

# **Studie zu den abfallwirtschaftlichen und ökologischen Auswirkungen der im Arbeitsentwurf einer Abfallverwaltungsvorschrift (AbfallVwV) vertretenen Rechtspositionen**

Bearbeiter:

**Arbeitsgemeinschaft**

Deutsche Projekt Union GmbH  
Planer/Ingenieure (DPU)  
Graeffstraße 5  
50823 Köln

BZL Kommunikation und  
Projektsteuerung GmbH  
Lindenstr. 33  
28876 Oyten

Auftraggeber:

Ministerium für Umwelt und Verkehr  
Baden-Württemberg  
Kernerplatz 9

70182 Stuttgart

**August 2000**

<b>INHALTSVERZEICHNIS</b>	<b>SEITE</b>
<b>1. AUSGANGSLAGE .....</b>	<b>1</b>
<b>2. ENTWICKLUNG DER ABFALLWIRTSCHAFT IN DEUTSCHLAND UND IN BADEN-WÜRTTEMBERG IN DEN LETZTEN 10 JAHREN.....</b>	<b>2</b>
<b>3. DARSTELLUNG DER WESENTLICHEN ECKPUNKTE DER GEGENWÄRTIGEN RECHTSPOSITIONEN DES BMU ZUR VERWERTUNG UND BESEITIGUNG VON ABFÄLLEN UND IHRE RECHTLICHEN FOLGEN.....</b>	<b>4</b>
<b>4. ABFALLWIRTSCHAFTLICHE AUSWIRKUNGEN DER RECHTSPOSITIONEN DES BMU UND HERLEITUNG VON SZENARIEN.....</b>	<b>9</b>
4.1. <b>SZENARIO 1: VERWIRKLICHUNG DER GRUNDGEDANKEN DES KRW-/ABFG .....</b>	<b>9</b>
4.2. <b>SZENARIO 2: BEIBEHALTUNG DES STATUS QUO MIT RECHTSUNSICHERHEITEN....</b>	<b>10</b>
4.3. <b>SZENARIO 3: UMSETZUNG DER RECHTSPOSITIONEN DES BMU.....</b>	<b>10</b>
4.4. <b>ZU ERWARTENDE AUSWIRKUNGEN IM BEREICH DES HAUSMÜLLS UND DES SPERRMÜLLS .....</b>	<b>13</b>
4.4.1. <i>Zu erwartende Auswirkungen im Bereich des Hausmülls .....</i>	<i>13</i>
4.4.2. <i>Zu erwartende Auswirkungen im Bereich des Sperrmülls.....</i>	<i>16</i>
4.4.3. <i>Zielpfade für die Szenarien für Haus- und Sperrmüll .....</i>	<i>20</i>
4.4.4. <i>Resultierende allgemeine ökonomische Folgen aus Szenario 1 und 2.....</i>	<i>23</i>
4.4.5. <i>Resultierende allgemeine ökonomische Folgen aus Szenario 3.....</i>	<i>23</i>
4.5. <b>ZU ERWARTENDE AUSWIRKUNGEN IM BEREICH DES HAUSMÜLLÄHNLICHEN GEWERBEABFALLS .....</b>	<b>27</b>
4.5.1. <i>Hausmüllähnlicher Gewerbeabfall .....</i>	<i>27</i>
4.5.2. <i>Baustellenmischabfall.....</i>	<i>30</i>
4.5.3. <i>Sortierreste .....</i>	<i>33</i>
4.5.4. <i>Zielpfade im Bereich des hausmüllähnlichen Gewerbeabfalls .....</i>	<i>37</i>
4.5.5. <i>Resultierende allgemeine ökonomische Folgen Szenario 1.....</i>	<i>40</i>
4.5.6. <i>Resultierende allgemeine ökonomische Folgen Szenario 2.....</i>	<i>43</i>
4.5.7. <i>Resultierende allgemeine ökonomische Folgen Szenario 3.....</i>	<i>45</i>
4.6. <b>ZU ERWARTENDE AUSWIRKUNGEN IN SONSTIGEN BEREICHEN DER ABFALLWIRTSCHAFT DURCH DIE UMSETZUNG DER RECHTSPOSITIONEN DES BMU .....</b>	<b>49</b>

<b>5. ZU ERWARTENDE UMWELTAUSWIRKUNGEN DURCH DIE VERÄNDERUNG DER STOFFSTRÖME IN DER ABFALLWIRTSCHAFT BEI UNTERSCHIEDLICHEN ENTWICKLUNGSSZENARIOEN .....</b>	<b>50</b>
5.1 ERGEBNIS EINER UMFRAGE UNTER DEN ÖFFENTLICH-RECHTLICHEN ENTSORGUNGSTRÄGERN IN BADEN-WÜRTTEMBERG UND ABLEITUNG DER ARBEITSHYPOTHESE .....	50
5.1.1 <i>Darstellung der Veranlassung und Vorgehensweise</i> .....	51
5.1.2 <i>Ergebnisse einer Umfrage</i> .....	51
5.1.3 <i>Handlungsbedarf und Arbeitshypothese</i> .....	52
5.2 ANGEWANDTE METHODEN .....	52
5.2.1 <i>Stoffflussanalyse (SFA)</i> .....	52
5.2.2 <i>Ökologische Bewertung</i> .....	55
5.3 DARSTELLUNG DES SCHADSTOFFPOTENZIALS DER ZU BETRACHTENDEN ABFÄLLE ..	56
5.3.1 <i>Hausmüll</i> .....	56
5.3.1.1 Anorganische Schadstoffe.....	56
5.3.1.2 Organische Schadstoffe .....	58
5.3.1.2.1 Quellen des Schadstoffpotenzials.....	58
5.3.1.2.1.1 FCKW und andere sehr stark flüchtige organische Stoffe.....	59
5.3.1.2.1.2 CKW und andere stark flüchtige organische Stoffe .....	61
5.3.1.2.1.3 Aromaten und andere leicht flüchtige organische Stoffe .....	64
5.3.1.2.1.4 Schwer flüchtige und wasserlösliche organische Stoffe .....	68
5.3.1.3 Berechnungsgrundlagen für Stoffflussanalyse (Hausmüll) .....	72
5.3.2 <i>Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle (inkl. Sortierreste und Baustellenmischabfälle) (hmäGA)</i> .....	75
5.3.2.1 Anorganische Schadstoffe.....	75
5.3.2.2 Organische Schadstoffe .....	82
5.3.2.3 Berechnungsgrundlagen Stoffflussanalyse (hausmüllähnliche Gewerbeabfälle (inkl. Sortierreste und Baustellenmischabfälle)).....	83
5.4 DARSTELLUNG DER PROZESSE UND DEREN JEWEILIGES TRANSFERPROFIL .....	85
5.4.1 <i>Müllverbrennungsanlagen (MVA)</i> .....	85
5.4.2 <i>Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung (MBA)</i> .....	87
5.4.2.1 MBA nach Stand der Technik .....	88
5.4.2.2 MBA nach heutigem Stand .....	90
5.4.2.3 Low level-MBA.....	91
5.4.3 <i>Deponien</i> .....	93
5.4.4 <i>Sortieranlagen</i> .....	101
5.4.5 <i>Industrielle Mitverbrennung</i> .....	101
5.4.5.1 Zementwerke .....	103
5.4.5.2 Kraftwerke .....	105
5.4.5.3 Sonstiges.....	106

<b>6</b>	<b>STOFFFLÜSSE IN DIE PROZESSE UND ZIELMEDIEN.....</b>	<b>107</b>
6.1	SZENARIO 1 .....	107
6.1.1	<i>Abfallmengen Szenario 1.....</i>	<i>107</i>
6.1.2	<i>Berechnungsergebnisse Szenario 1.....</i>	<i>110</i>
6.2	SZENARIO 2 .....	112
6.2.1	<i>Abfallmengen Szenario 2.....</i>	<i>112</i>
6.2.2	<i>Berechnungsergebnisse Szenario 2.....</i>	<i>115</i>
6.3	SZENARIO 3 .....	117
6.3.1	<i>Abfallmengen Szenario 3.....</i>	<i>117</i>
6.3.2	<i>Berechnungsergebnisse Szenario 3.....</i>	<i>120</i>
6.4	NEU GEBILDETE SCHADSTOFFE AM BEISPIEL DES TREIBHAUSEFFEKTES .....	122
<b>7</b>	<b>UNTERSUCHUNG BESONDERS ÜBERWACHUNGSBEDÜRFTIGER ABFÄLLE</b>	
	<b>126</b>	
7.1	SCHADSTOFFBELASTUNG DER ZU BETRACHTENDEN ABFÄLLE.....	127
7.1.1	<i>Vorgemischte Abfälle zum Zwecke der Verbrennung .....</i>	<i>127</i>
7.1.2	<i>Lack- und Farbschlämme .....</i>	<i>128</i>
7.1.3	<i>Mineralölschlämme.....</i>	<i>129</i>
7.2	ENTSORGUNGSALTERNATIVEN .....	130
7.2.1	<i>Abfallbeseitigung in einer Sonderabfallverbrennungsanlage .....</i>	<i>130</i>
7.2.2	<i>Abfallentsorgung in ausländischen Zementwerken.....</i>	<i>133</i>
7.3	UNTERSUCHUNGSSZENARIOEN.....	136
7.3.1	<i>Szenario 4.....</i>	<i>136</i>
7.3.2	<i>Szenario 5.....</i>	<i>136</i>
7.3.3	<i>Besonderheit Farb- und Lackschlämme.....</i>	<i>137</i>
7.4	BERECHNUNGSERGEBNISSE .....	138
7.4.1	<i>Durchschnittlich belastete Abfälle.....</i>	<i>138</i>
7.4.2	<i>Worst case-Betrachtungen .....</i>	<i>139</i>
7.5	DISKUSSION.....	142
<b>8</b>	<b>SENSITIVITÄTSBETRACHTUNG .....</b>	<b>146</b>
8.1	VERÄNDERTE POLITISCHE RANDBEDINGUNGEN .....	146
8.2	ABSCHÖPFEN VON HAUSMÜLL IN DIE SCHEINVERWERTUNG .....	149
8.3	ANWENDUNG DER 17. BIMSCHV .....	149
8.4	UNTERSCHIEDLICHE KRAFTWERKSTYPEN .....	150
8.5	ZIELMEDIUM ERZEUGNIS.....	150
8.6	TRANSFERFAKTOREN DEPONIE .....	151
8.7	SCHADSTOFFGUTSCHRIFTEN .....	152
8.8	BELASTBARKEIT DER VERWENDETEN DATEN .....	153
<b>9</b>	<b>GESAMTERGEBNIS .....</b>	<b>155</b>
<b>10</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS.....</b>	<b>167</b>

## Abkürzungsverzeichnis

<b>a</b>	Jahr (annum)
<b>A</b>	Substitutionsrate des Ersatzbrennstoffes
<b>AbfAbIV</b>	Entwurf einer „Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen (AbfAbIV), BMU, Stand 03.04.2000
<b>AbfallVwV</b>	Arbeitsentwurf für eine Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallbegriff sowie zur Abfallverwertung und Abfallbeseitigung nach dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 02.12.1999
<b>ABS</b>	Acryl-Butadien-Styrol
<b>Abs.</b>	Absatz
<b>ARA</b>	Abwasserreinigungsanlage
<b>As</b>	Arsen
<b>AS</b>	Abfallschlüsselnummer
<b>ASA</b>	Propfpolymerisat von Styrol und Acrylnitril auf Acrylkautschuk
<b>AVG</b>	Abfall-Verwertungs-Gesellschaft mbH, Hamburg
<b>BBP</b>	n-Butylbenzylphthalat
<b>BDE</b>	Bundesverband der Deutschen Entsorgungswirtschaft e.V.
<b>BImSchG</b>	Bundes-Immissionsschutzgesetz
<b>BImSchV</b>	Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz
<b>BMU</b>	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (oft auch Bundesumweltministerium genannt)
<b>Bp.</b>	Siedepunkt (boiling point)
<b>BSB<sub>5</sub></b>	biologischer Sauerstoffbedarf innerhalb von 5 Tagen
<b>büA</b>	besonders überwachungsbedürftige Abfälle
<b>BUWAL</b>	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern
<b>BZL</b>	BZL Kommunikation und Projektsteuerung GmbH
<b>Ca</b>	Calcium
<b>Cd</b>	Cadmium
<b>ChemVerbotsV</b>	Chemikalienverbotsverordnung
<b>CKW</b>	Chlorierte Kohlenwasserstoffe
<b>Cl</b>	Chlor
<b>Co</b>	Kobalt
<b>CO</b>	Kohlenmonoxid
<b>CO<sub>2</sub></b>	Kohlendioxid
<b>CPA</b>	chemisch-physikalische Abfallbehandlungsanlage
<b>Cr</b>	Chrom
<b>CSB</b>	chemischer Sauerstoffbedarf

<b>Cu</b>	Kupfer
<b>d. h.</b>	das heißt
<b>DDR</b>	Deutsche Demokratische Republik
<b>DDX</b>	DDT und seine Metabolite
<b>DEHP</b>	Diethylhexylphthalat
<b>DEV</b>	Deutsche Einheitsverfahren
<b>DIDP</b>	Diisodecylphthalat
<b>DINA</b>	Di-isononyladipat
<b>DM</b>	Deutsche Mark
<b>DPU</b>	Deutsche Projekt Union GmbH
<b>DSD</b>	Duales System Deutschland
<b>EAK</b>	Europäischer Abfallarten-Katalog
<b>EBS</b>	Ersatzbrennstoffe
<b>EEG</b>	Erneuerbare-Energien-Gesetz
<b>Einw.</b>	Einwohner des Landes Baden-Württemberg
<b>Einw.•a</b>	Einwohner und Jahr
<b>ELU</b>	Elutionspotenzial
<b>EPA</b>	siehe US-EPA
<b>et al.</b>	und andere (et alii)
<b>etc.</b>	und weitere (et cetera)
<b>EU</b>	Europäische Union
<b>F</b>	Fluor(id)
<b>FCKW</b>	Fluorchlorkohlenwasserstoffe
<b>Fe/NE</b>	Eisen-/Nichteisenmetalle
<b>F<sub>In</sub></b>	Fracht Input
<b>FKW</b>	Fluorierte Kohlenwasserstoffe (im Gegensatz zu den FCKW ohne Chlor)
<b>F<sub>Rein</sub></b>	Fracht Reingas
<b>FS</b>	Frischsubstanz
<b>GA</b>	Gewerbeabfall
<b>GefahrstoffV</b>	Gefahrstoffverordnung
<b>Gew.-%</b>	Gewichtsprozent
<b>H<sub>2</sub>O</b>	Wasser
<b>HCH</b>	Hexachlorcyclohexan (alle Isomeren)
<b>HCl</b>	Chlorwasserstoff
<b>HF</b>	Fluorwasserstoff
<b>Hg</b>	Quecksilber
<b>HM</b>	Hausmüll
<b>hmäGA</b>	hausmüllähnliche Gewerbeabfälle

<b>Ho</b>	oberer Heizwert (in MJ/Mg)
<b>Hu</b>	unterer Heizwert (in MJ/Mg)
<b>K</b>	Konzentration im jeweiligen Material
<b>k.A.</b>	keine Angabe
<b>kg</b>	Kilogramm
<b>K<sub>Rein</sub></b>	Konzentration im Reingas
<b>KrW-/AbfG</b>	Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen; BGBl. I S. 2705, 27.09.1994
<b>LAGA</b>	Länderarbeitsgemeinschaft Abfall
<b>LVP</b>	Leichtverpackungen
<b>MAK</b>	Maximal zulässige Arbeitsplatzkonzentration
<b>max.</b>	maximal
<b>Max.</b>	Maximum
<b>MBA</b>	mechanisch-biologische Abfallbehandlung (-sanlage)
<b>Mg</b>	Megagramm = 1.000 kg ( <i>früher: Tonne</i> )
<b>mg/kg</b>	Milligramm pro Kilogramm
<b>Min.</b>	Minimum
<b>Mio.</b>	Million(en)
<b>MJ</b>	Megajoule
<b>MJ/Mg</b>	Megajoule pro Megagramm
<b>Mn</b>	Mangan
<b>MVA</b>	Hausmüllverbrennungsanlage
<b>MW</b>	Mittelwert
<b>N</b>	Norm(zustand)
<b>n =</b>	Anzahl ist gleich
<b>N<sub>2</sub>O</b>	Lachgas
<b>NH<sub>3</sub></b>	Ammoniak
<b>Ni</b>	Nickel
<b>NMVOC</b>	Nicht-Methan-Organik ( <i>non methane volatile organic compounds</i> )
<b>NO<sub>x</sub></b>	Stickoxide
<b>NRW</b>	Nordrhein-Westfalen
<b>NWG</b>	Nachweisgrenze
<b>O<sub>2</sub></b>	Sauerstoff (gasförmig)
<b>örE</b>	öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger (zumeist Landkreise und Stadtkreise)
<b>PAK</b>	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
<b>Pb</b>	Blei
<b>PCB</b>	polychlorierte Biphenyle

<b>PCDD/F</b>	Polychlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane, kurz: Dioxine und Furane
<b>PCP</b>	Pentachlorphenol
<b>PCT</b>	polychlorierte Terphenyle
<b>PE-HD</b>	Polyethylen High Density (PE mit hoher Dichte)
<b>PE-LD/LLD</b>	Polyethylen Low Density / Linear Low Density (PE mit niedriger Dichte)
<b>PP</b>	Polypropylen
<b>PS / PS-E</b>	Polystyrol
<b>PUR</b>	Polyurethan
<b>PVC</b>	Polyvinylchlorid
<b>REA</b>	Rauchgasentschwefelungsanlage
<b>RGR</b>	Rauchgasreinigung
<b>S</b>	Schwefel
<b>SAN</b>	Styrol-Acrylnitril-Copolymer
<b>Sb</b>	Antimon
<b>SBS</b>	Sekundärbrennstoff(e)
<b>SFA</b>	Stoffflussanalyse
<b>SK</b>	Stoffkonzentrierungsfaktor für filtergängige Feinstäube
<b>SKE</b>	Steinkohleeinheit(en)
<b>SM</b>	Schwermetall(e)
<b>Sn</b>	Zinn
<b>SO<sub>2</sub></b>	Schwefeldioxid
<b>SVA</b>	Sonderabfallverbrennung (-sanlage)
<b>TA Abfall</b>	Zweite Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA Abfall), Teil 1: Technische Anleitung zur Lagerung, chemisch/physikalischen, biologischen Behandlung, Verbrennung und Ablagerung von besonders überwachungsbedürftigen Abfällen, (12. März 1991), GMBI. S. 139, ber. S. 469
<b>TA Luft</b>	Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft), 27. Februar 1986, GMBL. S. 95, ber. S. 202
<b>TASi</b>	Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA Siedlungsabfall), vom 14.05.1993; Bundesanzeiger G 1990A, Jahrgang 45, Nr. 99a
<b>TASi+</b>	Deponie komplett mit TASi-Standard
<b>TASi-alles</b>	Deponie ohne Abdichtung, Sickerwasserfassung und Gasfassung
<b>TASi-SO</b>	Deponie mit TASi-Standard bis auf Standortvoraussetzungen
<b>TASi-UG</b>	Deponie mit TASi-Standard bis auf Untergrundabdichtung
<b>techn.K.</b>	technische Kunststoffe
<b>TF</b>	Transferfaktor
<b>TF<sub>Rein</sub></b>	Transferfaktor Reingas
<b>TI</b>	Thallium

<b>TOC</b>	gesamter organischer Kohlenstoff ( <i>total organic carbon</i> )
<b>tr.</b>	trocken
<b>TS</b>	Trockensubstanz
<b>TVO</b>	Trinkwasserverordnung
<b>US-EPA</b>	oberste US-amerikanische Umweltschutzbehörde (United States Environmental Protection Agency)
<b>UTD</b>	Untertagedeponie
<b>UVM</b>	Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg
<b>V</b>	Vanadium
<b>VDZ</b>	Verein Deutscher Zementwerke e.V.
<b>VOC</b>	flüchtige organische Verbindungen (Volatile Organic Compounds)
<b>WHG</b>	Wasserhaushaltsgesetz
<b>z. B.</b>	zum Beispiel
<b>z. T.</b>	zum Teil
<b>Zn</b>	Zink
$\Sigma$	Summe
$\varphi$	energiespezifisches Abgasvolumen
$\varepsilon$	Einbindegrad in den Klinker
$\eta$	Wirkungsgrad E-Filter
$\chi$	Energiebedarf des jeweiligen Zementwerks zum Klinkerbrennen (hier: Nassverfahren)
$f$	elementspezifischer Einbindegrad in den Klinker nach Sprung

## 1. Ausgangslage

Am 02.12.1999 legte das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) einen Arbeitsentwurf für eine Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallbegriff sowie zur Abfallverwertung und Abfallbeseitigung nach dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz [AbfallVwV, 1999] vor (im Folgenden Abfallverwaltungsvorschrift oder kurz AbfallVwV). Dieser Entwurf baut auf dem sogenannten Bund-Länder-Konsenspapier [Bund-Länder-Konsenspapier, 1997] aus dem Jahre 1997 auf. Er weicht jedoch in grundlegenden Fragestellungen von diesem Bund-Länder-Konsenspapier ab.

Das Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg (UVM) hat daher am 05.01.2000 zu diesem Entwurf der Abfallverwaltungsvorschrift kritisch Stellung genommen. Als Konsequenz des Entwurfs sieht das UVM, dass künftig die Beseitigung von Abfällen nur noch in Ausnahmefällen in Betracht käme. Selbst im Bereich des Hausmülls könnte nach dem Entwurf die energetische Verwertung des unbehandelten Hausmülls im In- und Ausland möglich werden. Im Bereich der besonders überwachungsbedürftigen, brennbaren Abfälle wird die energetische Verwertung für nahezu alle Abfälle ermöglicht. Der vorgelegte Entwurf wird nicht weiterverfolgt. Verlautbarungen aus dem BMU lassen jedoch befürchten, dass die darin vertretenen Rechtsauffassungen in anderem Zusammenhang weiter vertreten werden.

Zielrichtung der im Auftrag des UVM erstellten Studie ist es, die Politik und die Öffentlichkeit auf die zu erwartenden abfallwirtschaftlichen Konsequenzen und ökologischen Auswirkungen insbesondere im Bereich des Hausmülls und des hausmüllähnlichen Gewerbeabfalls sowie im Bereich der besonders überwachungsbedürftigen, brennbaren Abfälle hinzuweisen.

Zum besseren Verständnis erscheint es zunächst sinnvoll, auf die Entwicklung der Abfallwirtschaft in Deutschland und in Baden-Württemberg in den letzten 10 Jahren einzugehen.

## 2. Entwicklung der Abfallwirtschaft in Deutschland und in Baden-Württemberg in den letzten 10 Jahren

Die Situation in Baden-Württemberg ist generell von einem drastischen Rückgang im ausgewiesenen Aufkommen (nur gegenüber den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern überlassungspflichtige Abfälle in den Länderstatistiken) an hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen und Baustellenmischabfällen seit 1990 gekennzeichnet. Ein ähnlicher Rückgang lässt sich auch in den übrigen alten Bundesländern feststellen, wobei der Rückgang je nach der Höhe der Entsorgungskosten unterschiedlich ausfällt.

Bundesweit gesehen wurde dieser Rückgang im Jahre 1990 im wesentlichen durch die ab diesem Zeitpunkt durch die Wiedervereinigung besser verfügbar gewordenen alten DDR-Deponien eingeleitet. Auf diesen Deponien war zunächst die Deponierung für 5 – 25 DM/Mg Abfall (1 Mg = 1 Megagramm = 1 Tonne) möglich. Dies wurde von einigen privaten Entsorgern trotz der unsicheren Rechtslage (Abgrenzung Wertstoff und Abfall, Frage des Abfallexports) angesichts der möglichen Gewinne genutzt. Die Abfälle verschwanden aus der Statistik, da nur die Zahlen der den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern (örE, zumeist Landkreise und Stadtkreise) überlassenen Abfälle erfasst und erhoben wurden. In den Folgejahren entwickelte sich dann dieser Entsorgungsweg zum boomenden Geschäft. Bis 1993 wurden ca. 5 Mio. Mg dieser Abfälle bundesweit in die neuen Länder exportiert. Auf Basis des dann dort hohen Abfallaufkommens wurden ab 1993 Deponieplanungen durchgeführt und bestehende Deponien in großem Stil ausgebaut. Die für diese neu hergerichteten Deponien verlangten Ablagerungsgebühren bewegten sich bei ca. 100 DM/Mg und waren natürlich gegenüber den Preisen in den alten Bundesländern zu diesem Zeitpunkt (200 – 300 DM/Mg) konkurrenzlos günstig [BZL, 1998/1999].

Überlagert wurden diese Vorgänge allerdings vom allgemeinen Rückgang der Konjunktur und somit auch des Abfalls im gewerblichen Bereich. Weiterhin wurde in diesen Jahren die Verpackungsverordnung eingeführt und umgesetzt, die ebenfalls den Rückgang des Abfallaufkommens im Bereich des Hausmülls und im gewerblichen Bereich unterstützte.

Als Gesamtkonsequenz wurde ab 1994 – 1995 auch in den alten Bundesländern der Abfallverlust für die örE spürbar. Zunächst entwickelte sich bei den hochpreisigen Hausmüllverbrennungsanlagen ein „Spotmarkt“ für Abfälle aus dem gewerblichen Bereich, von dem die Abfälle nur noch in Höhe der aktuellen Betriebskosten ohne den Kapitaldienst für die Investition in die Anlagen genommen werden, um die Auslastung sicherzustellen. Auch die Betreiber der bestehenden Großdeponien in den alten Ländern sahen anschließend nur noch über den „Spotmarkt“ eine Möglichkeit, ihren nach TA Siedlungsabfall erforderlichen Abschluss für die Ablagerung unvorbehandelter Abfälle bis zum Jahr 2005 sicherzustellen. Es bildete sich ein Preisniveau von 90 – 110 DM/Mg auf Deponien und von 130 - 150 DM/Mg in Hausmüllverbrennungsanlagen heraus. Bis 1999 gelang es dann den MVA-Betreibern, ihre Anlagen mit Abfällen vom „Spotmarkt“ über die so bezeichnete energetische Verwertung wieder zu füllen.

Die Preise gaben jedoch noch weiter bis auf ca. 110 DM/Mg nach. Gleichzeitig bildete sich bis 1999 im Bereich der Deponien ein Preiskampf zwischen Großdeponien in den alten und neuen Ländern heraus, der auch zu weiterem Preisverfall in diesem Marktsegment bis hinunter auf 60 – 80 DM/Mg und bei größeren Abfallmengen auch noch darunter führte. Danach haben in den Jahren 1999 und 2000 einzelne öRE durch Absenken ihrer Preise für Gewerbeabfälle auf ca. 130 – 150 DM/Mg und gleichzeitige Bemühungen zur juristischen Durchsetzung der Überlassungspflicht der Abfallerzeuger für gewerbliche Abfälle zur Beseitigung gegenüber den öRE für sich eine Stabilisierung des ihnen überlassenen Gewerbeabfalls auf niedrigem Niveau erreicht. Allerdings ist eine derartige Preisanpassung natürlich nur dort möglich, wo in den letzten Jahren keine größeren Investitionen in Abfallentsorgungsanlagen durch die öRE vorgenommen wurden. In den Regionen, in denen gemäß den gesetzlichen Vorgaben investiert wurde, bestehen weiterhin hohe Preise für die Gewerbeabfallentsorgung und Auslastungs- und Finanzierungsprobleme für die neuen errichteten Anlagen. Im Ergebnis wurde die duale Entsorgungskonzeption des Gesetzes weitgehend ausgehebelt, weil sich Marktmechanismen stärker als die gesetzlichen Regelungen erwiesen.

Vor diesem abfallwirtschaftlichen Hintergrund in Deutschland wurde die Studie als Entwurf im Juni 2000 vorgelegt und unter Berücksichtigung aktueller Entwicklungen im Laufe des August 2000 abgeschlossen.

### **3. Darstellung der wesentlichen Eckpunkte der gegenwärtigen Rechtspositionen des BMU zur Verwertung und Beseitigung von Abfällen und ihre rechtlichen Folgen**

Zunächst werden im Folgenden die Gesetzeslage sowie wesentlichen Eckpunkte der Rechtspositionen des BMU (Publikationen, Anfragen, Arbeitsentwurf der AbfallVwV) und deren Verhältnis zur Gesetzeslage nach dem KrW-/AbfG [KrW-/AbfG, 1994] erläutert.

Zu den Eckpunkten wird zunächst die Regelung des KrW-/AbfG, zum Teil mit Rückgriffen auf die Entstehungsgeschichte und auf das Bund-Länder-Konsenspapier, erläutert. Dem wird die Rechtsposition des BMU gegenübergestellt. Anschließend werden die rechtlichen Folgen der BMU-Position jeweils dargestellt.

- Generell war der Gesetzgeber des KrW-/AbfG von der allgemeinen Vorstellung geprägt, dass eine Abfallverwertung teurer als eine Abfallbeseitigung ist. Dies stimmt so mit dem aktuellen Entsorgungsmarkt in Deutschland nicht überein. In der Regel ist derzeit genau das Gegenteil der Fall.

Die unkritische Förderung der Kreislaufwirtschaft durch den Entwurf der AbfallVwV führt zu einer massiven Beschreitung von „Scheinverwertungswegen“ zunächst überwiegend in technisch unzulängliche Deponien in Deutschland. Ab dem Jahr 2005 wird eine stärkere Verlagerung in Zement- und Kraftwerke eintreten.

- Während das KrW-/AbfG nur die Entsorgungsmaßnahme als Beurteilungsgegenstand der Abgrenzung zwischen Verwertung und Beseitigung kennt, stellt der Entwurf der AbfallVwV zusätzlich auf den undefinierten Begriff der vorbereitenden Entsorgungshandlung ab. Daraus ergeben sich Möglichkeiten der Neubewertung von nachträglich hergestellten Abfallgemischen.

Die Einführung des Begriffs der „vorbereitenden Entsorgungsmaßnahme“ neben der Entsorgungsmaßnahme führt in der Praxis zusammen mit der Neubewertung der nachträglich hergestellten Abfallgemische dazu, dass nur einzelne verwertungsnahe Teilschritte eines Gesamtentsorgungsvorgangs zum Gegenstand der Abgrenzungsbeurteilung werden. Durch die beliebige Wahl der Teilschritte ist es möglich, fast jeden Entsorgungsvorgang mit gewissen verwerteten Abfallanteilen der Verwertung zuzuordnen, indem Schritte, die eher der Beseitigung zuzuordnen sind, geschickt ausgeblendet werden.

- Die Abgrenzung der Verwertung von der Beseitigung erfolgt nach dem KrW-/AbfG durch eine zweistufige Prüfung. Auf der ersten Stufe ist zu prüfen, ob durch die Entsorgungsmaßnahme insgesamt der Abfall stofflich oder energetisch genutzt wird. Auf der zweiten Stufe ist zu prüfen, ob diese Nutzung auch tatsächlich der Hauptzweck der Entsorgungsmaßnahme ist (stofflich: unter wirtschaftlicher Betrachtungsweise und unter Berücksichtigung der im Abfall bestehenden Verunreinigungen; keine Beseitigung des Schadstoffpotenzials als Hauptzweck; energetisch: Ausmaß der Verunreinigungen in den Abfällen sowie die durch die Behandlung

entstehenden weiteren Abfälle und entstehende Emissionen bestimmen, ob der Hauptzweck die Verwertung ist). Der Entwurf der AbfallVwV verkürzt die Prüfung im allgemeinen ausschließlich auf die erste Stufe, dahingehend, dass es für eine Verwertung ausreichend ist, wenn die stoffliche Nutzung des Abfalls wirtschaftlich vorteilhaft ist oder der Abfall als Ersatzbrennstoff eingesetzt wird. Die Verunreinigungen in den Abfällen werden durch den Entwurf der AbfallVwV so aus der Bewertung im Hinblick auf die Verwertung oder Beseitigung der Abfälle ausgeblendet. Lediglich in den Fällen, in denen von vorneherein zweifelhaft ist, ob die Verwertung überhaupt schadlos erfolgen kann, sieht der Entwurf der AbfallVwV noch die zweite Stufe mit der Überprüfung des Hauptzwecks vor.

Durch die im Rahmen der einstufigen Prüfung im Regelfall erfolgende Gleichsetzung von Nutzung des Abfalls und Verwertung und des in der Regel nicht mehr zu prüfenden Hauptzwecks der Entsorgungsmaßnahme, sowie der möglichen Beschränkung der Betrachtung auf Teilschritte, wird nahezu jeder Entsorgungsvorgang in der Praxis zur Verwertung. Durch die im Regelfall erfolgende Außerachtlassung der Kriterien Verunreinigungen des Abfalls, beim Abfalleinsatz entstehende Abfälle und entstehende Emissionen wird eine Nutzung des Abfalls in irgendeiner Art und Weise immer zu dem Ergebnis Verwertung führen. Nur wenn von vorneherein Zweifel bestehen, ob die Verwertung schadlos erfolgen kann, sollen diese Kriterien noch zur Anwendung kommen.

- Nach KrW-/AbfG liegt eine stoffliche Verwertung eines Abfalls nur dann vor, falls der Abfall stofflich genutzt wird und wenn nach einer wirtschaftlichen Betrachtungsweise, unter Berücksichtigung der im einzelnen Abfall bestehenden Verunreinigungen, der Hauptzweck in der Nutzung des Abfalls und nicht in der Beseitigung des Schadstoffpotenzials liegt. Gemäß dem Entwurf der AbfallVwV soll die Prüfung generell nicht mehr zweistufig, wie im KrW-/AbfG angelegt, durchgeführt werden. Die wirtschaftliche Betrachtungsweise wird auf die Prüfung der Vorteilhaftigkeit der Nutzung des Abfalls reduziert. Die Kosten-Nutzen-Betrachtung der Gesamt-Entsorgungsmaßnahme wird im Rahmen des Entwurfs der AbfallVwV auf die Kostenbetrachtung einzelner Entsorgungsschritte reduziert. Die bestehenden Verunreinigungen im Abfall werden gemäß Entwurf der AbfallVwV nur noch dann berücksichtigt, falls von vorneherein zweifelhaft ist, ob die Verwertung schadlos erfolgen kann.

Im Bereich der stofflichen Verwertung führen diese Positionen des BMU dazu, dass vor allem durch die Einschränkung der wirtschaftlichen Betrachtungsweise auf die Vorteilhaftigkeit der Nutzung weitgehend automatisch die stoffliche Nutzung des Abfalls zur Einstufung als Verwertung führt.

- Nach dem KrW-/AbfG liegt eine energetische Verwertung nur vor, falls Abfälle als Ersatzbrennstoffe eingesetzt werden, und wenn der Hauptzweck der Maßnahme auf die Verwertung gerichtet ist. Maßgebend hierfür sind Art und Ausmaß der Verunreinigungen des Abfalls sowie die durch seinen Einsatz anfallenden weiteren Abfälle und entstehenden Emissionen. Sowohl nach dem KrW-/AbfG als auch nach

dem Bund-Länder-Konsenspapier ist die Hauptzweckprüfung in jedem Falle für den einzelnen Abfall vor Vermischung vorzunehmen.

Gemäß dem Entwurf der AbfallVwV ist bereits ein repräsentativ nachweisbarer Heizwert des Abfalls über 11.000 MJ/Mg ausreichend zur Bejahung der energetischen Verwertbarkeit des Abfalls. Bei einer Entsorgung im Ausland ist auch dieser für eine energetische Verwertung nach Entwurf der AbfallVwV nicht erforderlich. Gemäß dem Entwurf der AbfallVwV sind Art und Ausmaß der Verunreinigungen des einzelnen Abfalls, die durch den Einsatz entstehenden weiteren Abfälle und entstehenden Emissionen nur dann zur Bewertung heranzuziehen, wenn ungewiss ist, ob die Umweltverträglichkeit der Verwertung sichergestellt werden kann. Zusätzlich kann eine Neubewertung auch hinsichtlich der energetischen Verwertbarkeit nach dem Entwurf der AbfallVwV sowohl für nachträglich hergestellte Abfallgemische als auch für im Rahmen von Behandlungsschritten neu entstandene Abfälle durchgeführt werden.

Gemäß den Rechtspositionen des BMU wäre somit in Deutschland allein schon ein repräsentativ nachweisbarer Heizwert des Abfalls über 11.000 MJ/Mg ausreichend, um ihn als Abfall zur energetischen Verwertung (auch bei nachträglich hergestellten Abfallgemischen oder neu entstandenen Abfällen) einzustufen. Im benachbarten Ausland wäre noch nicht einmal der Mindestheizwert des KrW-/AbfG erforderlich. Konsequenter Weise wären daher nahezu alle brennbaren besonders überwachungsbedürftigen Abfälle als Abfälle zur energetischen Verwertung einzustufen. Im Falle einer Entsorgung im benachbarten Ausland wäre sogar ein Abfall oder auch ein besonders überwachungsbedürftiger Abfall mit wesentlich niedrigeren Heizwerten (als 11.000 MJ/Mg) energetisch verwertbar, wenn er in einer Industrieanlage zur Produktion oder in einer Hausmüllverbrennungsanlage eingesetzt wird.

- Nach dem KrW-/AbfG bleibt die thermische Behandlung von Abfällen zur Beseitigung, insbesondere von Hausmüll, vom Vorrang der energetischen Verwertung unberührt (Hausmüllklausel). Wie die Genese des KrW-/AbfG zeigt, war mit dieser Kompromissformulierung gemeint, dass für Hausmüll und hausmüllähnliche Abfälle (inhomogene Abfälle mit wechselnder Zusammensetzung) eine energetische Verwertung nicht möglich ist und es sich im Rahmen einer thermischen Behandlung immer um eine Beseitigung dieser Abfälle handelt.

Im Rahmen des Bund-Länder-Konsenspapiers wird dies ebenfalls deutlich. Dort ist nochmals unter Abschnitt III Nr. 2.1.2.2 ausgeführt, dass der Gesetzgeber, mit dieser Klausel zugegebener Maßen sprachlich verunglückt, die thermische Behandlung von Abfällen mit inhomogener und wechselnder Zusammensetzung, also des typischen Restmülls, stets der Abfallbeseitigung zuordnen wollte. Da diese Rechtsfolge sich mit dem Wort „insbesondere“ auf Hausmüll bezieht, gilt sie auch für die thermische Behandlung von „hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen“, soweit sie in Art und Zusammensetzung dem Restmüll aus privaten Haushaltungen entsprechen. Die thermische Behandlung dieser Abfälle ist entsprechend auch als Beseitigung einzustufen.

Der Entwurf der AbfallVwV nimmt in diesem Punkt jedoch eine gänzlich andere Position ein. Aus der heutigen Sicht des BMU ist aus der Klausel nicht ableitbar, dass die Verbrennung von Hausmüll eine Abfallbeseitigung ist. Mit dieser Klausel wird gemäß der Meinung des BMU ausschließlich Hausmüll vom Vorrang der energetischen Verwertung freigestellt. Für die hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle hat nach der Position des BMU die energetische Verwertung Vorrang vor einer Beseitigung dieser Abfälle durch thermische Behandlung.

Die Rechtsposition des BMU zur Hausmüllklausel hat, sofern die Überlassungspflicht gegenüber dem öRE für Abfälle aus privaten Haushalten auch voll beachtet wird, im Hausmüllbereich keine Auswirkungen gegenüber dem öRE. Dieser hat im Anschluss jedoch die Möglichkeit, seinen Hausmüll komplett im Ausland energetisch verwerten zu lassen (vgl. im Folgenden Szenario 3\*). Hierbei ist er nicht mehr an die Landesautarkie für Beseitigungsabfälle gebunden. Im Bereich der Abfälle aus anderen Herkunftsbereichen (Industrie, Gewerbe) führt die Rechtsposition des BMU zum Wegfall der Überlassungspflichten gegenüber dem öRE, selbst für Abfälle wechselnder und inhomogener Zusammensetzung (hausmüllähnliche Gewerbeabfälle), da auch diese Abfälle dann energetisch verwertbar wären. Im Inland wird lediglich ein nachweisbarer repräsentativer Heizwert über 11.000 MJ/Mg in den Abfällen benötigt, während im Ausland noch nicht einmal diese Anforderungen an den Abfall bestehen, da dort jede Verbrennung mit irgendeiner Form der Energienutzung nach den Rechtspositionen des BMU eine Verwertung darstellt.

