **Treibhausgasemissionen**

Der in der eingesetzten Ölphase enthaltene Kohlenstoff wird vollständig in Kohlendioxid umgesetzt. Damit wird der Hauptanteil des ursprünglichen Abfalls in CO<sub>2</sub> umgesetzt. Stammt die Ölphase aus der Emulsionsspaltung mit organischen Chemikalien, werden zusätzlich auch die zugefügten Spaltnittel zu CO<sub>2</sub> verbrannt.

Durch die Nutzung der im Abfall enthaltenen Energie wird eine Menge an Primärbrennstoffen substituiert, d.h. eingespart. Die eingesparte Menge an Primärbrennstoff wird mittels einer Gutschrift für Treibhausgasemissionen berücksichtigt. Diese Gutschrift steht den aus der Verbrennung des Abfalls resultierenden Treibhausgasemissionen entgegen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der Anlage 3 Nr. 3 der 17. BImSchV.

Da es sich bei dem eingesetzten Abfall um eine Öl-Wasser-Emulsion handelt, wird angenommen, dass es bei Umschlag, Lagerung und Handling zu keinen relevanten diffusen Schadstoffemissionen kommt.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Bei der Verbrennung in Feuerungsanlagen anfallende Abwässer müssen behandelt und aufbereitet werden [UBA 2006b].

## **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz der Abfälle (Ölphase aus der Emulsionstrennung) in Feuerungsanlagen nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Weiterhin gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle (Ölphase aus der Emulsionstrennung) kein besonderes Risiko für die Arbeitnehmer und die Nachbarschaft vorliegt.

Es wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Inwieweit die hier relevanten Abfälle in der Abwasserbehandlungsanlage abgebaut bzw. unschädlich gemacht werden, hängt von den jeweiligen Stoffen und der Leistungsfähigkeit der Abwasserbehandlung ab.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

### **35.4.2 Sonderabfallverbrennung**

#### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Bei der energetischen Verwertung in Sonderabfallverbrennungsanlagen wird kein Verwertungserzeugnis hergestellt, in das Schadstoffe verschleppt und dort angereichert werden.

#### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die in der als Brennstoff eingesetzten Ölphase aus der Emulsionstrennung enthaltenen organischen Schadstoffe werden in der Feuerung weitgehend zerstört. Entsprechend stellen Sonderabfallverbrennungsanlagen eine Senke für die organischen Schadstoffe dar.

Schlacken, Filterstäube und andere Rauschgasreinigungsrückstände, z. B. Salze, werden in Untertagedeponien beseitigt, auf oberirdischen Deponien verwertet oder beseitigt oder im Bergversatz verwertet.

#### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz der abgetrennten Ölphase in der Sonderabfallverbrennung entstehen nur geringe Mengen an Abfällen (Aschen, Filterstäube, andere Abgasreinigungsrückstände), da der Feststoffanteil sowie der Schwefel- und Stickstoffgehalt gering sind.

Da Schlacken und Filterstäube, insbesondere aber die anfallenden Salze, zu einem großen Teil beseitigt werden, fallen hier nicht verwertbare Abfälle an.

#### **Treibhausgasemissionen**

Der in der eingesetzten Ölphase enthaltene Kohlenstoff wird vollständig in Kohlendioxid umgesetzt. Damit wird der Hauptanteil des ursprünglichen Abfalls in CO<sub>2</sub> umgesetzt. Stammt die Ölphase aus der Emulsionsspaltung mit organischen Chemikalien, werden zusätzlich auch die zugefügten Spaltmittel zu CO<sub>2</sub> verbrannt.

Durch die Nutzung der im Abfall enthaltenen Energie wird eine entsprechende Menge an Primärbrennstoffen substituiert, d.h. eingespart. Bei der Sonderabfallverbrennungsanlage hängt die tatsächlich eingesparte Menge an Primärbrennstoffen davon ab, wie viel Strom und/oder Wärme konkret erzeugt und ausgekoppelt wird. Die eingesparte Menge an Primärbrennstoff wird mittels einer Gut-



schrift für Treibhausgasemissionen berücksichtigt. Diese Gutschrift steht den aus der Verbrennung des Abfalls resultierenden Treibhausgasemissionen entgegen.

Der energetische Wirkungsgrad kann bei Feuerungs- sowie Müll- und Sonderabfallverbrennungsanlagen nicht eindeutig bestimmt werden, da er davon abhängig ist, ob nur Strom oder nur Wärme oder beides erzeugt wird. Dies ist je nach Anlage unterschiedlich.

#### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der 17. BImSchV.

Da es sich bei dem eingesetzten Abfall um eine Öl-Wasser-Emulsion handelt, wird angenommen, dass es bei Umschlag, Lagerung und Handling zu keinen relevanten diffusen Schadstoffemissionen kommt.

#### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Es wird davon ausgegangen, dass bei Sonderabfallverbrennungsanlagen kein Abwasser anfällt und damit kein Abwasserpfad besteht.

#### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz der Abfälle (Ölphase aus der Emulsionstrennung) in Sonderabfallverbrennungsanlagen nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Weiterhin gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle (Ölphase aus der Emulsionstrennung) kein besonderes Risiko für die Arbeitnehmer und die Nachbarschaft vorliegt.

Es wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, sondern aufgefangen und entsorgt werden.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

Sonderabfallverbrennungsanlagen haben den Zweck, Sonderabfälle zu verbrennen. Daher gehen wir davon aus, dass Prozesse, Anlagen und Mitarbeiter für ein sicheres Handling dieser Materialien in besonderem Maße ausgerichtet bzw. geschult sind. Damit wird das Risiko im Vergleich mit anderen Verfahren als geringer eingeschätzt.

### **35.4.3 Zementwerk**

#### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Es wird davon ausgegangen, dass der im Brennstoff enthaltene organische Schadstoffanteil im Zementwerk bei der Verbrennung zerstört wird, und damit eine Senkenfunktion vorliegt. Eventuell noch vorhandene anorganische Schadstoffe verbleiben im Zement.

#### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die in der als Brennstoff eingesetzten Ölphase aus der Emulsionstrennung enthaltenen organischen Schadstoffe werden bei der Verbrennung im Zementwerk weitgehend zerstört.

### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz der abgetrennten Ölphase im Zementwerk entstehen nur geringe Mengen an Abfällen, insbesondere Filterstäube, da der Feststoffanteil sowie der Schwefel- und Stickstoffgehalt gering sind.

Die Filterstäube können dem Klinker beigegeben oder an anderer Stelle dem Prozess wieder zugeführt werden [Davids/Lange 1986].

### **Treibhausgasemissionen**

Der in der eingesetzten Ölphase enthaltene Kohlenstoff wird vollständig in Kohlendioxid umgesetzt. Damit wird der Hauptanteil des ursprünglichen Abfalls in CO<sub>2</sub> umgesetzt. Stammt die Ölphase aus der Emulsionsspaltung mit organischen Chemikalien, werden zusätzlich auch die zugefügten Spaltmittel zu CO<sub>2</sub> verbrannt.

Der eingesetzte Abfall ersetzt eine, seinem Heizwert entsprechende Menge an Primärbrennstoff, der dann nicht verbrannt wird. Für diese Substitution des Primärbrennstoffs wird eine Gutschrift erteilt, die dem Kohlendioxid (Lastschrift) aus der Verbrennung des Abfalls entgegensteht bzw. diese Lastschrift übertrifft.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der Anlage 3 Nr. 2 der 17. BImSchV.

Da es sich bei dem eingesetzten Abfall um eine Öl-Wasser-Emulsion handelt, wird angenommen, dass es bei Umschlag, Lagerung und Handling zu keinen relevanten diffusen Schadstoffemissionen kommt.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

In der Zementindustrie sind nassarbeitende Abgasreinigungsanlagen nicht im Einsatz [Davids/Lange 1986]. Zementwerke besitzen daher i.d.R. keine spezielle Abwasserreinigung bzw. keinen Wasserpfad, so dass keine Schadstofffreisetzung ins Wasser erfolgt.

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz der Abfälle (Ölphase aus der Emulsionstrennung) in Zementwerken nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Weiterhin gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle (Ölphase aus der Emulsionstrennung) kein besonderes Risiko für die Arbeitnehmer und die Nachbarschaft vorliegt.

Da Zementwerke i.d.R. nicht über eine spezielle Abwasserbehandlung verfügen, wird davon ausgegangen, dass hier ein erhöhtes Risiko besteht, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle, z. B. bei Regen, direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, wenn keine Vorkehrungen getroffen sind, um belastetes Betriebsflächenwasser auffangen und entsorgen zu können.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

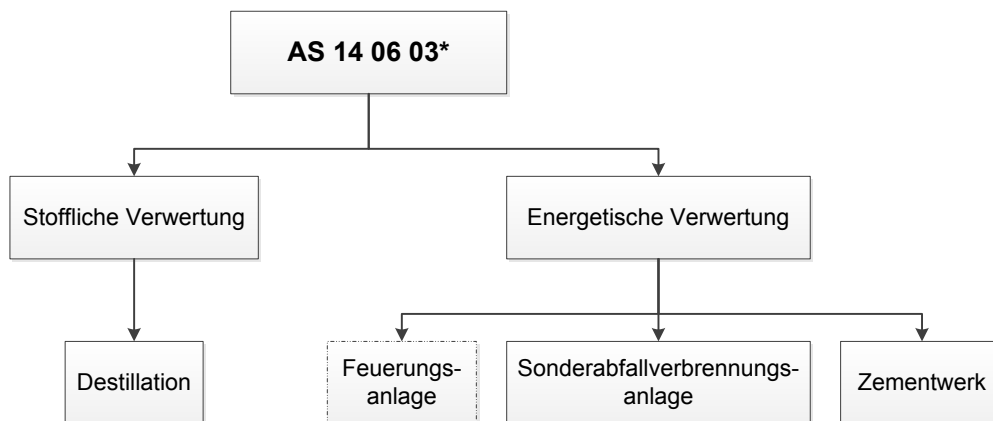
### 36 Verfahrenssteckbrief für AS 140603\* - andere Lösemittel und Lösemittelgemische aus organischen Lösemitteln, Kühlmitteln und Treibgasen

Bei dieser Abfallart handelt es sich um organische Lösemittel und Lösemittelgemische, die in der Abfallverzeichnis-Verordnung unter AS 07 „Abfälle aus organisch-chemischen Prozessen“ und AS 08 „Abfälle aus Herstellung, Zubereitung, Vertrieb und Anwendung (HZVA) von Beschichtungen (Farben, Lacke, Email), Klebstoffen, Dichtmassen und Druckfarben“ nicht genannt werden. Da halogenierte Lösemittel und Lösemittelgemische in der Abfallverzeichnis-Verordnung unter der AS 14 06 02\* gelistet sind, kann davon ausgegangen werden, dass in den hier betrachteten Abfällen keine halogenierten Lösemittel enthalten sind.

Abfälle dieser Abfallart kommen aus den verschiedensten Bereichen und können ein oder mehrere Lösemittel sowie die unterschiedlichsten Begleitstoffe enthalten. Um welche Lösemittel und Begleitstoffe es sich im Einzelnen handelt ist nicht bekannt. Aus diesem Grund ist es nicht möglich spezielle Verwertungsverfahren für bestimmte Lösemittel oder andere Inhaltsstoffe zu benennen und vergleichend zu bewerten.

Für die stoffliche Verwertung von Lösemitteln kommt grundsätzlich die Destillation in Frage, die zum Teil auch zur Anwendung kommt. Eventuell müssen die Abfälle dazu vorher einer Vorbehandlung unterzogen werden. Die energetische Verwertung erfolgt in Zementwerken. In Feuerungsanlagen kann sie ebenfalls stattfinden, auch wenn dies nach AIDA in Nordrhein-Westfalen nicht der Fall ist. In beiden Fällen ist unter Umständen eine Vorbehandlung erforderlich, wenn der Abfall zu viel Wasser enthält. Ein erheblicher Anteil dieser Abfallart wird aber in Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt. Ob es sich dabei um Verwertung oder Beseitigung handelt, kann nur im Einzelfall festgestellt werden. Aus diesem Grund wird die Abfallverbrennung in Sonderabfallverbrennungsanlagen ebenfalls betrachtet und in die Bewertung der Verfahren aufgenommen.