- Gemäß KrW-/AbfG kommt es für die Abgrenzung von Verwertung und Beseitigung auf den einzelnen Abfall an, der zu betrachten ist. Auch der Heizwert eines Abfalls ist ohne eine Vermischung mit anderen Stoffen zu bestimmen. Nach § 11 Abs. 1 in Verbindung mit § 10 Abs. 1 KrW-/AbfG besteht eine strikte Pflicht zur Getrennthaltung für Abfälle zur Beseitigung von Abfällen zur Verwertung, da Abfälle, die nicht verwertet werden, dauerhaft von der Kreislaufwirtschaft auszuschließen und zur Wahrung des Wohls der Allgemeinheit zu beseitigen sind.

Der Entwurf der AbfallVwV kommt hier jedoch für Abfälle zur Beseitigung zu anderen Positionen, indem er zwischen „ursprünglichen Abfallgemischen“ und „Abfällen, die nachträglich vermischt werden“ nicht deutlich differenziert. Bei Abfällen, die nachträglich vermischt werden, ist das neue Gemisch nach der Position des BMU als einzelner Abfall zu bewerten, falls nicht vorher Getrennthaltungspflichten verletzt worden sind. Eine Getrennthaltung wäre nur erforderlich, soweit sie zur Durchführung einer ordnungsgemäßen und schadlosen sowie möglichst hochwertigen Verwertung bzw. zur Durchführung einer dem Wohl der Allgemeinheit entsprechenden Beseitigung der Abfälle erforderlich ist. Sofern gegen diese Getrennthaltungspflicht nicht verstoßen wird, dürfen nach Auffassung des BMU auch Abfälle zur Verwertung und Abfälle zur Beseitigung nachträglich vermischt werden. Nur wenn bei einer nachträglichen Vermischung von Abfällen Getrennthaltungsgebote verletzt werden, soll der Abfallerzeuger verpflichtet sein, eine nachträgliche Sortierung vorzunehmen. Sind im Gemisch überlassungspflichtige Abfälle enthalten,

müsste die Sortierung im Gebiet des örE erfolgen. Wenn die Ursprungsabfälle nicht aus dem Gemisch heraussortiert werden können, soll das Gemisch auf seine Verwertbarkeit hin geprüft und vorrangig der Verwertung zugeführt werden.

Durch diese drastische Lockerung der Getrennthaltungspflichten für Abfälle zur Beseitigung im Rahmen der Rechtspositionen des BMU wird es Abfallerzeugern aus Industrie und Gewerbe ermöglicht, ihre Abfälle zur Beseitigung und ihre Abfälle zur Verwertung zu vermischen und, da sie sich dann leider nicht mehr trennen lassen, als Abfall zur Verwertung extern entsorgen zu lassen. Hiermit werden an sich gegenüber dem örE überlassungspflichtige Abfälle zunächst aus Industrie und Gewerbe planmäßig dem örE entzogen und auf preiswerteren „Scheinverwertungswegen“ entsorgt. Mit diesen Rechtspositionen sollen quasi die momentanen Praktiken legalisiert werden.

- Gemäß KrW-/AbfG sind die Erzeuger oder Besitzer von Abfällen aus privaten Haushaltungen nur verpflichtet, diese dem örE zu überlassen, soweit sie zu einer Verwertung nicht in der Lage sind oder diese (Verwertung) nicht beabsichtigen (§ 13 Abs. 1 Satz 1). Wie die Genese des KrW-/AbfG zeigt, war nur die Eigenverwertung von Bioabfällen im Rahmen einer selbst von den Privathaushalten durchgeführten Kompostierung gemeint. Diese sollte durch die Überlassungspflicht gegenüber dem örE nicht verhindert werden.

Der Entwurf der AbfallVwV enthält keine Ausführungen zu der Frage, ob die Haushalte ihre Abfälle von privaten Dritten verwerten lassen können. Der BMU hat aber an anderer Stelle die Auffassung vertreten, dass sich der Privathaushalt zur Verwertung seines Hausmülls auch Dritter bedienen kann. In diesem Falle würde aus Sicht des BMU auch die Überlassungspflicht gegenüber dem örE für den Privathaushalt entfallen.

Künftig würden dann Unternehmen der Entsorgungswirtschaft vorrangig z. B. an große Wohnungsverwaltungsgesellschaften und Ferienparks mit Verwertungsangeboten für den Hausmüll herantreten, da die dort für die „Verwertung“ gewinnbaren Mengen im Vergleich zum Aufwand im einzelnen Privathaushalt lukrativer sind. Deshalb würden bei Umsetzung dieser Positionen des BMU auch große Anteile des Hausmülls in der privaten Entsorgungswirtschaft „verwertet“ und nicht mehr dem örE überlassen werden. Forciert werden diese Entwicklungen natürlich durch die Preisdifferenzen von Verwertung und Beseitigung, die durchaus mehr als den Faktor 2 im gleichen Entsorgungsweg betragen könnten.

## **4. Abfallwirtschaftliche Auswirkungen der Rechtspositionen des BMU und Herleitung von Szenarien**

Im Rahmen dieses Kapitels werden anhand der Situation in Baden-Württemberg und den Verflechtungen mit den übrigen Bundesländern die wesentlichen abfallwirtschaftlichen Auswirkungen bei Umsetzung der Rechtspositionen des BMU erläutert. Für die Erläuterung der Auswirkungen werden drei verschiedene Grundsznarien gebildet. Bei der Bildung der Szenarien wurden mögliche Verordnungen zur Sicherung der schadlosen Verwertung gemäß § 7 Abs. 1 KrW-/AbfG nicht berücksichtigt, da bisher keine derartigen Verordnungen vorliegen und auch noch nicht absehbar ist, für welche Bereiche und mit welchen Anforderungen sie erlassen werden.

Die Auswirkungen werden innerhalb der einzelnen Szenarien dargestellt. Für die Szenarien werden Prognosen zu den Abfallmengen im Bereich des Hausmülls und des hausmüllähnlichen Gewerbeabfalls erstellt und die wesentlichen ökonomischen und ökologischen Folgen in der Abfallwirtschaft für die drei Szenarien erläutert.

### **4.1. Szenario 1: Verwirklichung der Grundgedanken des KrW-/AbfG**

Das Szenario 1 beschreibt eine Entwicklung, in der konsequent die Grundgedanken des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes vollzogen werden. Hausmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle (inkl. Sortierreste und Baustellenmischabfälle) sind in der Überlassungspflicht der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger. Deponien ohne Basisabdichtung, Sickerwasserfassung und Gasfassung sind bis 2002 bundesweit geschlossen. Scheinverwertung findet nicht statt. Bis 2005 sind alle erforderlichen Vorbehandlungsanlagen realisiert und in Betrieb, unvorbehandelter Restabfall wird nicht mehr abgelagert (Szenario 1: Verwirklichung der Grundgedanken des KrW-/AbfG). Die TASI-Anforderungen [TA Siedlungsabfall, 1993] werden in diesem Szenario per Rechtsverordnung (Abfall-Ablagerungs-Verordnung, AbfAbIV) gefasst und dadurch in ihrem bindenden Charakter unmittelbar wirksam. Die AbfAbIV wird allerdings nicht für MBA-Fractionen geöffnet.

Das Duale System bezüglich der Verpackungsabfälle bleibt gleichzeitig unverändert.

Die Überlassungspflicht gegenüber den öRE wird im Rahmen dieses Szenarios insbesondere für gemischte und belastete hausmüllähnliche Gewerbeabfälle, sowie Abfallarten, die als Ausweischlüssel genutzt werden, per Gesetzesänderung im KrW-/AbfG eingeführt.

Monofractionen von Gewerbeabfällen können weiterhin der Verwertung über die private Entsorgungswirtschaft direkt zugeführt und im Sinne einer tatsächlichen Kreislaufwirtschaft verwertet werden.

Der Hausmüll hingegen bleibt komplett, mit Ausnahme der Selbstverwertung, gegenüber dem öRE überlassungspflichtig. Dieses Szenario könnte unter Berücksichtigung der üblichen Fristen für gesetzgeberische Maßnahmen frühestens ab ca. 2002 zu einer

konsequenter Anwendung des KrW-/AbfG unter klar definierten Zuständigkeiten für die Entsorgung führen. Dies hätte somit insgesamt zur Folge, dass voraussichtlich bis zu Beginn des Jahres 2002 der Status quo der Abfallwirtschaft aus zeitlichen Gründen der Gesetzgebung weitgehend unverändert bliebe.

#### **4.2. Szenario 2: Beibehaltung des Status quo mit Rechtsunsicherheiten**

In Szenario 2 wird der heutige Status quo beibehalten. Rechts- und Investitionsunsicherheiten sind die beherrschenden Randbedingungen in diesem Szenario. Die Abfallverwaltungsvorschrift des BMU (AbfallVwV) wird nicht erlassen, der Vorgang bleibt aber weiter „zunächst unterbrochen bzw. eingefroren, aber keineswegs zurückgezogen“. Klarstellungen zur Überlassungspflicht und zur Scheinverwertung müssen dadurch weiterhin im Einzelfall erstritten werden. Auf diesem Feld werden daher für das Land Baden-Württemberg sowohl einzelne Erfolge als auch Misserfolge eintreten. Die Scheinverwertung lässt sich mit den Mitteln des Landesvollzugs nur teilweise verhindern.

In diesem Falle würde die Überlassungspflicht für Hausmüll gegenüber dem öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger weiterhin wie bisher weitgehend beachtet und dieser Abfallstrom würde weiterhin die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger erreichen. Im Bereich des hausmüllähnlichen Gewerbeabfalls würde sich weiterhin, wie bereits bisher, die private Entsorgungswirtschaft um preisgünstige Verwertungswege, die natürlich auch zum Teil „Scheinverwertungswege“ umfassen, bemühen.

Die TAsi [TA Siedlungsabfall, 1993] wird in diesem Szenario gemäß den Vorstellungen des BMU novelliert (AbfAbIV [AbfAbIV, 2000]; WHG § 7a Anhang 59 [ANHANG 59, 2000], 30. BImSchV [30. BImSchV, 2000]). Das Duale System bezüglich der Verpackungsabfälle bleibt gleichzeitig unverändert.

#### **4.3. Szenario 3: Umsetzung der Rechtspositionen des BMU**

Szenario 3 beschreibt eine Entwicklungsrichtung, die eintreten wird, sofern die Abfallverwaltungsvorschrift des BMU (AbfallVwV) erlassen wird. Die der Verwaltungsvorschrift zugrundeliegende Rechtsauffassung setzt sich in diesem Szenario bundesweit durch<sup>1</sup>.

Die TAsi wird in diesem Szenario ebenfalls entsprechend den Vorstellungen des BMU novelliert. Daher ergeben sich bezüglich der TAsi-Problematik zwischen Szenario 2 und 3 keine unterschiedlichen Annahmen bzw. Randbedingungen.

---

<sup>1</sup> Durch das Urteil des Bundesverwaltungsgerichts vom 15.06.2000 (BVerwG 3 C 4.00) hat sich die Meinung des Bundesumweltministeriums in dem wichtigen Teilbereich der Beurteilung der Mischabfälle durchgesetzt.

Im Falle einer Umsetzung ist mit einer Rechtskräftigkeit der AbfallVwV bis zum Beginn des Jahres 2002 zu rechnen. In der Praxis ist dann in etwa gleichzeitig mit den Auswirkungen im Bereich des Hausmülls (ermutigt durch die Rechtspositionen des BMU) und des hausmüllähnlichen Gewerbeabfalls zu rechnen, da in diesem Fall die privaten Entsorgungsunternehmen rasch agieren werden, um sich die neu zur Verteilung anstehenden Marktanteile zu sichern.

Verschärft werden könnten die sich hieraus ergebenden Probleme für Baden-Württemberg durch ein gleichzeitiges Wegfallen des Importverbots für Siedlungsabfälle zur Verwertung in Frankreich (Szenario 3\*, Wegfallen des Importverbots in Nachbarstaaten). Das Importverbot wird für Siedlungsabfälle zur Verwertung schon seit längerem von großen französischen Entsorgungsunternehmen mit juristischen Mitteln angegriffen.

In beiden Fällen sind natürlich die Übergangsfristen der TASI für die Ablagerung unvorbehandelter Siedlungsabfälle auf Deponien in Deutschland zu beachten. Die TASI wird in diesen Szenarien ebenfalls entsprechend den Vorstellungen des BMU novelliert. Daher ergeben sich bezüglich der TASI-Problematik zwischen Szenario 2 und 3 sowie 3\* keine unterschiedlichen Annahmen bzw. Randbedingungen. Das Duale System bezüglich der Verpackungsabfälle bleibt gleichzeitig unverändert.

Zusätzlich wurde im Rahmen der Sensitivitätsbetrachtung ein Szenario 3\*\* erstellt, in dem die bisherigen Entwürfe des BMU zur Novellierung der TASI durch Vorschläge zur Verringerung der Anforderungen an die Ablagerungskriterien und durch Verringerung der Anforderungen an die zulässigen Emissionen aus mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen aufgeweicht werden. Insbesondere hat dies eine drastische Verringerung der Abschöpfung der heizwertreichen Fraktion in den Abfällen und entsprechend eine wesentliche höhere Ablagerung auf Altdeponien zur Folge.

Die Eckpunkte aller Szenarien sind in der folgenden Tabelle nochmals im Vergleich wiedergegeben.

**Tabelle 1: Eckpunkte der Szenarien im Vergleich**

Eckpunkt	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 3*	Szenario 3**
Rechtspositionen des BMU	kommen nicht	kommen nicht	werden umgesetzt	werden umgesetzt	werden umgesetzt
Änderung des KrW-/AbfG	kommt	kommt nicht	kommt nicht	kommt nicht	kommt nicht
Novelle TAsi nach BMU	keine Öffnung für Abfälle aus MBA, jedoch Verordnungsrang	kommt	kommt	kommt	Aufweichung bei Ablagerung und Emissionen
Verpackungsverordnung	bleibt unverändert	bleibt unverändert	bleibt unverändert	bleibt unverändert	bleibt unverändert
Abfallimportverbot für Siedlungsabfälle in Frankreich	bleibt unverändert	bleibt unverändert	bleibt unverändert	entfällt für Abfälle zur Verwertung	bleibt unverändert

#### 4.4. Zu erwartende Auswirkungen im Bereich des Hausmülls und des Sperrmülls

Anhand dieser drei grundsätzlich unterschiedlichen Szenarien (sowie zweier Unterszenarien) werden in den folgenden Kapiteln die abfallwirtschaftlichen Auswirkungen für Baden-Württemberg für Hausmüll und Sperrmüll sowie für hinsichtlich ihrer Art und Zusammensetzung mit Hausmüll vergleichbare Gewerbeabfälle, allgemein als hausmüllähnliche Gewerbeabfälle bezeichnet, (insbesondere die mengenmäßig relevanten hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle, Baustellenmischabfälle und Sortierreste) näher betrachtet und erläutert. Dabei werden, soweit erforderlich, auch die notwendigen Querbeziehungen zu anderen Bundesländern berücksichtigt und, soweit erforderlich, kurz erläutert.

##### 4.4.1. Zu erwartende Auswirkungen im Bereich des Hausmülls

Ausgangspunkt für die Betrachtung im Bereich des Hausmülls ist die Situation in Baden-Württemberg im Jahre 1998 im Form der Abfallbilanz 1998 [ABFALLBILANZ, 1998] und der gültige Siedlungsabfallwirtschaftsplan des Landes [ABFALLWIRTSCHAFTSPLAN, 1998].

**Tabelle 2: Prognose zu den Auswirkungen im Bereich des Hausmülls**

Abfallmengenprognose Hausmüll in Baden- Württemberg	1998 [1]	2002	2006	2010
Aufkommen Mg/a	1.396.000 [1]	1.202.000	1.067.000 [2]	1.026.000
Aufkommen kg/Einw.•a	134 [1]	114	100 [2]	95
<b>Szenario 1</b> örE Mg/a	1.396.000	1.202.000	1.067.000	1.026.000
örE kg/ Einw.•a	134	114	100	95
<b>Szenario 2</b> örE Mg/a	1.396.000	1.202.000	1.067.000	1.026.000
örE kg/ Einw.•a	134	114	100	95
<b>Szenario 3</b> örE Mg/a	1.396.000	962.000	854.000	821.000
örE kg/ Einw.•a	134	91	80	76
<b>Szenario 3*</b> örE Mg/a	1.396.000	962.000	794.000	763.000
örE kg/ Einw.•a	134	91	74	71
<b>Szenario 3**</b> örE Mg/a	1.396.000	962.000	854.000	821.000
örE kg/ Einw.•a	134	91	80	76

[1] = [ABFALLBILANZ, 1998]

[2] = [ABFALLWIRTSCHAFTSPLAN, 1998]

*kursive Zahlen* = ohne die Abfallmengen, die von den örE nach Wegfall des Abfallimportverbots voraussichtlich in Frankreich entsorgt werden

Während die derzeit vorliegenden Prognosen (ABFALLBILANZ 1998, Siedlungsabfallwirtschaftsplan des Landes) für das Hausmüllaufkommen in Baden-Württemberg von einem leichten Bevölkerungsanstieg ausgehen, wird durch allgemeine Vermeidungsmaßnahmen und einen weiteren Aufbau von getrennten Wertstofffassungssystemen ein genereller Rückgang im Hausmüllaufkommen erwartet. Dieser Rückgang wird sich aus Sicht der DPU nach dem Jahr 2006 erheblich abflachen, da weitere Vermeidungsmaßnahmen nur schwer umsetzbar sind und bis zu diesem Zeitpunkt die weitgehende Einführung der Biotonne und die getrennte Wertstofffassung abgeschlossen sein werden.

#### **Zu Szenario 1:**

Im Rahmen von Szenario 1 wird die Überlassungspflicht für Hausmüll konsequent umgesetzt. Da auch die Prognose des Abfallwirtschaftsplans über das Hausmüllaufkommen dies voraussetzt, wird sich die durch die öRE zu entsorgende Hausmüllmenge gegenüber der Prognose zum Aufkommen gemäß Abfallwirtschaftsplan nicht verändern.

#### **Zu Szenario 2:**

Im Rahmen von Szenario 2 wird die Überlassungspflicht für Hausmüll auch im Rahmen des Status quo weitgehend umgesetzt. Wie die bisherigen Erfahrungen zeigen, halten sich bisher auch Wohnungsverwaltungsgesellschaften (Abfälle, die in verwalteten Wohnungen anfallen) und Wohnungsbesitzer bis auf Einzelfälle an diese Überlassungspflicht. Die DPU bekannten Fälle wurden inzwischen zu Gunsten der öRE unter Durchsetzung der Überlassungspflicht entschieden. Entsprechend wird sich auch im Rahmen dieses Szenarios die durch die öRE zu entsorgende Hausmüllmenge gegenüber der Prognose zum Aufkommen nicht verändern.

#### **Zu Szenario 3:**

Im Rahmen der Umsetzung der bisherigen Rechtspositionen des BMU besteht auch für Hausmüll keine Überlassungspflicht gegenüber dem öRE, falls eine Verwertung durch beauftragte Dritte erfolgt. In diesem Fall werden z. B. große Wohnungsverwaltungsgesellschaften die in den von ihnen verwalteten Wohnungen anfallenden Abfälle über die nach dem BMU mögliche Beauftragung Dritter verwerten lassen. Über die private Entsorgungswirtschaft wird dann unter Abschöpfung einer heizwertreichen Fraktion verwertet. Ein Großteil des Abfalls gelangt als nicht verwertbarer Anteil auf Altdeponien. Es ist damit zu rechnen, dass große private Entsorger, ermutigt durch die Rechtspositionen des BMU, versuchen werden, diesen Weg über die Übernahme von Abfällen zunächst aus Ferienparks und von großen Wohnungsverwaltungsgesellschaften wegen der lukrativen Großmengen zu gehen.

Von derartigen Vorgängen könnten aus Sicht der DPU zunächst mindestens 20% des in Baden-Württemberg anfallenden Hausmülls betroffen sein. Diese Mengen sind jedoch durchaus noch durch das direkte Herangehen der Entsorger an die Privathaushalte steigerungsfähig. Dies würde dann allerdings rasch die öRE in finanzielle Schwierigkeiten bringen, die dann eine Abstimmung mit den privaten Entsorgern erzwingen

würde. Konservativ wurden daher in der weiteren Betrachtung nur 20% in Ansatz gebracht. Da die Abschöpfung der heizwertreichen Fraktion wie auch die energetische Verwertung auf Basis der Rechtspositionen des BMU bundesweit erfolgen kann, würden diese Abfälle den öRE in Baden-Württemberg in jedem Falle nicht mehr zur Verfügung stehen. Insbesondere bietet sich eine derartige Vorgehensweise durch die privaten Entsorger an, da in Sachsen-Anhalt und Thüringen zumindest bis 2005 kostengünstige Deponien zur Aufnahme des energetisch nicht verwertbaren Anteils dieser Abfälle zur Verfügung stehen.

Nach dem Jahr 2005 ist dieser Weg dann im wesentlichen von der genauen Ausformulierung der Bundesverordnungen zur Novellierung der TASI und hier insbesondere den Ausnahmevorschriften für die Ablagerung von mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen auf Altdeponien abhängig. Generell sind hier nach den bisherigen Entwürfen Übergangsfristen bis 2010 (und auch länger) für Deponien möglich, die über eine Untergrundabdichtung und Sickerwasserfassung verfügen. Technisch sind nicht alle Anforderungen der TASI zu erfüllen, wie auch nicht die Standortvoraussetzungen (z. B. Grubendeponien). In diesem Falle ist daher auch trotz der Novellierung der TASI kein Verlassen dieses auf Grund der Rechtspositionen des BMU möglichen Entsorgungswegs bis 2010 für den Hausmüll zu erwarten.

### **Zu Szenario 3\*:**

Wird gleichzeitig parallel zur Umsetzung der Rechtspositionen des BMU das Importverbot für Siedlungsabfälle zur Verwertung in Frankreich auf dem Klageweg zu Fall gebracht, was durchaus möglich ist [ANDERSEN, FREIHALTER, 2000], sind nach den Rechtspositionen des BMU im Rahmen von Abfallverbringungsverfahren die Kriterien im Abfallempfängerland zur Beurteilung der Frage, ob es sich um Abfallverwertung oder Abfallbeseitigung handelt, heranzuziehen. Da in Frankreich kein Heizwertkriterium zur Abgrenzung der energetischen Verwertung bei Hausmüll existiert, könnte der gesamte Hausmüll in Frankreich energetisch verwertet werden oder, was aus Preis- und Kapazitätsgründen wahrscheinlicher ist, eine Abschöpfung heizwertreicher Fraktionen in bestehenden Sortieranlagen in der Nachbarschaft preisgünstiger Deponien vorgenommen werden. Eine Begrenzung dieses Entsorgungswegs würde dann lediglich in Form der aktuell nutzbaren Verbrennungskapazitäten in Frankreich (Zementwerke und Hausmüllverbrennungsanlagen) und der entstehenden zusätzlichen Transportkosten bestehen. Es lassen sich derzeit Kapazitäten von maximal ca. 300.000 Mg/a Hausmüll abschätzen, falls eine Abschöpfung der heizwertreichen Fraktion vorgenommen wird. Diese Abfälle können allerdings im Gegensatz zum hausmüllähnlichen Gewerbeabfall nur diesen Weg gehen, falls der öRE selbst diesen Weg beschreitet oder aber, wie oben bereits dargestellt, Wohnungsverwaltungsgesellschaften ihre Abfälle über Dritte verwerten lassen. Dies würde im wesentlichen nur eine teilweise Umlenkung der Abfallströme gegenüber Szenario 3 zur Folge haben. Zusätzlich zu den im Rahmen von Szenario 3 zu erwartenden Abfällen, die den öRE nicht mehr erreichen, ist daher realistisch Weise nur davon auszugehen, dass diejenigen öRE, die sich bisher noch nicht für eine weitere Vorbehandlung der Restabfälle ab dem Jahr 2005 fest vertraglich ge-

bunden haben, sich für einen Weg ins benachbarte Ausland entscheiden. Aus derzeitiger Sicht der Dinge wird es sich hierbei um ca. 60.000 Mg/a Hausmüll im Jahr 2006 aus dem grenznahen Bereich handeln können. Ein Widerspruch eines derartigen Wegs zum Siedlungsabfallwirtschaftsplan des Landes würde sich nicht ergeben, da es sich gemäß den Rechtspositionen des BMU um Abfälle zur Verwertung handelt, auf die sich die Entsorgungsautarkie des Landes nicht erstreckt. Die Novellierung der TASI würde diesen zusätzlichen Entsorgungsweg in keinster Weise beeinflussen.

#### **Zu Szenario 3\*\*:**

Im Rahmen dieses Szenarios würde sich gegenüber dem Szenario 3 lediglich der Weg des „verwerteten“ Hausmülls in Deutschland dahingehend verändern, dass ein größerer Hausmüllanteil auf Altdeponien vorwiegend in die neuen Länder gelangt und die zur energetischen Verwertung abgeschöpfte Abfallfraktion dafür wesentlich geringer ausfällt. Bewirkt wird dies vorwiegend durch die gegenüber dem BMU-Entwurf der AbfAbIV weiter gelockerten Ablagerungskriterien für Abfälle aus MBA.

#### **4.4.2. Zu erwartende Auswirkungen im Bereich des Sperrmülls**

Ausgangspunkt für die Betrachtung im Bereich des Sperrmülls ist auch die Situation in Baden-Württemberg im Jahre 1998.

Während die derzeit vorliegenden Prognosen (ABFALLBILANZ 1998, Siedlungsabfallwirtschaftsplan des Landes) für das Sperrmüllaufkommen in Baden-Württemberg von einem leichten Bevölkerungsanstieg ausgehen, wird durch Vermeidungsmaßnahmen in geringem Umfang das Sperrmüllaufkommen gegenüber 1998 in etwa konstant bleiben. Bereits in 1998 wurde über die öRE bereits ein Anteil des Sperrmülls von etwa 7% der stofflichen Verwertung zugeführt. Der übrige Sperrmüll wurde deponiert oder thermisch behandelt. Angesichts der bestehenden Überlassungspflicht für Sperrmüll gegenüber den öRE entspricht die ausgewiesene Menge im Rahmen der Abfallwirtschaftsplanung des Landes weitgehend dem tatsächlichen Aufkommen.

**Tabelle 3: Prognose zu den Auswirkungen im Bereich des Sperrmülls**

Abfallmengenprognose Sperrmüll in Baden- Württemberg	1998 [1]	2002	2006	2010
Aufkommen Mg/a	209.000 [1]	210.000	210.000 [2]	210.000
Aufkommen kg/Einw. •a	20 [1]	20	20 [2]	20
<b>Szenario 1</b> örE Mg/a	209.000 [1]	210.000	210.000	210.000
örE kg/ Einw. •a	20 [1]	20	20	20
<b>Szenario 2</b> örE Mg/a	209.000 [1]	210.000	210.000	210.000
örE kg/ Einw. •a	20 [1]	20	20	20
<b>Szenario 3</b> örE Mg/a	209.000 [1]	168.000	168.000	168.000
örE kg/ Einw. •a	20 [1]	16	16	16
<b>Szenario 3*</b> örE Mg/a	209.000 [1]	168.000	<i>156.000</i>	<i>156.000</i>
örE kg/ Einw. •a	20 [1]	16	<i>15</i>	<i>15</i>
<b>Szenario 3**</b> örE Mg/a	209.000 [1]	168.000	168.000	168.000
örE kg/ Einw. •a	20 [1]	16	16	16

[1] = [ABFALLBILANZ, 1998]

[2] = [ABFALLWIRTSCHAFTSPLAN, 1998]

*kursive Zahlen* = ohne die Abfallmengen, die von den örE nach Wegfall des Abfallim-  
portverbots voraussichtlich in Frankreich entsorgt werden

**Zu Szenario 1:**

Auch bereits heute (2000) bedienen sich die örE häufig zur Sammlung, Transport und Aufbereitung und zur teilweisen Verwertung von Sperrmüll sogenannter beauftragter Dritter aus der privaten Entsorgungswirtschaft. Angesichts der nach wie vor weitgehend praktizierten Überlassungspflicht für Sperrmüll und der zusätzlichen konsequen-  
ten Einführung der Überlassungspflicht für Sperrmüll aus dem Gewerbe im Rahmen dieses Szenarios ist damit zu rechnen, dass im Rahmen dieses Szenarios der Sperrmüll insgesamt die örE erreicht. Von diesen wird dann, wie derzeit praktiziert, zum Teil eine Drittbeauftragung vorgenommen.

**Zu Szenario 2:**

Im Rahmen von Szenario 2 wird die Überlassungspflicht für Sperrmüll auch im Rahmen des Status quo weiterhin umgesetzt. Im Bereich der gewerblich betriebenen Ent-  
rumpelung ist jedoch langfristig damit zu rechnen, dass die örE geringe Abfallmengen nicht mehr erreichen. Diese dürften jedoch angesichts der geringen Transportdichten von unaufbereitetem Sperrmüll relativ gering und weitgehend zu vernachlässigen sein.

### **Zu Szenario 3:**

Im Rahmen der Umsetzung der bisherigen Rechtspositionen des BMU ist zu erwarten, dass zunächst der Bereich der gewerblichen Entrümpelung und Wohnungsauflösung seinen Sperrmüll nicht mehr überlassen wird, da für diesen nach den Rechtspositionen des BMU keine Überlassungspflicht besteht. Danach ist zu erwarten, dass auch große Wohnungsverwaltungsgesellschaften eine Drittbeauftragung zur Verwertung ihres Sperrmülls vornehmen. Von derartigen Vorgängen könnten dann zunächst mindestens ca. 20% des in Baden-Württemberg anfallenden Sperrmülls betroffen sein. Weitere Steigerungen sind bei Herangehen der privaten Entsorger an die weniger lukrativen Einzelhaushalte möglich. Eine derartige Entwicklung wurde angesichts der dann zu erwartenden Abstimmungen zwischen öRE und privaten Entsorgern im Rahmen der weiteren Betrachtung jedoch nicht weiterverfolgt. Da die Abschöpfung der heizwertreichen Fraktion (Holz/Kunststoff) wie auch die energetische Verwertung dieser Abfälle auf Basis der Rechtspositionen des BMU bundesweit erfolgen kann, würden diese Abfälle den öRE in Baden-Württemberg nicht mehr erreichen. Insbesondere bietet sich zumindest bis 2005 eine derartige Vorgehensweise an, da in Sachsen-Anhalt und Thüringen zumindest bis zu diesem Zeitpunkt kostengünstige Deponien zur Aufnahme des energetisch nicht verwertbaren Anteils dieser Abfälle zur Verfügung stehen. Danach sind für den Sperrmüll wie auch für den Hausmüll die gleichen Bedingungen gemäß der Abfallablagereverordnung (AbfAbIV) maßgebend.

### **Zu Szenario 3\*:**

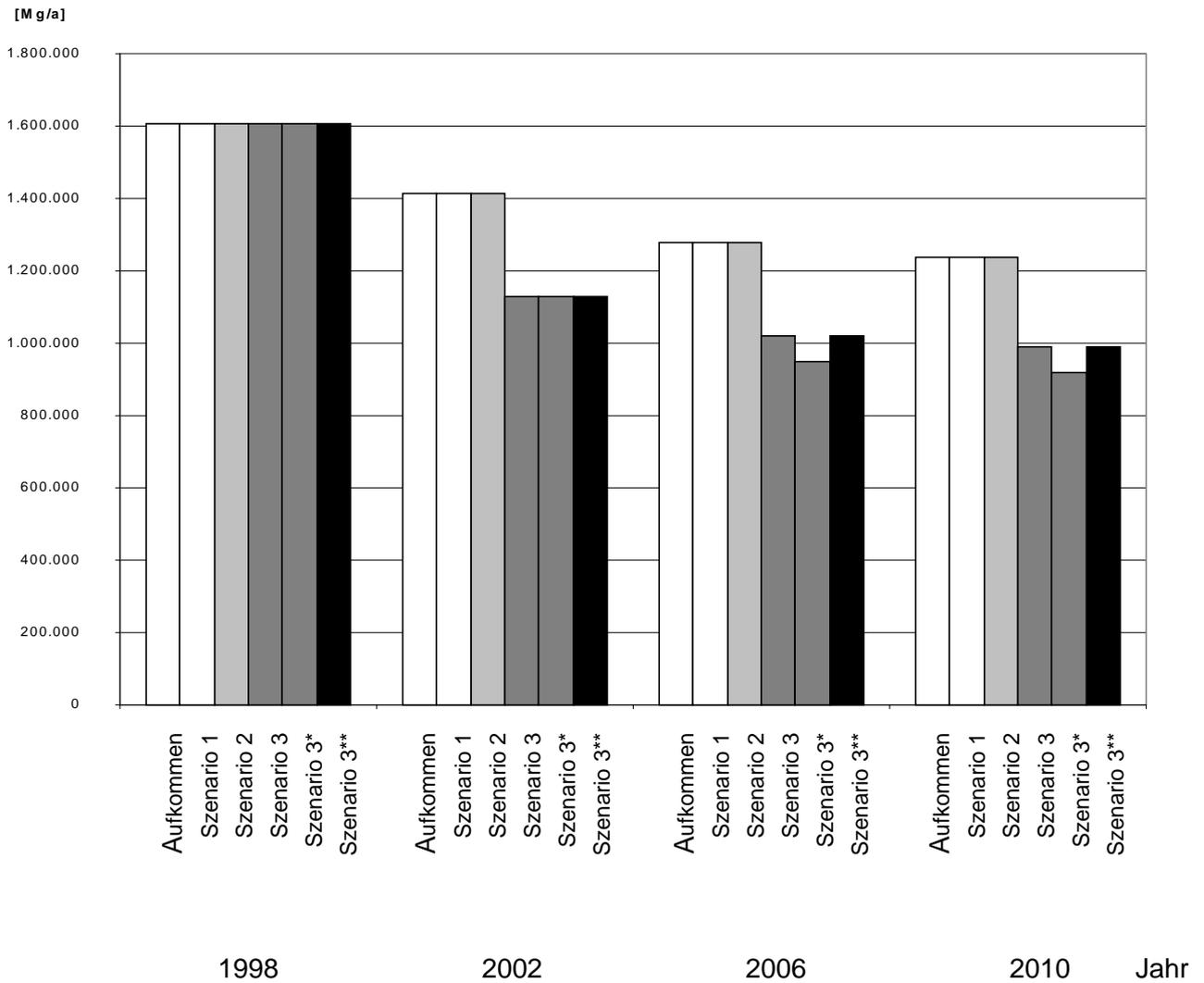
Analog zum Hausmüll wird im Rahmen dieses Szenarios auch die Verwertung von Sperrmüll in Frankreich möglich sein. Analog zum Hausmüll ist zu erwarten, dass sich auch öRE für den Weg ins Ausland entscheiden. Aus derzeitiger Sicht der Dinge wird es sich hierbei um ca. 12.000 Mg/a Sperrmüll im Jahr 2006 aus dem grenznahen Bereich handeln können.

### **Zu Szenario 3\*\*:**

Analog zum Hausmüll ist auch die Verwertung von Sperrmüll in diesem Szenario unter Öffnung der Novellierung der TASI zu betrachten.

Betrachtet man Haus- und Sperrmüll für die unterschiedlichen Szenarien nochmals gemeinsam, ergibt sich folgendes Bild des Anfalls und des bei den öRE verbleibenden Abfalls für die einzelnen Szenarien:

**Abb. 1: Haus- und Sperrmüll in Baden-Württemberg, Gesamtaufkommen und den öRE überlassene Mengen, bezogen auf die Szenarien 1 - 3\*\***



#### 4.4.3. Zielpfade für die Szenarien für Haus- und Sperrmüll

Betrachtet man im Rahmen der Szenarien die Situation im Bereich des Haus- und Sperrmülls, ergeben sich aus Sicht der DPU derzeit die folgenden zu erwartenden Entsorgungswege (Zielpfade). Diese Zielpfade wurden von DPU, aufbauend auf erstellten Studien ([ÖKO-DUMPING, 1998], [GEWERBEABFÄLLE, 1997]), in Kenntnis des aktuellen Marktgeschehens und der Kenntnis einer Vielzahl von Anlagen zur Abfallentsorgung und Behandlung in Deutschland sowie deren Möglichkeiten und Grenzen erstellt.

Auf Szenario 3\* wurde hierbei nicht näher eingegangen, da sich die „Verwertung“ innerhalb des Szenarios nicht grundlegend von Szenario 3\*\* unterscheidet und lediglich die in Baden-Württemberg verbleibenden Abfallmengen geringfügig geringer sind.

Wegen der Mehrfachbehandlung der Abfälle zum Beispiel im Entsorgungsweg MBA (MBA, Deponie, MVA/Kraftwerk/Zementwerk/Vergasungsanlage) oder im Entsorgungsweg Sortierung (Sortierung, Deponie, Zementwerk/Kraftwerk/MVA) oder im Entsorgungsweg Stabilisierung (Stabilisierung, Deponie, Zementwerk/Kraftwerk/MVA) lassen sich die Mengen in den einzelnen Zielpfaden natürlich nicht einfach zur Gesamtabfallmenge aufaddieren. Zusätzlich treten in MBA Rotteverluste sowie in Stabilisierungsanlagen Trocknungsverluste, allerdings von untergeordneter Bedeutung im Hinblick auf die Gesamtmengen, auf.

**Tabelle 4: Zielpfade für Haus- und Sperrmüll im Rahmen der Szenarien**

Zielpfad	Szenario 1			Szenario 2			Szenario 3			Szenario 3**		
	2002	2006	2010	2002	2006	2010	2002	2006	2010	2002	2006	2010
MVA	794.500	1.277.000	1.236.000	778.900	1.201.800	1.161.200	615.800	962.750	930.050	615.800	921.500	888.800
Deponie komplett mit TASI-Standard	568.045	0	0	594.243	6.400	25.600	478.605	5.000	20.000	478.605	19.050	76.200
Deponie mit TASI-Standard bis auf Standortvoraussetzungen	13.345	0	0	8.234	6.400	0	122.405	56.125	49.450	122.405	121.250	98.900
Deponie mit TASI-Standard bis auf Untergrundabdichtung	13.345	0	0	8.234	6.400	0	9.605	5.000	49.450	9.605	19.050	98.900
Deponie ohne Abdichtung Sickerwasserfassung Gasfassung	13.345	0	0	8.234	6.400	0	122.405	56.125	0	122.405	121.250	0
Deponie im Ausland	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MBA Low level	62.800	0	0	31.400	0	0	45.200	0	0	45.200	80.000	80.000
MBA Splitting	0	0	0	31.400	128.000	128.000	0	100.000	100.000	0	20.000	20.000
Zementwerk	0	0	0	0	0	0	32.900	74.500	62.830	32.900	29.800	28.800
Kraftwerk	0	0	0	0	0	0	23.500	53.250	60.750	23.500	21.300	20.600
Einsatz in Vergasungsanlage	0	0	0	0	11.200	10.800	0	8.750	8.750	0	6.600	6.600
Sortieranlagen	0	0	0	0	0	0	282.000	0	0	282.000	255.500	247.200
Stabilisierungsanlagen	0	0	0	0	0	0	0	255.500	247.200	0	0	0
Stoffliches Recycling	0	0	0	314	1.280	1.280	0	1.000	1.000	0	400	400

Im Folgenden sollen die Zielpfade für Haus- und Sperrmüll kurz erläutert werden.

#### **Zu Szenario 1:**

Im Rahmen von Szenario 1 werden Haus- und Sperrmüll komplett über die öRE entsorgt. Gemäß den bisher bestehenden Anlagen und der Vertragssituation der öRE im Hinblick auf die Vorbehandlung im Jahr 2005 werden zunächst Low level-MBA im Land weiterbetrieben. Die Abfälle aus diesen MBA gelangen nur z. T. auf vollständig TASI-gerechte Deponien. Die heizwertreiche Fraktion gelangt in MVA. Durch die Erhebung der TASI in einen Verordnungsrang ohne Öffnung für Abfälle aus MBA lohnt sich ab 2005 ein Betrieb von MBA finanziell nicht mehr. Entsprechend wird die Deponierung eingestellt und eine Entsorgung von Haus- und Sperrmüll erfolgt nur noch über MVA, da technisch hochwertige MBA in Baden-Württemberg noch nicht errichtet sind und sich derartige Investitionen angesichts der niedrigen Verbrennungspreise in MVA finanziell ohne Deponierung nicht günstiger darstellen.

#### **Zu Szenario 2:**

Im Rahmen von Szenario 2 ermöglicht die Öffnung der TASI durch die AbfAbIV, gemäß den Vorstellungen des BMU, den Weiterbetrieb und die Ablagerung von Abfällen aus hochwertigen MBA (Splitting-Anlagen) über das Jahr 2005 hinaus. Die Splitting-Anlagen können ihrerseits Altdeponien noch bis 2008 gemäß den Vorgaben der EU-Richtlinie ohne technische Ertüchtigung nutzen. Auch die AbfAbIV lässt den Weiterbetrieb von Altdeponien zu, falls die Ablagerungskriterien für Abfälle aus MBA eingehalten werden. Ab 2005 wird gemäß den bestehenden Verträgen eine Vergasungsanlage mit heizwertreicher Fraktion aus Baden-Württemberg beliefert.

#### **Zu Szenario 3:**

Im Rahmen von Szenario 3 werden, ermöglicht durch die Rechtspositionen des BMU (AbfallVwV), 20% des Haus- und Sperrmülls über die private Entsorgungswirtschaft kostengünstig „verwertet“. Während in 2002 auch noch die öRE in Baden-Württemberg ihre Deponien direkt beschicken, steuert die Privatwirtschaft über einfache Sortieranlagen ebenfalls zunächst preiswerte Deponien vorwiegend in den neuen Ländern an. Zur Darstellung einer Verwertung gemäß AbfallVwV wird zunächst ein geringer Anteil des Abfalls als heizwertreiche Fraktion abgeschöpft, der ab dem Jahr 2005 erheblich zur Einhaltung der Ablagerungskriterien für Abfälle aus MBA nach den Vorstellungen des BMU gesteigert wird. Hierzu werden dann ab 2005 Stabilisierungsanlagen zum Einsatz kommen, die im wesentlichen durch eine biologische Abfalltrocknung und die nachfolgende Abtrennung eines großen Anteils an heizwertreicher Fraktion die Einhaltung der Ablagerungskriterien nach AbfAbIV ermöglichen. MBA werden in Baden-Württemberg nur als höherwertige Splitting-Anlagen ab 2005 betrieben um die Anforderungen der 30. BImSchV (Entwurf) voll zu erfüllen.

#### **Zu Szenario 3\*\*:**

Im Szenario 3\*\* wird durch die Öffnung der 30. BImSchV gemäß den Vorstellungen einzelner Länder der Weiterbetrieb von Low level-MBA auch über das Jahr 2005 hin-

aus ermöglicht. Gleichzeitig werden die Ablagerungskriterien für Abfälle aus MBA über die Vorstellungen des BMU hinausgehend gelockert. Entsprechend wird die Abschöpfung heizwertreicher Fraktion erheblich gegenüber Szenario 3 in den Jahren 2006 und 2010 reduziert. Die Altdeponien werden auch im Rahmen dieses Szenarios erst ca. 2008 gemäß den Vorgaben der EU-Deponierichtlinie ertüchtigt: Allerdings werden immer noch in 2010 Deponien ohne TASI-gerechte Untergrundabdichtung oder ohne Standortvoraussetzungen mitverfüllt werden, da sowohl die AbfAbIV als auch die Öffnungsvorschläge einzelner Länder hierzu dies vorsehen.

#### **4.4.4. Resultierende allgemeine ökonomische Folgen aus Szenario 1 und 2**

Im Bereich des Hausmülls und des Sperrmülls ergeben sich im Rahmen dieser zwei Szenarien keine gravierenden Konsequenzen, da die örE weiterhin den Zugriff auf den Hausmüll und Sperrmüll sowie die ordnungsgemäße Entsorgung behalten.

#### **4.4.5. Resultierende allgemeine ökonomische Folgen aus Szenario 3**

Lediglich im Rahmen dieses Szenarios, der Umsetzung der Rechtspositionen des BMU, ergeben sich gravierende Konsequenzen für die örE, indem sie spätestens ab dem Jahr 2002 einen erheblichen Teil, des an sich Ihnen gegenüber überlassungspflichtigen Haus- und Sperrmülls verlieren. Da sich für die örE allerdings die Kosten für Entsorgung, Sammlung und Transport wegen der hohen Fixkostenanteile nicht entsprechend dem Rückgang der Abfallmenge reduzieren lassen, führt dies zwangsläufig zu einer Erhöhung der zu erwartenden Gebühren für die Hausmüll- und Sperrmüllentsorgung gegenüber den übrigen Szenarien. Durch den 20%-igen Abfallverlust wird eine Gebührenerhöhung um in etwa 15% (ohne Berücksichtigung einer allgemeinen Teuerungsrate) nahezu unvermeidlich, ohne dass der Privathaushalt hierfür eine Gegenleistung erhalte. Die Vorteile zieht in diesem Falle natürlich derjenige, der eine Verwertung seines Haus- oder Sperrmülls über private Entsorger vornehmen lässt, angesichts der derzeitigen Verwertungs- bzw. Beseitigungskosten sind Einsparungen von 50% und darüber für den Abfallerzeuger, der gegen seine Überlassungspflicht verstößt, durchaus möglich.

In den bestehenden Anlagen der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger hat der Rückgang der Hausmüll- und Sperrmüllmengen je nach Art der Anlagen unterschiedliche Auswirkungen. Während in Hausmüllverbrennungsanlagen ein Rückgang der Haus- und Sperrmüllmenge im Einzugsgebiet in der Regel zur Schließung zumindest einer Verbrennungslinie oder der ersatzweisen Beschaffung von Abfällen zur energetischen Verwertung zu nicht auskömmlichen Preisen führt, ist der Einfluss auf den Abschluss von Deponien angesichts der Übergangsfristen der TASI eher gering. Bis längstens 2005 könnten die Deponien ohnehin nur noch mit unvorbehandeltem Haus- und Sperrmüll beschickt werden. Für Deponieabschnitte für vorbehandelten Haus- und Sperrmüll und andere Abfälle, die den Ablagerungskriterien der TASI bzw. der neuen

zu erwartenden Bundesverordnung (AbfAbIV) entsprechen, strecken sich die Laufzeiten um 20%, wobei sich allerdings gleichzeitig natürlich die spezifischen Kosten für die Deponierung auf Grund der geringeren Umlagegröße für den Deponiebetrieb pro Jahr erhöhen. Gravierender sind die Auswirkungen in mechanisch-biologischen Behandlungsanlagen, da diese in den vergangenen Jahren in der Regel auf Basis der aktuellen Haus- und Sperrmüllmengen (zumindest Holzanteil) geplant wurden. Hier ergibt sich je nach der Art des Aufbaus der Anlage nur die Möglichkeit einer teilweisen Stilllegung von Behandlungssträngen oder die Verkürzung von Betriebszeiten im mechanischen Anlagenteil. Beides führt zu Kostensteigerungen aufgrund des getätigten Invests für die stillzulegenden bzw. nur zeitweise betreibbaren Anlagenteile.

In ökologischer Hinsicht wirkt sich dieses Szenario natürlich negativ durch die zusätzlich durch ganz Deutschland auftretenden Ferntransporte (größte Verwertungs Kapazitäten und preisgünstigste Deponien in den neuen Ländern) von Haus- und Sperrmüll aus Baden-Württemberg aus. Ebenso entsprechen die Deponien, auf die die nicht verwertbaren Abfallfraktionen gelangen, oftmals in vielen Belangen nicht den technischen Standards der TAsi und bergen wegen der oft nicht erfüllten Standortvoraussetzungen erhebliche Langzeitsicherheitsrisiken gegenüber den Anlagen in Baden-Württemberg in sich.

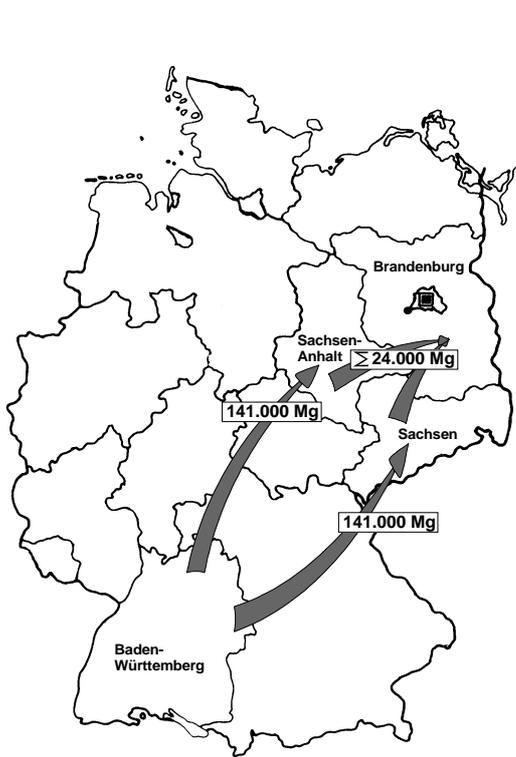
Im Falle des Eintretens des Szenarios 3\* würde sich die Gebührensituation gegenüber Szenario 3 nicht entscheidend verändern. Lediglich für die örE, die sich für einen Entsorgungsweg nach Frankreich entscheiden, wäre eine günstigere Gebührengestaltung gegenüber Szenario 3 wegen der in Frankreich geringeren technischen Standards möglich.

Auch im Falle des Szenarios 3\*\* ergibt sich für die Gebührensituation der örE keine Änderung gegenüber Szenario 3, da lediglich der Anteil des Haus- und Sperrmülls, der zur energetischen Verwertung gelangt, geringer und dafür der Anteil der auf Deponien in anderen Bundesländern gelangt, höher ist.

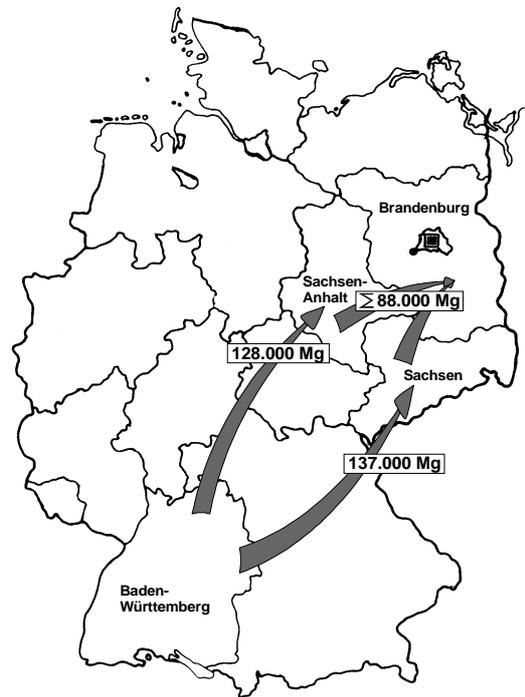
Im Folgenden sind nochmals die auf Basis der Marktkenntnis der DPU zu erwartenden zusätzlichen Ferntransporte in einer einfachen Grafik für die Szenarien 3 und 3\*\* wiedergegeben.

Für Haus- und Sperrmüll werden im Rahmen dieser Szenarien Ferntransporte in größerem Umfang auftreten. Ziel dieser Ferntransporte werden im wesentlichen preisgünstige Großdeponien in Verbindung mit Stabilisierungsanlagen in Sachsen-Anhalt und Sachsen sein. Von dort gelangt dann ein unterschiedlicher Anteil an heizwertreicher Fraktion in den Szenarien 3 und 3\*\* zur Verwertung in Kraftwerke und Zementwerke. Bei den nach Brandenburg gelangenden Abfällen handelt es sich um einen Teil dieser Fraktion, der ortsnah zu den Deponien nicht preisgünstig verwertet werden kann.

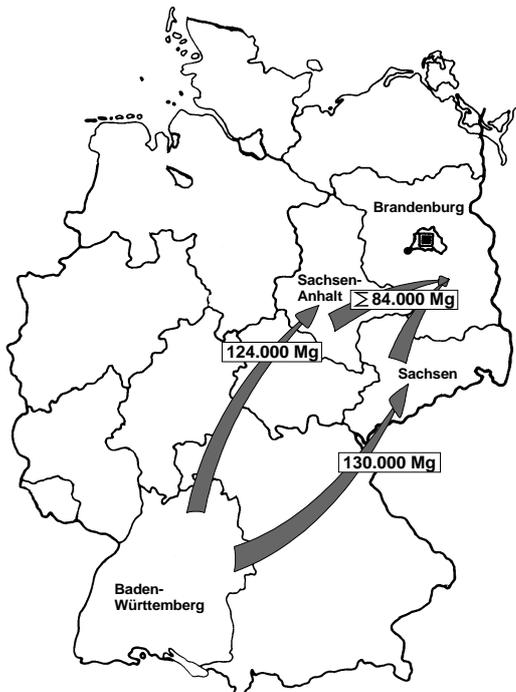
Abb. 2: Szenario 3, zu erwartende Haus- und Sperrmüllferntransporte



Für das Jahr 2002

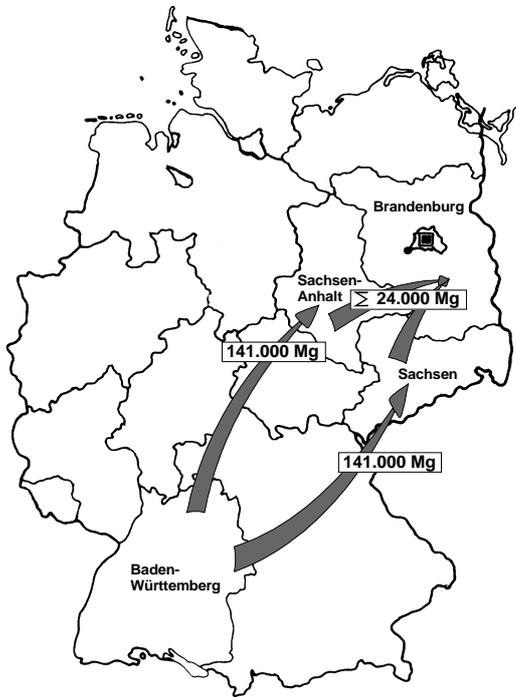


Für das Jahr 2006

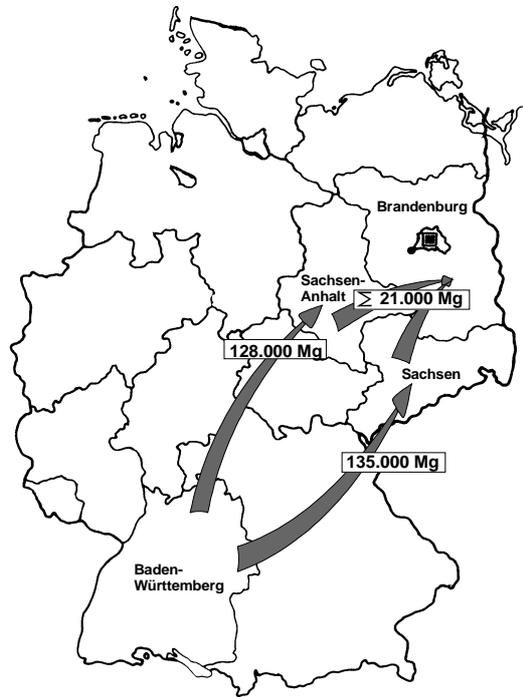


Für das Jahr 2010

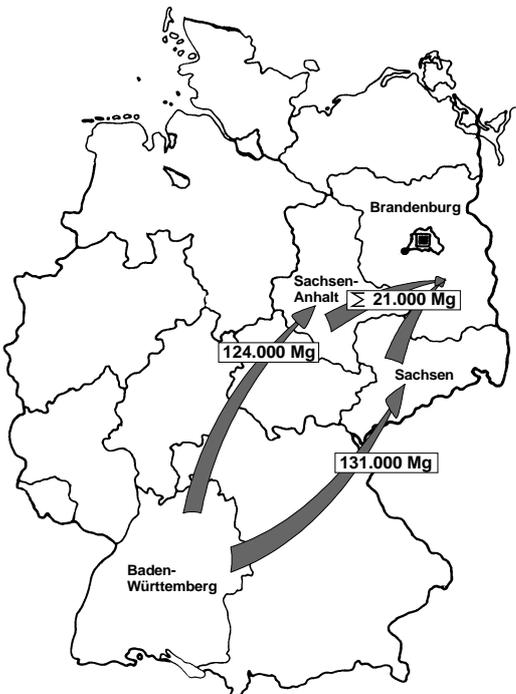
Abb. 3: Szenario 3\*\*, zu erwartende Haus- und Sperrmüllferntransporte



Für das Jahr 2002



Für das Jahr 2006



Für das Jahr 2010

#### 4.5. Zu erwartende Auswirkungen im Bereich des hausmüllähnlichen Gewerbeabfalls

Auch im Bereich der gewerblichen Wirtschaft fallen generell massenmäßig relevante Abfälle an, die hinsichtlich der Zusammensetzung mit Hausmüll vergleichbar sind. Üblicherweise werden diese als hausmüllähnliche Gewerbeabfälle bezeichnet. Diese hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle umfassen auch die Abfallarten Baustellenmischabfall sowie Sortierreste. Im Folgenden wird analog zum Haus- und Sperrmüll auch für die hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle die abfallwirtschaftliche Entwicklung für die hergeleiteten Szenarien prognostiziert. Im Bereich der Entsorgung dieser Abfälle existieren jedoch wegen der privatwirtschaftlichen Organisation und der mangelnden Überwachungsmöglichkeiten der Abfallbehörden erhebliche statistische Lücken und Defizite. Auf diese haben DPU und BZL bereits mehrfach in der Vergangenheit hingewiesen ([ÖKO-DUMPING, 1998], [GEWERBEABFÄLLE, 1997]). Die folgende Prognose berücksichtigt daher bereits die bei DPU und BZL vorliegenden Erkenntnisse über die Entsorgung in den einzelnen Bundesländern.

##### 4.5.1. Hausmüllähnlicher Gewerbeabfall

Betrachtet wird zunächst als massenmäßig größter Abfallstrom der hausmüllähnliche Gewerbeabfall selbst.

**Tabelle 5: Prognose zu den Auswirkungen im Bereich des hausmüllähnlichen Gewerbeabfalls**

Abfallmengenprognose hausmüllähnlicher Gewerbeabfall in Baden-Württemberg	1998	2002	2006	2010
Aufkommen Mg/a	1.212.000	1.044.000	927.000	891.000
Aufkommen kg/Einw. •a	118	97	87	83
<b>Szenario 1</b> örE Mg/a	453.000 [2]	686.000	927.000	891.000
örE kg/ Einw. •a	44	64	87	83
<b>Szenario 2</b> örE Mg/a	453.000 [2]	300.000 [1]	300.000 [1]	300.000 [1]
örE kg/ Einw. •a	44	28 [1]	28 [1]	28 [1]
<b>Szenario 3</b> örE Mg/a	453.000 [2]	0	0	0
örE kg/ Einw. •a	44	0	0	0
<b>Szenario 3*</b> örE Mg/a	453.000 [2]	0	0	0
örE kg/ Einw. •a	44	0	0	0
<b>Szenario 3**</b> örE Mg/a	453.000 [2]	0	0	0
örE kg/ Einw. •a	44	0	0	0

[1] = [ABFALLWIRTSCHAFTSPLAN, 1998]      [2] = [ABFALLBILANZ, 1998]

Im Bereich des hausmüllähnlichen Gewerbeabfalls ist bereits seit 1990 ein drastischer Rückgang hinsichtlich der über die örE entsorgten Mengen zu verzeichnen [ABFALL-BILANZ, 1998]. In diesem Zusammenhang ist nochmals auf die Eingangs dieser Studie erläuterte Entwicklung in der Abfallwirtschaft hinzuweisen, die die Begründung zu dieser Entwicklung liefert.

Um die in 1998 tatsächlich in Baden-Württemberg angefallene Menge an hausmüllähnlichem Gewerbeabfall zu ermitteln, bieten sich zwei Wege an. Zum einen kann die Menge auf Basis der noch weitgehend vollständigen Statistik aus dem Jahr 1990 unter Zugrundelegung einer Vermeidungsquote und eines Einflusses durch Einführung von getrennten Erfassungssystemen ähnlich wie beim Hausmüll ermittelt werden. Zum anderen kann auf Basis einer bundesweiten von DPU durchgeführten Erhebung zur Deponierung von hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen aus dem Jahre 1997 [ÖKO-DUMPING, 1998] und unter Berücksichtigung des aktuellen Marktgeschehens versucht werden, die Menge abzuschätzen. Im ersten Fall ergibt sich für den 1998 tatsächlich in Baden-Württemberg angefallenen hausmüllähnlichen Gewerbeabfall eine Menge von ca. 1.212.000 Mg. Im zweiten Fall lassen sich ca. 1,2 – 1,3 Mio. Mg abschätzen. Konservativ wurde mit den 1,212 Mio. Mg/a für 1998 weitergerechnet. Die weitere Prognose zum Aufkommen erfolgt dann analog zur Prognose für Hausmüll, da mit ähnlichen Verhältnissen im Hinblick auf die tatsächlich weiter umsetzbaren Vermeidungs- und Getrennterfassungsmaßnahmen zu rechnen ist.

#### **Zu Szenario 1:**

Frühestens im Laufe des Jahres 2002 wird es im Rahmen dieses Szenarios wohl möglich sein, über eine Änderung des KrW-/AbfG eine sinnvolle Überlassungspflicht für hausmüllähnliche Gewerbeabfälle (z. B. 20 03 01 gemischte Siedlungsabfälle) gegenüber den örE einzuführen. Unter der Voraussetzung einer praktischen Umsetzung in etwa zur Jahresmitte ist zunächst damit zu rechnen, dass frühestens im Jahr 2002 die Hälfte der vorher über die Privatwirtschaft entsorgten hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle die örE wieder erreichen. In den Jahren 2006 und 2010 ist dann damit zu rechnen, dass die Überlassungspflicht gegenüber den örE greift. In diesem Falle werden die in Baden-Württemberg anfallenden hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle die örE wieder nahezu vollständig erreichen.

#### **Zu Szenario 2:**

Im Rahmen von Szenario 2 der Fortschreibung des Status quo ist davon auszugehen, dass die Entsorgung der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle über eine „Verwertung“ zunächst noch weiter zunehmen wird. Insbesondere werden sich ab 2005 weitere Verfahren zur energetischen Verwertung als Ersatz für technisch unzulängliche Deponien anbieten, die nicht in der Lage sind, durch vorgeschaltete MBA die Anforderungen der Verordnungen zur Novellierung der TASI einzuhalten. Ein Weiterbetrieb von Deponien als Altanlagen ist jedoch auch im Rahmen dieser Verordnungen möglich, soweit die Ablagerungskriterien für Abfälle aus MBA eingehalten werden. Das Land Baden-Württemberg und die örE werden jedoch im Rahmen ihrer Kompetenzen weiterhin so-

weit möglich für die Beseitigung der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle (die ähnlich inhomogen wie Hausmüll sind) eintreten. Insgesamt ist daher im Rahmen dieses Szenarios von einer nahezu konstanten Menge auszugehen, die die öRE künftig erreicht. Dieses Szenario stimmt mit den Prognosen im Abfallwirtschaftsplan Baden-Württemberg (Teilplan Siedlungsabfälle) überein.

### **Zu Szenario 3:**

Im Rahmen von Szenario 3 ist hingegen davon auszugehen, dass der hausmüllähnliche Gewerbeabfall nahezu vollständig im Rahmen der Umsetzung der Rechtspositionen des BMU über die private Entsorgungswirtschaft entsorgt werden wird, da eine Überlassungspflicht gegenüber den öRE nur für Abfälle zur Beseitigung besteht und der Verwertungsbegriff vom BMU auf jegliche Form der Abfallnutzung ausgedehnt wird. Weiterhin können nachträglich hergestellte Abfallgemische neu im Hinblick auf eine Verwertung bewertet werden. Bereits durch eine Stabilisierung (biologische Trocknung) des hausmüllähnlichen Gewerbeabfalls und eine Bewertung nach der Trocknung ist es möglich das Heizwertkriterium für die energetische Verwertung zu erfüllen und so den hausmüllähnlichen Gewerbeabfall zu großen Anteilen ab 2005 der Verwertung zuzuführen. Vorher wird diese Abschöpfung nur in geringerem Umfang erfolgen, da die Ablagerungskriterien bis 2005 und auch die energetische Verwertung mit wesentlich geringeren Abfallanteilen nach den Rechtspositionen des BMU darstellbar sind. Wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass gemäß den Rechtsposition des BMU die sogenannte Hausmüllklausel ausschließlich auf Abfälle aus privaten Haushaltungen angewendet werden kann und somit hausmüllähnliche Gewerbeabfälle immer dem Vorrang der energetischen Verwertung vor der thermischen Behandlung unterliegen. Im Falle der Verwertung besteht deshalb keine Überlassungspflicht gegenüber dem öRE.

Zu Szenario 3\*: Im Falle des gleichzeitigen Wegfalls des Abfallimportverbots in Frankreich werden sich gegenüber Szenario 3 lediglich die „Verwertungswege“ gegenüber Szenario 3 dahingehend verändern, dass in Frankreich auch der komplette Abfall ohne Vorbehandlung energetisch verwertbar wäre und eine Deponierung der nicht energetisch zu verwertenden Fraktion ohne weitere Vorbehandlung auch nach 2005 (Auslaufen der Übergangsvorschriften der TASI in Deutschland) möglich ist. Dies würde sich natürlich entsprechend auf die eingeschlagenen Wege und die Kosten für die Abfallerzeuger (weiteres Absinken) auswirken.

Im Rahmen von Szenario 3\*\* würde die Abschöpfungsquote in die energetische Verwertung gegenüber Szenario 3 wesentlich geringer ausfallen, da die Ablagerungskriterien für Abfälle aus MBA in diesem Szenario, wie von verschiedenen Interessensgruppen gefordert, wesentlich großzügiger gefasst werden. Der Abfall gelangt statt dessen in wesentlich größerem Umfang auf Altdeponien.

#### 4.5.2. Baustellenmischabfall

Als weiterem massenmäßig relevanten Abfallstrom wird im Folgenden auf Baustellenmischabfall (17 07 01 gemischte Bau und Abbruchabfälle) eingegangen.

**Tabelle 6: Prognose zu den Auswirkungen im Bereich des Baustellenmischabfalls**

Abfallmengenprognose Baustellenmischabfälle in Baden-Württemberg	1998	2002	2006	2010
Aufkommen Mg/a	260.000	224.000	199.000	192.000
Aufkommen kg/Einw. •a	26	21	19	18
<b>Szenario 1</b> örE Mg/a	80.500 [2]	147.000	199.000	192.000
örE kg/ Einw. •a	8 [2]	14	19	18
<b>Szenario 2</b> örE Mg/a	80.500 [2]	69.000*	61.500*	59.500*
örE kg/ Einw. •a	8 [2]	6,5	6	5,5
<b>Szenario 3</b> örE Mg/a	80.500 [2]	0	0	0
örE kg/ Einw. •a	8 [2]	0	0	0
<b>Szenario 3*</b> örE Mg/a	80.500 [2]	0	0	0
örE kg/ Einw. •a	8 [2]	0	0	0
<b>Szenario 3**</b> örE Mg/a	80.500 [2]	0	0	0
örE kg/ Einw. •a	8 [2]	0	0	0

[2] = [ABFALLBILANZ, 1998]

\* = Werte entsprechen nicht dem Abfallwirtschaftsplan des Landes sondern wurden von DPU anhand der Werte aus 1998 und der abfallwirtschaftlichen Entwicklung prognostiziert

Auch für den Baustellenmischabfall sind ab 1990 drastische Abnahmen der über die örE entsorgten Mengen festzustellen. Die Gründe sind generell die gleichen wie beim hausmüllähnlichen Gewerbeabfall, jedoch sind die Entsorgungswege im Rahmen der Privatwirtschaft wegen des höheren Anteils an mineralischen Abfällen gegenüber dem hausmüllähnlichen Gewerbeabfall stärker zu den Deponien hin verschoben. Auf Basis der Abfallmengen die im Jahre 1990 nachgewiesen sind und einer Vermeidungs- und Getrennterfassungsquote analog zum Hausmüll ergibt sich für 1998 ein zu erwartendes Aufkommen in Baden-Württemberg von ca. 215.000 Mg/a. Unter Berücksichtigung des Marktgeschehens und durchgeführter Studien der DPU [ÖKO-DUMPING, 1997] ergeben sich ca. 307.000 Mg/a insgesamt. Konservativ wurde im weiteren ein Mittelwert aus diesen Werten von 260.000 Mg/a für das Jahr 1998 weiter benutzt. Gleichzeitig wurde zur Betrachtung der weiteren Entwicklung davon ausgegangen, dass auch im Bereich des Baustellenmischabfalls ähnliche Vermeidungs- und Getrennterfassungs-

maßnahmen wie im Hausmüllbereich in den Folgejahren noch umgesetzt werden können. In diesem Fall ergibt sich die oben dargestellte Entwicklung des Aufkommens.

#### **Zu Szenario 1:**

Erst im Laufe des Jahres 2002 wird es im Rahmen dieses Szenarios möglich sein über eine Änderung des KrW-/AbfG eine sinnvolle Überlassungspflicht für Baustellenmischabfälle (17 07 01 gemischte Bau und Abbruchabfälle) gegenüber den örE einzuführen. Im Jahr 2002 ist entsprechend damit zu rechnen das zunächst die Hälfte der vorher durch die Privatwirtschaft entsorgten Baustellenmischabfälle die örE wieder erreichen. In den Jahren 2006 und 2010 ist dann damit zu rechnen, dass die Überlassungspflicht gegenüber den örE greift. In diesem Fall werden die in Baden-Württemberg anfallenden Baustellenmischabfälle die örE wieder nahezu vollständig erreichen.

#### **Zu Szenario 2:**

Im Rahmen von Szenario 2 wird in Fortschreibung des Status quo eine Rückholung der Baustellenmischabfälle aus der privaten Entsorgungswirtschaft durch Einstufung als Abfall zur Beseitigung schwierig sein, da, neben der energetischen Verwertung der nichtmineralischen Anteile, auch eine Verwertung mineralischer Anteile auf Deponien nicht grundsätzlich ausgeschlossen ist. In der Regel stellt der bisher zumeist jedoch praktizierte Ferntransport mit folgender Sortierung und Verwertung geringster Anteile auch nach KrW-/AbfG keine Verwertung dar, da zumeist der größte Anteil dieser Abfälle, wenn nicht gar das gesamte Gemisch, zur Beseitigung auf Deponien landet. DPU sind auch in größerem Umfang Fälle bekannt in denen der Baustellenmischabfall direkt ohne Sortierung deponiert wurde. Der Nachweis hierüber ist jedoch schwer zu führen und erfordert eine detektivische Arbeit, die im praktischen Vollzug durch die unteren Abfallbehörden nicht geleistet werden kann. Insofern entspricht dieses Szenario nicht den Prognosen im Abfallwirtschaftsplan Baden-Württemberg (Teilplan Siedlungsabfälle) und setzt statt dessen einen weiteren Rückgang der den örE überlassenen Baustellenmischabfälle entsprechend dem Rückgang des Gesamtaufkommens an diesen Abfällen voraus. Dies bedeutet, dass den örE lediglich der Anteil der Baustellenmischabfälle aus dem Jahre 1998 am Gesamtaufkommen erhalten bleibt.

#### **Zu Szenario 3:**

Durch die Aufweichung der Getrennthaltungspflicht für Abfälle zur Beseitigung im Rahmen der Rechtspositionen des BMU und durch die mögliche Neubewertung der nachträglich hergestellten Abfallgemische nach Aufbereitung im Hinblick auf die Einstufung als Abfall zur Verwertung bzw. zur Beseitigung, wird im Rahmen dieses Szenarios der Baustellenmischabfall gänzlich aus dem Bereich der örE verschwinden. Zunächst wird dieser Abfall vorwiegend über Sortieranlagen, mit in der Regel geringen bis mäßigen Sortiererfolgen im Rahmen von Sortierversuchen, den Weg zu preiswerten Deponien sowohl in den alten als auch den neuen Bundesländern finden. Der mineralische Anteil in diesen Abfällen ist zweifellos für die Deponien ein geeignetes Material,

jedoch wird bis 2005 auch der nicht mineralische Anteil aus rein wirtschaftlichen Gründen zumeist mit zur Ablagerung gelangen. Die Darstellung einer Verwertungsquote gegenüber den Überwachungsbehörden gelingt zumeist über die Verwertung des mineralischen Anteils in den Abfällen auf der Deponie (z. B. Deponiewegebau und Baumaßnahmen auf Deponien). Weiterhin kann je nach Forderung der Behörden eine zusätzliche Abschöpfung vorwiegend energetisch verwertbarer Abfälle erfolgen. Auch nach 2005 ist für den mineralischen Anteil in der Regel die „Verwertung“ auf preiswerten Deponien unterschiedlichster Art möglich. Lediglich für den nichtmineralischen Anteil müssen zusätzliche Verwertungswege in den Bereich der Zement- und Kraftwerke erschlossen werden um die Ablagerungskriterien für die Abfälle ab 2005 gemäß dem Entwurf der AbfAbIV zu erfüllen. Die Zement- und Kraftwerke werden insbesondere wegen der geringeren Entsorgungskosten gegenüber Hausmüllverbrennungsanlagen zur Entsorgung benutzt werden.

**Zu Szenario 3\*:**

Im Falle von Szenario 3\* wird zusätzlich die kostengünstige Verwertung dieser Abfälle in Frankreich über die Abschöpfung der heizwertreichen Fraktion möglich. Eine direkte energetische Verwertung des Gesamtabfalls ist aus Kosten- und Kapazitätsgründen nicht zu erwarten. Im Rahmen dieses Unterszenarios kommt es daher nur zu einer Verschiebung im Rahmen der eingeschlagenen Entsorgungswege.

**Zu Szenario 3\*\*:**

Im Falle von Szenario 3\*\* wird die Abschöpfung der heizwertreichen Fraktion in deutlich geringerem Umfang als in Szenario 3 erfolgen, da gemäß den Vorstellungen verschiedener Interessensgruppen die Ablagerungskriterien für vorbehandelte Abfälle gegenüber den Vorschlägen des BMU weiter gelockert werden.

### 4.5.3. Sortierreste

Im Folgenden werden die Sortierreste als weiterer relevanter Massenstrom im Bereich des hausmüllähnlichen Gewerbeabfalls betrachtet.

**Tabelle 7: Prognose zu den Auswirkungen im Bereich der Sortierreste**

Abfallmengenprognose Sortierreste in Baden- Württemberg	1998	2002	2006	2010
Aufkommen Mg/a	152.500 [3]	152.500	152.500	152.500
Aufkommen kg/Einw. •a	15 [3]	14	14	14
<b>Szenario 1</b> örE Mg/a	94.500 [2]	123.500	152.500	152.500
örE kg/ Einw. •a	9 [2]	11	14	14
<b>Szenario 2</b> örE Mg/a	94.500 [2]	94.500*	94.500*	94.500*
örE kg/ Einw. •a	9 [2]	8,5	8,5	8,5
<b>Szenario 3</b> örE Mg/a	94.500 [2]	0	0	0
örE kg/ Einw. •a	9 [2]	0	0	0
<b>Szenario 3*</b> örE Mg/a	94.500 [2]	0	0	0
örE kg/ Einw. •a	9 [2]	0	0	0
<b>Szenario 3**</b> örE Mg/a	94.500 [2]	0	0	0
örE kg/ Einw. •a	9 [2]	0	0	0

[2] = [ABFALLBILANZ, 1998]

[3] = [MENGENSTROMNACHWEIS, 1998]

\* = Werte entsprechen nicht dem Abfallwirtschaftsplan des Landes sondern wurden von DPU anhand der Werte aus 1998 und der abfallwirtschaftlichen Entwicklung prognostiziert

Auch im Bereich der Sortierreste liegt für das Bundesland Baden-Württemberg für das Jahr 1998 kein geschlossener Nachweis vor, da nur die den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern überlassenen Mengen erfasst wurden. Es wurde in diesem Jahr ein Teil der in Baden-Württemberg angefallen Sortierreste außerhalb des Landes zum Teil auch in „Scheinverwertungswegen“ entsorgt. Ein näherer Anhaltspunkt über den Verbleib der Sortierreste aus Baden-Württemberg ergibt sich aus dem Mengenstromnachweis der im Auftrag der DSD AG für Baden-Württemberg für das Jahr 1998 erstellt wurde [Mengenstromnachweis, 1998]. Hiernach wurden bereits 38% der Sortierreste (und stoffgleichen Nichtverpackungen) aus dem Bereich des DSD (gelbe Tonne, gelber Sack) außerhalb des Landes entsorgt. Hauptziel der Verwertung waren Sortieranlagen in NRW, die entweder Ersatzbrennstoffe für die Zementindustrie herstellen oder im Einzugsbereich preisgünstiger Deponien oder MVA angesiedelt sind. Daneben erfolgten innerdeutsche Abfallverbringungen zu Sortieranlagen nach Sachsen und Thüringen

im Einzugsbereich günstiger Deponien sowie nach Rheinland-Pfalz in Kunststoffaufbereitungsanlagen.

Da sich die Sortierreste aus den übrigen Sortieranlagen in Baden-Württemberg nicht wesentlich von den Sortierresten aus dem Bereich des DSD unterscheiden und es sich zum Teil um die gleichen Anlagen handelt, die die Sortierungen durchführen, ist dort mit prinzipiell ähnlichen Verhältnissen wie im DSD-Bereich zu rechnen. Entsprechend wurde eine Übertragung von den Sortierresten aus dem DSD auf den gesamten Bereich der Sortierreste in Baden-Württemberg für das Jahr 1998 vorgenommen.

Da die Prognose der DPU für den Bereich Hausmüll, hausmüllähnlichen Gewerbeabfall und Baustellenmischabfall von einer generellen Abfallreduktion für diese Abfälle durch eine weitere Ausdehnung der Getrennterfassung von Wertstoffen ausgeht, die in der Regel eine Nachsortierung mit der Ausschleusung von Sortierresten erfordert, ist im Rahmen des künftigen Aufkommens an Sortierresten in Baden-Württemberg nicht von einer nennenswerten Reduktion auszugehen. Im wesentlichen kompensieren sich zusätzlicher Anfall aus der Sortierung getrennt erfasster Wertstoffe und Abfallrückgang durch Vermeidung. Im Extremfall ist bis zum Jahr 2010 eine Erhöhung der Sortierreste um max. 10% zu erwarten. Dies wurde angesichts der mit dieser Abschätzung verbundenen Unsicherheiten vernachlässigt und statt dessen ein über den Prognosezeitraum konstanter Anfall an Sortierresten angenommen.

#### **Zu Szenario 1:**

Da die Sortierreste hinsichtlich ihrer Art und Zusammensetzung im wesentlichen dem Hausmüll entsprechen und zumeist sogar größere Schadstoffgehalte und insbesondere Halogengehalte aufweisen, bietet sich auch für diese Abfallart die generelle Einführung einer Überlassungspflicht gegenüber dem örE an. Eine Einführung wird dazu führen, dass im Jahr 2002 erst die Hälfte der vorher durch die Privatwirtschaft entsorgten Sortierreste die örE wieder erreichen. In den Jahren 2006 und 2010 ist dann damit zu rechnen, dass die Überlassungspflicht gegenüber den örE greift und diese die örE wieder nahezu vollständig erreichen.