Abbildung 25: Verwertungsschema für die Abfallart AS 140603\*



Eigene Darstellung

Für die vergleichende Bewertung herangezogen wird die Destillation und die energetische Verwertung in Zementwerken und Sonderabfallverbrennungsanlagen, da diese in AIDA als Entsorgungswege in den Jahren 2010 – 2013 aufgeführt werden. Hinzugenommen wird die energetische Verwertung in Feuerungsanlagen, da sie ebenfalls eine Möglichkeit darstellt.

### **36.1 Destillation**

Für das Destillieren von organischen Abfalllösemitteln und -gemischen stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung.

Für verunreinigte sortenreine Lösemittel kann die einfache Destillation zum Einsatz kommen [Martens 2011].

Um bei empfindlichen Stoffkomponenten den Siedepunkt zu senken und damit die Zersetzung zu vermeiden, wird unter Vakuum destilliert (Vakuumdestillation). Der Energieverbrauch des Destillierens wird damit gesenkt, dafür wird aber zusätzliche Energie für den Betrieb der Vakuumpumpen benötigt. Mit der Vakuumdestillation können Lösemittel bis zu einem Siedepunkt von 290 °C destilliert werden. [Martens 2011]

Die Trennung von Lösemittelgemischen erfolgt durch fraktionierte Destillation oder Rektifikation [Martens 2011].

Die Beheizung der Destillationsblasen wird mit Thermoöl, Heißwasser oder Dampf durchgeführt. Bei weitgehend feststofffreien Abfalllösemitteln kann anstelle einer Destillationsblase ein Dünnschichtverdampfer eingesetzt werden. [Martens 2011]

#### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs**

Bei der Destillation von Abfalllösemitteln beträgt der Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs, hier das jeweilige Lösemittel bzw. die jeweiligen Lösemittel, durchschnittlich 70 % [Martens 2011].

#### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Da es sich bei den gewonnenen Lösemitteln in der Regel um die Destillate handeln wird, kann davon ausgegangen werden, dass Schadstoffverschleppungen nur in geringem Umfang auftreten und keine Schadstoffanreicherung in den Verwertungserzeugnissen „Lösemittel“ erfolgt.

#### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Der Hauptanteil der im Abfall enthaltenen Schadstoffe befindet sich nach der Destillation im Destillationsrückstand. Dies stellt eine Aufkonzentration von Schadstoffen dar. Die Destillationsrückstände werden nach AIDA zum überwiegenden Teil in Feuerungsanlagen, Zementwerken, Müllverbrennungsanlagen und Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt. Zu einem geringen Teil werden sie in CPB behandelt, wobei ein Teil konditioniert wird, um anschließend einer thermischen Behandlung unterzogen zu werden.

Die Verbrennung stellt eine Schadstoffsенке dar, da die enthaltenen organischen Schadstoffe fast vollständig zerstört werden. Die Behandlung in einer CPB an sich stellt keine Senke dar. Ob es sich um eine Senkenfunktion handelt, hängt von der anschließenden konkreten Entsorgung des Materials ab.

#### **Rohstoffbedarf, Betriebsmitteleinsatz etc.**

Aus den vorliegenden Angaben ist nicht ersichtlich, dass zusätzliche Betriebsmittel etc. benötigt werden.

#### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Als Abfall fällt der Destillationsrückstand an. Nach AIDA werden die Destillationsrückstände zum überwiegenden Teil in Feuerungsanlagen, Zementwerken, Müllverbrennungsanlagen und Sonderab-

fallverbrennungsanlagen verbrannt. Zu einem geringen Teil werden sie auch in CPB behandelt und dabei zum Teil verfestigt. Bei der Verbrennung in Feuerungsanlagen, Zementwerken und Müllverbrennungsanlagen handelt es sich um energetische Verwertung. Ob es sich bei Verbrennung in einer Sonderabfallverbrennungsanlage um Verwertung oder Beseitigung handelt, kann nicht allgemeingültig gesagt werden. Das gleiche gilt für die in CPB verfestigten Destillationsrückstände. Sie könnten energetisch verwertet oder beseitigt werden. Da der Destillationsrückstand aber bereits im Ausgangsabfall (Abfalllösemittelgemisch) enthalten war, fallen bei der Destillation keine zusätzlichen nicht verwertbaren Abfälle an.

### **Energie**

Der Energieverbrauch ist beim Destillieren insbesondere von der Wärmekapazität und der Verdampfungswärme des zu destillierenden Lösemittels bzw. der zu destillierenden Lösemittel sowie der eingesetzten Destillationstechnik abhängig. Da die in den Abfällen enthaltenen Lösemittel nicht bekannt sind, können allgemeingültige Aussagen zum Energieverbrauch nicht getroffen werden. Zur Wiedergewinnung von 100 l/h Tetrachlorethylen wird abhängig von der Technik beispielsweise ein Energiebedarf von > 16 kWh bzw. 7 kWh angegeben [Ziermann/Mager 2013]. Die Summe aus Wärmekapazität und Verdampfungswärme beträgt beispielsweise für Aceton ca. 161 kWh/Mg und für Dimethylformamid ca. 238 kWh/Mg.

### **Treibhausgasemissionen**

Von einigen leichtflüchtigen organischen Lösemitteln ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie werden – wenngleich in geringem Umfang – beim Destillieren sowie bei Umschlag und Lagerung des Abfalls freigesetzt. Die nach der Abgasreinigung emittierte Menge kann aufgrund des niedrigen Volumenstroms als gering eingestuft werden. Handelt es sich bei der Abgasreinigung um eine Nachverbrennung, können über diesen Pfad nur geringste Mengen an Treibhausgasemissionen entstehen.