#### **Zu Szenario 2:**

Im Rahmen von Szenario 2 wird es angesichts der unsicheren Rechtslage schwierig sein, die „energetische Verwertung“ von Sortierresten in MVA in anderen Bundesländern, wie auch die Aufbereitung der Sortierreste in Sortieranlagen im Einzugsbereich preisgünstiger Deponien und MVA in anderen Bundesländern zurückzudrängen. Dieses Szenario stimmt deshalb mit dem Abfallwirtschaftsplan Baden-Württemberg (Teilplan Siedlungsabfälle) nicht überein und geht statt dessen weiterhin von einer teilweisen „Verwertung“ der Sortierreste, wie im Jahre 1998, über die private Entsorgungswirtschaft aus.

### **Zu Szenario 3:**

Im Rahmen von Szenario 3 ist davon auszugehen, dass insbesondere durch die Neubewertung nachträglich hergestellter Abfallgemische im Hinblick auf die Frage Abfall zur Verwertung bzw. Abfall zur Beseitigung, zunächst bis 2005, eine nur geringe Abschöpfung zur energetischen Verwertung vorgenommen wird, um den Rest weiterhin kostengünstigen Deponien zuzuführen. Parallel hierzu wird weiterhin der Weg der energetischen Verwertung in preiswerte MVA außerhalb Baden-Württembergs beschritten werden. Ab dem Jahr 2005 wird sich dieser Weg dahingehend verändern, dass die Deponien versuchen werden, über Sortieranlagen sowie Stabilisierungsanlagen ihre Übergangsfristen, die die bisher vorgesehene Novellierung der TAsi vorsieht, zu nutzen. Unter Einhaltung der vom BMU vorgeschlagenen Ablagerungskriterien ist auch ein Weiterbetrieb technisch nicht ertüchtigter Altdeponien möglich. Parallel hierzu wird die energetische Verwertung in MVA rückläufig sein (Eigeninteresse der Betreiber für hochpreisigere Abfälle), so dass die Verwertung in industriellen Prozessen zwangsläufig größere Bedeutung erlangen wird. In jedem Falle wird dieses Szenario mittelfristig dazu führen, dass auch die Sortierreste die öRE nicht mehr erreichen, sondern über die private Entsorgungswirtschaft „verwertet“ werden.

### **Zu Szenario 3\*:**

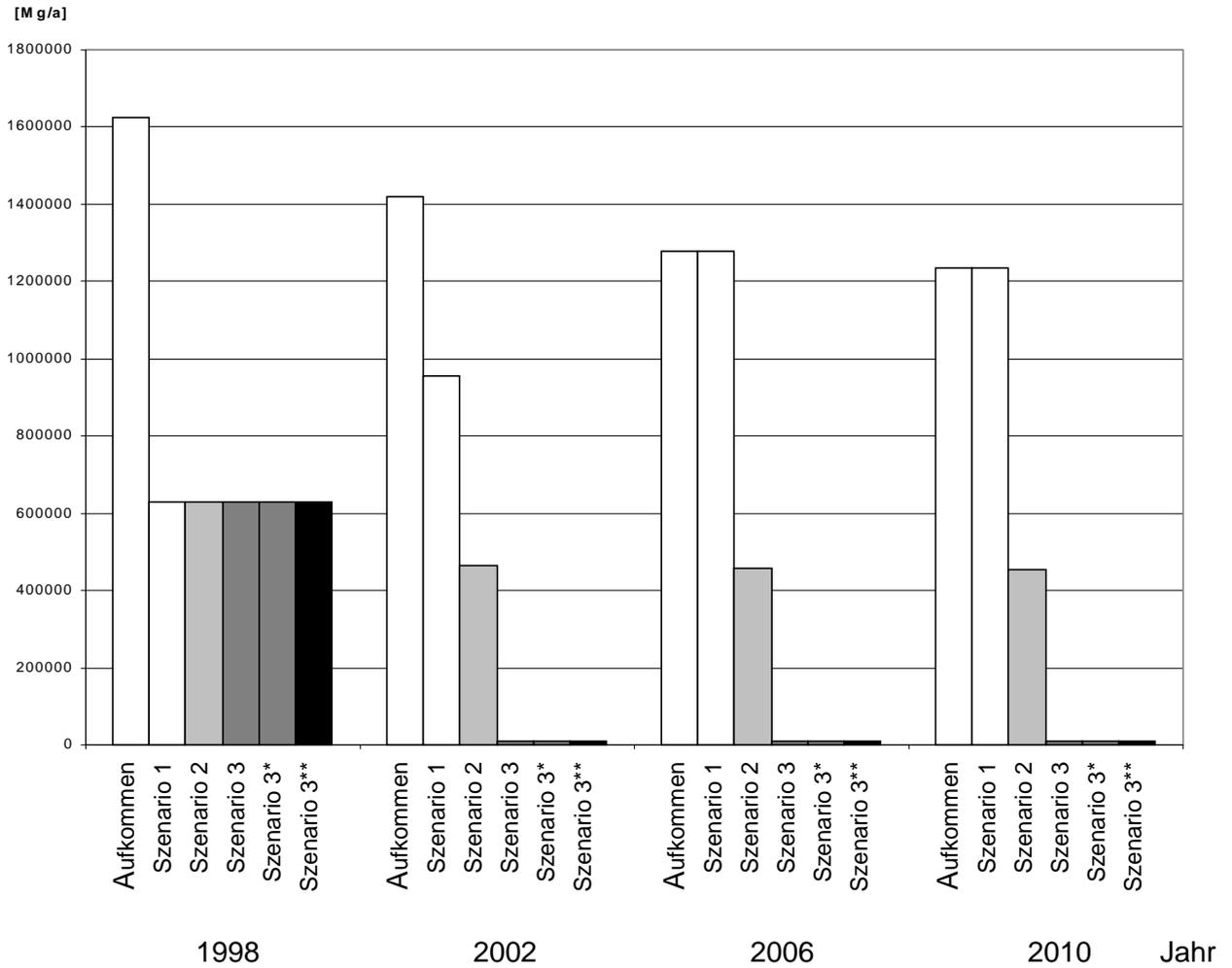
Im Falle von Szenario 3\* werden sich lediglich die Wege im Rahmen der privatwirtschaftlich organisierten „Verwertung“ aus Gründen der geringeren Transportentfernungen zum Teil zu anderen Wegen hin verlagern (nicht zu berücksichtigende Heizwertgrenze in Frankreich).

### **Zu Szenario 3\*\*:**

Im Falle von Szenario 3\*\* werden die Sortierreste gegenüber Szenario 3 in noch größerem Umfang die Altdeponien erreichen, da die Ablagerungskriterien im Rahmen der Novellierung der TAsi auch auf Altdeponien gemäß dem Vorschlag verschiedener Interessensgruppen weiter gelockert werden. In diesem Falle wird die Abschöpfung der heizwertreichen Fraktion in die industriellen Produktionsprozesse erheblich gegenüber Szenario 3 zurückgefahren.

Betrachtet man die hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle, die Baustellenmischabfälle und die Sortierreste nochmals gemeinsam, ergibt sich für die unterschiedlichen Szenarien folgendes Bild:

**Abb. 4: Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle<sup>+</sup>, Gesamtaufkommen und den öRE überlassene Mengen, bezogen auf die Szenarien 1 – 3\*\***



<sup>+</sup> = inklusive Baustellenmischabfälle und Sortierreste

#### **4.5.4. Zielpfade im Bereich des hausmüllähnlichen Gewerbeabfalls**

Betrachtet man im Rahmen der Szenarien die Situation im Bereich der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle (inklusive Baustellenmischabfall und Sortierreste) ergeben sich aus Sicht der DPU derzeit die folgenden zu erwartenden Entsorgungswege (Zielpfade). Diese Zielpfade wurden von DPU aufbauend auf erstellten Studien [ÖKO-DUMPING, 1998], [GEWERBEABFÄLLE, 1997], [DPU, 1999] in Kenntnis des aktuellen Marktgeschehens [ZDF, 1999] und der Kenntnis einer Vielzahl von Anlagen zur Abfallentsorgung und Behandlung in Deutschland sowie deren Möglichkeiten und Grenzen erstellt.

Auf Szenario 3\* wurde hierbei nicht näher eingegangen, da sich die „Verwertung“ innerhalb des Szenarios nicht grundlegend von Szenario 3\*\* unterscheidet.

**Tabelle 8: Zielpfade für hausmüllähnlichen Gewerbeabfall im Rahmen der Szenarien**

Zielpfad	Szenario 1			Szenario 2			Szenario 3			Szenario 3**		
	2002	2006	2010	2002	2006	2010	2002	2006	2010	2002	2006	2010
MVA	598.000	1.238.000	1.196.600	379.550	612.900	648.200	99.400	383.900	391.000	99.400	97.500	95.600
Deponie komplett mit TASI-Standard	526.885	38.700	37.100	482.374	143.300	153.300	344.700	124.800	193.300	344.700	308.700	530.800
Deponie mit TASI-Standard bis auf Standortvoraussetzungen	18.985	0	0	26.474	2.000	0	71.000	25.400	0	71.000	64.300	0
Deponie mit TASI-Standard bis auf Untergrundabdichtung	6.885	0	0	2.074	114.200	65.400	0	0	131.900	0	0	360.100
Deponie ohne Abdichtung Sickerwasserfassung Gasfassung	124.885	0	0	364.874	17.400	0	600.100	226.000	0	600.100	548.400	0
Deponie im Ausland	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MBA Low level	32.400	0	0	7.900	0	0	0	0	0	0	0	0
MBA Splitting	0	0	0	7.900	40.000	40.000	0	0	0	0	0	0
Zementwerk	71.450	0	0	78.800	237.700	237.050	138.600	325.600	335.400	138.600	116.300	110.600
Kraftwerk	38.750	0	0	32.100	87.600	76.750	46.000	125.100	122.500	46.000	41.700	40.500
Einsatz in Vergasungsanlage	0	0	0	0	3.500	3.500	0	0	0	0	0	0
Sortieranlagen	245.300	199.000	192.000	274.900	269.600	264.600	390.500	352.400	334.900	390.500	352.400	334.900
Stabilisierungsanlagen	347.700	0	0	715.100	648.000	564.100	1.029.500	925.600	900.100	1.029.500	925.600	900.100
Stoffliches Recycling	1.600	1.300	1.300	3.279	3.600	3.600	8.500	4.200	4.100	8.500	8.500	8.500

Im Folgenden sollen die Zielpfade für hausmüllähnliche Gewerbeabfälle (inklusive Baustellenmischabfall, Sortierreste) erläutert werden.

### **Zu Szenario 1:**

Im Rahmen von Szenario 1 werden hausmüllähnliche Gewerbeabfälle zunächst noch bis 2002 zu einem großen Anteil wie bisher über die Privatwirtschaft entsorgt. Hierzu dienen Sortieranlagen (Baustellenmischabfall, Sortierreste), aber auch Stabilisierungsanlagen (vorwiegend hausmüllähnlicher Gewerbeabfall). In diesen Anlagen wird nach einer geringen Abschöpfung einer heizwertreichen Fraktion (Zement- und Kraftwerke) vorwiegend eine Deponierung durchgeführt. Auch der Entsorgungsweg für Sortierreste aus Baden-Württemberg in MVA außerhalb des Landes wurde berücksichtigt.

Die Entsorgungswege der örE in Baden-Württemberg wurden gemäß den bisher bestehenden Anlagen und der Vertragssituation der örE im Hinblick auf die Vorbehandlung im Jahr 2005 berücksichtigt. Zunächst werden Low level-MBA im Land weiterbetrieben. Die zu deponierenden Abfälle aus diesen MBA gelangen nur z. T. auf vollständig TASI-gerechte Deponien. Die heizwertreiche Fraktion aus diesen Anlagen gelangt in die MVA. Durch die Erhebung der TASI in einen Verordnungsrang ohne Öffnung für Abfälle aus MBA lohnt sich ab 2005 ein Betrieb von MBA finanziell nicht mehr. Entsprechend wird die Deponierung eingestellt und eine Entsorgung von Haus- und Sperrmüll durch die örE selbst erfolgt nur noch über MVA, da technisch hochwertige MBA in Baden-Württemberg noch nicht errichtet sind und sich derartige Investitionen angesichts der niedrigen Verbrennungspreise in MVA finanziell ohne Deponierung nicht günstiger darstellen. Lediglich die Sortierung der Baustellenmischabfälle und die Deponierung der mineralischen Fraktion wird, neben der Verbrennung, in Baden-Württemberg durch die örE weiter betrieben. Hieraus stammen auch die Mengen für das stoffliche Recycling (Baufolien etc.).

### **Zu Szenario 2:**

Im Rahmen von Szenario 2 findet sowohl eine Entsorgung durch die örE als auch durch die Privatwirtschaft gemäß dem Status quo in Fortschreibung statt. Bis 2005 werden von der Privatwirtschaft unter geringer Abschöpfung über Sortier- und Stabilisierungsanlagen vorwiegend Deponien angefahren. Ab 2006 wird in diesem Weg die Abschöpfung der heizwertreichen Fraktion massiv gesteigert, um die Werte der AbfAbIV für Abfälle aus MBA erfüllen zu können.

Durch die örE in Baden-Württemberg werden ab 2005 neben den MVA und den Sortieranlagen für Baustellenmischabfall nur noch Splitting-Anlagen betrieben. Ab 2005 wird gemäß den bestehenden Verträgen eine Vergasungsanlage mit heizwertreicher Fraktion aus Baden-Württemberg beliefert.

Die Altdeponien außerhalb von Baden-Württemberg werden in diesem Szenario gemäß den Vorschriften der EU-Deponierichtlinie erst 2008 technisch ertüchtigt. Auch im Jahr 2010 und darüber hinaus ist gemäß AbfAbIV immer noch der Betrieb von Altdeponien ohne ausreichende Gasfassung, ohne Einhaltung der Standortvoraussetzungen und ohne vollkommen TASI-konforme Untergrundabdichtung möglich.

### **Zu Szenario 3:**

Im Rahmen von Szenario 3 wird eine Entsorgung der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle nur noch über die Privatwirtschaft erfolgen. Durch die Privatwirtschaft werden die gleichen Wege wie in Szenario 2 eingeschlagen, d. h. zunächst werden über Sortieranlagen und Stabilisierungsanlagen preisgünstige Deponien in anderen Ländern, wie auch für Sortierreste direkt MVA in anderen Bundesländern angefahren. Ab 2005 erfolgt eine verstärkte Abschöpfung der heizwertreichen Fraktion in Zement- und Kraftwerke hinein. Auch in diesem Szenario werden durch die Privatwirtschaft noch Altdeponien ohne vollkommen TASI-konforme Untergrundabdichtung bis 2010 genutzt. Die technische Deponieertüchtigung findet im wesentlichen bis 2008 auf Grund der Vorgabe der EU-Deponierichtlinie statt.

### **Zu Szenario 3\*\*:**

Im Kontrollscenario 3\*\* wird durch die Öffnung der Ablagerungskriterien für Abfälle aus MBA über die Vorstellungen des BMU hinausgehend die Abschöpfung heizwertreicher Fraktionen gegenüber Szenario 3 in den Jahren 2006 und 2010 erheblich reduziert. Die Altdeponien werden auch im Rahmen dieses Szenarios erst ca. 2008 gemäß den Vorgaben der EU-Deponierichtlinie ertüchtigt: Allerdings werden immer noch in 2010 Deponien ohne ausreichende Untergrundabdichtung mitverfüllt werden, da auch die Öffnungsvorschläge der Länder hierzu dies vorsehen.

#### **4.5.5. Resultierende allgemeine ökonomische Folgen Szenario 1**

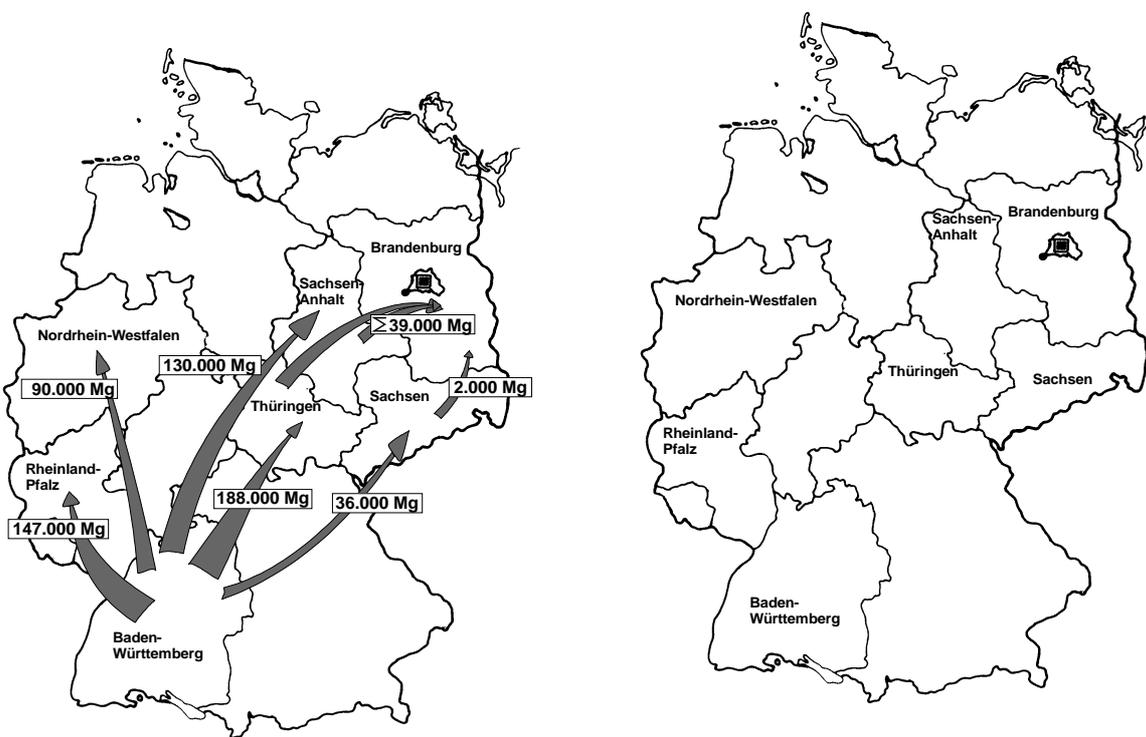
Durch die Rückverlagerung des hausmüllähnlichen Gewerbeabfalls, des Baustellenmischabfalls und der Sortierreste in die Zuständigkeit der öRE kann der Rückgang im Bereich des Hausmülls ab dem Jahr 2002 im Rahmen dieses Szenarios mehr als kompensiert werden. Gegenüber dem gültigen Abfallwirtschaftsplan würde im Jahr 2006 nach Auslaufen der Übergangsfristen der TASI eine rechnerische Verbrennungskapazität in Baden-Württemberg von ca. 2,38 Mio. Mg/a benötigt. In jedem Falle kann im Rahmen dieses Szenarios eine langfristige Sicherung der Auslastung der bestehenden und geplanten Entsorgungsanlagen der öRE erreicht werden. Die Deponien im Land können natürlich auch im Rahmen dieses Szenarios nicht vollständig bis 2005 verfüllt werden. Auch später sind die zur Deponierung gelangenden Mengen aus dem Bereich des Hausmülls über MBA sowie aus dem Bereich des Baustellenmischabfalls mit insgesamt ca. 40.000 Mg/a relativ gering und erfordern eine Konzentration auf wenige Deponien im Bundesland. Gleichzeitig wird im Rahmen dieses Szenarios die Schadstoffverschleppung in Industrieprozesse und in technisch unzulängliche Deponien in anderen Bundesländern rasch und wirksam vermieden.

Weiterhin kann als zentrales Anliegen die Gebührengerechtigkeit zwischen Privathaushalten und gewerblichen Erzeugern von hausmüllähnlichen Abfällen wieder hergestellt werden. Gegenüber dem Jahr 1998 hätte dies eine mögliche Gebührensenkung für die Privathaushalte von bis zu 4% im Jahr 2002 und 11% im Jahr 2006 zur Folge. Danach werden wegen des allgemeinen Abfallrückgangs wieder geringfügige Gebührenerhöhungen erforderlich werden.

Betrachtet man im Rahmen dieses Szenarios die zusätzlichen Ferntransporte für Gewerbeabfälle (inklusive Baustellenmischabfälle und Sortierreste), ergibt sich folgendes Bild:

Während im Jahr 2002 die hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle im wesentlichen auf Großdeponien in Verbindung mit Sortieranlagen in Rheinland-Pfalz, Sachsen-Anhalt und Thüringen sowie in deutlich geringerem Umfang nach Nordrhein-Westfalen und Sachsen gelangen, werden diese Ferntransporte über die Umsetzung der Grundgedanken des KrW-/AbfG in Form einer strikten Überlassungspflicht für gemischte hausmüllähnliche Gewerbeabfälle in den Folgejahren unterbunden. Es ist darauf hinzuweisen, dass in den Ferntransporten nach NRW auch die „Verwertung“ von Sortierresten in MVA in NRW enthalten ist. In Brandenburg erfolgt die Verwertung heizwertreicher Abfallfraktionen, die ortsnahe zu den Großdeponien nicht preisgünstig „verwertet“ werden können.

Abb. 5: Szenario 1, zu erwartende Ferntransporte hausmüllähnlichen Gewerbeabfalls<sup>+</sup>



Für das Jahr 2002

Für das Jahr 2006



Für das Jahr 2010

<sup>+</sup> = inklusive Baustellenmischabfall und Sortierreste

#### **4.5.6. Resultierende allgemeine ökonomische Folgen Szenario 2**

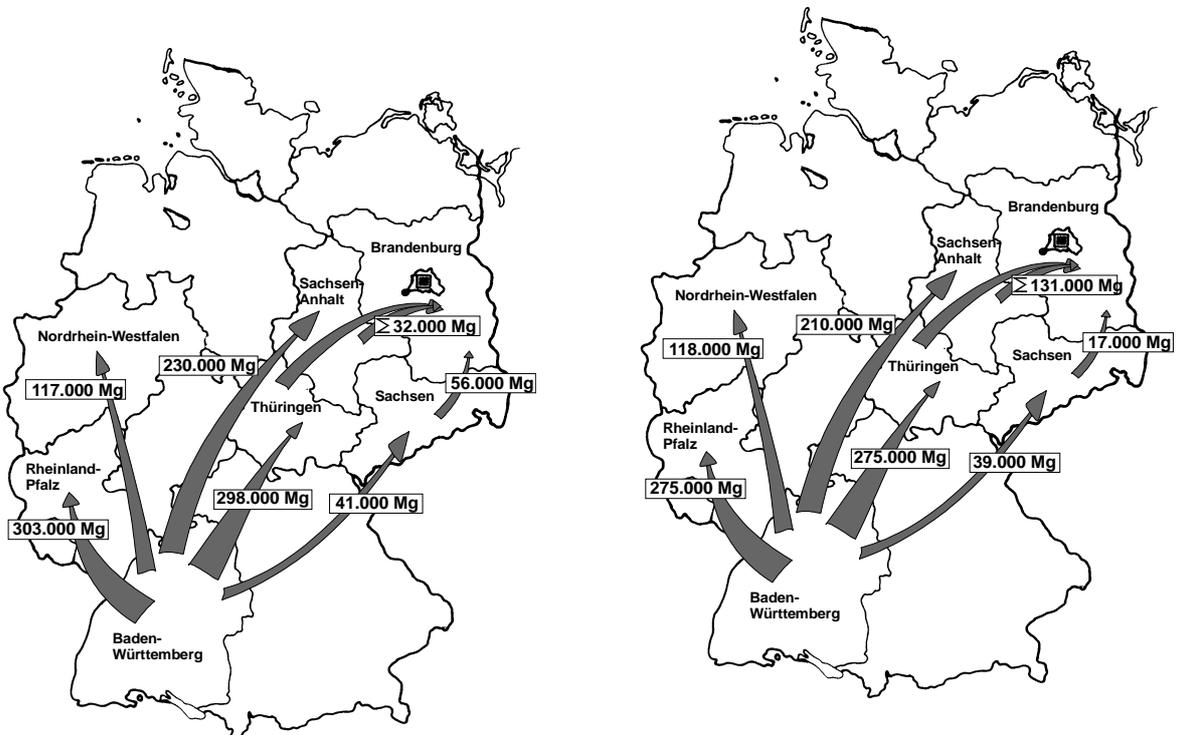
Im Rahmen dieses Szenarios ist durch das weitere Wegbrechen der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle eine zusätzliche Gebührenerhöhung gegenüber dem Status quo im Jahr 1998 zu erwarten. Eine Gebührenerhöhung von etwa 18% gegenüber dem Jahr 1998 wird bis zum Jahr 2010 unvermeidlich sein, ohne dass die Privathaushalte hierfür eine Gegenleistung erhalten. Den Vorteil von bis zu 50% Einsparung bei den Entsorgungskosten erzielen im Rahmen dieses Szenarios die gewerblichen Abfallerzeuger, die ihre hausmüllähnlichen gewerblichen Abfälle auf Preiswerten zumeist „Scheinverwertungswegen“ verwerten lassen. Hierbei tritt gleichzeitig mit der zusätzlichen Entsorgung dieser Abfälle über die private Entsorgungswirtschaft eine Schadstoffverschleppung in oftmals technisch unzulängliche Deponien bis zum Jahre 2005 und danach eine stärkere Verlagerung der Entsorgung in industrielle Herstellungsprozesse ein. Weiterhin ist nach Novellierung der TASI gemäß den Vorschlägen des BMU weiterhin die Ablagerung auf Altdeponien, die nicht den technischen Vorgaben der TASI entsprechen, möglich. Darüber hinaus werden weiterhin Deponien am Marktgeschehen teilnehmen, die die Standortvoraussetzungen der TASI nicht erfüllen bzw. nicht ausreichend gegenüber dem Untergrund abgedichtet sind.

Für die bestehenden und geplanten Anlagen in Baden-Württemberg ergeben sich im Rahmen dieses Szenarios bereits Auslastungsprobleme. Für die MVA in Baden-Württemberg stünden im Rahmen dieses Szenarios max. noch ca. 1,2 Mio. Mg Haus- und Sperrmüll und max. ca. 450.000 Mg (hausmüllähnlicher Gewerbeabfall, Baustellenmischabfall und Sortierreste) ab dem Jahr 2005 zur thermischen Behandlung über die örE zur Verfügung. Somit wäre eine nur geringe Auslastungslücke in den MVA von ca. 50.000 Mg zu erwarten. Einzelne Linien könnten daher stillgelegt oder durch Annahme von Abfällen zur energetischen Verwertung unterhalb der Kostendeckung ausgelastet werden. Die MBA sind in diesem Szenario nur im Rahmen des Rückgangs des hausmüllähnlichen Gewerbeabfalls gegenüber dem Status quo in geringem Umfang betroffen. Die Auswirkungen auf die Deponien sind ebenfalls angesichts der derzeit bereits geringen dort verbleibenden Mengen an Baustellenmischabfall relativ gering. Auch der Deponieabschluss der Deponien in Baden-Württemberg wird sich im Rahmen dieses Szenarios gegenüber der Situation im Jahre 1998 nicht mehr wesentlich verändern. Entscheidend für die Deponieabschlüsse ist im wesentlichen das Auslaufen der Übergangsfristen der TASI im Jahr 2005.

Betrachtet man nochmals im Rahmen dieses Szenarios die zusätzlichen Ferntransporte für Gewerbeabfälle, ergibt sich folgendes Bild:

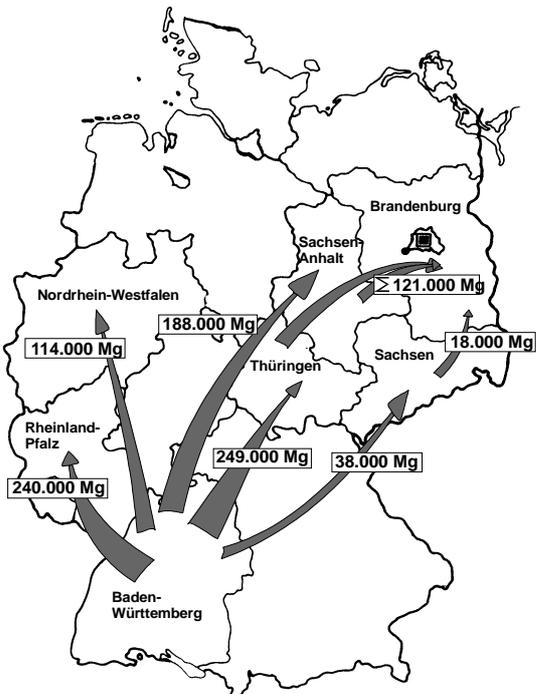
Verglichen mit Szenario 1 treten die Ferntransporte wegen der größeren über die Privatwirtschaft entsorgten Mengen in größerem Umfang auf. Die Ferntransporte werden jedoch weder ab 2002 noch ab 2006 unterbunden, da über die Nutzung von vorgeschalteten Sortier- und Stabilisierungsanlagen eine Ablagerung auf Altdeponien auch bei Inkrafttreten der Abfallablagerungsverordnung möglich ist.

Abb. 6: Szenario 2, zu erwartende Ferntransporte hausmüllähnlichen Gewerbeabfalls<sup>+</sup>



Für das Jahr 2002

Für das Jahr 2006



Für das Jahr 2010 + = inklusive Baustellenmischabfall und Sortierreste

#### **4.5.7. Resultierende allgemeine ökonomische Folgen Szenario 3**

Im Rahmen dieses Szenarios, der Umsetzung der Rechtspositionen des BMU ergeben sich gravierende Konsequenzen für die öRE, indem sie ab dem Jahr 2002 einen Teil des an sich ihnen gegenüber überlassungspflichtigen Hausmülls verlieren und sie gleichzeitig der komplette Gewerbeabfall (hausmüllähnlicher Gewerbeabfall, Baustellenmischabfall und Sortierreste) durch die gesetzesändernde Auslegung des Begriffs der Verwertung durch das BMU nicht mehr erreicht.

Da sich für die öRE die Kosten für Entsorgung, Sammlung und Transport wegen der hohen Fixkostenanteile nicht entsprechend dem Rückgang der Abfallmenge reduzieren, führt dies zwangsläufig zu einer Erhöhung der Kosten für die Entsorgung des verbleibenden Hausmülls aus den Privathaushalten. Durch den ca. 49%-igen Abfallverlust der öRE bis zum Jahr 2002 gegenüber dem Jahr 1998 wird eine Gebührenerhöhung um ca. 37% bis 2002 nahezu unvermeidlich, ohne dass der Einzelhaushalt hierfür eine Gegenleistung erhielt. Die Vorteile zieht in diesem Falle natürlich derjenige, der eine Verwertung seines Gewerbeabfalls über private Entsorger vornehmen lässt. Angesichts der derzeitigen Verwertungs- bzw. Beseitigungskosten sind Einsparungen von 50% und darüber für den Abfallerzeuger möglich.

Im Hinblick auf das Jahr 2005 ergibt sich ein weiteres Problem hinsichtlich der Auslastung der im Land vorhandenen Verbrennungskapazitäten für Siedlungsabfälle. Von den öRE könnten im Rahmen dieses Szenarios nur noch ca. 960.000 Mg im Jahr 2006 der Verbrennung zugeführt werden. Angesichts vertraglich gesicherter Kapazitäten und Kontingente von ca. 1,7 Mio. Mg hätte dies, ohne einen Ausgleich durch die Hereinnahme unterpreisiger Abfälle zur energetischen Verwertung, die Schließung von einer bereits bestehenden Anlage in Baden-Württemberg zur Folge, wobei gleichzeitig die in Planung und in Betriebnahme befindlichen Anlagen nicht mehr benötigt würden. Ebenso wären die vertraglich von den öRE bereits vereinbarten innerdeutschen Verbringungen nicht mehr möglich.

In den einzelnen bestehenden Anlagen der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger hat der Rückgang der Hausmüll- und Sperrmüllmengen sowie der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle je nach Art der Anlagen wie bereits beschrieben unterschiedliche Auswirkungen.

Während in Hausmüllverbrennungsanlagen ein Rückgang der Hausmüllmenge und der Verlust der gewerblichen Abfälle im Einzugsgebiet in der Regel zur Schließung zumindest einer Verbrennungslinie bzw. der Hälfte der Verbrennungslinien oder der ersatzweisen Beschaffung von Abfällen zur energetischen Verwertung zu nicht auskömmlichen Preisen führt, ist der Einfluss auf den Abschluss von Deponien angesichts der Übergangsfristen der TASI eher gering. Im Rahmen dieses Szenarios gelangen jedoch in der Regel technisch unzulängliche Deponien außerhalb des Landes Baden-Württemberg unter Inkaufnahme von Ferntransporten zur Verfüllung. Für Deponieabschnitte für vorbehandelten Haus- oder Sperrmüll und andere Abfälle, die den Ablagerungskriterien der TASI bzw. der neuen zu erwartenden Bundesverordnung entsprechen, strecken sich die Laufzeiten um 49%, wobei sich allerdings gleichzeitig natürlich die spezifischen Kosten für die Deponierung auf Grund der geringeren Umlagegröße für den Deponiebetrieb pro Jahr drastisch erhöhen.

Gravierender sind die Auswirkungen jedoch in mechanisch-biologischen Behandlungsanlagen, da diese in der Regel auf Basis der aktuellen Hausmüllmengen und den Anteilen des hausmüllähnlichen Gewerbeabfalls, den die öRE in den vergangenen Jahren erhalten haben, geplant wurden. Hier ergibt sich je nach der Art des Aufbaus der Anlage nur die Möglichkeit einer teilweisen Stilllegung von Behandlungssträngen oder die Verkürzung von Betriebszeiten im mechanischen Anlagenteil. Beides führt zu Kostensteigerungen aufgrund des getätigten Invests für die stillzulegenden bzw. nur zeitweise betreibbaren Anlagenteile, die im Rahmen dieses Szenarios ca. 50% der Anlagengesamtkapazität betragen.

In ökologischer Hinsicht wirkt sich dieses Szenario zusätzlich durch Ferntransporte durch ganz Deutschland (größte energetische Verwertungs Kapazitäten und preisgünstige Deponien in den neuen Ländern) von Haus- und Sperrmüll sowie hausmüllähnlichem Gewerbeabfall aus Baden-Württemberg negativ aus. Ebenso entsprechen die Deponien, auf die die nicht verwertbaren Abfallfraktionen gelangen, zumeist nicht den technischen Standards der TASI, und einige bergen auch wegen der nicht erfüllten Standortvoraussetzungen und fehlenden Untergrundabdichtungen erhebliche Langzeitsicherheitsrisiken gegenüber den Anlagen in Baden-Württemberg in sich.

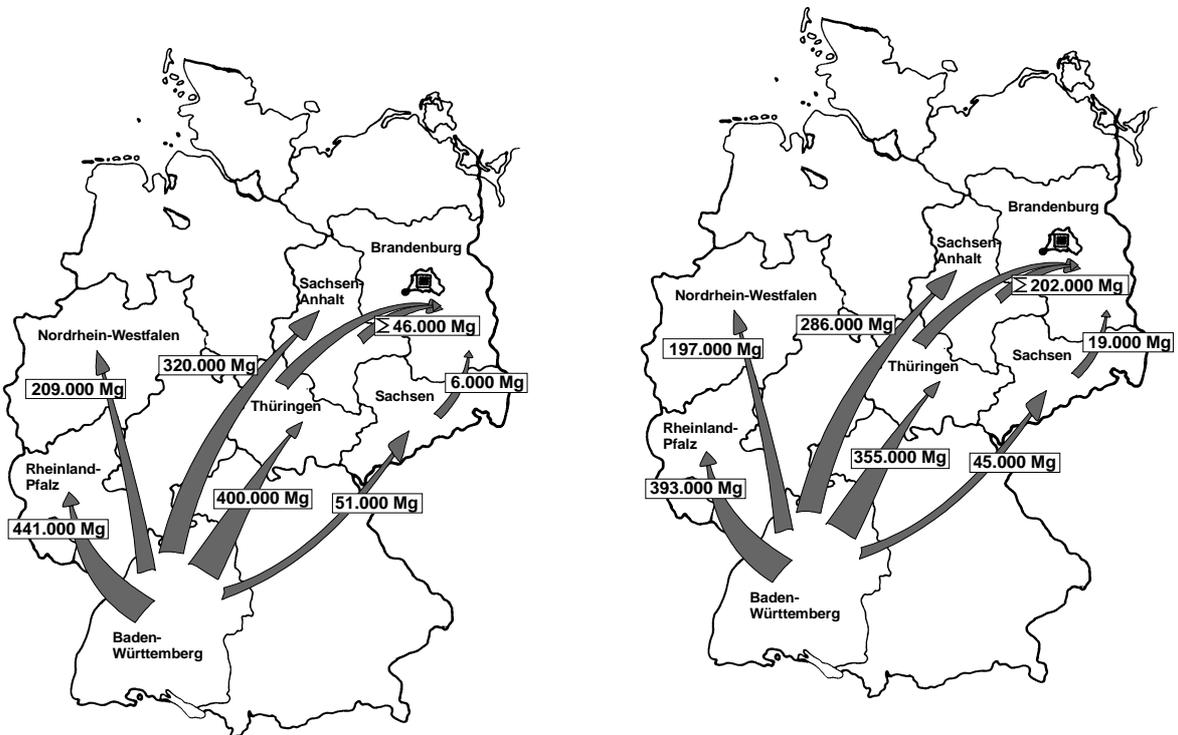
Im Falle des Eintretens des Szenarios 3\* würde sich die Gebührensituation nicht entscheidend gegenüber Szenario 3 verändern. Lediglich für die öRE, die sich für einen Entsorgungsweg für ihren Haus- und Sperrmüll nach Frankreich entscheiden, wäre eine nahezu konstante Gebührenkalkulation wegen der geringeren Entsorgungskosten in Frankreich möglich.

Im Falle des Szenarios 3\*\* bleibt die Gebührensituation gegenüber Szenario 3 unverändert, da sich nur der Anteil der abgeschöpften Fraktion aus den Abfällen, die über die Privatwirtschaft entsorgt werden, verringert.

Betrachtet man nochmals im Rahmen dieser Szenarien die zusätzlichen Ferntransporte für Gewerbeabfälle, ergibt sich folgendes Bild:

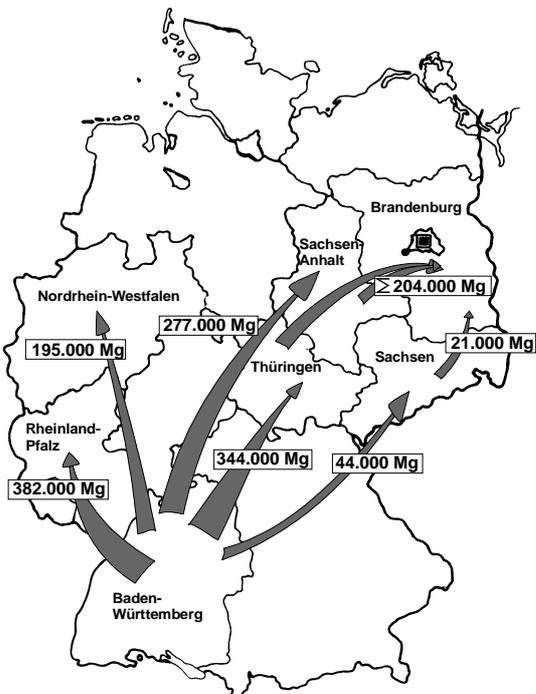
Während in Szenario 3 abermals die Ferntransporte erheblich durch die Umsetzung der Rechtsposition des BMU gegenüber den übrigen Szenarien ansteigen, werden diese Transporte weder durch Inkrafttreten der Abfallablagerungsverordnung noch durch das Auslaufen der Übergangsvorschriften der TASI verringert. Ab dem Jahr 2006 erfolgt jedoch ein erheblicher zusätzlicher Transport zu Kapazitäten der energetischen Verwertung, vor allem nach Brandenburg. Diese Zunahme tritt im Rahmen von Szenario 3\*\* nicht auf, da durch die Lockerung der Abfallablagerungsverordnung auf Drängen verschiedener Interessensgruppen die Notwendigkeit der energetischen Verwertung eines größeren Abfallanteils ab 2005 zur Einhaltung der Ablagerungskriterien nicht mehr besteht. Diese Abfälle gelangen dann auch mit zur Ablagerung vorwiegend in Altdeponien.

Abb. 7: Szenario 3, zu erwartende Ferntransporte hausmüllähnlichen Gewerbeabfalls<sup>+</sup>



Für das Jahr 2002

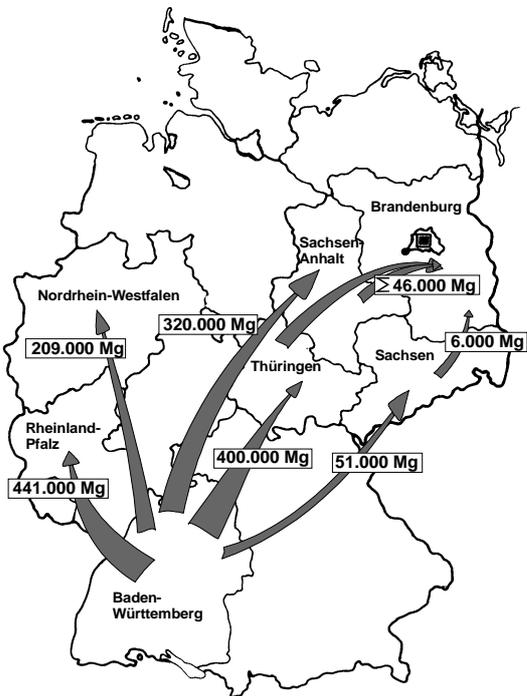
Für das Jahr 2006



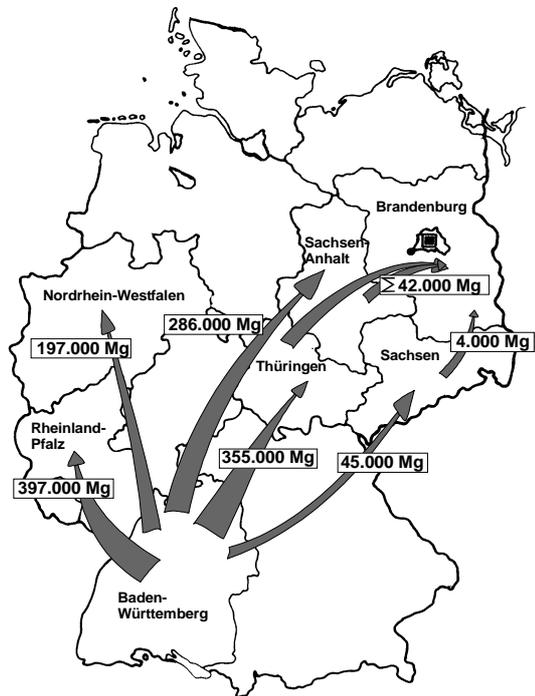
Für das Jahr 2010

<sup>+</sup> = inklusive Baustellenmischabfall und Sortierreste

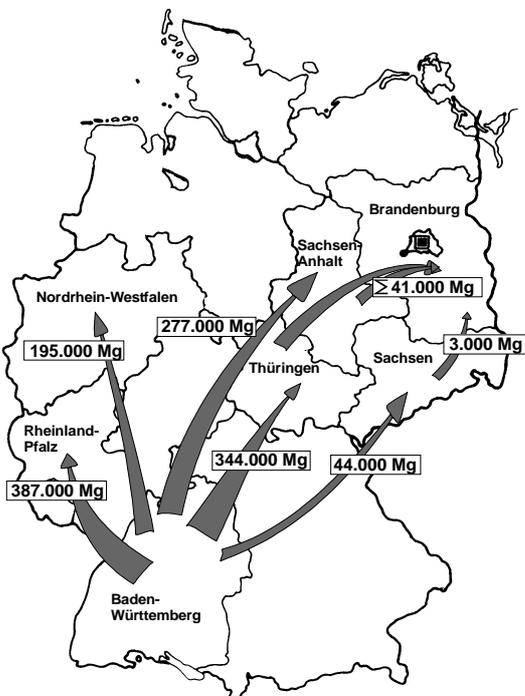
Abb. 8: Szenario 3\*\*, zu erwartende Ferntransporte hausmüllähnlichen Gewerbeabfalls<sup>+</sup>



Für das Jahr 2002



Für das Jahr 2006



Für das Jahr 2010 <sup>+</sup> = inklusive Baustellenmischabfall und Sortierreste

#### **4.6. Zu erwartende Auswirkungen in sonstigen Bereichen der Abfallwirtschaft durch die Umsetzung der Rechtspositionen des BMU**

Weiterhin haben die bisher geäußerten Rechtspositionen des BMU aber auch auf andere Bereiche der Abfallwirtschaft gravierende Auswirkungen.

Beispielsweise werden durch die Ausblendung des Kriteriums Schadstoffgehalt in den Abfällen bei der Abgrenzung von Abfällen zur Verwertung und Abfällen zur Beseitigung künftig die besonders überwachungsbedürftigen Abfälle bis auf wenige heizwertarme Abfälle und Spezialitäten (PCB- und PCT-haltig) gänzlich in der energetischen Verwertung, d. h. in industriellen Produktionsprozessen, eingesetzt werden. Insbesondere hierdurch wird eine Schadstoffverschleppung in die Industrieprozesse hinein gefördert. Weiterhin ist hierbei zu beachten, dass, gemäß den Rechtspositionen des BMU, die besonders überwachungsbedürftigen Abfälle im Ausland in Industrieprozessen sogar ohne Berücksichtigung des in Deutschland gültigen Mindestheizwertkriteriums künftig „energetisch verwertet“ werden dürfen. Dies hätte in letzter Konsequenz unter Betrachtung ökonomischer Aspekte sogar den nahezu vollständigen Export der ansonsten in Deutschland verbliebenen besonders überwachungsbedürftigen Abfälle zur Beseitigung zur Folge. Hierbei spielen natürlich unterschiedliche technische Standards eine Rolle. Zum Beispiel werden Anlagen im benachbarten Ausland noch über Übergangsvorschriften der EU-Gesetzgebung mit Standards, die emissionsseitig der TA Luft vergleichbar sind, betrieben. Ebenso fehlen im Ausland Vorschriften, die zur TA Abfall vergleichbar die Lagerung und das Handling der besonders überwachungsbedürftigen Abfälle im Detail regeln.

## **5. Zu erwartende Umweltauswirkungen durch die Veränderung der Stoffströme in der Abfallwirtschaft bei unterschiedlichen Entwicklungsszenarien**

Dieser Teil der Studie behandelt die Frage, welche ökologischen Auswirkungen mit unterschiedlichen Entwicklungsszenarien verbunden sind. Hierbei wird zunächst ein insgesamtes Stimmungsbild aus dem Erfahrungsbereich der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger geschildert. Hierauf aufbauend werden die wesentlichen Prozesse der jeweiligen Entwicklungsszenarien allgemein abgehandelt. Anschließend werden für diese Entwicklungsszenarien die resultierenden Schadstoffflüsse dargestellt und bewertet.

Eine Zukunftsprognose über unterschiedliche Entwicklungsszenarien ist, methodisch bedingt, mit Unsicherheiten behaftet. Trotz der erforderlichen Genauigkeit bei den Detailrechnungen wird es bei der Ergebnisinterpretation daher erforderlich sein, die signifikanten Unterschiede herauszuarbeiten und die Resultate in ihrer Sensitivität zu bewerten.

### **5.1 Ergebnis einer Umfrage unter den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern in Baden-Württemberg und Ableitung der Arbeitshypothese**

Die Motivlage für die Etablierung einer modernen Abfallwirtschaft in Deutschland war ursprünglich und vorrangig eine ökologische. Die Modernisierung der Abfallwirtschaft war und ist begründet mit Argumenten, die ein höheres Maß an Umweltschutz anvisieren bzw. versprechen.

Gerade die Trennlinie von Abfallbeseitigung zur Abfallverwertung findet ihre ursprüngliche Begründung auf ökologischem Feld. So ist bis heute die Sichtweise des „Müllbürgers“, gleich ob er nun Hausmüll oder Gewerbeabfall produziert. Gerade die Mühen, deren sich der private Haushalt mit einem verschachtelten System an Tonnen, Säcken und Containern unterziehen muss, werden mit Umweltschutzerwartungen gerechtfertigt bzw. verbunden.

Fachlich hatten Umweltschutz und Wissenschaft die Verwertung als Ressourcenschonung positioniert und begründet. Die von der Schadstoffseite her betrachteten problematischen Abfälle bzw. Abfallarten waren in diesem damaligen „Weltbild“ außerhalb der Verwertung angesiedelt. Sie waren, allen voran die sog. Sonderabfälle, der Abfallbeseitigung zugeordnet. Ziel der Abfallbeseitigung war das gezielte Ausschleusen von Schadstoffen aus den Kreisläufen (beispielsweise Schwermetalle). Daher waren Beseitigung und Verwertung streng fachlich keine Alternativen oder Gegensätze, sondern sich gegenseitig ergänzende Notwendigkeiten einer ökologischen Abfallwirtschaft.

Auf der behördlichen Ebene wurden Ende der 80er/Anfang der 90er Jahre Mitarbeiter eingestellt, um die Abfallverwertung auf gewerblicher Ebene anzuschieben. In diesen Arbeitsbereichen der öffentlichen Verwaltungen hat sich in den vergangenen Jahren ein umfassender Erfahrungsschatz über das konkrete ökologische Geschehen der wichtigen Akteure aus Gewerbe und Entsorgungswirtschaft etabliert. Auch hier war das treibende politische Anliegen und die Motivation der Mitarbeiter, ökologische Verbesserungen und ein

Mehr an Umweltschutz durch das „Anchieben“ der Verwertung zu erreichen. Die Schaffung eines geschlossenen Regelwerkes (KrW-/AbfG) mit klarer Priorität auf Abfallverwertung muss in diesem Grundverständnis die konsequente Umsetzung und Unterstützung der eigenen Arbeit gewesen sein.

### 5.1.1 Darstellung der Veranlassung und Vorgehensweise

Eine Umfrage unter baden-württembergischen Abfallbehörden sollte eine „Momentaufnahme“ einfangen, wie nach gut fünfjähriger Erfahrung mit dem neuen Regelwerk die Grundstimmung auf der Ebene der zuständigen Instanzen ist. Weiter sollen die Arbeitsprioritäten erfragt werden. Die Beteiligten wurden zudem zu einer Bewertung der aktuellen Rechtslage aufgerufen. Um die Einschätzungen auch zu belegen bzw. zu unterfüttern, wurden Berichte über typische Einzelfälle, die die aktuelle Vollzugssituation beschreiben, abgefragt.

### 5.1.2 Ergebnisse einer Umfrage

Die folgende Tabelle zeigt die im Rahmen der Umfrage erhaltenen wichtigsten Ergebnisse.

**Tabelle 9: Ergebnis einer Umfrage unter baden-württembergischen Abfallbehörden (Anzahl Proben = 18)**

Frage	Antworten		
	Ja	Nein	Nicht immer
Dient die gegenwärtige abfallwirtschaftliche Situation dem Umweltschutz?	0%	55%	45%
Können Sie konkrete Fallbeispiele nennen, die zeigen, wie sich die aktuelle abfallwirtschaftliche Situation <b>positiv für den Umweltschutz</b> ausgewirkt hat?	27%	73%	-

Zwar wurde auf die Frage, ob durch den neuen Rechtsrahmen auch positive Verwertungsbeispiele zu nennen sind, wenige Einzelfälle benannt, in der Regel dominierten aber die Berichte über viele Negativbeispiele.

Durchgängig wird diese Entwicklung als ökologischer Rückschritt empfunden. Verglichen mit dem eingangs skizzierten Stimmungsbild, das zur Schaffung der neuen Rechtslage geführt hatte, bedeutet dies einen deutlichen Stimmungsumschwung. **Der Verwertungsbegriff ist auf dieser Expertenebene insgesamt nicht mehr ökologisch positiv, sondern zunehmend negativ belegt.**

### 5.1.3 Handlungsbedarf und Arbeitshypothese

Die beschriebenen Fehlentwicklungen werden in der aktuellen politischen Diskussion, je nach Interessenlage, als über- oder untertrieben gewertet. Nimmt man das Stimmungsbild der behördlichen Arbeitsebene ernst, so leitet sich hieraus die Arbeitshypothese ab,

**dass die ursprüngliche Verwertungs-idee als positiver ökologischer Beitrag im Rahmen der heute praktizierten Kreislaufwirtschaft missbraucht wird.**

Allerdings sind Stimmungsbilder noch keine objektive Beschreibung eines Sachstandes. Insbesondere ist festzustellen gewesen, dass die ökologische Kritik an dieser Entwicklung nicht immer sehr spezifiziert ausfällt.

Daher soll im Folgenden untersucht werden, wie unterschiedliche Entwicklungsszenarien unter ökologischem Blickwinkel zu bewerten sind, um die Arbeitshypothese zu prüfen, dass die skizzierte Entwicklung (hausmüllähnliche Gewerbeabfälle (inkl. Sortierreste und Baustellenmischabfälle)) (und ggf. in dieser Weise auch für den Hausmüll zukünftig eintretenden Entwicklungen (Verwertung)) einen ökologischen Rückschritt darstellt.

## 5.2 Angewandte Methoden

Die aufgeworfene Frage kann methodisch in unterschiedlicher Tiefe und Detaillierung bearbeitet werden. Welche Methode wiederum eingesetzt werden soll, hängt natürlich von der zu untersuchenden Fragestellung ab. Abfallwirtschaft unterscheidet sich von der sonstigen Wirtschaft auf dem ökologischen Feld in grundsätzlicher Weise. Abfälle sind in der Regel aufgrund eines gegebenen oder potenziell möglichen hohen Schadstoffgehaltes risikoträchtig. Dies ist der eigentliche Grund, warum an den Verkehr mit und an die Behandlungsprozesse von Abfällen vom Gesetzgeber höhere Sicherheitsanforderungen gestellt werden, als dies in der Regel beim allgemeinen Warenverkehr der Fall ist.

Daher muss eine ökologische Analyse primär eine Risikobetrachtung sein, bei der zu untersuchen ist, wie mit Schadstoffen in/aus Abfällen umgegangen wird.

### 5.2.1 Stoffflussanalyse (SFA)

Im Folgenden soll daher untersucht werden, in welchem Umfang die in definierten Abfällen enthaltenen Schadstoffe (synonym „Stoffe“) über unterschiedliche Prozesse im System Technosphäre verbleiben oder in Zielmedien verteilt werden. Unter Prozesse werden beispielsweise Beseitigungsanlagen wie Deponien oder diverse Verwertungsanlagen wie etwa Sortieranlagen verstanden. Unter Zielmedien werden u.a. die klassischen Umweltmedien verstanden.

Von den eigentlichen Umweltmedien wie Wasser oder Luft werden zusätzlich relevante „Lagerräume“ unterschieden, da hier Schadstoffe auf längere Zeit (Deponien) oder auf Dauer (Senke) von Umweltmedien ferngehalten werden. Eine Zwischenstellung nehmen in

Erzeugnisse eingebrachte Schadstoffe ein, wenn die Erzeugnisse irreversibel in Umweltmedien verteilt werden.

In dieser Studie werden daher die folgenden Zielmedien betrachtet:

- **Luft (Umweltmedium),**
- **Wasser (Umweltmedium),**
- **Boden (Umweltmedium),**
- **Erzeugnis (Umweltmedium),**
- **Deponie (Lagerraum)**
- **Senken (Lagerraum).**

**Luft:** Das Zielmedium Luft ist relevant für alle betrachteten Prozesse einschließlich MBA und Deponien.

**Wasser:** Das Zielmedium Wasser ist relevant für alle nicht abwasserfreien Prozesse wie MBA, Kraftwerke und Deponien.

**Boden:** Die Abfallverwertung im Straßen- und Landschaftsbau wird dem Umweltmedium Boden zugerechnet, ebenso wie die unabgedichteten Deponien.

**Erzeugnis:** Hierunter werden Erzeugnisse wie Klinker/Zement aus Zementwerken oder REA-Gips aus Kraftwerken verstanden. Für die Stoffflussanalyse sind die Erzeugnisse von Bedeutung, die im Rahmen der Nutzung oder postkonsum irreversibel in Umweltmedien wie Boden oder Wasser verteilt werden. Erzeugnisse, die wieder in die Produktion zurückgeführt werden (z. B. NE-Metalle für das stoffliche Recycling), bleiben hingegen innerhalb der Systemgrenzen der Technosphäre (s.u.).

**Deponie:** Unter Deponie wird lediglich die entsprechend TASI ausgestattete gekapselte Deponie (Dichtung, Sickerwasserfassung und Reinigung) verstanden (inkl. Vorbehandlung nach TASI entsprechend TASI-Fristen).

**Senken:** Als Senke wird zum einen die Untertagedeponie eingestuft. Zum anderen wird für organische Stoffe die Mineralisierung als Senke betrachtet.

Betrachtet werden die Schadstoffflüsse in wahrscheinlichen Entwicklungsszenarien (**Szenarien**, s.u.) und dies jeweils für die Jahre **2002**, **2006** und **2010**. Betrachtungsraum ist die **Bundesrepublik Deutschland**. Im- und Exporte von Abfällen werden aus Vereinfachungsgründen als für das Gesamtergebnis ausgeglichen angenommen (Import = Export) und daher außer Betrachtung gesetzt.

Methodisch bietet sich für diese Betrachtung die sog. Stoffflussanalyse (SFA) an. Die Stoffflussanalyse ist eine in der Wissenschaft etablierte Methode der abfallwirtschaftlichen Bewertung. An dieser Stelle sei verwiesen auf die Arbeiten in der Schweiz Anfang der 90er Jahre (Prof. Baccini [BACCINI, BRUNNER, 1991]), auf die Arbeiten in Österreich (Arbeitsgruppe von Prof. Brunner [FEHRINGER ET AL., 1997]) und von Rechberger

[RECHBERGER, 1999]. Die dort verwendete Nomenklatur wird auch hier verwendet (nach [RECHBERGER, 1999]):

- Unter einem **Prozess** wird eine Abfallbehandlungsanlage verstanden.
- Ein **System** besteht aus einer Kombination solcher Prozesse einschließlich der räumlichen und zeitlichen Systemgrenzen.
- Die **Inputgüter** von Prozessen sind Abfälle, eventuell mineralische Güter wie z. B. Kalkstein, ggf. Regelbrennstoffe, eventuell Verbrennungsluft oder sonstige Betriebsmittel.
- Die **Zielmedien (auch Outputgüter)** von Prozessen sind Umweltmedien, Erzeugnisse und ggf. Lagerräume.

Ein **Stoff** (für diese Untersuchung synonym mit Schadstoff) im Sinne dieser Nomenklatur besteht aus Elementen (Quecksilber, Cadmium) oder Verbindungen (HCl). Der Transferkoeffizient (synonym: Transferfaktor, TF) eines Stoffes in ein Outputgut ist der Quotient aus dem Stofffluss im betreffenden Zielmedium und jenem im Abfallinput. Die SFA kann für statische und dynamische Prozesse eingesetzt werden. Für die hier betrachteten Prozesse gelten die Transferkoeffizienten und Stoffverteilungen in einem gegebenen Fenster als konstant.

Vorteil der Stoffflussanalyse für die Praxis ist es, Einsatz und Verbleib von Stoffen in einem Prozess eindeutig beschreiben zu können. So **muss** die SFA zu eindeutigen Zahlenwerten führen, wenn die Datenlage belastbar ist.

Mit Hilfe der SFA sind unterschiedliche Anwendungsbereiche gegeben bzw. möglich.

**Im vorliegenden Fall wird die SFA dazu eingesetzt, auf der Basis typischer Technikkonzepte und bekannter Kennzahlen für Anlagen (Prozesse) die Schadstoffflüsse für unterschiedliche Abfallarten (aus Baden-Württemberg) in Entwicklungs- bzw. Entsorgungsszenarien zu berechnen.**

Die folgende Abbildung zeigt schematisch die Struktur der Untersuchung inkl. der betrachteten Systemgrenzen. Es wird deutlich, dass die Abfallströme bzw. Stoffflüsse nicht auf Baden-Württemberg zu beschränken sind. Selbst Wechselwirkungen mit benachbarten Nationalstaaten sind einzubeziehen.

Es gelten weiterhin folgende Abschneidekriterien:

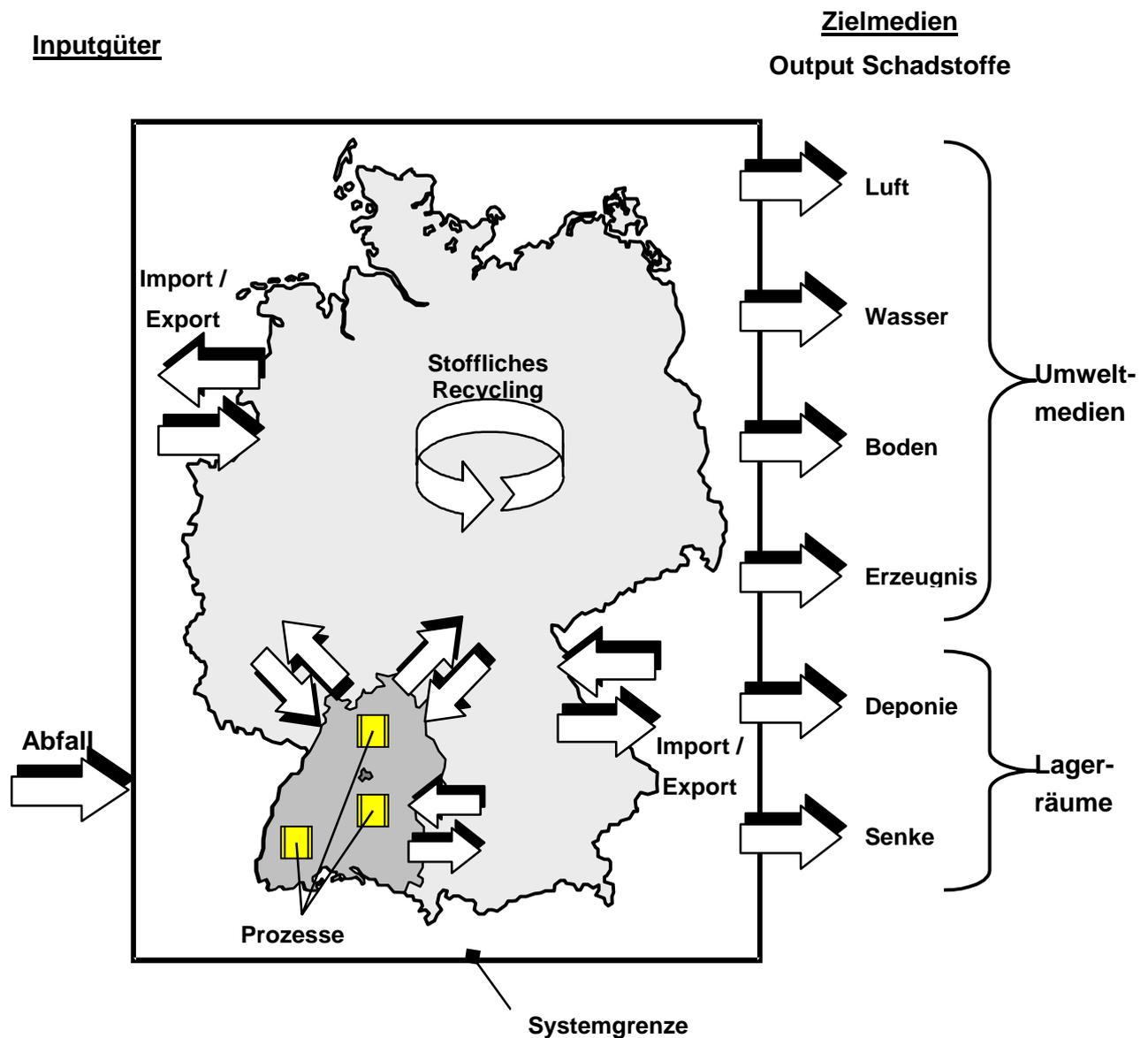
- Stoffflüsse aus Hilfsmitteln für die Abfallbehandlung, die als Abfälle anfallen oder wieder zur Produktion aufgearbeitet werden

sowie

- Stoffflüsse aus der Aufbereitung von Abfällen, die mit dem Ziel der weiteren Verwertung dieser Fraktion abgetrennt werden (z.B. Metallschrott)

bleiben als „vernachlässigbare“ Fraktionen unberücksichtigt.

Abb. 9: Stoffflussanalyse unterschiedlicher abfallwirtschaftlicher Szenarien



### 5.2.2 Ökologische Bewertung

Die Stoffflussanalyse liefert in dem hier gewählten Anwendungsfall Erkenntnisse, welche Schadstofffrachten im jeweiligen Entwicklungsszenario in welches Umweltmedium eingetragen werden. Eine Sensitivitätsanalyse soll helfen, die „Robustheit“ der erhaltenen Ergebnisse beurteilen zu können. Die Bewertung dieser Einträge soll verbal-argumentativ und vergleichend erfolgen.

### 5.3 Darstellung des Schadstoffpotenzials der zu betrachtenden Abfälle

Als Inputgröße für die Berechnungen ist entscheidend, welche Schadstoffpotenziale die jeweils zu betrachtende Abfallart aufweist. In diesem Zusammenhang ist festzulegen, welche Schadstoffe für die durchzuführende ökologische Analyse von Bedeutung sind. Diese Entscheidung hängt maßgeblich von den zu betrachtenden Prozessen ab. So spielen organische Schadstoffe für den Prozess „thermische Anlage“ gemeinhin eine geringe Rolle. Dies ist anders, wenn Deponien oder biologische Behandlungsverfahren betrachtet werden. Um alle relevanten Prozesse abzudecken, werden im Folgenden sowohl **organische** als auch **anorganische** Schadstoffe betrachtet. Als anorganische Schadstoffe sind insbesondere Schwermetalle von Bedeutung. Weiter sind die Elemente Chlor und Schwefel von Relevanz. Bei den organischen Schadstoffen sind flüchtige Stoffe, die in das Umweltmedium Atmosphäre/Luft verlagert werden, von den wasserlöslichen Stoffen zu unterscheiden. Letztere werden in das Umweltmedium Grund- bzw. Oberflächenwasser verlagert. Schließlich sind Schadstoffe zu betrachten, die in einem Prozess neu gebildet werden (de novo-Synthese). Als Siedlungsabfälle werden die beiden Gruppen Hausmüll und hausmüllähnlicher Gewerbeabfall (inkl. Sortierreste und Baustellenmischabfälle) betrachtet. Weiter werden ergänzend drei besonders überwachungsbedürftige Abfälle in einem separaten Entwicklungsszenario betrachtet.

#### 5.3.1 Hausmüll

Hausmüll stellt ein relativ heterogenes Abfallgemisch dar. Bei der Datenerhebung des Schadstoffgehaltes von Hausmüll ist dieser Aspekt als Problem anzusprechen.

##### 5.3.1.1 Anorganische Schadstoffe

Es ist bereits nicht ganz einfach, eine repräsentative Probe für eine labortechnische Schadstoffanalyse von Hausmüll zu ziehen. Hinzu kommt, dass Analysengeräte und Messverfahren Anforderungen stellen, die die Analysenergebnisse verfälschen. So ist es üblich, bei Hausmüllanalysen vorab die Metallteile aus der Probe herauszusortieren, weil ansonsten das Zerkleinerungsaggregat Schaden nimmt. Derartige Analysen können für die hier durchzuführende Stoffflussanalyse natürlich nicht verwendet werden, da gerade die Metallfraktion ein wesentlicher Schwermetallträger ist.

Belastbare Ergebnisse werden durch das Analysieren großer Probemengen erzielt. Hier sind Untersuchungen von BRUNNER ET AL. anzusprechen, in denen die Belastung von Restabfall über die Outputstoffflüsse von MVAs bestimmt wurde. Allerdings ist dies nur für einen Ausschnitt der relevanten Schwermetalle durchgeführt worden (Cd, Hg, Pb, Cu) [SCHACHERMAYER ET AL., 1995], [BRUNNER ET AL., 1997]. Ergänzend werden Daten aus verschiedenen deutschen Quellen herangezogen [MURL NRW, 2000]. Die folgende Tabelle zeigt die Basisdaten, die wir für die Modellierung der Schadstoffbelastung von Hausmüll (= Restmüll) herangezogen haben. Für die durchzuführende Stoffflussanalyse sind die Mittelwerte von Bedeutung, da die Verlagerungen der Schadstofffrachten in den jeweiligen Entwicklungsszenarien untersucht werden sollen.

**Tabelle 10: Ableitung Modell-Restabfall (FS = Frischsubstanz)**

Parameter nach 17. BImSchV, § 5 Abs. 1	Restabfall, MHKW Bamberg, MW, mg/Mg FS [REIMANN 1997]	AWISTA: Hausmüll 1996/97 (MW, n = 91) mg/Mg FS [AWISTA, 1998]	TAUW/TUHH: Restmüll, angeliefert an 4 deutschen MVAs und 1 MBA, 1995/96; mg/Mg FS [EL DAWI ET AL., 1997]					Rest-Siedlungsabfall, Doedens, ISAH, 1997; MW; mg/Mg FS [DOEDENS, 1997]	Öko-Institut: Schadstoffgehalte im Restmüll einschl. LVP gelber Sack, mg/Mg FS [GEBHARDT, 1999]	Restabfall, mittlere Konz. MVA Spittlau, auf mg/Mg FS umger. [SCHACHER-MAYER ET AL., 1995]	Restabfall, mittlere Konz. Verbrennungsanlage MVA Wels, mg/Mg FS [BRUNNER 1997]	Modellierung: Mittelwert gerundet; kursiv: Mittelwerte Spittlau / Wels
Cl	7.284.000	8.500.000					7.500.000	4.128.090	5.250.000	12.218.000	<b>8.734.000</b>	
F	259.000						150.000		1.190.000	53.900	<b>622.000</b>	
S	4.226.000	1.800.000					1.500.000	1.177.630	2.450.000	4.156.000	<b>3.303.000</b>	
Cadmium	9.290	500	4.760	1.870	2.990	3.510	2.930	5.000	3.780	6.300	10.700	<b>8.500</b>
Thallium	< 70											<b>70</b>
Quecksilber	1.840	340	190	220	180	180	200	3.000	960	1.750	1.890	<b>1.800</b>
Antimon	37.900											<b>38.000</b>
Arsen	1.600	1.390	6.100	8.890	5.710	6.130	7.070	3.000	8.000			<b>5.300</b>
Blei	592.000	56.280	30.760	38.100	26.940	30.790	31.680	450.000	192.760	420.000	398.000	<b>409.000</b>
Chrom	70.900	51.120	26.190	24.300	25.250	19.520	27.770	100.000	76.180			<b>47.000</b>
Kobalt	< 4.900											<b>4.900</b>
Kupfer	704.000	641.190	70.870	102.300	55.150	75.750	70.530	800.000		308.000	588.000	<b>448.000</b>
Mangan	346.000											<b>350.000</b>
Nickel	38.900	30.850	7.670	9.990	7.020	7.540	8.330	50.000	38.640			<b>22.000</b>
Vanadium	< 6.100											<b>6.100</b>
Zinn	110.000											<b>110.000</b>
Hu												<b>9.500</b>

Bezüglich des für die Berechnung heranzuziehenden Heizwertes ergeben sich widersprüchliche Daten. Während die Universität Tübingen [KRAUSS ET AL., 1999] für Baden-Württemberg (6 Landkreise) für Roh-Hausmüll Heizwerte (Hu) im Bereich von 5.200–7.200 MJ/Mg ermittelt hat, zeigen die Berichte beispielsweise der Betreiber von Müllverbrennungsanlagen und MBA, dass die Heizwerte des Hausmülls in anderen Regionen eher steigen (z.T. auf Werte >10.000 MJ/Mg). Diese Diskrepanzen dürften auf ein vorbildliches Verwertungsverhalten in den von der Universität Tübingen untersuchten Landkreisen zu erklären sein. Für unsere Berechnungen haben wir einen Heizwert angenommen, wie er für typische städtisch strukturierte Gebiete in Deutschland gefunden wird (9.500 MJ/Mg).

### 5.3.1.2 Organische Schadstoffe

Im Hausmüll sind eine Vielzahl organischer Schadstoffe in stark schwankenden Konzentrationen enthalten. **Da dieses Thema unserer Erfahrung nach gerade in der ökologischen Diskussion häufig unterbewertet wird, haben wir im Folgenden einige Belege zusammengetragen, die zeigen, welche Quellen und welches Potenzial an organischen Schadstoffen im Hausmüll enthalten sind** [LAHL ET AL., 1998]. Die Auswertung der folgenden detaillierten Datenzusammenstellung erfolgt in Abschnitt 5.3.1.3.

#### 5.3.1.2.1 Quellen des Schadstoffpotenzials

Die folgenden Ausführungen sollen daher verdeutlichen, aus welchen wichtigen Quellen sich dieses Schadstoffpotenzial speist. Zunächst werden flüchtige Schadstoffe betrachtet, die das Potenzial für einen Übergang in die Atmosphäre darstellen; anschließend werden exemplarisch Schadstoffquellen angesprochen, die für die Verlagerung in den Wasserpfad von Bedeutung sind.

In der folgenden Tabelle wird eine relativ grobe Klassifizierung von Flüchtigkeitsbereichen, die für die Analyse des Vielstoffgemisches Restabfall bedeutsam sind, vorgenommen.

**Tabelle 11: Grobe Klassifizierung von Flüchtigkeitsbereichen für die Analyse des Vielstoffgemisches Restabfall (Bp. = boiling point, Siedepunkt)**

	sehr stark flüchtig	Stark flüchtig	flüchtig	schwer flüchtig
Siedepunkt	$\leq 25^{\circ}\text{C}$	$> 25 - < 80^{\circ}\text{C}$	$80 - 260^{\circ}\text{C}$	$> 260^{\circ}\text{C}$
Temperaturbereich	Bp. unter der Umgebungstemperatur	Bp. Im Bereich der Temperaturerhöhung durch Behandlung	Bp. oberhalb der Behandlungstemperatur	

Dabei kann die Angabe des Siedepunktes nur eine erste grobe Annäherung sein, da das Verlagerungsverhalten der Einzelsubstanzen vom exakten Kurvenverlauf des Dampfdruckes gegenüber der Temperatur bestimmt wird, wobei diese Kurven letztlich substanzspezifisch sind.

Die **sehr stark flüchtigen Substanzen** scheinen auf den ersten Blick für das Emissionsverhalten von Restabfall nicht relevant zu sein, da eine Verlagerung bereits **vor** dessen Behandlung stattgefunden haben wird. Diese Verlagerung kann beim primären Entsorgungsvorgang (Mülltonne) oder im Rahmen der Einsammlung und des Transportes (mehrere Kipp- und Mischvorgänge) stattgefunden haben. Wahrscheinlicher ist, dass die Verflüchtigung von Stoffen, die bereits bei Raumtemperatur siedend, noch **vor** der Entsorgung im Rahmen der Produktnutzung durch den Konsumenten stattfinden. Eine Ausnahme dürften die sehr stark flüchtigen Stoffe bilden, die in einer Produktmatrix eingeschlossen sind. Hier stellen die in Schaumstoffen eingeschlossenen Treibmittel ein gutes Beispiel dar (s.u.).

Die **stark flüchtigen Substanzen** dürften ebenfalls anteilig im Verlauf von Entsorgung bzw. Einsammlung und Transport entweichen. Die verbleibenden Restmengen dürften hauptsächlich im Rahmen der nachgeschalteten Behandlungs- und Entsorgungsvorgänge freigesetzt werden.

Die **flüchtigen Substanzen** werden – in Abhängigkeit ihrer jeweiligen Dampfdruckkurve – anteilig entsprechend der gewählten Prozesse freigesetzt.

Für **schwer flüchtige Substanzen** ist eine Verlagerung in den Dampfraum zumeist nur von geringer Bedeutung bzw. findet nicht statt. Für die Emissionsbetrachtung (Frachten) spielen diese Stoffe in der Regel keine große Rolle. Sie sind gegebenenfalls als sogenannte precursor-Substanzen für flüchtige Metabolite, für die Elution über den Wasserpfad oder auch als Bestandteile des emittierten Staubes von Bedeutung. So können z. B. schwer flüchtige Schwermetalle in der Abluft einer MBA gemessen werden, allerdings hauptsächlich nur partikelgebunden.

#### **5.3.1.2.1.1 FCKW und andere sehr stark flüchtige organische Stoffe**

FCKW wurden in der Vergangenheit in großem Umfang (> 20.000 Mg/a) im Bereich der Schaumstoffherstellung als Treibgas eingesetzt. Man unterscheidet offen- und geschlossenzellige Schaumstoffe. Bei letzteren sind die Zellen mit Luft oder mit dem Treibmittel gefüllt. Dieses wird erst freigesetzt, wenn die Zellstruktur zerstört wird, wie z. B. bei mechanischer Zerkleinerung (in einer MBA bzw. in einem Shredder).

Das Potenzial an FCKW-Schäumen, welches gegenwärtig aus Altmaterialien in die Abfallbehandlung eintritt bzw. demnächst eintreten wird, ist schwer abzuschätzen. Auch bei weitgehendem Verzicht auf die FCKW-Verwendung sind noch über Jahrzehnte aus den Produkten mit längerer Lebensdauer (Sperrmüll: Möbel und im Gewerbeabfall, s.o.: Baumaterialien, Geräte) anteilige Einträge in die Abfallwirtschaft zu erwarten. FCKW wurden insbesondere für die Herstellung verschiedener Schaumstoffe eingesetzt (vgl. Tabelle 12).

Untersuchungen von Restabfallchargen auf sehr stark flüchtige Einzelstoffe wurden bisher nur in geringem Umfang durchgeführt. Sie konzentrieren sich insbesondere auf die Substanzklasse der FCKW. Tabelle 13 zeigt Analysenergebnisse für sehr stark flüchtige FCKW in Restabfällen.

**Tabelle 12: FCKW-Treibmittel zur Herstellung von Schaumstoffen (Angaben für 1986) [PLEHN, 1989]**

Schaumtyp	Produktionsmenge	FCKW-Verbrauch
PUR-Weichschaum	128.000 Mg	3.500 Mg
PUR-Hartschaum	63.000 Mg	8.000 Mg
sonstige PUR-Schäume (Montage, ...)	65.000 Mg	5.500 Mg
Trennmittel für PUR-Schäume	-	2.000 Mg
Extrudierter Polystyrolschaum (XPS)	27.000 Mg	4.000 Mg
PS-Schaum für Verpackungen	5.000 Mg	500 Mg
PE-Schaum	7.500 Mg	500 Mg
Summe	295.000 Mg	24.000 Mg

**Tabelle 13: FCKW im (Rest)Abfall; sehr stark flüchtige Stoffe [REINHARDT, JAGER, 1996]**

	Substanz	Bp.	Konzentrationsbereich
R11	Trichlorfluormethan	+ 23,7°C	1 - 10.790 mg/Mg TS
R12	Dichlordifluormethan	-29,8°C	6 - 220 mg/Mg TS
R 21	Dichlorfluormethan	8,9°C	2 - 80 mg/Mg TS
R 22	Chlordifluormethan	- 40,8°C	n.n. - 890 mg/Mg TS
VC	Vinylchlorid	- 13,8°C	n.n. - 400 mg/Mg TS

Für die Zukunft ist mit einem Anstieg der teilhalogenierten FCKW/FKW zu rechnen, da diese in vielen Einsatzbereichen die vollhalogenierten Vertreter ersetzen. Diese Substitution ist die Folge der bekannten politischen Entscheidungen und Beschlüsse zum Schutz der Ozon-schicht. Allerdings wird der von der deutschen Bundesregierung verkündete freiwillige Ver-zicht auf FCKW für 1995 bei der 4. Vertragsstaatenkonferenz des Montrealer Protokolls nach Ansicht des Sachverständigenrates für Umweltfragen [SRU, 1996] bewirken, dass es zum Einsatz chemisch verwandter Ersatzstoffe kommt, die zwar ein geringeres Ozonerstörungs-potenzial, aber ein ähnliches Treibhauspotenzial haben, darunter vorwiegend teilhalogenierte FCKW und teilfluorierte FKW. Aus diesem Grund kann auch für die Zukunft das Thema „sehr stark flüchtige Schadstoffe“ für die Abfallwirtschaft nicht als entschärft angesehen werden.