Nach AIDA werden die Destillationsrückstände zum überwiegenden Teil in Feuerungsanlagen, Zementwerken, Müllverbrennungsanlagen und Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt. Zu einem geringen Teil werden sie auch in CPB behandelt und dabei zum Teil verfestigt.

Bei der Verbrennung in Feuerungsanlagen, Zementwerken, Müllverbrennungsanlagen und Sonderabfallverbrennungsanlagen wird der enthaltene Kohlenstoff vollständig zu CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Beim Handling der Abfälle in der CPB können potenziell Treibhausgase in geringem Umfang aus dem Abfall freigesetzt werden. Wird der verfestigte Abfall anschließend verbrannt, wird der enthaltene Kohlenstoff vollständig zu CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Neben den direkten Emissionen entstehen auch Treibhausgasemissionen aus dem Energiebedarf (z. B. Strom) des Verwertungsverfahrens.

Außerdem wird in der Regel eine Gutschrift für die nicht erforderliche Neuherstellung von Produkten vergeben. Die Höhe dieser Gutschrift richtet sich nach dem Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs. Die Gutschrift steht den direkten Treibhausgasemissionen und den Emissionen aus dem Energiebedarf des Verwertungsverfahrens entgegen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Mit einer entsprechenden Abgasreinigung können Emissionswerte von 50 mg C/Nm<sup>3</sup> eingehalten werden [UBA 2006a], so dass in Verbindung mit den im Vergleich zur Verbrennung geringen Volumenströmen die Schadstofffreisetzungen in die Luft beim Destillieren gering sind.

Da es sich bei den organischen Lösemitteln i.d.R. um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls und des Destillationsrückstands zu diffusen Schadstoffemissionen kommen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Anfallendes Abwasser muss behandelt werden [UBA 2006a] und bestehende Einleitgrenzwerte sind einzuhalten.

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Bei Destillationen gehen wir davon aus, dass es sich um teilautomatisierte Prozesse handelt, und nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Es wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Inwieweit die hier relevanten Abfälle in der Abwasserbehandlungsanlage abgebaut bzw. unschädlich gemacht werden, hängt von den jeweiligen Stoffen und der Leistungsfähigkeit der Abwasserbehandlung ab.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

## **36.2 Energetische Verwertung**

Die energetische Verwertung von organischen Lösemitteln und Lösemittelgemischen erfolgt in Feuerungsanlagen, Zementwerken und Sonderabfallverbrennungsanlagen. Voraussetzung für den Einsatz in diesen Anlagen ist die Einhaltung der jeweils für die Anlage im Genehmigungsbescheid festgelegten Parameter [LUBW 1996]. Bei Zementwerken sind i.d.R. höhere Schadstoffgehalte an PCB und Halogenen in den Genehmigungen festgelegt [LUBW 1996].

### **Anteil des im Wirtschaftskreislauf verbleibenden Wertstoffs**

Bei der energetischen Verwertung verbleiben i.d.R. keine Wertstoffe im Wirtschaftskreislauf. Die stoffliche Verwertung ist daher in diesem Punkt i.d.R. besser zu bewerten als die energetische Verwertung.

### **Rohstoffbedarf und/oder Betriebsmitteleinsatz**

Bei allen hier betrachteten Verfahren zur energetischen Verwertung organischer Lösemittel und Lösemittelgemische kommen im Zuge der nachgeschalteten Rauchgasreinigungseinrichtungen Betriebsmittel in geringem Umfang zum Einsatz.

### **Energie**

Der energetische Wirkungsgrad kann bei Feuerungs- und Sonderabfallverbrennungsanlagen nicht eindeutig bestimmt werden, da er davon abhängig ist, ob nur Strom oder nur Wärme oder beides erzeugt wird. Dies ist je nach Anlage unterschiedlich. Allgemein kann im Vergleich untereinander aber festgestellt werden, dass der energetische Netto-Wirkungsgrad beim Abfalleinsatz im Zementwerk am höchsten ist, da die erzeugte Energie als Wärme im Drehrohrofen direkt genutzt wird. Der energetische Netto-Wirkungsgrad von Feuerungsanlagen ist niedriger, aber höher als bei Sonderabfallver-

brennungsanlagen, da der Eigenbedarf niedriger und damit der energetische Netto-Wirkungsgrad höher ist.

### **36.2.1 Feuerungsanlagen**

#### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Bei der energetischen Verwertung in Feuerungsanlagen wird kein Verwertungserzeugnis hergestellt, in das Schadstoffe verschleppt und dort angereichert werden.

#### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die im eingesetzten Abfall enthaltenen organischen Schadstoffe werden in der Feuerung weitgehend zerstört. Es handelt sich also um eine Schadstoffsenke.

Je nach Abfallzusammensetzung kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich in den Verbrennungsrückständen noch Schadstoffe befinden. Schlacken und Aschen aus Feuerungsanlagen, in denen Abfälle mitverbrannt werden, finden Verwendung im Bergversatz oder werden aufbereitet und anderweitig verwertet, zum Teil auch deponiert [Dehoust et al. 2008]. REA-Gips wird verwertet [Prognos 2003].

#### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz von organischen Lösemitteln und Lösemittelgemischen in Feuerungsanlagen entstehen nur geringe Mengen an zusätzlichen Abfällen (Schlacken/Aschen, Flugaschen, REA-Gips), da der Feststoffanteil gering ist.

Schlacken und Aschen aus Feuerungsanlagen, in denen Abfälle mitverbrannt werden, finden Verwendung im Bergversatz oder werden aufbereitet und anderweitig verwertet, zum Teil auch deponiert [Dehoust et al. 2008]. REA-Gips wird verwertet [Prognos 2003].

Da die Schlacken und Aschen aus der Abfallmitverbrennung teilweise deponiert werden, fallen hier geringe Mengen an zusätzlichen nicht verwertbaren Abfällen an.

#### **Treibhausgasemissionen**

Der im Abfall enthaltene Kohlenstoff wird zu Kohlendioxid verbrannt. Damit wird der Kohlenstoffanteil des ursprünglichen Abfalls mehr oder minder vollständig in CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Von einigen leichtflüchtigen organischen Lösemitteln ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie können bei Umschlag, Lagerung und Handhabung der organischen Lösemittel und Lösemittelgemische freigesetzt werden.