So werden PU-Montageschäume im Heimwerkerbereich eingesetzt, die Fluorkohlenwasser-stoffe als Treibmittel enthalten (z. B. R134a, R125). Bei der Verwendung dieser Produkte werden sofort ca. 50% der Treibgase emittiert und der Rest diffundiert über die Jahre heraus. Der Restgehalt in den Dosen wird mit rund 10% angegeben und wird über den Restabfall entsorgt [WERENSKIOLD, UNTERBERGER, 2000].

### 5.3.1.2.1.2 CKW und andere stark flüchtige organische Stoffe

Die Siedepunkte der verschiedenen CKW verteilen sich über einen breiten Bereich. Sie finden sich nicht nur in der Gruppe der sehr stark und stark flüchtigen, sondern auch der flüchtigen und schwer flüchtigen Schadstoffe. Zudem bestehen Überschneidungen zu separat ausgewiesenen Gruppen von Schadstoffen wie Chloraromaten und Pestizide.

Unter den CKW werden auch die Brom-Chlor-substituierten Verbindungen mit erfasst, nicht aber die Fluor-Chlor- oder nur Fluor-substituierten Kohlenwasserstoffe; letztere sind als FCKW/FKW (siehe oben) zusammengefasst. Bei den sehr stark flüchtigen CKW stehen die chlorierten Lösemittel im Vordergrund des Interesses, da sie zum einen toxikologisch und ökotoxikologisch kritisch gesehen werden, zum anderen aber auch biologisch und physikalisch relativ stabil sind.

Zu den sehr stark flüchtigen CKW zählen Chlormethan (Methylchlorid) und Chlorethan (Ethylchlorid). Bei ihnen ist aufgrund ihres jeweiligen Anwendungsspektrums (Methylchlorid: Herstellung von Organochlorsilanen und Siliconen; Ethylchlorid: Herstellung von Ethylcellulose/Lackrohstoff) nicht mit einem nennenswerten Eintrag in den Hausmüll zu rechnen.

Zu den stark flüchtigen Substanzen, die im Abfall zu erwarten sind, zählen die in Tabelle 14 aufgeführten Chemikalien. Sie liefert Hinweise, auf welche Stoffe ein Restabfall zu prüfen wäre.

**Tabelle 14: Stark flüchtige Stoffe, Siedepunkt > 25°C - 80°C**

Substanz	Siedepunkt	Substanz	Siedepunkt
<b>FCKW/FKW</b>		<b>Kohlenwasserstoffe</b>	
R 143a (F <sub>3</sub> C-CH <sub>3</sub> )	47,6°C	Diethylether	35°C
R113 (Cl <sub>2</sub> FC-CCIF <sub>2</sub> )	47,7°C	n-Pentan	36°C
<b>CKW</b>		Ameisensäureethylester	54°C
Methylenchlorid	40°C	Aceton	56°C
trans-1,2-Dichlorethen	47,5°C	Essigsäuremethylester	57°C
cis-1,2-Dichlorethen	60,3°C	Methanol	65°C
Chloroform	61°C	Tetrahydrofuran	66°C
1,1,1-Trichlorethan	74,1°C	Di-iso-propylether	68°C
Tetrachlorkohlenstoff	76,5°C	n-Hexan	69°C
<b>Isocyanate</b>		Hexanon (= 1-Butylmethylketon)	71°C
Methylisocyanat	59,6°C	Essigsäureethylester	77°C
Ethylisocyanat	60°C	Ethanol	78°C
		Butanon-2 (= Methylethylketon)	80°C

Von den CKW, deren Siedepunkt zwischen 25 und  $< 80^{\circ}\text{C}$  liegt, haben in der Vergangenheit nur Dichlormethan und 1,1,1-Trichlorethan eine gewichtige Rolle gespielt.

**Methylenchlorid** (Dichlormethan) ist ein organisches Lösemittel, das im gewerblichen Bereich zur Entfettung und als Treibgas für PUR-Schaum, im Endverbraucherbereich zudem als Abbeizer, Verdünner und Pinselreiniger sowie als Spraydosentreibmittel verwendet wurde [FRENTZEL-BEYME, DOMIZLAFF, 1995]. Aufgrund einer freiwilligen Vereinbarung der Chemischen Industrie wird Dichlormethan seit langem nicht mehr in Aerosolen eingesetzt. Wegen seiner Einstufung als krebserregend (Abschnitt III B der deutschen MAK-Werteliste) ist es in den relevanten gewerblichen Einsatzbereichen durch andere Stoffe ersetzt worden. In Publikumsprodukten ist sein Einsatz nicht verboten, sondern unterliegt nur der Kennzeichnungspflicht. Für 1992 werden für Deutschland 2.000 Mg (Frischware) als Produktkomponente in Klebstoffen, Abbeizmitteln usw. sowie weitere 6.000 Mg (Regenerat) für die Produktion von Abbeizmitteln angegeben [NOLTE, JOAS, 1995]. Aktuellere Zahlen liegen nicht vor.

**Tabelle 15: Produktionsdaten ausgewählter CKW-Lösemittel im Siedebereich  $< 25$  bis  $80^{\circ}\text{C}$  für Deutschland (diverse Quellen, u.a. [NOLTE, JOAS, 1992])**

CKW	Produktion (Jahr)	CKW	Produktion (Jahr)
Methylenchlorid (Dichlormethan)	68.000 Mg (1992)	Tetrachlorkohlenstoff (Tetrachlormethan)	102.000 Mg (1992) heute: keine gezielte Herstellung mehr
1,1,1-Trichlorethan	38.500 Mg (1989)	cis-1,2-Dichlorethen	Zwischenprodukt
Chloroform	52.000 Mg (1992)	trans-1,2-Dichlorethen	Zwischenprodukt

**1,1,1-Trichlorethan** wurde im gewerblichen Bereich überwiegend zur Metallreinigung und Kaltreinigung, daneben auch als Lösemittel in der Textil- und Elektronikindustrie, im Endverbraucherbereich als Aerosol in Spraydosen, in Schreibmaschinen-Korrekturflüssigkeiten („Tipp-Ex“) sowie in Fleckentfernern und Imprägniermitteln für Textilien [VELVART, 1984] eingesetzt. In Deutschland darf 1,1,1-Trichlorethan (nach GefahrstoffV und ChemVerbotsV) oberhalb einer Konzentration von 0,1% (Masse) nur noch in Produkten für den gewerblichen Verwender in den Verkehr gebracht werden.

**Chloroform** (Trichlormethan) wird heute praktisch nicht mehr eingesetzt; es darf (nach GefahrstoffV und ChemVerbotsV) in Deutschland oberhalb von 0,1% (Masse) nur noch in Produkten für den gewerblichen Verwender in den Verkehr gebracht werden. Sein Auftreten in der Umwelt ist heute vornehmlich auf den umweltoffenen Einsatz von Chlor (z. B. Bade- und Trinkwasserchlorung, Einsatz von Aktivchlor usw.) sowie auf den physikalischen Abbau von Tetrachlorkohlenstoff zurückzuführen.

**Tetrachlorkohlenstoff** (Tetrachlormethan, Tetra) wurde bis 1992 in Deutschland in der Größenordnung von 100.000 Mg/a hergestellt. Es diente fast ausschließlich als Grundbaustein für die Synthese von R11/R12 und wurde nur in geringen Mengen direkt als Lösemittel

eingesetzt (1 - 2% der Produktion). Da Tetra bei der Chlorolyse zwangsweise als Koppelprodukt anfällt, ist ein Export in Länder ohne entsprechende Beschränkungen (s.u.) nicht auszuschließen, so dass auch ein Rückimport möglich erscheint. In Deutschland darf Tetra oberhalb einer Konzentration von 0,1% (Masse) nur noch in Produkten für den gewerblichen Verwender und darüber hinaus nur in geschlossenen Anlagen eingesetzt werden (GefahrstoffV und ChemVerbotsV).

Die wichtigsten Einsatzbereiche der stark flüchtigen Kohlenwasserstoffe sind nachstehend zusammengestellt.

**Tabelle 16: Einsatzbereiche stark flüchtiger Kohlenwasserstoffe**

<b>Butanon-2</b> (= Methyläthylketon)	Lösemittel für Öle, Fette, Wachse und Pigmente sowie natürliche und synthetische Harze (vor allem Vinylpolymere) sowie acrylische Beschichtungen; Herstellung von Farben und Lacken; Verwendung in Zelluloid-, Gummi- und Kunstlederherstellung; Einsatz bei Metallreinigung, Entfettung, Entwachsung; in Hydraulikflüssigkeiten
<b>Hexanon</b> (= 1-Butylmethylketon)	Kleber, Kitte, Farblösungen für Möbel-, Schuhindustrie, Druckereien, Kunststoffverarbeitung
<b>Hexan</b>	Einsatz in Klebern

Untersuchungen von Restabfällen auf stark flüchtige Einzelstoffe wurden nur im geringem Umfang durchgeführt. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

**Tabelle 17: Stark flüchtige Stoffe, Siedepunkt > 25°C bis < 80°C, in Restabfällen [REINHARDT, JAGER, 1996]**

Substanz	Bp.	Konzentrationsbereich
<b>FCKW</b>		
R113 (1,1,2-Trichlortrifluorethan)	+ 47,7°C	5 - 240 mg/Mg TS
<b>CKW</b>		
Methylenchlorid	40°C	6- 2.680 mg/Mg TS
cis-1,2-Dichlorethen	60,3°C	n.n. - 4.990 mg/Mg TS
Chloroform	61°C	1 - 70 mg/Mg TS
1,1,1-Trichlorethan	74,1°C	8 - 3.650 mg/Mg TS
<b>Aliphatische KW</b>		
n-Hexan	69°C	15 - 224 mg/Mg TS

Auch für diese Stoffgruppe wurde insgesamt ebenfalls eine hohe Schwankungsbreite der Konzentrationen im Restabfall festgestellt (s.o.).

### 5.3.1.2.1.3 Aromaten und andere leicht flüchtige organische Stoffe

Zu den **flüchtigen Stoffen**, die als Abfallinput relevant sind, gehören eine große Anzahl von Einzelverbindungen. Die folgende Tabelle zeigt eine Auswahl dieser Stoffe, die als Produkt oder Produktbeimengung eine Rolle spielen. Insbesondere bei den Terpenen sei auf die Freisetzung im Rahmen natürlicher Abbauprozesse hingewiesen.

**Tabelle 18: Flüchtige Stoffe, Siedepunkt  $\geq$  80°C - 260°C**

Substanz	Siedepunkt	Substanz	Siedepunkt
<b>aromatische KW</b>		<b>FCKW</b>	
Benzol	80,1°C	R112 (Cl <sub>2</sub> FC-CCl <sub>2</sub> F)	92°C
Toluol	111°C	<b>CKW</b>	
Ethylbenzol	136°C	Trichlorethen (TRI)	87°C
m/p-Xylol	139°C	Bromdichlormethan	90°C
o-Xylol	144°C	Dibromchlormethan	119°C
Styrol	145°C	Tetrachlorethen (PER)	121°C
Phenol	182°C	Tribrommethan	150°C
		Hexachlorethan	187°C
<b>Chloraromaten</b>		<b>andere KW</b>	
Monochlorbenzol	132°C	Cyclohexan	81°C
Bromophos	141°C	2-Methyl-1-propanol	82°C
2,4-D	160°C	2,3-Dimethylpentan	90°C
Chlorphenole	164 - 246°C	2-Methylhexan	90°C
Dichlorbenzol	173°C	1-Propanol	97°C
1,2,4-Trichlorbenzol	214°C	n-Heptan	98°C
4-Chloranilin	232°C	Methylcyclohexan	101°C
DDT	260°C	2-Pentanon	102°C
<b>Pestizide</b>		Ethylcyclopentan	104°C
Dichlorvos	84°C	3-Methylheptan	115°C
1,3-Dichlorpropen	104 - 114°C	1-Butanol	117°C
Dimethoat	117°C	Essigsäure	118°C
<b>Terpene</b>		2-Methylheptan	118°C
Citronellol	103°C	2-Penten-2-on	122°C
Citral	118°C	Methoxyethanol	125°C
Terpinolen	121°C	1,2-Dimethylcyclohexan	130°C
$\alpha$ -Pinen	156°C	n-Hexan	130°C

Substanz	Siedepunkt	Substanz	Siedepunkt
$\beta$ -Pinen	164°C	Propylcyclopentan	131°C
Camphen	160°C	Ethoxyethanol	135°C
$\delta$ -3-Caren	167°C	n-Nonan	136°C
Myrcen	167°C	Trimethylcyclohexan	140°C
$\beta$ -Phellandren	173°C	2-Methyloktan	143°C
1,8-Cineol	174°C	3-Methyloktan	143°C
$\alpha$ -Terpinen	174°C	isom. Nonan	151°C
p-Cymol	177°C	Propylcyclohexan	157°C
d-Limonen	178°C	Acetonitril	162°C
$\gamma$ -Terpinen	183°C	n-Dekan	174°C
Bornylacetat	224°C	Dekalin	196°C

**Benzol** ist die einfachste aromatische Kohlenwasserstoffverbindung. Sie ist als krebs-erzeugend eingestuft. In Deutschland ist seit 1982 die Verwendung von Benzol als Reinigungs- und Entfettungsmittel sowie als Löse- und Verdünnungsmittel für bestimmte Anwendungen nicht mehr erlaubt; Benzol und Produkte mit mehr als 0,1% (Masse) Benzol dürfen nicht in den Verkehr gebracht werden. Ausgenommen hiervon sind Treibstoffe und deren Rohstoffe sowie Produkte für die Verwendung bei industriellen Verfahren in geschlossenen Systemen. Treibstoffe enthalten im allgemeinen 2 – 5% Benzol.

Benzol wird überwiegend aus Pyrolysebenzin von Crackanlagen durch Extraktion gewonnen und fällt außerdem als Nebenprodukt bei der Verkokung von Steinkohle an. 1989 wurden in Deutschland ca. 1,6 Mio. Mg Benzol produziert. Industriell dient Benzol als Ausgangssubstanz für **Ethylbenzol** (Verarbeitung zu Styrol), **Cumol** (Verarbeitung zu Phenol), Nitro- und **Chlorbenzole** (Farbstoffe, Pharmazeutika, Pestizide), **Cyclohexan** (für die Herstellung von Polyamidfasern) und Alkylbenzole (Verarbeitung zu Waschrohstoffen). Außerdem fällt es bei der Pyrolyse/Thermolyse bestimmter organischer Materialien (Kohle, Naphtha) an. Aufgrund des beschriebenen Einsatzbereiches ist mit dem Auftreten von Benzol vor allem in Raffinerien und petrochemischen Anlagen, Kokereien und der Kfz-Industrie (Treibstoffe) zu rechnen. In Publikumsprodukten kann Benzol nur noch als zulässige Verunreinigung (< 0,1%) in organischen Lösemitteln enthalten sein.

Im gewerblichen Bereich wurden **Toluol**, **Xylole** und Ethylbenzole zumeist als Gemisch bzw. im Gemisch mit anderen Lösemitteln eingesetzt (z. B. Gummi- und Plastikindustrie). Die Anwendung der reinen Lösemittel war auf wenige gewerbliche Anwendungen beschränkt (Toluol: Tiefdruck; Xylole: Malerei, Druckerei, Gummiherstellung). Diese Aromaten wurden in der Vergangenheit auch direkt in Publikumsprodukten eingesetzt, Toluol z. B. in Klebstoffen, gelösten Styrolharzen und Nagellackentfernern, Xylole als Lösemittel in Lacken, Holz-

schutzmitteln und Klebstoffen sowie in Möbelpflegemitteln. Diese und andere Aromaten können ebenfalls als Verunreinigung in organischen Lösemitteln („Testbenzin“) enthalten sein.

Umfangreiche Untersuchungen über die Quellen und die Emissionsfrachten von flüchtigen Abfallbestandteilen in einer aktuellen Laboruntersuchung im Auftrag der US-EPA zeigte, dass die genannten Aromaten im wesentlichen aus der Misch-Papierfraktion des Restabfalls stammen. Die Autoren stellen dar, dass sich diese Quelle aus den Druckfarben und ggf. dem Papierherstellungsprozess erklären [HAM, KOMILIS, 1999].

**Styrol** wird als Lösemittel und Reaktionspartner für ungesättigte Polyesterharze (UP-Harze) und zur Herstellung von Polystyrol und Styrol-Copolymeren eingesetzt. Ein besonderer gewerblicher Einsatzbereich ist die Produktion von großflächigen glasfaserverstärkten Kunststoffteilen. Der Kunststoff Polystyrol zeigt nur eine relativ niedrige Wärmebeständigkeit (78–82°C). Bei der thermischen Zersetzung wird wieder Styrol freigesetzt. Ein Einsatz des Monomers in Endverbraucher nahen Produkten ist nicht bekannt.

**Phenol** wird industriell für die Herstellung von Kunstharzen, Farbstoffen, Arzneimitteln, Weichmachern usw. verwendet. Reines Phenol wird heute praktisch nicht mehr als Desinfektionsmittel eingesetzt. Phenol tritt vornehmlich als Abwasserinhaltsstoff von Druckereien, Gasanstalten, Teerdestillationen sowie petrochemischen Anlagen auf. Phenolhomologe sind u.a. in Teerölen („Carbolineum“) enthalten, die früher als Holzschutzmittel eingesetzt wurden. Teeröle dürfen heute in Deutschland nur noch eingeschränkt verwendet und nicht an den Endverbraucher abgegeben werden.

**R112** (1,1,2,2-Tetrachlor-1,2-difluorethan) wird nach [UBA, 1989] als Lösemittel eingesetzt. Ob die Substanz auch im Endverbraucher nahen Bereich zur Anwendung kommt, ist nicht bekannt.

Die wichtigsten **CKW-Lösemittel** waren in der Vergangenheit Trichlorethylen (TRI) und Tetrachlorethylen (PER).

**Trichlorethen** (Trichlorethylen, TRI) ist ein sehr starkes Lösemittel für Fette, Schmierstoffe und Wachse und wurde daher überwiegend in chemischen Reinigungen und zur Metallentfettung eingesetzt. Außerdem wurde TRI als Komponente von Druckereitinte, Farben, Klebmitteln, Fleckentfernern u.a. verwendet. TRI ist in Deutschland als krebserzeugend (A1 der MAK-Werte-Liste) eingestuft.

**Tetrachlorethen** (Tetrachlorethylen, PER) ist ebenfalls ein sehr starkes Lösemittel für Fette und Schmierstoffe und wurde daher überwiegend zur Metallentfettung und in chemischen Reinigungen sowie u.a. auch in Fleckentfernern oder Imprägniermitteln für Textilien [VEL-VART, 1984] eingesetzt. Während in der Metallentfettung heute CKW-freie organische Verbindungen oder aber wässrige Systeme (Tensid-Basis) PER ersetzen, ist es nach wie vor der am häufigsten in der Chemischreinigung eingesetzte leicht flüchtige Kohlenwasserstoff. PER unterliegt in Deutschland aber keinerlei Beschränkungen hinsichtlich des Einsatzes in Publikumsprodukten, sondern ist nur kennzeichnungspflichtig nach GefahrstoffV.

**Hexachlorethan** entsteht vor allem als Neben- und Rückstandsprodukt der Chlorolyse zur Gewinnung von PER. Daneben wurde (für 1985) eine große Zahl von technischen Verwen-

dungen genannt, wie etwa Nebelkerzen für Rauchbomben, Zusatz zu Feuerlöschmitteln, Weichmacher in Celluloseestern, Zusatz in Fungiziden, Insektiziden und Hochdruckschmiermitteln. Die Verbrauchsmengen werden aber als insgesamt sehr gering eingeschätzt [SCHULZE, WEISER, 1985]. Aktuelle Zahlen liegen nicht vor.

Die Organohalogenverbindungen **Bromdichlormethan**, **Dibromchlormethan** und **Tribrommethan** sind Verbindungen, die als Nebenprodukte der Chlorung (Trinkwasser, Badewasser, Kaltreiniger, Einsatz von „Aktiv-Chlor“) in geringen Mengen auftreten können [LAHL ET AL., 1984]. Ein gezielter Einsatz dieser Verbindungen ist nicht bekannt.

**Chloraromaten** erreichten in der Vergangenheit zumeist nur als Verunreinigung in anderen Produkten wie z. B. Holzschutzmittel (z. B. Pentachlorphenol, Lindan) den Endverbraucher. Diese Verbindungen können heute noch über die Entsorgung dieser „Altlasten“ in den Restabfall gelangen bzw. sind mittlerweile als ubiquitär anzusehen (z. B. DDT). Ein gezielter Einsatz von Chloraromaten in Endverbraucherprodukten erfolgte früher, neben den Pestiziden und genannten Holzschutzmitteln, nur in wenigen Produktgruppen, z. B. in Fleckentfernern (**Monochlorbenzol** nach [VERLVART 1984]) und Urinalsteinen (**para-Dichlorbenzol**).

Von den **Pestiziden** hat heute insbesondere noch der Chloraliphat **Dichlorvos** (DDVP) als Insektenspray und -strip sowie als Mottenschutzmittel seine Bedeutung. Das Insektizid Dimethoat, ein Phosphorsäureester, wird u.a. in Pflanzenschutzsprays eingesetzt.

**Terpene**, insbesondere Monoterpene, sind natürliche Bestandteile von Pflanzen, insbesondere von Nadelhölzern und Zitruschalen. Terpene haben einen Siedebereich von 120 bis 180°C und eine relativ hohe Verdunstungszahl von ca. 170 (Diethylether = 1). Sie dampfen z. B. aus Hölzern und anderen Baustoffen schnell wieder aus. Nach Mølhav [MØLHAVE, 1981] gehören Terpene zu den Substanzen, die in hohen Konzentrationen aus Baustoffen ausgasen (Messwerte in unmittelbarer Nähe: Ø 28,8 mg/m<sup>3</sup>). Auch die im Restabfall (Holz wie auch andere Produkte) enthaltenen Monoterpene dürften im Verlauf der Restabfallbehandlung relativ schnell ausgasen.

Technisch kommen Terpene als Ersatzstoffe für CKW- und andere organische Lösemittel zur Anwendung. Terpentinöle und Citrusterpene werden u.a. als Lösemittel in Lacken, Farben, Bohnerwachsen und Schuhpflegemitteln eingesetzt, in der Kosmetikindustrie ebenso wie als Bauhilfsmittel, beim Siebdruck sowie als Entfettungs- und Reinigungsmittel z. B. für Leiterplatten.

**Glykolether** (u.a. Ethoxy- und Methoxyethanol), auch als *Cellosolve* bezeichnet, wurden intensiv als Lösemittel für Harze, Lacke, Farben, Reinigungsmittel und Emulsifikatoren (Enteisungsmittel) verwendet. Sie können mit Toluol, Xylole, Propanol und Butanol verunreinigt sein [FRENTZEL-BEYME, DOMIZLAFF, 1995]. Sie wurden u.a. zur Oberflächenbehandlung (Halbleiterfertigung) eingesetzt. Die Abgabe speziell von Ethoxy- und Methoxyethanol an den Endverbraucher ist in Deutschland verboten (ChemVerbotsV). Andere Glykole und Glykolether dürfen dagegen in einem weiten Spektrum eingesetzt werden.

Weitere organischen Kohlenwasserstoffe dienen oftmals als Lösemittel in Lacken, Farben, Klebstoffen, Fleckentfernern, Putz- und Reinigungsmitteln oder Kosmetika (Deodorants, Nagellack, etc.).

Untersuchungen von Restabfällen auf flüchtige Einzelstoffe wurden nur in geringem Umfang durchgeführt. Die folgende Tabelle gibt die Ergebnisse wieder.

**Tabelle 19: Restabfallbelastung mit flüchtigen Stoffen (Bp. 80 – 260°C) [REINHARDT, JAGER, 1996]**

Substanz	Bp.	Beispiele für Konzentrationsbereiche
<b>Aromatische KW</b>		
Benzol	80,1°C	24 -680 mg/Mg TS
Toluol	111°C	103 - 2.076 mg/Mg TS
Ethylbenzol	136°C	n.n. - 388 mg/Mg TS
Xylole	139 – 144°C	4 - 4.149 mg/Mg TS
Styrol	145°C	Unbekannt
<b>CKW</b>		
Trichlorethen (TRI)	87°C	2 - 590 mg/Mg TS
<b>FCKW</b>		
R112	92°C	n.n. - 10 mg/Mg TS

#### 5.3.1.2.1.4 Schwer flüchtige und wasserlösliche organische Stoffe

Schwer flüchtige Stoffe werden aufgrund ihrer mangelnden Flüchtigkeit nur in geringem Umfang in die Abluft verlagert. Das Stoffpotenzial an relevanten Einzelverbindungen geht in die Tausende. Von toxikologischer und ökotoxikologischer Bedeutung sind hier Einzelstoffe aus der Gruppe der Organochlorverbindungen (PCB, PCDD/F, Chlorparaffine etc.) und der Organoschwermetallverbindungen (z. B. Organozinnverbindungen aus PVC-Kunststoffen).

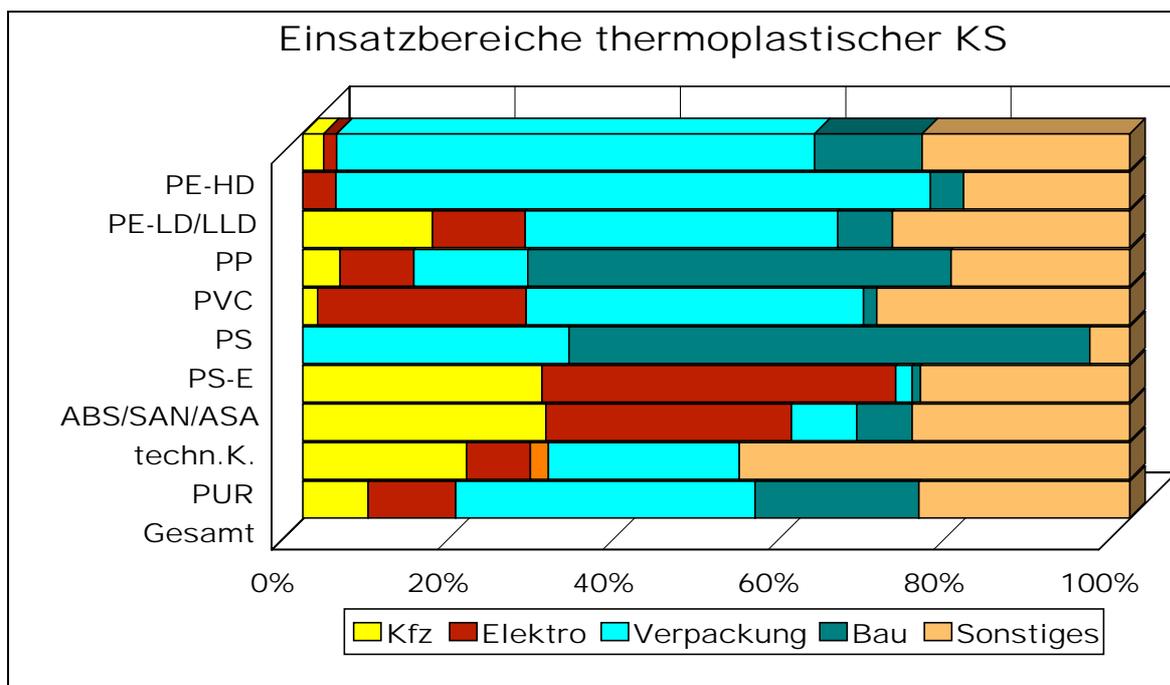
Neben dem Luftpfad ist hier insbesondere der Wasserpfad zu betrachten. Für den Prozess Deponie sind zudem lange Reaktionszeiten zu erfassen. Daher soll für den Wasserpfad exemplarisch der üblicherweise als inert eingestufte Quellenbereich für organische Schadstoffe, die Kunststofffraktion näher betrachtet werden. Es wird angenommen, dass der Zeitraum zwischen dem Inverkehrbringen eines Kunststoffproduktes und seines „Entlassens“ als Abfall in die Abfallwirtschaft im Bereich weniger Monate bis hin zu mehreren Jahren betragen kann.

Die Kunststoffproduktion in Deutschland betrug im Jahr 1994 nach Angaben des Verbands der kunststofferzeugenden Industrie e.V. (VKE) rund 11 Mio. Mg (ohne Fasern und Kautschukprodukte), davon rund 6,9 Mio. Mg Werkstoffe und 4,1 Mio. Mg Lacke, Dispersionen, Klebstoffe etc.. Von den 6,9 Mio. Mg Werkstoffen sind 6,3 Mio. Mg sog. Standardkunststoffe (1,8 Mio. Mg PE, 0,7 Mio. Mg PP, 0,7 Mio. Mg PS, 1,3 Mio. Mg PVC, 1,8 Mio. Mg sonstige) und 0,6 Mio. Mg Spezialkunststoffe oder sog. technische Kunststoffe (PA, POM, ABS, PEK

etc.). Der inländische Verbrauch lang 1994 bei 6,2 Mio. Mg, davon ca. 60% langlebige und ca. 25% kurzlebige Produkte [VKE, 1996]. Für 1994 gab der VKE [VKE, 1994] folgende Einsatzgebiete für thermoplastische Kunststoffe an:

**Abb. 10: Verbrauch thermoplastischer Kunststoffe (in %) nach Einsatzgebieten in Deutschland Anfang der 90er Jahre [VKE, 1994]**

PE-HD	Polyethylen High Density (PE mit hoher Dichte)
PE-LD/LLD	Polyethylen Low Density / Linear Low Density (PE mit niedriger Dichte)
PP	Polypropylen
PVC	Polyvinylchlorid
PS / PS-E	Polystyrol
ABS	Acryl-Butadien-Styrol
SAN	Styrol-Acrylnitril-Copolymer
ASA	Propfpolymerisat von Styrol und Acrylnitril auf Acrylkautschuk
techn.K.	technische Kunststoffe
PUR	Polyurethan



Die Kunststoffe bzw. Kunststoffprodukte bestehen in der Regel nicht nur aus dem reinen Polymer bzw. einem Polymergemisch, sondern enthalten eine Vielzahl von sog. Additiven, die die Verarbeitung der Kunststoffe erleichtern und/oder die Materialeigenschaften verbessern sollen. Tabelle 20 gibt einen Überblick über Kunststoffadditive. Exakte Angaben über Mengen und Einsatzbereiche sind nicht verfügbar [VKE, 1997]. Da das Mengenverhältnis Polymer : Additiv, je nach Kunststoff im Bereich von > 10 : 1 bis < 1 : 1 (z. B. Weich-PVC) schwankt, kann allenfalls eine Bandbreite des Eintrags in den Abfall abgeschätzt werden, die von wenigen Tausend bis > 100.000 Mg/a reicht (Bezug: 6,9 Mio. Mg Kunststoff-Werkstoffe pro Jahr).

Für den Bereich Restabfallbehandlung stellt sich die Frage des Verbleibs nicht nur der Polymere, sondern insbesondere der Additive. Während die Polymere als nicht auslaugbar und überwiegend als biologisch nur langsam abbaubar einzustufen sind, gilt dies nicht gleichermaßen auch für die Additive. Sie können durch physikalische und/oder andere Prozesse aus dem Kunststoff migrieren und stehen dann einem Transfer ins Sickerwasser beispielsweise einer Deponie zur Verfügung.

**Tabelle 20: Kunststoffadditive – eine Auswahl**

Additiv	Stoffe (Beispiel)
Weichmacher	Ester der Phthalsäure (DOP/DEHP) Ester der Phosphorsäure (Trichlorethylphosphat)
Extender	Fettsäureester, Chlorparaffine, auch PCB
Flammschutzmittel	Organobromverbindungen (Tetrabrombisphenol A), Antimontrioxid, HET-Säure, Phosphorsäureverbindungen (Tricresylphosphat), Chlorparaffine
Farbstoffe	anorganische Pigmente, organische Farbstoffe
Antistatika	Polyglykolether, quartäre Ammoniumverbindungen
Treibmittel	Halogenalkane (R11) Kohlenwasserstoffe (Pentan, Petrolether)

So untersuchten Mesiwsky und Stegmann [MESIOWSKY, STEGMANN, 1997] im Auftrag verschiedener Verbände (u.a. ECVM, European Council of Vinyl Manufacturers) das Verhalten weichgemachter und stabilisierter PVC-Produkte im Verlauf der Ablagerung. Bei mit DINA (Di-isononyladipat) und DIDP (Diisodecylphthalat) weichgemachten und mit Bleisulfat stabilisierten Kabeln konnten nach siebenmonatiger Inkubation keine Alterungserscheinungen festgestellt werden. Dem hingegen zeigten Fußbodenbeläge, die mit DEHP und BBP (n-Butylbenzylphthalat) weichgemacht und sowohl mit Ca/Zn und epoxidiertem Sojaöl als auch mit Butylzinn-Verbindungen stabilisiert waren, deutliche Weichmacher-Freisetzung. Nach sieben Monaten Inkubation betrugen die Weichmacherverluste 10% beim DEHP und 12% beim BBP, bezogen auf den Ausgangsgehalt. Insbesondere das weniger lipophile BBP war in deutlich erhöhten Konzentrationen (im Vergleich zum Blindwert) im Eluat des Lysimeters nachweisbar. Auch die Organozinn-Stabilisatoren waren in der Größenordnung von Mikrogramm pro Liter im Eluat nachweisbar.

Die Freisetzung von Weichmachern und anderen Kunststoffadditiven unter Deponiebedingungen wurde kürzlich durch eine weitere Untersuchung im Auftrag der Europäischen Kommission bestätigt [ARGUS, 2000]. Insgesamt ist daher u.E. von einer über den Prognosezeitraum anteiligen Mobilisierbarkeit der Kunststoffadditive in den Wasserpfad auszugehen.

Weitere insbesondere für den Wasserpfad potenziell relevante Schadstoffgruppen im Restabfall zeigt die folgende Tabelle.

**Tabelle 21: Weitere insbesondere für den Wasserpfad potenziell relevante Schadstoffgruppen im Restabfall, zusammengestellt nach [LAHL, ZESCHMAR-LAHL, 1997a]**

Stoffgruppe	Beispiele	Anmerkungen
Pestizide	Glyphosat, s-Triazine, Phenylharnstoffherbizide, Phenoxycarbonsäureester	Bisher wurde hauptsächlich das Vorkommen sog. Altpestiziden untersucht. Aktuell im Einsatz befindliche Pestizide (siehe vorige Spalte) wurden kaum erfasst.
Aromatische Sulfonate	Naphthalindi- und -trisulfonate, höhermolekulare kondensierte Naphthalinsulfonate	Ausgangsstoffe für optische Aufheller, organische Farbstoffe, Kunststoffadditive. Über 20 dieser Verbindungen konnten in europäischen Flüssen nachgewiesen werden, einige gelangen bis ins Trinkwasser.
Aliphatische Alkohole und Ether	Isopropanol, Isobutanol	Lösemittel für Farben und Lacke eingesetzt, sie haben auch eine Bedeutung als Kunststoffadditiv, Korrosionsschutz- und Kühlmittel
Phenylsulfonamide	n-Butylphenylsulfonamid	Einzelne Sulfonamide sind in Publikumsprodukten enthalten, spezielle Sulfonamide kommen als Weichmacher von Kunststoffen (n-Butylphenylsulfonamid) oder als Zusatz von Korrosionsschutzmitteln (HPS) zum Einsatz.
Aliphatische Amine und Aminoalkohole	Ethanolamin	sehr weit verbreitet als Papier- und Textilhilfsmittel, Pharmazeutika, Korrosionsschutzmittel, Photochemikalie uvm.
Synthetische organische Komplexbildner	EDTA, NTA	EDTA und NTA sind in diversen Publikumsprodukten, aber auch industriellen Vorprodukten enthalten.
	Diethylentritrilopentaacetat	wie EDTA, speziell Papierfabriken (Bleichen, De-Inken)
	Poly- und Aminopolyphosphonsäuren	Zusatz zu Wasch- und Reinigungsmitteln, Stabilisierung von Peroxidverbindungen, als Antioxidans in Stückseifen und Zahnpasta

### 5.3.1.3 Berechnungsgrundlagen für Stoffflussanalyse (Hausmüll)

Die obigen Ausführungen zeigen die Bedeutung und das Emissionspotenzial flüchtiger und wasserlöslicher organischer Schadstoffe aus dem Hausmüll bzw. Restabfall.

**Die im Restabfall enthaltenen Schadstoffe sind von unterschiedlicher Human- und Ökotoxizität. Für die hier durchzuführende Stoffflussanalyse ist es daher entbehrlich, eine einzelstoffbezogene Betrachtung vorzunehmen. Die obige Datenzusammenstellung zeigt zudem, dass eine einzelstoffbezogene Betrachtung mit einem erheblichen, kaum darstellbaren Datenumfang umgehen müsste. Daher ist es für die hier zu behandelnde Fragestellung problemadäquat, zu betrachten, wie sich das insgesamt Potenzial an organischen Stoffen in den jeweiligen Entwicklungsszenarien verteilt.**

Hierfür bietet es sich wiederum an, die flüchtigen Schadstoffe mit einem Summenparameter zu erfassen. Als Summenparameter wird hier der VOC (**Volatile Organic Compounds**) verwendet.

Zur Abschätzung dieses Potenzials wird auf eine in der Literatur sehr gut dokumentierte Untersuchung an einer halbtechnischen mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlage (MBA) zurückgegriffen (Tabelle 22). Diese Untersuchung wurde in einem geschlossenen Containersystem mit exakter Bilanzierung der Luftvolumina durchgeführt. Weiter ist diese Untersuchung aufgrund der großen Behandlungsvolumen (verglichen mit den in der Literatur wiedergegebenen Laborversuchen) als belastbarer anzusehen. Die folgende Tabelle zeigt Rohgaswerte vor einer durchzuführenden Abgasreinigung.

**Tabelle 22: Abluftemission (Rohgas) eines Rotteversuches über 6 Tage an der MBA Wittstock [LAHL ET AL., 1998]**

Parameter	Einheit	Konz. Max.	Konz. Min.	Konz. Mittel <sub>144h</sub> *	Fracht <sub>144h</sub> **
<b>FCKW</b>					
R11	mg/Nm <sup>3</sup>	2,73	0,09	1,48	5,18 g/Mg FS
<b>Ether</b>					
Tetrahydrofuran	mg/Nm <sup>3</sup>	0,93	< 0,01	0,48	1,68 g/Mg FS
<b>Acetate</b>					
n-Butylacetat	mg/Nm <sup>3</sup>	0,71	< 0,01	0,44	1,54 g/Mg FS
Ethylacetat	mg/Nm <sup>3</sup>	100	< 0,01	51,33	180 g/Mg FS
<b>Aromaten</b>					
Benzol	mg/Nm <sup>3</sup>	0,58	0,017	0,34	1,19 g/Mg FS
Toluol	mg/Nm <sup>3</sup>	6,9	0,10	3,88	13,6 g/Mg FS
Ethylbenzol	mg/Nm <sup>3</sup>	25,3	0,09	13,9	48,7 g/Mg FS
m-, p-Xylol	mg/Nm <sup>3</sup>	46	0,18	25,5	89,4 g/Mg FS
o-Xylol	mg/Nm <sup>3</sup>	13,5	0,06	7,72	27 g/Mg FS
Styrol	mg/Nm <sup>3</sup>	0,52	0,01	0,34	1,19 g/Mg FS

Parameter	Einheit	Konz. Max.	Konz. Min.	Konz. Mittel <sub>144h</sub> *	Fracht <sub>144h</sub> **
<b>Ketone</b>					
Aceton	mg/Nm <sup>3</sup>	117	0,27	62,3	218 g/Mg FS
Butanon-2	mg/Nm <sup>3</sup>	42	0,25	24,1	84,2 g/Mg FS
<b>Aliphatische CKW</b>					
Dichlormethan	mg/Nm <sup>3</sup>	0,34	< 0,004	0,18	630 mg/Mg FS
Tetrachlorethen	mg/Nm <sup>3</sup>	0,92	0,005	0,50	1,75 g/Mg FS
Trichlorethen	mg/Nm <sup>3</sup>	0,09	< 0,004	0,048	168 mg/Mg FS
<b>Chloraromaten</b>					
Monochlorbenzol	µg/Nm <sup>3</sup>	11.300	90	6.550	22,9 g/Mg FS
Σ Chlorbenzole (Cl <sub>3</sub> -Cl <sub>6</sub> )	µg/Nm <sup>3</sup>	7	1,1	1,27	4,45 mg/Mg FS
Σ Chlorphenole	µg/Nm <sup>3</sup>	0,1	0,005	0,04	140 µg/Mg FS
Σ PCDD/F	pg/Nm <sup>3</sup>	98	62	104	364 ng/Mg FS
PCDD/F (TE BGA)	pg/Nm <sup>3</sup>	1	0,71	1,19	4,2 ng/Mg FS
PCDD/F (I-TEF)	pg/Nm <sup>3</sup>	0,2	0,1	0,21	735 pg/Mg FS
Σ PCB (DIN)	µg/Nm <sup>3</sup>	0,3	0,02	0,044	154 µg/Mg FS
Σ HCH	µg/Nm <sup>3</sup>	7	2,36	4,6	16,1 mg/Mg FS
Σ DDX	µg/Nm <sup>3</sup>	0,5	0,03	0,18	630 µg/Mg FS
<b>PAK</b>					
Σ PAK (TVO)	µg/Nm <sup>3</sup>	11	1,98	2,9	10,2 mg/Mg FS
Σ PAK (EPA)	µg/Nm <sup>3</sup>	77	7,23	43,3	152 mg/Mg FS
<b>Gesamt</b>					<b>~ 990 g/Mg FS</b>

\* Mittel<sub>144h</sub> = gewichteter Mittelwert für 6 Tage Intensivrotte,  
 Berechnung aus den einzelnen Meßpunkten:  $(1,5 \times 1. \text{Messwert} \times \frac{19}{144}) + (1. \text{Messwert} \times \frac{45}{144}) + (2. \text{Messwert} \times \frac{80}{144})$   
 Berechnung des Mittelwertes mit ganzer NWG

\*\* Fracht<sub>144h</sub> = Fracht der Intensivrotte über 6 Tage

Das VOC-Potenzial wird daher anhand der obigen Ergebnisse modelliert. Für die weiteren Berechnungen wird von einem mittleren VOC-Emissionspotenzial im Bereich von **1 kg/Mg Restabfall (FS)** ausgegangen.

Die Ablagerung von Abfällen als Prozess macht es erforderlich, auch die Verlagerung ins Umweltmedium Wasser zu betrachten. Hierfür existiert eine überraschend dünne Datenbasis.

Die folgende Tabelle zeigt CSB- und BSB<sub>5</sub>-Werte für Deponiesickerwässer (Hausmüll) während der Betriebszeit.

Es zeigt sich, dass Deponiesickerwässer ein ungünstiges CSB : BSB-Verhältnis aufweisen, was auf einen hohen Anteil schwer abbaubarer organischer Stoffe hinweist.

**Tabelle 23: Beschaffenheit von Sickerwässern aus Hausmülldeponien während der Betriebszeit [LAGA, 1985]**

Parameter	Minimum	Mittel	Maximum
CSB in mg O <sub>2</sub> /l	500	5.000	60.000
BSB <sub>5</sub> in mg O <sub>2</sub> /l	100	1.500	45.000

Folgt man den Literaturdaten von mehrmonatigen Lysimeterversuchen, ergeben sich kumulierte CSB-Frachten von 20 bis 35 kg/Mg FS [BIDLINGMAIER ET AL., 1998 ], [STEGMANN, LEIKAM, 1995]. Die TOC-Frachten werden mit 5 bis 12 kg/Mg angegeben.

Das langfristige Elutionspotenzial über 150 Jahre dürfte bei 30 kg/Mg TOC liegen (inkl. anteiliger Verfügbarkeit der Kunststoffadditive), was nach stöchiometrischer Umrechnung einer Stoffmenge von rund **45 kg/Mg FS** entsprechen dürfte. Dieses Stoffinventar setzt sich aus toxikologisch und chemisch sehr unterschiedlichen Einzelstoffen bzw. Stoffgruppen zusammen [LAHL, ZESCHMAR-LAHL, 1997a]. Eine genauere Differenzierung in weniger toxisch und hoch toxisch ist aber aufgrund unzureichend vorhandener Daten nur schwer möglich. Da der Input organischer Stoffe ins Grund- oder Oberflächengewässer aus ökotoxikologischen Gründen unerwünscht ist, ergibt sich auch hier ein Ansatzpunkt für die Verwendung eines Summenparameters. Im Folgenden wird daher die insgesamt aus der Deponierung resultierende Stoffabgabe in den Wasserpfad als potenziell schädlich eingestuft.

**Insgesamt wird daher von uns einem Elutionspotenzial (Auslaugpotenzial) an organischen Schadstoffen (i. f. ELU) aus dem Restabfall im Bereich von 45 kg/Mg FS angenommen.**

Aus den skizzierten Datensätzen lässt sich ein repräsentativer Hausmüll modellieren. Natürlich können diese Daten nur grobe Kennzahlen sein, die die richtige Größenordnung angeben sollen.

**Tabelle 24: Mittleres Emissionspotenzial (anorganisch und organisch) von Hausmüll (vgl. auch Tabelle 10)**

Parameter	mg/Mg FS
Chlor (Cl)	8.730.000
Schwefel (S)	3.300.000
Cadmium (Cd)	8.500
Thallium (Tl)	100
Quecksilber (Hg)	1.800
Antimon (Sb)	38.000
Arsen (As)	5.000
Blei (Pb)	410.000
Chrom (Cr)	50.000
Kobalt (Co)	5.000
Kupfer (Cu)	450.000
Mangan (Mn)	350.000
Nickel (Ni)	22.000
Vanadium (V)	6.000
Zinn (Sn)	110.000
Flüchtige organische Verbindungen (VOC)	1.000.000
Elutionspotenzial (ELU*)	45.000.000

\* wasserlösliche organische Stoffe

### **5.3.2 Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle (inkl. Sortierreste und Baustellenmischabfälle) (hmäGA)**

Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle (hmäGA) setzen sich nach der hier unterstellten Definition aus hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen, Sortierresten, Baustellenmischabfällen und Fehlwürfen aus dem Bereich der produktionsspezifischen Abfälle zusammen.

#### **5.3.2.1 Anorganische Schadstoffe**

Es gibt nur wenige detailliertere aktuelle Untersuchungen zur branchenspezifischen Herkunft und Zusammensetzung von hmäGA. Bei einer Untersuchung in Berlin ergab sich folgendes Bild [BARGHORN, SCHWILLING, 1995]: der größte Anteil (nach Gewicht) stammte aus den Branchen Handel (29,2%, davon knapp die Hälfte aus dem Bereich Nahrung) und Dienstleistung (27,4%, knapp ein Drittel von Behörden); das produzierende Gewerbe folgte an dritter Stelle (15,4%), die anderen Branchen lagen jeweils unter 10%. Bei der Zusammensetzung

des Gewerbeabfallaufkommens nach Gewicht dominierten hausmüllartiger Abfall (26%) vor produktionsspezifischen Abfällen (18%), Verpackungen (13%, überwiegend aus Pappe und Kunststoffen) und Holzmöbeln (12%).

Eine flächendeckende Untersuchung über ganz Deutschland bzgl. der Zuordnung der hmäGA zu einzelnen Branchen kommt zu folgenden Ergebnissen [MÜLLER ET AL., 1994]:

**Tabelle 25: Zusammensetzung von hmäGA nach Branchen in Gew. % [MÜLLER ET AL., 1994]**

Fraktion↓	Branche⇒	A	B	C	D	E	Gesamt
Papier		3,4	12,7	6,9	13,4	12,4	11,0
Pappverpackungen		1,7	5,1	5,2	8,7	6,3	5,9
Holz		0,2	3,2	1,0	4,2	4,0	3,0
Eisenmetalle		0,6	1,5	2,8	2,4	1,4	1,8
NE-Metalle+Metallband		0,1	0,3	0,1	0,6	0,6	0,4
Glas		3,0	3,7	3,7	3,8	10,4	5,7
Kunststoff-Folien		0,6	1,7	5,8	3,3	3,1	2,9
Kunststoff-Verpack.		< 0,1	0,3	0,2	0,3	0,6	0,3
sonstige Kunststoffe		0,5	1,3	2,2	4,1	2,1	2,5
Papierverbund		0,1	0,7	1,0	0,8	0,6	0,7
organ. Gartenabfälle		1,4	1,5	5,9	2,3	4,1	3,1
organ. Küchenabfälle		60,0	0,1	21,3	1,0	2,1	10,0
Bauschutt		0,0	1,4	0,0	1,4	4,5	2,0
Werkstatt		0,0	2,8	0,2	18,7	6,4	6,4
Hausmüll		27,0	40,3	20,6	14,0	15,2	23,2
Rest		10,9	23,4	23,1	21,0	26,2	21,1

A: Krankenhäuser, Schulen, Unterhaltungsstätten, Gaststätten, Bürobetriebe, Behörden etc. mit erheblichen Anteilen an Verpflegungsabfällen

B: Krankenhäuser, Schulen, Unterhaltungsstätten, Gaststätten, Bürobetriebe, Behörden etc. ohne erhebliche Anteile an Verpflegungsabfällen

C: Nahrungsmittelproduzierende Betriebe und Einzelhandel mit Lebensmittel sowie Kaufhäuser

D: produzierendes Gewerbe, Groß- und Einzelhandel, mit Metallwaren, Elektrogeräten, Kraftfahrzeugen, auch Speditionen

E: sonstige Arbeitsstätten

Dort, wo nicht mit erheblichen Anteilen an Verpflegungsabfällen zu rechnen ist (B, D, E), dominieren der „normale“ Hausmüll und Papierabfälle. Größere Abweichungen treten noch bei Kategorie D auf: hier ist der Anteil an Werkstattabfällen überdurchschnittlich hoch.

Hausmüllähnlicher Gewerbeabfall der obigen Zusammensetzung wurde nur selten repräsentativ auf Schadstoffbelastung hin untersucht. Die belastbarsten Untersuchungen haben wir bei [RAGOSSING ET AL., 1999] gefunden. Aus diesen Datensätzen haben wir die Ergebnisse für hausmüllähnlichen Gewerbeabfall zusammengestellt (siehe Tabelle 31).

Bei Sortierresten ist anzunehmen, dass sie eine höhere Belastung mit Schadstoffen gegenüber Hausmüll aufweisen. Die folgende Tabelle zeigt Daten für Sortierreste aus der Sortierung von Verpackungsabfällen des DSD.

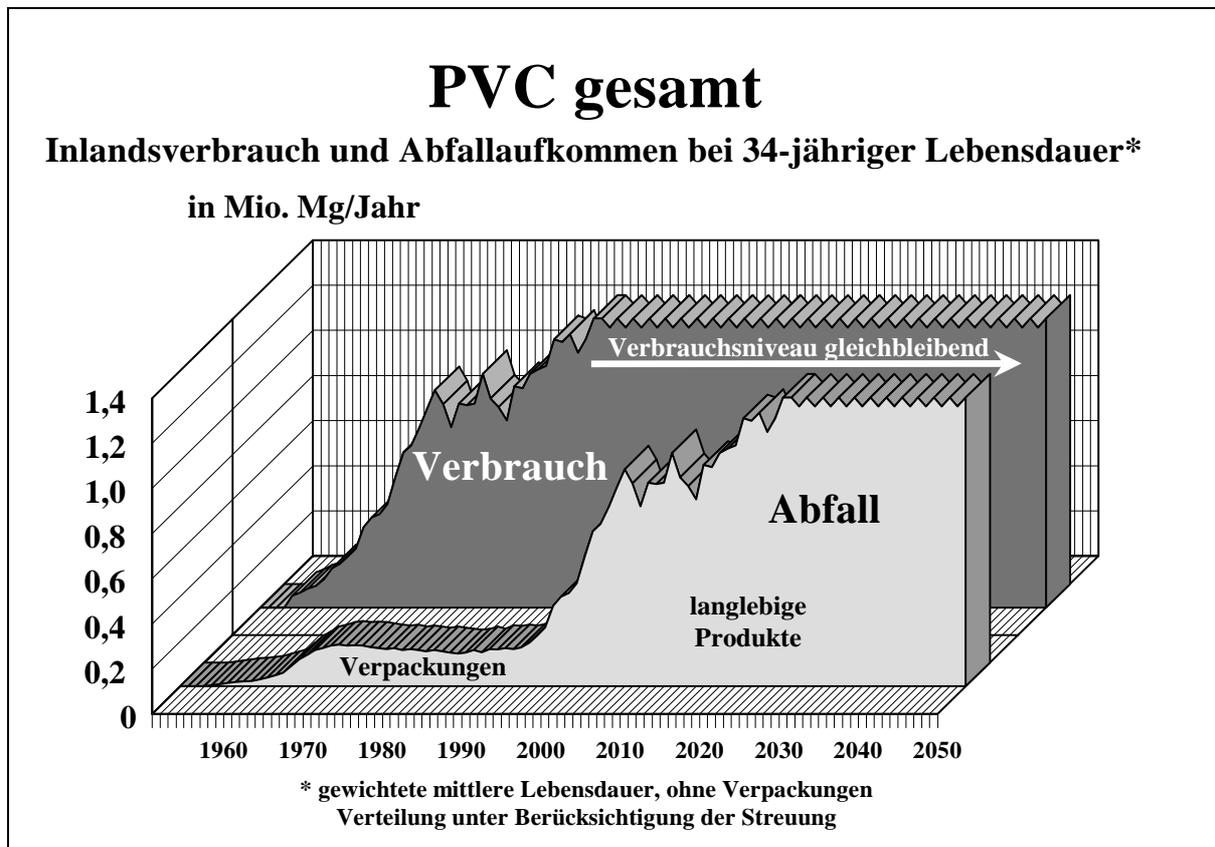
**Tabelle 26: Schadstoffbelastung von DSD-Sortierresten (Anzahl Proben = 23) (Daten ermittelt im Rahmen von [MURL NRW, 2000])**

Parameter		Anzahl der Proben	Min.	Max.	Mittelwert	Median	90-Quantil*
Heizwert	MJ/Mg	3	17.000	25.000	20.667	20.000	24.000
Chlor	%	5	0,26	5,93	2,44	1,41	5,26
Cadmium	mg/kg FS	23	0,0	130,0	10,0	4,6	11,0
Thallium	mg/kg FS	8	0,0	0,7	0,1	0,0	0,2
Quecksilber	mg/kg FS	23	0,0	4,4	0,4	0,3	0,4
Antimon	mg/kg FS	20	0,0	150,0	42,0	18,0	100,0
Arsen	mg/kg FS	16	0,0	27,0	3,1	1,3	5,6
Blei	mg/kg FS	22	12,0	3.600,0	260,0	90,0	220,0
Chrom <sub>gesamt</sub>	mg/kg FS	22	13,0	430,0	93,0	65,0	200,0
Kobalt	mg/kg FS	13	2,6	22,0	9,7	7,7	20,0
Kupfer	mg/kg FS	22	36,0	2.900,0	540,0	160,0	2.000,0
Mangan	mg/kg FS	13	22,0	270,0	110,0	78,0	240,0
Nickel	mg/kg FS	22	3,9	230,0	55,0	31,0	110,0
Vanadium	mg/kg FS	18	0,0	220,0	17,0	2,6	14,0
Zinn	mg/kg FS	15	0,2	430,0	79,0	50,0	86,0

\* 90-Quantil = Wert, der von 90% der Daten eines Datenkollektivs eingehalten wird.

Für den Komplex Baustellenabfälle ist einzubeziehen, dass über diesen Abfallstrom die im Gebäudealtbestand verbauten Schadstoffe entsorgt werden. Daher sind von dieser Abfallart hohe Schadstoffbelastungen zu erwarten. Stellvertretend seien die PVC-Bauteile angesprochen. Die folgende Abbildung zeigt, welche Prognose wir für den Stoffstrom PVC unterstellen. Als besonders relevante anorganische Schadstoffe kommen hier Chlor sowie die Schwermetalle Cadmium, Blei und Zinn (Organozinn) in Betracht.

Abb. 11: PVC-Inlandsverbrauch und prognostiziertes Abfallaufkommen [LAHL, ZESCHMAR-LAHL, 1997b]



Schließlich sind im Bereich der gewerblichen Abfälle die produktionsspezifischen Abfälle anzusprechen, die anteilig in den hausmüllähnlichen Abfall gelangen oder als sog. Sortierreste aus Sortieranlagen eingebracht werden. Produktionsspezifische Abfälle wären über eine Getrennthaltung mit eigenen Abfallschlüsseln separat zu entsorgen. Dies geschieht nicht immer, insbesondere aufgrund der vergleichsweise sehr günstigen Entsorgungsangebote, die das private Entsorgungsgewerbe für die Abfuhr von vermischten Gewerbeabfällen zur Verwertung macht. Daher wird von uns unterstellt, dass anteilig „Fehlwürfe“ aus dem Bereich der produktionsspezifischen Abfälle in die vermischten Gewerbeabfälle stattfinden.

Auf diesem Feld ist daher eine exakte Grenzziehung zu definierten Abfallschlüsseln aufweisenden gewerblichen Monochargen schwierig durchzuführen. Die folgende Tabelle enthält eine Zusammenstellung produktionsspezifischer Abfälle, die für das Thema „Fehlwürfe“ aus unserer Sicht relevant sind.

**Tabelle 27: Heizwertreiche Abfälle aus der gewerblichen Wirtschaft, Zusammenstellung nach EAK-Abfallschlüsseln und -bezeichnungen**

<b>AS</b>	<b>Bezeichnung nach EAK-V</b>
02 01 07	Feste Abfälle aus der Forstwirtschaft
03 01 01	Rinden und Korkabfälle
03 01 02	Sägemehl
03 01 03	Späne, Abschnitte, Verschnitt von Holz, Spanplatten und Furniere
03 01 99	andere Abfälle, a.n.g., hier: Kunststoffreste
03 03 01	Rinde
03 03 99	Andere Abfälle a.n.g. (Herstellung und Verarbeitung von Zellstoff, Papier und Pappe)
04 02 01	Abfälle aus unbehandelten Textilfasern und anderen Naturfasern, vorwiegend pflanzlichen Ursprungs
04 02 02	Abfälle aus unbehandelten Textilfasern, vorwiegend tierischen Ursprungs
04 02 08	Abfälle aus verarbeiteten gemischten Textilfasern
12 01 05	Kunststoffteile als Abfälle aus der mechanischen Formgebung
15 01 01	Papier und Pappe (Verpackungen)
15 01 02	Kunststoff (Verpackungen)
15 01 03	Holz (Verpackungen)
15 01 05	Verbundverpackungen, hier: nur aus Papier, Pappe, Kunststoff und Holz
15 01 06	gemischte Materialien, hier: nur aus Papier, Pappe, Kunststoff und Holz
15 02 01	Aufsaug- und Filtermaterialien, Wischtücher und Schutzkleidung
16 02 07	Abfälle aus der kunststoffverarbeitenden Industrie, hier: nur Kunststoffreste
16 03 02	organische Fehlchargen, hier: nur Fehlchargen aus Holz, Papier und Pappe
17 02 01	Holz (Bau- und Abbruchabfälle)
17 06 02	anderes Isoliermaterial, hier: nur brennbares Isoliermaterial
20 01 01	Papier und Pappe
20 01 03	Kunststoffkleinteile
20 01 07	Holz (aus getrennter Sammlung)

Für diese Abfallarten aus der gewerblichen Wirtschaft wurde das folgende Schadstoffprofil ermittelt.

**Tabelle 28: Schadstoffbelastung von Abfällen aus der gewerblichen Wirtschaft, Anzahl Proben = 198 [div. Quellen, 2000]; alle Angaben bezogen auf Frischsubstanz (FS)**

Parameter		Anzahl der Proben*	Min.	Max.	Mittelwert	Median	90- Quantil **
Heizwert	MJ/Mg	72	4.040	46.460	23.772	22.850	36.610
Chlor	%	52	0,00	16,00	2,06	0,78	4,83
Schwefel	%	9	0,01	0,60	0,22	0,19	0,51
Cadmium	mg/kg	31	0,0	74,0	7,5	0,0	14,0
Thallium	mg/kg	13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Quecksilber	mg/kg	68	0,0	44,0	1,4	0,0	2,4
Antimon	mg/kg	28	0,0	19.000	730	3,0	130
Arsen	mg/kg	49	0,0	14,0	1,5	0,7	3,2
Blei	mg/kg	57	0,0	2.600	210	55,0	430
Chrom (gesamt)	mg/kg	54	0,0	11.000	380	11,0	43,0
Kobalt	mg/kg	4	0,0	1,7	0,4	0,0	1,2
Kupfer	mg/kg	17	0,0	43.000	2.900	76,0	1.700
Mangan	mg/kg	2	0,0	34,0	17,0	17,0	31,0
Nickel	mg/kg	9	0,0	42,0	11,0	4,4	26,0
Vanadium	mg/kg	5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Zinn	mg/kg	14	0,0	200	39,0	15,0	130

\* wenn Wert < NWG oder n.n. angegeben, dann Wert = 0 gesetzt

\*\* 90-Quantil = Wert, der von 90% der Daten eines Datenkollektivs eingehalten wird.

Untersuchungen an brennbaren Gewerbeabfällen haben Fehring et al. [FEHRINGER ET AL., 1999] für Österreich durchgeführt. Die dort vorhandenen Daten zu den Gewerbeabfällen wurden uns für diese Untersuchung zur Verfügung gestellt. Aus diesem Datenkollektiv wurden nach ÖNORM S2100 bzw. von uns als gefährlich eingestufte Abfälle, PVC-Abfälle und Abfälle mit einem Hu < 11.000 MJ/Mg ausgeklammert. Es verblieben 40 Abfallschlüsselnummern nach ÖNORM S2100, für die Daten zur Belastung mit Chlor, Schwefel und ausgewählten Schwermetallen zur Verfügung standen. Die folgende Tabelle gibt die Daten wieder.

**Tabelle 29: Schadstoffbelastung von heizwertreichen gewerblichen Abfällen (Österreich 1997 [FEHRINGER ET AL., 1997])**

"brennbare" Abfälle FS		Cl	S	Cd	Hg	Pb	Hu
AS	ÖNORM S 2100	[mg/Mg FS]	[mg/Mg FS]	[mg/Mg FS]	[mg/Mg FS]	[mg/MgFS]	[MJ/Mg FS]
	121 Abfälle aus der Produktion pflanzlicher und tierischer Öle	20.000.000	1.000.000	100	15	30.000	12.000
	31434 verbrauchte Filter- und Aufsaugmassen	2.000.000	15.000.000	100	200	6.000	12.920
	58107 Stoff- und Gewebereste, Altkleider	13.500.000	2.200.000	100	10	100.000	13.000
	18701 Schnitt- und Stanzabfälle	1.400.000	750.000	400	100	40.000	13.058
	57101 Phenol- und Melaminharze	10.000.000	9.000.000	40.000	450	350.000	13.617
	58105 Wolle	450.000	3.000.000	100	10	30.000	13.621
	58106 Pflanzenfasern	450.000	3.000.000	100	10	30.000	13.621
	18705 Teerpapier und bitumengetränktes Papier	1.200.000	3.000.000	600	150	50.000	13.750
	18720 Papier und Pappe, unbeschichtet	1.400.000	1.500.000	250	60	28.000	13.750
	91206 Baustellenabfälle	5.000.000	2.000.000	5.000	200	500.000	14.300
	11103 Spelze, Spelzen- und Getreidestaub	1.900.000	1.000.000	19	15	2.000	15.100
	17115 Spanplattenabfälle	3.901.000	600.000	1.000	40	56.000	16.776
	17102 Schwarten und Spreissel aus sauberem, unbeschichteten Holz, SNP	70.000	200.000	300	300	3.000	16.811
	17202 Bau- und Abbruchholz	1.184.000	1.700.000	4.100	200	762.000	16.811
	17114 Staub und Schlamm aus der Spanplattenherstellung	67.000	1.300.000	1.000	40	4.100	17.102
	17103 Sägemehl und Sägespäne aus sauberem, unbeschichteten Holz	50.000	60.000	100	10	400	17.567
	17104 Holzschleifstäube und -schlämme	50.000	200.000	100	40	400	17.670
	17207 Eisenbahnschwellen	500.000	1.000.000	5.000	200	100.000	17.769
	17209 Holz, (z. B. Pfähle und Maste) ölprägniert	500.000	500.000	5.000	200	100.000	17.769
	14704 Lederschleifschlamm und Ledermehl	20.000.000	9.000.000	10	10.000	500.000	18.027
	14702 Chromlederabfälle aus der Verarbeit.	20.000.000	9.000.000	10	10.000	500.000	19.234
	57501 Gummi	20.000.000	3.700.000	8.000	1	70.000	27.188
	555 Abfälle von Farbmitteln und Anstrichmitteln	3.000.000	500.000	10.000	1.000	800.000	27.425

"brennbare" Abfälle FS		Cl	S	Cd	Hg	Pb	Hu
AS	ÖNORM S 2100	[mg/Mg FS]	[mg/Mg FS]	[mg/Mg FS]	[mg/Mg FS]	[mg/MgFS]	[MJ/Mg FS]
	559 Abfälle von Klebstoffen, Kitten, nicht-ausgehärteten Harzen	20.000.000	9.000.000	10.000	420	800.000	28.370
	31417 Aktivkohle	1.500.000	10.000.000	1.000	500	80.000	29.000
	31420 Rußabfälle	2.000.000	15.000.000	70	200	7.000	29.000
	31421 Kohlenstaub	1.500.000	10.000.000	1.000	500	80.000	29.000
	57110 Polyurethan, Polyurethanschaum	54.000.000	9.000.000	40.000	450	350.000	29.441
	57111 Polyamid	10.000.000	9.000.000	40.000	450	350.000	31.053
	57502 Altreifen und Altreifenschnitzel	8.000.000	17.000.000	8.000	1	70.000	31.500
	31432 Graphitstaub, Graphit	2.000.000	15.000.000	100	50	6.000	32.625
	57118 Kunststoffemballagen	12.575.000	9.000.000	32.000	200	402.000	35.004
	57119 Kunststofffolien	2.438.000	9.000.000	21.000	450	254.000	40.968
	57128 Polyolefinabfälle	1.400.000	9.000.000	18.000	450	188.000	40.968
	57102 Polyester	10.000.000	9.000.000	40.000	450	350.000	41.456
	57107 ausgehärtete Formmassen (Duromere)	10.000.000	9.000.000	40.000	450	350.000	41.456
	57117 Kunstglas-, Polyacrylat- und Polycarbonatabfälle	10.000.000	9.000.000	40.000	450	350.000	41.456
	57123 Epoxidharze	10.000.000	9.000.000	40.000	450	350.000	41.456
	57126 fluorhaltige Kunststoffe	10.000.000	9.000.000	40.000	450	350.000	41.456
	57129 sonstige ausgehärtete Kunststoffabfälle	10.000.000	9.000.000	40.000	450	350.000	41.456
	<b>Mittelwerte</b>	<b>7.550.875</b>	<b>6.105.250</b>	<b>12.314</b>	<b>741</b>	<b>218.723</b>	<b>24.614</b>

### 5.3.2.2 Organische Schadstoffe

Aus Gewerbeabfällen ist ein definiertes Emissionspotenzial an organischen Schadstoffen zu unterstellen. So wurde der FCKW **R113** in der Vergangenheit insbesondere zur Oberflächenreinigung und -entfettung im Bereich Elektronik, Elektrotechnik und Luft- und Raumfahrt eingesetzt. Andere Branchen wie Brillen-, Schmuck- und Optikindustrie sowie Feinmechanik, Kugellagerindustrie und Fernsprechtechnik setzten ebenfalls R113 ein. Im gewerblich-industriellen Bereich ist es heute überwiegend durch wässrige Reinigungssysteme oder halogenfreie Lösemittel (z. B. Terpene) ersetzt und soll nach den verfügbaren Informationen in Endverbraucher nahen Produkten praktisch keine Rolle spielen.

R 143a wird insbesondere als Ersatzmittel für vollhalogenierte Kältemittel eingesetzt. Sein mengenmäßig relevanter Eintrag in den Restabfall ist frühestens in zehn bis 15 Jahren zu erwarten.

Cis- und trans-**1,2-Dichlorethen** (cis- und trans-1,2-Dichlorethylen) sind industrielle Löse- mittel. Sie werden vornehmlich über katalytisches Cracken von 1,1,2-Trichlorethan herge- stellt, können aber auch als Nebenreaktion bei anderen CKW-Herstellungsverfahren, z. B. bei der VC-Herstellung mittels Oxychlorierung anfallen [SCHULZE, WEISER, 1985].

Weiter spielen Mineralölverunreinigungen für gewerbliche Abfälle häufig eine wichtige Rol- len. Hierfür wird auf einen Bericht der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg verwiesen [LFU BA-WÜ, 1996]. Die folgende Tabelle zeigt eine grobe Zusammensetzung dieser Abfälle aus Kfz-Werkstätten. Neben dem Mineralöl selbst sind es dessen Zusätze und Verunreinigungen, die hier als organische Schadstoffe zu nennen sind.

**Tabelle 30: Zusammensetzung von ölverunreinigten Betriebsmitteln aus dem Kfz- Gewerbe in Baden-Württemberg**

\*) = brennbare Fraktion (Fasern, Putzlappen, Papierreste etc)

Bestandteil	Ölanteil / Altöl	Schrott	Fluff*	Restmüll
Menge	20 Gew.-%	40 Gew.-%	25 Gew.-%	15 Gew.-%

Repräsentative Untersuchungen über den Gehalt an flüchtigen bzw. wasserlöslichen organi- schen Stoffen konnten unsererseits nicht ausgemacht werden. **Wir unterstellen daher, dass der hausmüllähnliche Gewerbeabfall (inkl. Sortierreste und Baustellenmischabfälle) für organische Schadstoffe ein dem Hausmüll vergleichbares Emissionspotenzi- al aufweist.**

### 5.3.2.3 Berechnungsgrundlagen Stoffflussanalyse (hausmüllähnliche Gewerbeabfälle (inkl. Sortierreste und Baustellenmischabfälle))

Aus den zur Verfügung stehenden Datensätzen lässt sich ein repräsentativer vermischter hausmüllähnlicher Gewerbeabfall (inkl. Sortierreste und Baustellenmischabfälle) modellieren. Natürlich können diese Daten nur grobe Kennzahlen sein, die die richtige Größenordnung abschätzen sollen.

Bezogen auf die oben detailliert dargestellte Datenlage für organische Schadstoffe ergibt sich ein ähnliches Bild wie für den Bereich Hausmüll. Das Stoffinventar setzt sich aus toxi- kologisch und chemisch sehr unterschiedlichen Einzelstoffen bzw. Stoffgruppen zusammen. Eine genauere Differenzierung in weniger toxisch und hoch toxisch ist aber aufgrund unzu- reichend vorhandener Daten nur schwer möglich. Da der Input organischer Stoffe ins Grund- oder Oberflächengewässer aus ökotoxikologischen Gründen unerwünscht ist, ergibt sich auch hier ein Ansatzpunkt für die Verwendung eines Summenparameters. Im Folgenden wird daher die insgesamt aus der Deponierung resultierende Stoffabgabe in den Wasserpfad als potenziell schädlich eingestuft.

**Insgesamt wird daher von uns ein Elutionspotenzial (Auslaugungspotenzial) an organischen Schadstoffen (i. f. ELU) aus vermischten hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen im Bereich von 45 kg/Mg FS angenommen.**

Aus den skizzierten Datensätzen lässt sich ein repräsentativer **vermischter hausmüllähnlicher Gewerbeabfall** modellieren. Natürlich können diese Daten nur grobe Kennzahlen sein, die die richtige Größenordnung angeben sollen.

**Tabelle 31: Mittlere Schadstoffbelastung vermischter hausmüllähnliche Gewerbeabfälle (inkl. Sortierreste und Baustellenmischabfälle) (modelliert) (mg/Mg FS)**

Parameter (mg/Mg FS)	schadstoffarme heizwertreiche gewerbliche Abfälle in			Modellierung Gruppe 5; (hier: Holz, Kunst- stoffe, Textilien) [INFA/BZL, 2000b]	Baustellen- mischabfälle	hmäGA in A, Projekt MBRVV, [RAGOSSING ET AL. , 1999]	Mittelwert gerundet  (Modell- Gewerbe- abfall)
	DSD- Sortierreste (vgl. Tabelle 26)	Deutschland (ABANDA etc., vgl. Tabelle 28)	Österreich (ASTRA) (vgl. Tabelle 29)				
Chlor	24.400.000	20.600.000	7.551.000	6.139.000	75.000.000	4.865.000	26.700.000
Schwefel	2.600.000	2.200.000	6.105.000			7.786.000	3.600.000
Cadmium	10.000	7.500	12.300	4.900		1.200	8.700
Thallium	90	0		140			100
Quecksilber	440	1.400	740	40		410	700
Antimon	42.000	730.000		8.400		1.116.500	260.000
Arsen	3.100	1.500		850		2.500	1.800
Blei	260.000	210.000	218.800	38.800		314.300	182.000
Chrom	93.000	380.000		34.000		380.400	170.000
Kobalt	9.700	440				8.700	5.100
Kupfer	540.000	2.900.000		10.700		1.075.100	1.200.000
Mangan	110.000	17.000		77.800		330.800	68.000
Nickel	55.000	11.000		10.900		190.200	26.000
Vanadium	17.000	0		5.100		16.130	7.400
Zinn	79.000	39.000		17.800		58.600	45.000
VOC <sup>1</sup>							1.000.000
ELU <sup>2</sup>							45.000.000

<sup>1</sup> flüchtige organische Stoffe, hier: Daten wie Hausmüll;

<sup>2</sup> wasserlösliche organische Stoffe, hier: Daten wie Hausmüll

## 5.4 Darstellung der Prozesse und deren jeweiliges Transferprofil

In diesem Kapitel werden die verschiedenen Prozesse untersucht. Insbesondere wird dokumentiert, welches Transferverhalten in die genannten Umweltmedien die jeweiligen Anlagen und Techniken für die Schadstofffrachten aufweisen. Mit diesen Daten kann dann innerhalb der Entwicklungsszenarien die Stoffflussbetrachtung durchgeführt werden.

### 5.4.1 Müllverbrennungsanlagen (MVA)

Die in Deutschland betriebenen Müllverbrennungsanlagen (MVA) weisen einen vergleichsweise hohen Standard der Abgasreinigung auf. Die folgende Tabelle zeigt das Ergebnis einer aktuellen Umfrage unter den Betreibern von MVAs in Baden-Württemberg [BZL, 2000].

**Tabelle 32: Aktuelle Reingaswerte (Tagesmittelwerte bzw. Mittelwerte über längere Betriebszeiten) von MVAs in Baden-Württemberg; Berechnung des Mittelwertes jeweils mit ½ Nachweisgrenze**

Parameter	Einheit	MVA	MVA	MVA Ulm	MVA	MVA	arithmet. Mittelwerte Ba-Wü 1998/99
		Göppingen	Stuttgart		Mannheim	Böblingen	
Gesamt-C	mg/Nm <sup>3</sup>	0,86	2	0,04	< 1	1	<b>0,9</b>
CO	mg/Nm <sup>3</sup>	1,0	17	19,2	< 20	10	<b>11,4</b>
HCl	mg/Nm <sup>3</sup>	0,39	2,3	1,9	< 1	0,5	<b>1,1</b>
HF	mg/Nm <sup>3</sup>	n.n.	0,14	0,01	< 0,1	<0,1	<b>0,06</b>
SO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	1,9	6	2,6	< 3	0,1	<b>2,4</b>
NO <sub>x</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	58	57	65,3	60	50	<b>58,1</b>
Cd + Tl	mg/Nm <sup>3</sup>	n.n.	0,0012	0,0011	< 0,003	0,001	<b>0,001</b>
Hg	mg/Nm <sup>3</sup>	0,0025	0,0025	0,007	< 0,001	0,0004	<b>0,003</b>
Σ SM	mg/Nm <sup>3</sup>	0,019	0,0267	0,0085	< 0,020	0,001	<b>0,013</b>
PCDD/F I-TE	ng/Nm <sup>3</sup>	0,0013	0,059	0,035	< 0,01	0,0005	<b>0,020</b>

Die genannten MVAs können sowohl Hausmüll als auch hausmüllähnliche Gewerbeabfälle (inkl. Sortierreste und Baustellenmischabfälle) unvorbehandelt entsorgen. Die anfallenden Schlacken und Stäube werden, entsprechend den Angaben der Betreiber, im wesentlichen in Untertagebergwerken entsorgt (Senke).

Für die in den beiden betrachteten Abfallarten enthaltenen flüchtigen organischen Schadstoffe ergeben sich Mineralisierungsraten im Bereich von über 99%. Für den Bereich der wasserlöslichen organischen Schadstoffe wird eine Mineralisierung oberhalb von 95%

angenommen. Für die verbleibende organische Fracht ist die Schlacke der weiter zu betrachtende Outputstrom.

Bezüglich der Schwermetalleinträge sowie der Elemente Chlor und Schwefel errechnen sich aus der folgenden Gleichung aus den obigen Betreiberangaben (Mittelwert für Baden-Württemberg aus Tabelle 32), den bekannten Anlagenbilanzierungen und den Belastungen der eingebrachten Abfallarten (Tabelle 10 und Tabelle 29) die folgenden Kennziffern für die Stoffflussanalyse.

$$T_{f_{\text{Rein}}} = F_{\text{Rein}} / F_{\text{In}} \quad [\text{Formel 1}]$$

$T_{f_{\text{Rein}}}$  = Transferfaktor Reingas

$F_{\text{Rein}}$  = Fracht Reingas

$F_{\text{In}}$  = Fracht Input

wobei gilt:

$$F_{\text{Rein}} = K_{\text{Rein}} \cdot H_u \cdot \varphi \quad [\text{Formel 2}]$$

$K_{\text{Rein}}$  = Konzentration im Reingas ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )

$H_u$  = unterer Heizwert des Abfalls ( $\text{MJ}/\text{Mg}$ )

$\varphi$  = energiespezifisches Abgasvolumen (N, tr.) ( $\text{m}^3/\text{MJ}$ )

**Tabelle 33: Transferfaktoren für die MVA in Baden-Württemberg**

Parameter	TF Luft: Reingas	TF Fe-/NE-Metalle	TF Staub/ RGR / Schlacke (Summe TF Reingas + TF Fe/NE-Metalle ergänzt zu 1, ausgenommen VOC und ELU)
Chlor	0,00062		0,99938
Schwefel	0,00177		0,99823
Cadmium	0,00065	0,050	0,94935
Thallium	0,00065		0,99935
Quecksilber	0,00689		0,99311
Antimon	0,00004		0,99996
Arsen	0,00004		0,99996
Blei	0,00004	0,100	0,89996
Chrom	0,00004	0,100	0,89996
Kobalt	0,00004		0,99996
Kupfer	0,00004	0,100	0,89996
Mangan	0,00004		0,99996
Nickel	0,00004	0,100	0,89996
Vanadium	0,00004		0,99996
Zinn	0,00004		0,99996
VOC	0,00002		
ELU*			0,02140

\* wasserlösliche organische Stoffe

#### 5.4.2 Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung (MBA)

Die Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung (MBA) ist unter dem Aspekt Stoffstrommanagement als eine Anlage anzusehen, die verschiedene Stoffströme erzeugt, im Unterschied zur MVA beispielsweise aber keine eigentliche Endbehandlung darstellt.