Durch die Nutzung der im Abfall enthaltenen Energie wird eine Menge an Primärbrennstoffen substituiert, d.h. eingespart. Die eingesparte Menge an Primärbrennstoff wird mittels einer Gutschrift für Treibhausgasemissionen berücksichtigt. Diese Gutschrift steht den aus der Verbrennung des Abfalls resultierenden Treibhausgasemissionen entgegen.

#### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der Anlage 3 Nr. 3 der 17. BImSchV.

Da es sich bei den organischen Lösemitteln i.d.R. um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls zu diffusen Schadstoffemissionen kommen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Bei der Verbrennung in Feuerungsanlagen anfallende Abwässer müssen behandelt und aufbereitet werden [UBA 2006b].

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz der Abfälle in Feuerungsanlagen nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Allerdings gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Es wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, sondern alle relevanten Betriebsflächen über die Abwasserbehandlung entwässert werden. Inwieweit die hier relevanten Abfälle in der Abwasserbehandlungsanlage abgebaut bzw. unschädlich gemacht werden, hängt von den jeweiligen Stoffen und der Leistungsfähigkeit der Abwasserbehandlung ab.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

### **36.2.2 Zementwerk**

#### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Organische Lösemittel werden bei der Verbrennung zerstört. Je nach Abfallzusammensetzung kann aber nicht ausgeschlossen werden, dass andere, nicht zerstörte Schadstoffe verbleiben und dann ins Produkt gelangen.

#### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die im eingesetzten Abfall enthaltenen organischen Schadstoffe werden beim Einsatz im Zementwerk weitgehend zerstört. Entsprechend stellt das Zementwerk eine Senke für die organischen Schadstoffe dar.

#### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz von organischen Lösemitteln und Lösemittelgemischen im Zementwerk entstehen nur geringe Mengen an zusätzlichen Abfällen, insbesondere Filterstäube, da der Feststoffanteil gering ist. Die Filterstäube können dem Klinker beigegeben oder an anderer Stelle dem Prozess wieder zugeführt werden [Davids/Lange 1986].

#### **Treibhausgasemissionen**

Der im Abfall enthaltene Kohlenstoff wird zu Kohlendioxid verbrannt. Damit wird der Kohlenstoffanteil des ursprünglichen Abfalls mehr oder minder vollständig in CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Von einigen leichtflüchtigen organischen Lösemitteln ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie können bei Umschlag, Lagerung und Handhabung der organischen Lösemittel und Lösemittelgemische freigesetzt werden.

Der eingesetzte Abfall ersetzt eine, seinem Heizwert entsprechende Menge an Primärbrennstoff, der dann nicht verbrannt wird. Für diese Substitution des Primärbrennstoffs wird eine Gutschrift erteilt,



die dem Kohlendioxid (Lastschrift) aus der Verbrennung des Abfalls entgegensteht bzw. diese Lastschrift übertrifft.

#### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der Anlage 3 Nr. 2 der 17. BImSchV.

Da es sich bei den organischen Lösemitteln i.d.R. um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls zu diffusen Schadstoffemissionen kommen.

#### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

In der Zementindustrie sind nassarbeitende Abgasreinigungsanlagen nicht im Einsatz [Davids/Lange 1986]. Zementwerke besitzen daher i.d.R. keine spezielle Abwasserreinigung bzw. keinen Wasserpfad, so dass keine Schadstofffreisetzung ins Wasser erfolgt.

#### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz der Abfälle in Zementwerken nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Allerdings gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Da Zementwerke i.d.R. nicht über eine spezielle Abwasserbehandlung verfügen, wird davon ausgegangen, dass hier ein erhöhtes Risiko besteht, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle, z. B. bei Regen, direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, wenn keine Vorkehrungen getroffen sind, um belastetes Betriebsflächenwasser auffangen und entsorgen zu können.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

### **36.2.3 Sonderabfallverbrennungsanlagen**

#### **Schadstoffanreicherung oder -verschleppung in Verwertungserzeugnis**

Bei der energetischen Verwertung in Sonderabfallverbrennungsanlagen wird kein Verwertungserzeugnis hergestellt, in das Schadstoffe verschleppt und dort angereichert werden.

#### **Senkenfunktion, Aufkonzentration von Schadstoffen**

Die im eingesetzten Abfall enthaltenen organischen Schadstoffe werden in der Feuerung weitgehend zerstört. Entsprechend stellen Sonderabfallverbrennungsanlagen eine Senke für die organischen Schadstoffe dar.

Schlacken, Filterstäube und andere Rauschgasreinigungsrückstände, z. B. Salze, werden in Untertage-deponien beseitigt, auf oberirdischen Deponien verwertet oder beseitigt oder im Bergversatz verwertet.

### **Entstehung zusätzlicher nicht verwertbarer Abfälle**

Durch den Einsatz der Abfälle in der Sonderabfallverbrennung entstehen nur geringe Mengen an zusätzlichen Abfällen (Aschen, Filterstäube), da der Feststoffanteil sowie der Anteil anderer Stoffe gering ist.

Da Schlacken und Filterstäube, insbesondere aber die anfallenden Salze, zu einem großen Teil beseitigt werden, fallen hier nicht verwertbare Abfälle an.

### **Treibhausgasemissionen**

Der im Abfall enthaltene Kohlenstoff wird zu Kohlendioxid verbrannt. Damit wird der Kohlenstoffanteil des ursprünglichen Abfalls mehr oder minder vollständig in CO<sub>2</sub> umgesetzt.

Von einigen leichtflüchtigen organischen Lösemitteln ist das Treibhauspotenzial bekannt [UBA 2015]. Sie können bei Umschlag, Lagerung und Handhabung der organischen Lösemittel und Lösemittelgemische freigesetzt werden.

Durch die Nutzung der im Abfall enthaltenen Energie wird eine entsprechende Menge an Primärbrennstoffen substituiert, d.h. eingespart. Bei der Sonderabfallverbrennungsanlage hängt die tatsächlich eingesparte Menge an Primärbrennstoffen davon ab, wie viel Strom und/oder Wärme konkret erzeugt und ausgekoppelt wird. Die eingesparte Menge an Primärbrennstoff wird mittels einer Gutschrift für Treibhausgasemissionen berücksichtigt. Diese Gutschrift steht den aus der Verbrennung des Abfalls resultierenden Treibhausgasemissionen entgegen.

Der energetische Wirkungsgrad kann bei Feuerungs- sowie Müll- und Sonderabfallverbrennungsanlagen nicht eindeutig bestimmt werden, da er davon abhängig ist, ob nur Strom oder nur Wärme oder beides erzeugt wird. Dies ist je nach Anlage unterschiedlich.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung in die Luft**

Die Emissionen in die Luft werden durch Abgasreinigungsanlagen gemindert. Für die Emissionen gelten die Bestimmungen und Grenzwerte der 17. BImSchV.

Da es sich bei den organischen Lösemitteln i.d.R. um leichtflüchtige Verbindungen handelt, kann es bei Umschlag, Lagerung und Handling des eingesetzten Abfalls zu diffusen Schadstoffemissionen kommen.

### **Potenzial der Schadstofffreisetzung ins Wasser (Abwasser, Oberflächengewässer)**

Es wird davon ausgegangen, dass bei Sonderabfallverbrennungsanlagen kein Abwasser anfällt und damit kein Abwasserpfad besteht.

### **Arbeitsschutz und Risiko von Betriebsstörungen und Fehlbedienungen**

Es wird davon ausgegangen, dass beim Einsatz der Abfälle in Sonderabfallverbrennungsanlagen nur wenige Arbeiten händisch erfolgen. Insofern besteht ein vergleichsweise geringes Risiko von Fehlbedienungen. Allerdings gehen wir davon aus, dass aufgrund der Eigenschaften der eingesetzten Abfälle bei Betriebsstörungen und Fehlbedienungen ein Risiko für die Gesundheit der Arbeitnehmer und der Nachbarschaft vorliegt.

Es wird davon ausgegangen, dass verschüttete oder ausgelaufene Abfälle nicht direkt in ein Gewässer oder den Boden und damit ins Grundwasser gelangen können, sondern aufgefangen und entsorgt werden.

Wenn Flächen auf denen Abfälle gelagert, umgeschlagen, transportiert oder gehandhabt werden, nicht undurchlässig sind und/oder Fugen nicht ausreichend dicht oder defekt sind, besteht ein Risiko der Bodenkontamination. Die Risikobewertung hängt von den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten ab.

Sonderabfallverbrennungsanlagen haben den Zweck, Sonderabfälle zu verbrennen. Daher gehen wir davon aus, dass Prozesse, Anlagen und Mitarbeiter für ein sicheres Handling dieser Materialien in besonderem Maße ausgerichtet bzw. geschult sind. Damit wird das Risiko im Vergleich mit anderen Verfahren als geringer eingeschätzt.

## 37 Literatur

- ABANDA 2016 Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV): Abfallanalysen-Datenbank ABANDA, [https://www.abfall-nrw.de/abanda/script/lua\\_db\\_portal.php?application=abanda&runmode=aida&initform=MK\\_Auswertemenue](https://www.abfall-nrw.de/abanda/script/lua_db_portal.php?application=abanda&runmode=aida&initform=MK_Auswertemenue), Abfrage vom 16.03.2016
- AIDA 2010-2013 Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz © Land NRW, Recklinghausen, <http://www.lanuv.nrw.de>: AIDA - Informationsplattform Abfall in NRW. Nach Abfallarten aufgeschlüsselte entsorgte Abfallmengen für die Jahre 2010, 2011, 2012, 2013. <http://www.abfall-nrw.de/aida/>. zuletzt abgerufen am 11.06.2015
- AIDA 2012 Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz © Land NRW, Recklinghausen, <http://www.lanuv.nrw.de>: AIDA - Informationsplattform Abfall in NRW. Nach Abfallarten aufgeschlüsselte erzeugte Abfallmengen für das Jahr 2012. <http://www.abfall-nrw.de/aida/>. zuletzt abgerufen am 11.06.2015
- AIDA 2016a Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz, Land NRW, Recklinghausen, AIDA - Informationsplattform Abfall in NRW. Datenbankeinträge zur Entsorgungsanlage: Herstellung von Natriumaluminat, REMONDIS Production GmbH, Lünen (Technische Daten der Verfahrenslinie), <http://www.abfall-nrw.de/aida/>; zuletzt abgerufen am 12.10.2016
- AIDA 2016b Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz, Land NRW, Recklinghausen, AIDA - Informationsplattform Abfall in NRW. Datenbankeinträge unter „Entsorger-Suche“, hier: Anlagensteckbriefe und Verfahrenslinienbeschreibungen, <http://www.abfall-nrw.de/aida/>; zuletzt abgerufen am 29.11.2016
- AltöIV 2012 Altölverordnung (AltöIV) v. 16.04.2002, BGBl. I S. 1368, zuletzt geändert durch Art. 5 Abs. 14 des Gesetzes v. 24.02.2012, BGBl. I S. 212
- ATZ-EVUS 2001 Entwicklungszentrum für Verfahrenstechnik – ATZ-EVUS: Kühlschmierstoffrecycling mit Hilfe temperaturaktivierten Druckhydrolyse (TDH), Schlussbericht, Sulzbach-Rosenberg 2001
17. BImSchV Siebzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen – 17. BImSchV) vom 2. Mai 2013, BGBl. I, S. 1021, berichtigt am 07.10.2013, BGBl. I, S. 3754
- Berzelius 2007 Berzelius Stolberg GmbH: Entwicklung eines Verfahrens zur Reduzierung der Blei- und Zinkgehalte zur nachhaltigen Vermeidung einer Deponierung und Gewinnung von Schlackeprodukt, Zinkoxid und Bleimetall, Abschlussbericht, Förderkennzeichen BMBF 01 RW 0145, Stolberg 2007
- Brauer 1996 Brauer, H. (Hrsg.): Handbuch des Umweltschutzes und der Umweltschutztechnik, Band 2 Produktions- und produktintegrierter Umweltschutz, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 1996
- Bremen 2014 Der Senator für Umwelt, Bau und Verkehr der Freien Hansestadt Bremen (2014): Bilanz der gefährlichen Abfälle, Land Bremen, 2004 bis 2013; Bremen November 2014 [http://www.bauumwelt.bremen.de/umwelt/abfall/plaene\\_konzepte\\_und\\_bilanzen-23800](http://www.bauumwelt.bremen.de/umwelt/abfall/plaene_konzepte_und_bilanzen-23800); zuletzt abgerufen am 29.11.2016
- BW 2003a Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg (2003): Handbuch zum richtigen Umgang mit dem Europäischen Abfallverzeichnis 2001/118/EG. Reihe Abfall, Heft 73 Band A, Stuttgart/Fellbach 2003
- BW 2014 Betrieblicher Umweltschutz in Baden-Württemberg – Eine Informationsplattform des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft, Stand 31.12.2014, <http://www.bubw.de/?lvl=1021>
- Davids/Lange 1986 Davids P., Lange M.: Die TA Luft '86 – Technischer Kommentar, VDI-Verlag, Düsseldorf 1986
- Dehoust et al. 2007 Dehoust, G.; Küppers, P.; Neles, J.; Schmidt, G.; Schüler, D.: Methodenentwicklung für die ökologische Bewertung der Entsorgung gefährlicher Abfälle unter und über Tage und Anwendung auf ausgewählte Abfälle, Forschungsvorhaben gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung, Förderkennzeichen 02C1345, unterstützt durch Drittmittel von vier Versatzbergwerken, Öko-Institut, Darmstadt 2007

- Dehoust et al. 2008 Dehoust G. et al.: Aufkommen, Qualität und Verbleib mineralischer Abfälle, Endbericht, Forschungsprojekt im Auftrag des Umweltbundesamtes, FuE-Vorhaben, Förderkennzeichen 204 33 325, Dessau 2008
- Dehoust et al. 2015 Dehoust, G.; Blepp, M.; Breitenstein, B.; Goldmann, D.; Jenseit, W.; Küppers, P.: Überprüfung der Grenzwerte von Metallen in Abfällen, bei deren Überschreitung eine Verwertung mit Metallrückgewinnung der einfachen Abfallverwertung im Versatz oder auf Deponien vorgeht, Endbericht, Forschungsprojekt im Auftrag des Umweltbundesamtes, FuE-Vorhaben, Förderkennzeichen 3713 33 333, Öko-Institut 2015
- Denz 2009 Denz, W.: Leitfaden – Gefährliche Abfälle bei der spanenden Metallbearbeitung, Münster, Februar 2009, zuletzt abgerufen: <http://www.denz-umweltberatung.de/download-infoschriften/#KSS>
- Denz 2009a Denz, W.: Inhaltsstoffe wassergemischter Kühlschmierstoffemulsionen, Infoblatt Stand 02.2009, zuletzt abgerufen: <http://www.denz-umweltberatung.de/app/download/1360922150/PIUS+Metall+-+Inhaltsstoffe+von+KSS+2009-02.pdf?t=1233767897>
- Denz 2009b Denz, W.: Verfahren zur Spaltung von Kühlschmierstoffemulsionen, Infoblatt Stand 02.2009, zuletzt abgerufen: <http://www.denz-umweltberatung.de/app/download/1360957450/PIUS+Metall+-+Spaltung+von+KSS+2009-02.pdf?t=1233767949>
- Destatis 2012 Statistisches Bundesamt (2014): Fachserie 19 Reihe 1 Umwelt Abfallentsorgung 2012. Wiesbaden
- EU 2008 VERORDNUNG (EG) Nr. 1272/2008 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 16. Dezember 2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen, zur Änderung und Aufhebung der Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006
- Franck/Collin 1968 Franck, H.-G.; Collin, G.: Steinkohlenteer: Chemie, Technologie und Verwendung. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York 1968
- Fresner 2006 J. Fresner: ZERMEG II – Zero emission retrofitting method for existing gal-vanising plants; PL - Stenum GmbH im Auftrag des österreichischen Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie, 2006
- Groß 2016 Groß, G.: Recycling von Abfallschwefelsäuren mit Sauerstoff - Große Mengen aufbereiten, in: PROZESSTECHNIK Online, [http://www.abfallbewertung.org/ipa.php?](http://www.prozesstechnik-online.de/chemie/-/article/5829525/25640595/Gro%C3%259; zuletzt abgerufen am 10.10.2016</a></p>
<p>Hegemann 2012 Einstufung von Abfällen nach Anhang I, Studie der TAUW GmbH im Auftrag der GFI Umwelt - Gesellschaft für Infrastruktur und Umwelt mbH, März 2012</p>
<p>IPA NRW 2015 Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen: Informations- Portal - Abfallbewertung (kurz IP@). <a href=) zuletzt aufgerufen am 12.08.2015
- KAS 2012 KAS Kommission für Anlagensicherheit beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2012): Leitfaden Einstufung von Abfällen gemäß Anhang I der Störfall-Verordnung. Bonn
- LRA Dachau 2015 Anordnung des Landratsamtes Dachau nach § 17 BImSchG gegenüber der Firma Reichensperner Re-cycling GmbH, 85238 Petershausen, vom 11.06.2015, <http://www.landratsamt-dachau.de/Dox.aspx?docid=c6eee2d6-b4d9-4092-bd39-ab8f369c5b16>; zuletzt abgerufen am 05.10.2016
- LUBW 1996 Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Hrsg.): Untersuchung von Betrieben der spanenden Metallbearbeitung (Branchengutachten), Handbuch Abfall 1, Karlsruhe 1996
- LUIS-BB 2016 Landwirtschafts- und UmweltInformationssystem Brandenburg (LUIS-BB) Abfallwirtschaft - Zugelassene Entsorger für einen ausgewählten Abfall, <http://www.luis.brandenburg.de/a/ASYS/A7100006/default.aspx>; zuletzt abgerufen am 04.10.2016
- Maier 2011 Maier, K.-H. (Dürr Systems AG): Dürr löst komplexe Aufgaben bei der Verbrennung von flüssigen und gasförmigen Rückständen, 2011, <http://www.chemie.de/whitepaper/126379/duerr-loest-komplexe-aufgaben-bei-der-verbrennung-von-fluessigen-und-gasfoermigen-rueckstaenden.html> ; zuletzt abgerufen am 12.12.2016

- Martens 2011 Martens, H.: Recyclingtechnik – Fachbuch für Lehre und Praxis, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg 2011
- Möller 1999 Möller, U. J.: Rohrreaktor zur Aufarbeitung von Altölen und Kühlschmierstoffen, Projektbericht im Auftrag der ABAG-item GmbH, Hamburg Mai 1999
- MUNLV NRW 2007 Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW (2007): Entsorgungsatlas Nordrhein-Westfalen (Stand: 01.04.2007). Düsseldorf 2007
- NEHLSSEN 2016 EMAS-Umwelterklärung der Fa. Nehlsen GmbH & Co KG, Ndl. Nehlsen-Plump, für den Standort Märteners der Betriebsstätte Bremen; Bremen, 10.06.2016
- Prognos 2003 Alwast H., Koepp, M.: Leitfaden zur energetischen Verwertung von Abfällen in Zement-, Kalk- und Kraftwerken in Nordrhein-Westfalen, Hrsg.: Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf 2003
- ReCiPe 2014 PRé Consultants, Radboud University Nijmegen, Leiden University, RIVM: ReCiPe 2008-A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level, Version 1.11, Dec. 2014, <http://www.lcia-recipe.net/file-cabinet>
- Reichenspurner 2016 Website der Firma Reichenspurner Recycling GmbH, 85238 Petershausen, <http://www.reichenspurner.de/90/downloads>; zuletzt abgerufen am 04.10.2016
- Rematec 2016 Anlagenbeschreibung der REMATEC GmbH, Werk Mügeln, 04769 Mügeln, <http://www.fire-ev.de/Dokumente/Kurzbeschreibung%20Werk%20MFCgeln.pdf>; zuletzt abgerufen am 05.10.2016
- REMONDIS 2016 (Beantworteter) Fragenkatalog, Prozessbeschreibung und Verfahrensfleißbild der der Anlage zur Herstellung von Natriumaluminatlaugen (alumin) der REMONDIS Production GmbH, 44536 Lünen (Lippewerk) vom 09.09.2016
- Rütgers 2016 Unternehmensporträt und Störfallbroschüre der Firma RÜTGERS InfraTec GmbH, 44579 Castrop-Rauxel, <http://www.ruetgers-group.com/de/home/unternehmen/business-lines/infratec.html> - und - [https://www.ruetgers-group.com/fileadmin/templates/ruetgers/Medien/PDF/Downloads\\_2011/rut\\_stoerfallbrosch\\_A5\\_web.pdf](https://www.ruetgers-group.com/fileadmin/templates/ruetgers/Medien/PDF/Downloads_2011/rut_stoerfallbrosch_A5_web.pdf); jeweils zuletzt abgerufen am 05.10.2016
- Rudolph 1995 Rudolph, K.-U. (1995): Stand der Abwassertechnik in verschiedenen Branchen, Band 1, UBA-Texte 72/1995, Umweltbundesamt Berlin
- Schulte 2009 Schulte, J.: Untersuchungen über die Verbrennung von Flüssigschwefel mit Sauerstoff und Spaltung von Abfallsäuren in einem Drehofen zur Herstellung von Schwefeldioxid, Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Ingenieurwissenschaften , RWTH Aachen, Januar 2009
- SOLVAY 2010 Solvay-Werk Rheinberg (Hrsg.): Broschüre „Industriepark Solvay Rheinberg“, Rheinberg 2010
- UBA 2005 Merkblatt zu den besten verfügbaren Techniken für die Oberflächenbehandlung von Metallen und Kunststoffen, Dessau 2005
- UBA 2006a Merkblatt über die besten verfügbaren Techniken für Abfallbehandlungsanlagen, Dessau 2006
- UBA 2006b Merkblatt über beste verfügbare Techniken für Großfeuerungsanlagen, Dessau 2006
- UBA 2007 Merkblatt über beste verfügbare Techniken für die Herstellung Anorganischer Grundchemikalien, Dessau 2007
- UBA 2015 Umweltbundesamt: Treibhauspotentiale (Global Warming Potential, GWP) ausgewählter Verbindungen und deren Gemische gemäß Viertem Sachstandsbericht des IPCC bezogen auf einen Zeitraum von 100 Jahren, Stand Mai 2015, [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/dokumente/treibhauspotentiale\\_ausgewaehlter\\_verbindungen\\_und\\_derer\\_gemische\\_2015\\_05.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/dokumente/treibhauspotentiale_ausgewaehlter_verbindungen_und_derer_gemische_2015_05.pdf)

- UM B-W 2003      Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg (Hrsg.): Handbuch zum richtigen Umgang mit dem Europäischen Abfallverzeichnis 2001/118/EG, Reihe Abfall, Heft 73, Band B, Stuttgart/Fellbach, Februar 2003
- WDG 2016      Website der Firma Wittenberger Destillations GmbH, 19322 Wittenberge, <http://www.wdg-solvent.de/Entsorgung/entsorgung.html>; zuletzt abgerufen am 04.10.2016
- WZ 2008      Statistisches Bundesamt (2008): Klassifikation der Wirtschaftszweige Ausgabe 2008, Wiesbaden
- Ziermann/Mager 2013      Ziermann, F.; Mager, T.: Entwicklung Energie sparender Verfahren zur Regenerierung der Lösemittel in Reinigungsmaschinen, Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt, gefördert unter AZ 28738 Ref.21/2 von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, Februar 2013