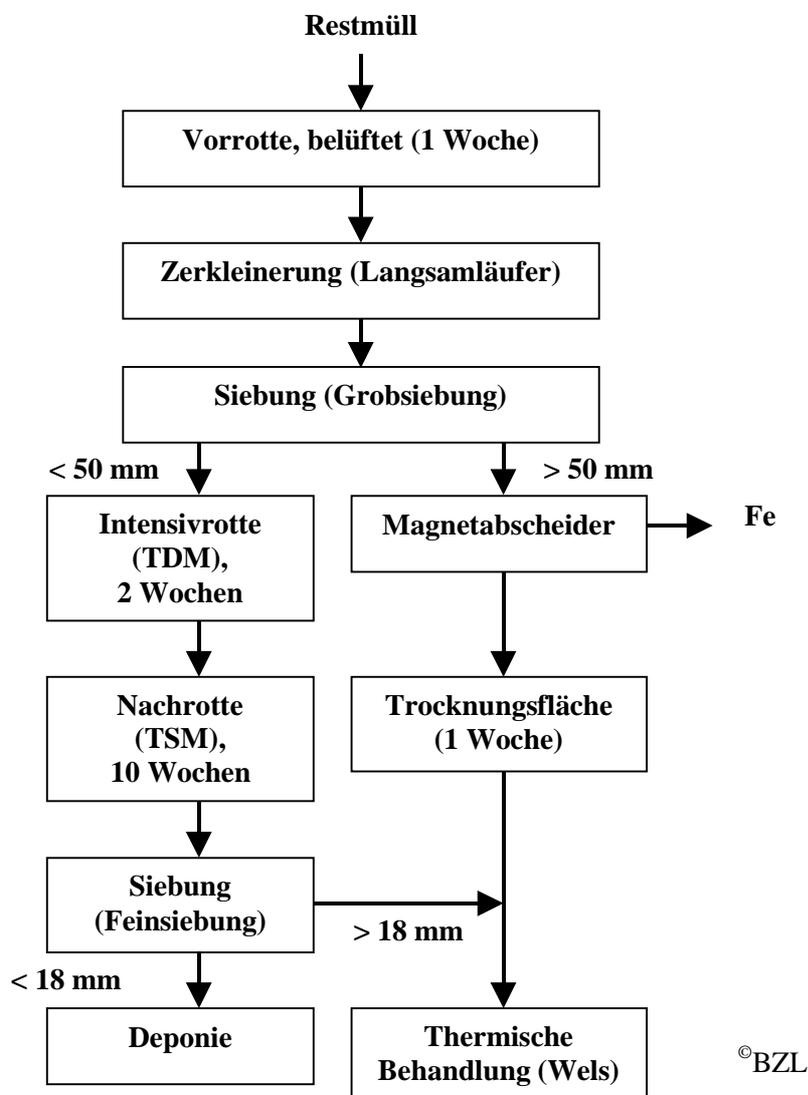
Für die MBA ist das Beherrschen der flüchtigen organischen Schadstoffe in den betrachteten Abfallarten das herausragende Thema.

### 5.4.2.1 MBA nach Stand der Technik

MBA's sollen entsprechend dem Entwurf zur 30. BImSchV betrieben werden, so die Vorstellungen des BMU. Diese Anlagen reduzieren die VOC-Emissionen auf unter 55 g/Mg FS [30. BImSchV, 2000].

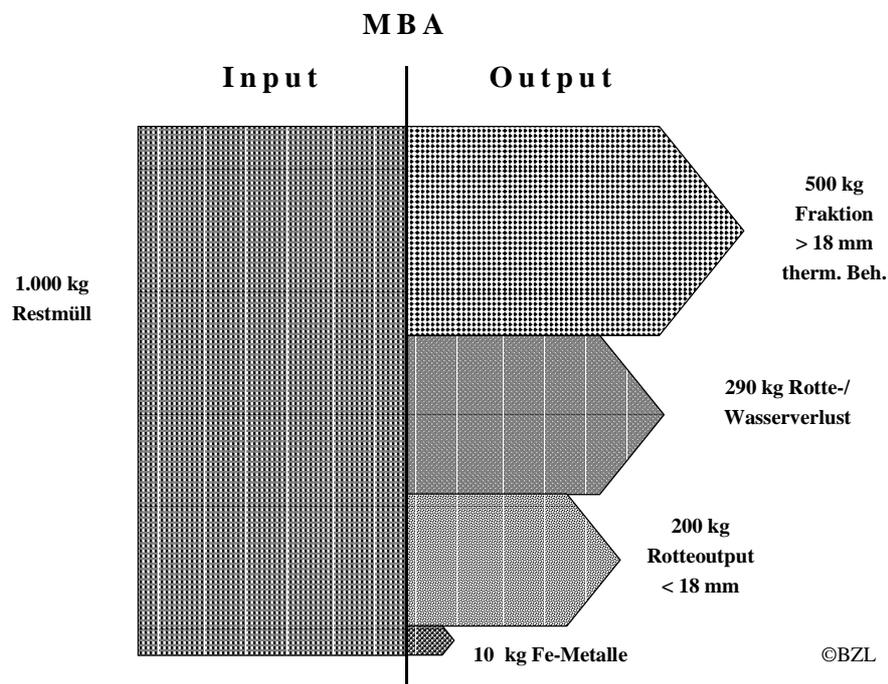
Die Massenflüsse (Deponie, hochkalorische Fraktion) werden maßgeblich durch die Anforderungen aus der Ablagerungsverordnung bestimmt (insbesondere H<sub>0</sub>-Regelung) [AbfAbIV, 2000]. Da es in Deutschland bei den existierenden MBA's noch keine hinreichenden Erfahrungen mit der Einhaltung dieser Vorgaben gibt, wird auf die Kennwerte einer österreichischen MBA zurückgegriffen (MBA Kufstein der Fa. Thöni).

Abb. 12: MBA Kufstein: Fließbild Technik [ZESCHMAR-LAHL ET AL., 2000]



Die folgende Abbildung zeigt das resultierende Massenflussdiagramm einer derartigen MBA.

Abb. 13: MBA Kufstein: Massenflussdiagramm [ZESCHMAR-LAHL ET AL., 2000]



Für den Schwermetallinput ist eine geringfügige Emission flüchtiger Elemente zu beachten. Ansonsten findet lediglich eine Verteilung der Schwermetallfracht auf die Outputströme statt. Von uns wird weiter unterstellt, dass MBAs diesen Standards eine funktionstüchtige NE-Metallabtrennung durchführen müssen, um einen verkehrsfähigen Ersatzbrennstoff (EBS) erzeugen zu können. Dies führt zu einer Schwermetallentfrachtung der hochkalorischen Fraktion.

Für die flüchtige Organik (VOC) wird unsererseits unterstellt, dass die Vorgaben der 30. BImSchV [30. BImSchV, 2000] eingehalten werden. Für die wasserlöslichen organischen Schadstoffe wird, in Anlehnung an eigene Untersuchungen [LAHL, ZESCHMAR-LAHL, 1997a] und die Anforderungen der Ablagerungsverordnung [AbfAbIV, 2000], ein Abbau von 90% durch die biologische Behandlung der Deponiefraction angenommen (Eluat vor Behandlung: 1.000–5.000 mg/l, nach Behandlung < 250 mg/l).

Die folgende Tabelle zeigt die von uns abgeschätzten Transferfaktoren für eine MBA nach dem Stand der Technik. Die Daten wurden aus unterschiedlichen Datenquellen abgeleitet. Die Transferfaktoren sind jeweils auf die Inputwerte des Gesamtabfalls bezogen.

**Tabelle 34: Transferfaktoren (TF) Stand der Technik-MBA auf Basis der Massenflüsse in Abb. 13 (1 = 100%), a = eigene Schätzungen auf Basis von [ZESCHMAR-LAHL ET AL., 2000]**

Parameter	TF Luft	TF Deponiefraktion [HARANT, 1999], [NELLES ET AL., 1997]	TF Hochkalorische Fraktion [HARANT, 1999], [NELLES ET AL., 1997], [IBA 2000]	TF Fe-, NE-Metallabtrennung (und sonstiges) [HARANT, 1999] oder ergänzt zu 1
Chlor	0,004 <sup>a</sup>	0,10 <sup>a</sup>	0,85 <sup>a</sup>	0,046
Schwefel	0,01 <sup>a</sup>	0,20 <sup>a</sup>	0,73 <sup>a</sup>	0,06
Cadmium	<0,001 <sup>a</sup>	0,38	0,47	0,15
Thallium	<0,001 <sup>a</sup>			
Quecksilber	0,05 <sup>a</sup>	0,44	0,30 <sup>a</sup>	0,21
Antimon	<0,001 <sup>a</sup>	0,15 <sup>a</sup>	0,75 <sup>a</sup>	0,10
Arsen	<0,001 <sup>a</sup>	0,55	0,37	0,08
Blei	<0,001 <sup>a</sup>	0,46	0,30	0,24
Chrom	<0,001 <sup>a</sup>	0,32	0,35	0,33
Kobalt	<0,001 <sup>a</sup>	0,29	0,23	0,48
Kupfer	<0,001 <sup>a</sup>	0,14	0,20 <sup>a</sup>	0,66
Mangan	<0,001 <sup>a</sup>	0,15 <sup>a</sup>	0,30 <sup>a</sup>	0,55
Nickel	<0,001 <sup>a</sup>	0,19	0,14	0,67
Vanadium	<0,001 <sup>a</sup>	0,50 <sup>a</sup>	0,10 <sup>a</sup>	0,40
Zinn	<0,001 <sup>a</sup>	0,40 <sup>a</sup>	0,10 <sup>a</sup>	0,50
VOC	0,05 <sup>a</sup>	0,001		
ELU*		0,1 <sup>a</sup>		

\* wasserlösliche organische Stoffe

#### 5.4.2.2 MBA nach heutigem Stand

Für die Sensitivitätsbetrachtung wird untersucht, welche Auswirkungen eintreten, wenn sich Bestrebungen verschiedener Interessensgruppen durchsetzen, das Verordnungspaket des BMU an entscheidenden Stellen in seinen Anforderungen zu reduzieren.

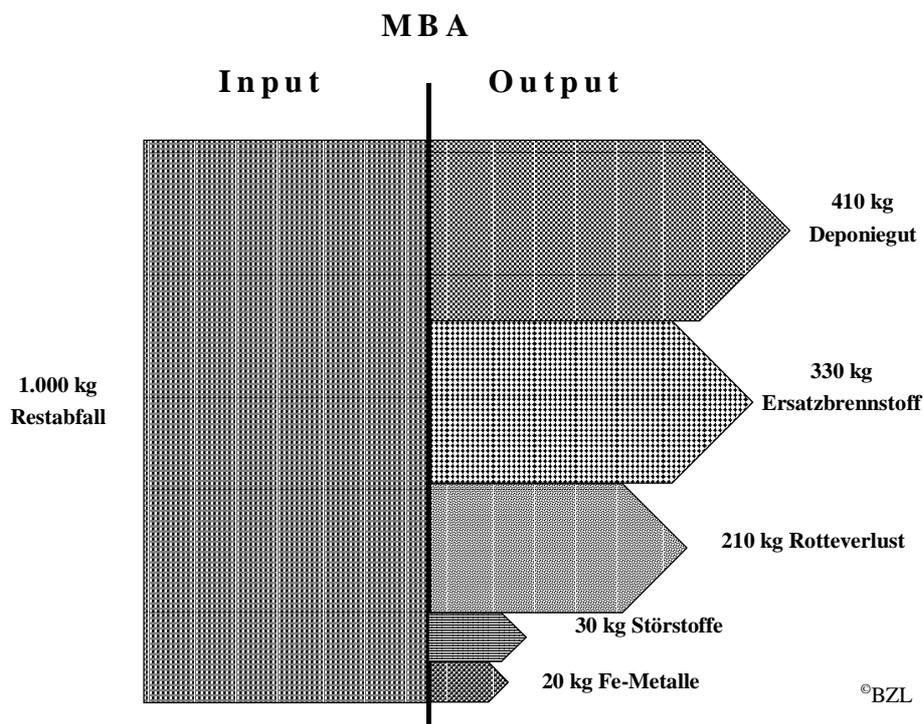
Neben dem Weiterbetrieb von Deponien ohne TASI-Standard nach 2005 (vgl. Tabelle 37) ist hier die Reduzierung der Umweltschutzanforderungen an die MBA zu berücksichtigen. Im

Einzelnen wird hierfür unterstellt, dass die heute gegebenen Techniken als ausreichend angesehen werden:

- Abgas: TOC im Reingas = 300 g/m<sup>3</sup>,
- Deponiefraktion: AT<sub>4</sub> = 5 mg O<sub>2</sub>/g OTS,
- Einbau: ohne Auflagen.

Für die Berechnung dieser Variante wird als Modellanlage daher auf die MBA Lüneburg zurückgegriffen. Die folgende Abbildung zeigt den Massenfluss dieser Anlage.

**Abb. 14: Massenfluss der MBA Lüneburg [ZESCHMAR-LAHL ET AL., 2000]**



Bezüglich der Transferfaktoren werden für die anorganischen Stoffe ähnliche Werte wie für die MBA Kufstein unterstellt. Für die VOCs wird aufgrund der geringeren Abgasreinigungsleistung dieser MBAs ein Transferfaktor von 0,35 angesetzt; für die wasserlösliche Organik wird mit einem Transferfaktor von 0,20 gerechnet. Für die Schwermetalle wird aufgrund der nicht gegebenen NE-Metallabtrennung pauschal eine um 50% reduzierte Entfrachtung gegenüber der Stand der Technik-MBA angesetzt.

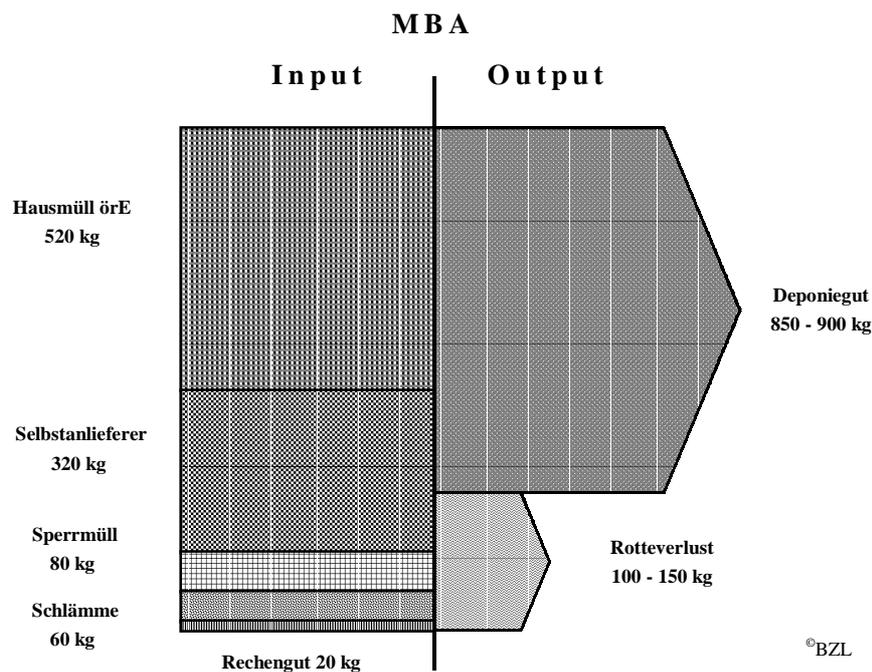
#### 5.4.2.3 Low level-MBA

Je nach politischem Entscheidungsprozess zum Komplex TASI-Novellierung wird die zukünftige Rolle der low level-MBA entschieden. Daher wird unsererseits für die Sensitivitätsbetrachtung die ökologisch ungünstige Variante eines anteiligen Nutzens des Prozesses low level-MBA mit angesetzt. Hierbei war zu prüfen, welche Auswirkungen es hat, wenn die low level-MBA auch nach 2005 weiter betrieben werden kann (als Verwertungsanlage).

Eine low level-MBA stellt konzeptionell eine Vorbehandlung vor der Ablagerung dar, wie sie auch an wenigen Standorten in Baden-Württemberg aktuell noch in Betrieb ist [ZESCHMAR-LAHL ET AL., 2000]). Es werden keine Materialien zur Verwertung ausgeschleust. Eine Abgasreinigung findet nicht statt (Freilandrotten), und die löslichen Schadstoffe werden anteilig in den Deponiekörper verfrachtet.

Die folgende Abbildung zeigt den Massenfluss einer low level-MBA (MBA Calw).

**Abb. 15: Massenfluss der MBA Calw, Stand 1998/1999 [ZESCHMAR-LAHL ET AL., 2000]**



Die folgende Tabelle zeigt wiederum die Transferfaktoren, die im Rahmen dieser Studie für die low level-MBA herangezogen wurden.

**Tabelle 35: Transferfaktoren low level-MBA; a = eigene Schätzungen auf Basis von [ZESCHMAR-LAHL ET AL, 2000]**

Parameter	TF Luft	TF Deponiefraktion (ergänzt zu 1, ausgen. VOC und ELU)
Chlor	0,01 <sup>a</sup>	0,99
Schwefel	0,15 <sup>a</sup>	0,85
Cadmium	0,01 <sup>a</sup>	0,99
Thallium	0,01 <sup>a</sup>	0,99
Quecksilber	0,10 <sup>a</sup>	0,9
Antimon	0,01 <sup>a</sup>	0,99
Arsen	0,01 <sup>a</sup>	0,99
Blei	0,01 <sup>a</sup>	0,99
Chrom	0,01 <sup>a</sup>	0,99
Kobalt	0,01 <sup>a</sup>	0,99
Kupfer	0,01 <sup>a</sup>	0,99
Mangan	0,01 <sup>a</sup>	0,99
Nickel	0,01 <sup>a</sup>	0,99
Vanadium	0,01 <sup>a</sup>	0,99
Zinn	0,01 <sup>a</sup>	0,99
VOC	0,75	0,01 (Abbau 0,249)
ELU*		0,50 (Abbau 0,50)

\* wasserlösliche organische Stoffe

### 5.4.3 Deponien

Das Emissionsverhalten der Deponien hängt natürlich vom Ausbaustandard der Deponie selbst ab. Tabelle 36 zeigt den Ausbaustandard der in Baden-Württemberg in Betrieb befindlichen Deponien.

Da je nach Szenario davon auszugehen ist, dass Abfälle aus Baden-Württemberg auch auf Deponien anderer Bundesländer gelangen, sind auch derartige Anlagen von ihrem Emissionsverhalten her zu qualifizieren. Tabelle 37 zeigt die Situation in ausgewählten Bundesländern. Gerade viele der nicht TASI-konformen Deponien sind gegenwärtig im Geschäft der Scheinverwertung involviert.

**Tabelle 36: Technischer Standard der baden-württembergischen Hausmülldeponien [LFU BA-WÜ, 2000]**

Deponie	Erhebungsjahr	Oberflächenabdichtung	Basis								Sickerwasser						Deponiegas								
			Basisabdichtung	mineralisch, durch Umlagerung	mineralisch, durch Aufbau	mineralisch, mit Verbesserung	Kombinationsdichtung	Asphaltabdichtung	sonstige Dichtungen	Asphaltverbundabdichtung	Flächendrainage	Rohr-drainage	Sauger	Sammler	Kom. Kläranlage	Industriekläranlage	Deponiekläranlage	Deponiegaserfassung	Biologische Behandlung	Thermische Behandlung	Niedertemp.-Fackel (-900°C)	Mitteltemp.-Fackel (900-1.000°C)	Hochtemp.-Fackel (+1.200°C)	Blockkraftwerk	Blockheizkraftwerk
Kahlenberg	1990	ja	ja							ja	ja	ja			ja	ja		ja			ja		ja		
Vulkan	1997	ja		ja		ja	ja			ja	ja	ja	ja	ja		ja					ja				
Bengelbruck	1997	ja	ja			ja				ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja		ja			ja	ja			
Walddorf	1997	ja	ja	ja			ja			ja	ja	ja	ja	ja		ja		ja			ja	ja			
Sinsheim	1997	ja	ja	ja	ja	ja	ja			ja	ja	ja	ja	ja		ja		ja	ja						
Vogelsang	1997	ja	ja	ja						ja	ja	ja	ja	ja		ja									ja
Sauloch	1990	ja		ja		ja					ja	ja	ja	ja		ja		ja			ja	ja			
Dußlingen	1999	ja	ja			ja				ja	ja	ja	ja	ja		ja		ja			ja		ja		
Schinderteich	1999	ja	ja			ja		ja		ja	ja		ja	ja		ja		ja			ja		ja		
Münchingen	1999	ja				ja					ja	ja	ja	ja		ja		ja			ja				
Lachengraben	1999	ja	ja			ja				ja	ja		ja		ja	ja		ja			ja		ja		
Scheinberg	1999	ja		ja		ja		ja			ja	ja	ja	ja		ja	ja		ja	ja	ja		ja		

Deponie	Erhebungsjahr	Oberflächenabdichtung	Basis								Sickerwasser						Deponiegas								
			Basisabdichtung	mineralisch, durch Umlagerung	mineralisch, durch Aufbau	mineralisch, mit Verbesserung	Kombinationsdichtung	Asphaltichtung	sonstige Dichtungen	Asphaltverbunddichtung	Flächendrainage	Rohr-drainage	Sauger	Sammler	Kom. Kläranlage	Industriekläranlage	Deponiekläranlage	Deponiegaserfassung	Biologische Behandlung	Thermische Behandlung	Niedertemp.-Fackel (-900°C)	Mitteltemp.-Fackel (900-1.000°C)	Hochtemp.-Fackel (+1.200°C)	Blockkraftwerk	Blockheizkraftwerk
Bochingen	1999	ja	ja					ja		ja	ja	ja	ja	ja			ja		ja			ja	ja		
Hüfingen	1999		ja	ja						ja	ja	ja	ja	ja			ja		ja			ja		ja	
Titisee-Neustadt	1999	ja	ja	ja	ja						ja		ja	ja			ja		ja			ja	ja		
Eichelbuck	1999		ja	ja							ja	ja	ja	ja		ja	ja		ja					ja	
Litzholz	1998	ja	ja			ja	ja				ja	ja	ja	ja			ja		ja			ja	ja		
Reinstetten	1998		ja	ja							ja	ja	ja				ja		ja			ja			
Gutenfurt	1998										ja	ja	ja	ja			ja		ja			ja			ja
Obermooweiler	1998		ja		ja						ja	ja	ja	ja			ja		ja			ja	ja		
Zaisersweiher	1990		ja	ja							ja	ja	ja	ja			ja		ja	ja			ja		
Hohberg	1990		ja				ja				ja	ja	ja	ja			ja						ja		
Raderach	1998		ja		ja		ja				ja	ja	ja	ja		ja	ja		ja			ja	ja		
Tiefloch	1991		ja	ja	ja						ja	ja	ja	ja			ja					ja			
Sansenhecken	1991		ja		ja		ja				ja	ja	ja	ja			ja		ja			ja	ja		

Deponie	Erhebungsjahr	Oberflächenabdichtung	Basis								Sickerwasser						Deponiegas								
			Basisabdichtung	mineralisch, durch Umlagerung	mineralisch, durch Aufbau	mineralisch, mit Verbesserung	Kombinationsdichtung	Asphaltichtung	sonstige Dichtungen	Asphaltverbunddichtung	Flächendrainage	Rohr-drainage	Sauger	Sammler	Kom. Kläranlage	Industriekläranlage	Deponiekläranlage	Deponiegaserfassung	Biologische Behandlung	Thermische Behandlung	Niedertemp.-Fackel (-900°C)	Mitteltemp.-Fackel (900-1.000°C)	Hochtemp.-Fackel (+1.200°C)	Blockkraftwerk	Blockheizkraftwerk
Friesenheimer Insel	1991	ja	ja	ja	ja				ja	ja	ja	ja	ja												
Hintere Dollert	1990	ja	ja	ja	ja	ja			ja	ja	ja			ja	ja		ja				ja	ja	ja		
Bruchsal	1990							ja					ja		ja		ja	ja							
Karlsruhe-West	1991	ja	ja	ja	ja			ja	ja	ja	ja	ja	ja		ja		ja				ja				
Ellert	1999		ja		ja				ja	ja	ja	ja	ja		ja	ja		ja			ja		ja		
Reutehau	1999		ja	ja	ja	ja			ja	ja	ja	ja	ja		ja	ja		ja			ja		ja		
Wertheim-Dörlesberg	1990		ja	ja		ja			ja	ja		ja	ja		ja		ja				ja	ja			
Hasenbühl	1999		ja	ja					ja	ja	ja	ja	ja		ja		ja	ja							
Beltersrot	1999		ja	ja	ja					ja	ja	ja	ja		ja						ja	ja			
Eberstadt	1991		ja	ja	ja					ja	ja	ja	ja		ja		ja				ja	ja			
Schwaigern	1991		ja	ja						ja	ja	ja	ja		ja		ja				ja	ja			

Deponie	Erhebungsjahr	Oberflächenabdichtung	Basis								Sickerwasser							Deponiegas								
			Basisabdichtung	mineralisch, durch Umlagerung	mineralisch, durch Aufbau	mineralisch, mit Verbesserung	Kombinationsdichtung	Asphaltichtung	sonstige Dichtungen	Asphaltverbunddichtung	Flächendrainage	Rohr-drainage	Sauger	Sammler	Kom. Kläranlage	Industriekläranlage	Deponiekläranlage	Deponiegaserfassung	Biologische Behandlung	Thermische Behandlung	Niedertemp.-Fackel (-900°C)	Mitteltemp.-Fackel (900-1.000°C)	Hochtemp.-Fackel (+1.200°C)	Blockkraftwerk	Blockheizkraftwerk	Heizung
Eichholz	1991	ja	ja	ja						ja	ja	ja	ja	ja			ja		ja	ja			ja			
Backnang-Steinbach	1991	ja			ja			ja									ja		ja	ja						
Horrheim	1991	ja	ja	ja		Ja			ja		ja	ja	ja	ja			ja		ja			ja	ja			
Stadler Schafhof	1991	ja	ja	ja						ja	ja	ja	ja	ja												
Katzenbühl	1991	ja		ja						ja	ja	ja	ja	ja												
Einöd	1991	ja	ja	ja						ja	ja		ja	ja			ja		ja		ja					
Meßkirch-Ringgenbach	1999	ja		ja						ja	ja		ja	ja			ja		ja	ja			ja			
Talheim	1999	ja				Ja			ja	ja	ja		ja	ja		ja	ja		ja			ja				
Dorfweiher	1998	ja		ja	ja						ja	ja	ja			ja	ja		ja			ja	ja			
Rickelshausen	1998									ja	ja	ja	ja	ja			ja		ja			ja	ja			
Anzahl gesamt:	46	7	43	23	24	6	21	3	5	3	30	45	38	44	40	0	11	43	0	38	7	4	31	22	10	2

**Tabelle 37: Deponiesituation in ausgewählten Bundesländern, anonymisiert (Stand 1999)**

Bundesland	Einwohner (in Millionen)	Anzahl Hausmülldeponien	davon mit Basisabdichtung gemäß TASI
A	ca. 2,5	41	1
B	ca. 2	10	9
C	ca. 4,5	31	8
D	ca. 2,5	35	4
E	ca. 2,5	20	17
F	ca. 7,8	42	27

Bei vollständig fehlender Basisabdichtung, was in einzelnen Bundesländern die „Regeldeponie“ darstellt, ist von einem weitgehenden kurz- bis mittelfristigen Transfer vieler Schadstoffe ins Grundwasser auszugehen. Bei nicht TASI-konformer Basisabdichtung, was bei vielen der oben dokumentierten Bundesländer die „Regeldeponie“ darstellt, ist, je nach Art der Basisabdichtung, eine höhere Transferrate (verglichen mit TASI-Standard) ins Grundwasser zu erwarten (s.u.). Bei nicht vorhandener Gasfassung (was in Niedersachsen beispielsweise in rund einem Drittel der betriebenen Deponien der Fall ist) ist anzunehmen, dass die im Restabfall enthaltenen flüchtigen Schadstoffe weitgehend in die Atmosphäre verlagert werden und zusätzlich erhebliche Sekundäremissionen (Methan) entstehen.

Allerdings ist es aufgrund der vorhandenen Datenlage schwer, quantitativ exakte Prognosen anzugeben, wie sich die Schadstofffrachten, die in eine Deponie eingebracht werden, bezüglich der Austragspfade Luft und Wasser verteilen werden. Dies hängt einerseits mit der gegebenen unzureichenden Datenbasis zusammen und stellt auch ein methodisches Problem dar, da hier Prognosezeiträume von Jahrzehnten (bzw. Jahrhunderten) zu betrachten sind. Neben der überwachten Betriebsphase einer Deponie ist auch deren Nachsorgephase einzubeziehen. Die Nachsorgephase ist so lange auszudehnen, bis die Emissionen der Anlage ohne Behandlung abgeleitet werden dürfen.

#### **Als Prognosezeitraum in dieser Studie werden 150 Jahre festgelegt.**

Für eine Deponie, die komplett den TASI-Standard bezüglich Untergrundabdichtung, Sickerwasserfassung und -reinigung sowie Gasfassung und -entsorgung einhält, werden die Transferfaktoren in die Umweltmedien Luft und Wasser niedrig ausfallen. Für den Luftpfad wird allgemein eine 40%ige Fassung und Entsorgung der über das Deponiegas emittierten organischen Schadstoffe für möglich angesehen, folgt man den betrieblichen Erfahrungen in Deutschland. Für den Wasserpfad wird eine 70%ige Fassung und Entsorgung für möglich angesehen [WHITE ET AL., 1995]. Für die meisten anorganischen Elemente wird eine niedrige Transferrate in die genannten Umweltmedien unterstellt. Diese Annahmen ergeben sich aufgrund der chemischen Beschaffenheit der Elemente. Diese Schätzungen sind dann zu-

treffend, wenn die Schlämme aus der Abwasserreinigung nicht landwirtschaftlich verwertet werden. Für die Ermittlung dieser Transferfaktoren wird u.a. auf [ZIMMERMANN ET AL., 1996] zurückgegriffen. Die dort enthaltenen Faktoren sind über umfangreichen Modellrechnungen ermittelt worden.

Deponien nach TASI-Standard, aber ohne die geforderten natürlichen Standorteigenschaften weisen einen erhöhten Transfer an Stoffen ins Grundwasser auf. Für die geologische Barriere ergeben sich hierdurch, je nach gegebener Geologie, erhöhte Infiltrationsraten im Bereich des Faktors 10 bis 100. Allerdings wird diese Infiltrationsrate erst „in Anspruch“ genommen, wenn die technische Barriere und die Sickerwasserfassung versagt. Insgesamt wird daher pauschal angenommen, dass auf die gesamte Betrachtungszeit der Deponie dadurch das Emissionspotenzial an wasserlöslichen organischen Stoffen nur zur Hälfte zurückgehalten werden kann. Für die restlichen Pfade sind gegenüber der obigen Deponieausstattung identische Werte anzusetzen.

Für die Deponie ohne jedwede Ausstattung sind uns aus der Literatur keine Betrachtungen des Emissionspotenzials bekannt. Für den Wasserpfad kann abgeschätzt werden, welches Sickerwasserpotenzial anfallen dürfte. Geht man von der Durchschnittsgröße von 5 l je Mg und Jahr aus [WHITE ET AL., 1995], ergeben sich über den Betrachtungszeitraum insgesamt 750 l Sickerwasser. Diese Sickerwassermenge kann wiederum als Emission in den Wasserpfad angesehen werden. Sie kann über einen mittleren Erfahrungswert der Sickerwasserbelastung [IFEU, 1992] in Beziehung zum Abfallinput gesetzt werden, um die jeweiligen Transferfaktoren zu berechnen. Für die Gasphase wird eine beinahe vollständige Freisetzung der flüchtigen Organik unterstellt; Schwermetalle werden nur in unbedeutendem Umfang über den Gaspfad emittiert.

Für den Deponietyp ohne natürliche und ohne technische Deponiebasis, aber mit Sickerwasserfassung, wird ein Emissionspotenzial zwischen den beiden oben genannten Deponietypen (keine geologische Barriere / vollständig ohne Ausstattung) angenommen. Für den Gaspfad wird eine 40%ige Fassung und Entsorgung angenommen (wie TASI-Deponie).

Die folgende Tabelle zeigt die Transferfaktoren, die für unterschiedliche Deponiestandards von uns unterstellt wurden. Wir haben in unseren Überlegungen die Deponie eher optimistisch abgeschätzt, insbesondere was den Wasserpfad anbelangt. In der Sensitivitätsbetrachtung setzen wir uns mit pessimalen Annahmen aus der Literatur auseinander.

**Tabelle 38: Transferfaktoren für unterschiedliche Deponiestandards (nach Literaturwerten und eigenen Abschätzungen)**

Parameter	Deponie komplett mit TASI-Standard			Deponie mit TASI-Standard bis auf Standortvoraussetzungen			Deponie mit TASI-Standard bis auf Untergrundabdichtung			Deponie ohne Abdichtung, Sickerwasser- und Gasfassung		
	Luft	Wasser	Deponie (Senke)	Luft	Wasser	Deponie (Boden)	Luft	Wasser	Deponie (Boden)	Luft	Wasser	Deponie (Boden)
Chlor	0,060	0,01	0,93	0,06	0,025	0,915	0,06	0,035	0,905	0,1	0,1	0,8
Schwefel	0,003	0,005	0,992	0,003	0,015	0,982	0,003	0,020	0,977	0,005	0,08	0,915
Cadmium	0,000004	0,0006	0,999	0,000004	0,0025	0,997	0,000004	0,003	0,997	0,000007	0,005	0,995
Thallium			1,0			1,0			1,0			1,0
Quecksilber	0,00004	0,0001	1,0	0,00004	0,00015	1,0	0,00004	0,0002	1,0	0,00007	0,0003	1,0
Antimon	0,0000001	0,0005	0,999	0,0000001	0,0007	0,999	0,0000001	0,0009	0,999	0,0000002	0,001	0,999
Arsen	0,0000001	0,0005	0,999	0,0000001	0,0015	0,998	0,0000001	0,003	0,997	0,0000002	0,005	0,995
Blei	0,0000001	0,0003	1,0	0,0000001	0,001	0,999	0,0000001	0,0015	0,998	0,0000002	0,002	0,998
Chrom	0,0000001	0,0005	0,999	0,0000001	0,001	0,999	0,0000001	0,0015	0,998	0,0000002	0,002	0,998
Kobalt	0,0000001	0,0005	0,999	0,0000001	0,001	0,999	0,0000001	0,0015	0,998	0,0000002		1,0
Kupfer	0,0000002	0,0007	0,999	0,0000002	0,0005	0,999	0,0000002	0,8	0,999	0,0000002	0,001	0,999
Mangan	0,0000001	0,0005	0,999	0,0000001	0,001	0,999	0,0000001	0,8	0,999	0,0000002	0,001	0,999
Nickel	0,0000001	0,0005	0,999	0,0000001	0,0025	0,997	0,0000001	0,0035	0,996	0,0000002	0,005	0,995
Vanadium	0,0000001	0,0005	0,999	0,0000001	0,001	0,999	0,0000001		1,0	0,0000002		1,0
Zinn	0,0000001	0,0005	0,999	0,0000001	0,001	0,999	0,0000001		1,0	0,0000002		1,0
VOC	0,60	0,001	0,399	0,60	0,002	0,398	0,60		0,40	0,95		0,05
ELU	0,001	0,30	0,699	0,001	0,50	0,499	0,001	0,75	0,249	0,002	0,90	0,098

\* wasserlösliche organische Stoffe

#### **5.4.4 Sortieranlagen**

Sortieranlagen werden für die gewerblichen Abfallströme eingesetzt. Allerdings ist die Sortiertiefe heute eher gering.

Sortieranlagen erzeugen, ähnlich wie die MBA, unterschiedliche Stoffströme. Sie stellen selbst keine Endbehandlung dar. Sie sind aber auch aufgrund der geringen Sortiertiefe und Behandlungsintensität keine eigene relevante Quelle von Schadstoffemissionen (abgesehen von den hier nicht erfassten Parametern Lärm, Staub, Mikroorganismen, Gerüche).

Sortieranlagen können nach 2005 auch genutzt werden, um gezielt Ersatzbrennstoffe für die industrielle Mitverbrennung zu erzeugen. Die Transferfaktoren für die Auftrennung in Abfallströme variieren entsprechend den ökonomischen Randbedingungen, die sich wiederum über die Randbedingungen der Szenarien definieren.

#### **5.4.5 Industrielle Mitverbrennung**

Von den verschiedenen Möglichkeiten der Mitverbrennung von Abfällen in Industrieanlagen werden im Folgenden die beiden mengenmäßig wichtigsten Prozesse näher betrachtet:

- Zementwerke
- Kraftwerke.

Der Einsatz von unvorbehandeltem Hausmüll oder hausmüllähnlichem Gewerbeabfall (inkl. Sortierresten und Baustellenmischabfälle) im Zement- oder Kraftwerk ist nicht möglich. Vielmehr müssen diese Abfälle einer umfänglichen Aufbereitung unterzogen werden, bevor sie eingesetzt werden können. Dies kann in hierauf ausgebauten MBAs (Splitting- oder Stabilisierungsanlagen), in umgebauten Sortieranlagen oder in speziellen Ersatzbrennstoff-Erzeugungsanlagen erfolgen.

Im Rahmen dieses Aufbereitungsprozesses kommt es auch zu Schadstoffabreicherungen durch beispielsweise Sichtungsaggregate oder NE-Metallabtrennung. Die abgetrennten schadstoffhaltigen Fraktionen werden über die MVA oder die Schrottaufbereitung entsorgt.

Für die Belastung der erzeugten Ersatzbrennstoffe werden gegenwärtig unterschiedliche Grenzwertvorschläge diskutiert. Tabelle 39 zeigt eine Auswahl der Vorschläge.

Für die Aufbereitung wird angenommen, dass die in Tabelle 34 für die MBA genannte Aufbereitungseffizienz (Transferfaktoren für EBS) erreicht wird. Dies stellt für EBS aufbereitungstechnisch gesehen kein ehrgeiziges Ziel (Schadstoffentfrachtung) dar. Hieraus ergeben sich die im Folgenden dargestellten mittleren Belastungen der Ersatzbrennstoffe, je nach Herkunftsbereichen.

**Tabelle 39: Vergleich von verschiedenen Schadstoffgrenzwert(empfehlung)en (heizwertbezogen, in mg/MJ) für den Einsatz von aufbereiteten Abfällen (Ersatzbrennstoffe) im Vergleich mit Steinkohle als Regelbrennstoff**

Parameter	Regelbrennstoff Steinkohle Mittelwert [VEBA, 1997]** mg/MJ	Richtwert LAGA [LAGA, 1997] mg/MJ	Richt-Konzentration BUWAL [BUWAL, o.J.] mg/MJ	Vorschlag BDE: Gütekriterien für SBS mg/MJ	Vorschlag VDZ: Gütekriterien für Zementindustrie, mg/MJ	Entwurf Bundesgütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe, Median*** mg/MJ
Chlor*	0,0002	< 1	k.A.	< 0,1	k.A.	k.A.
Schwefel	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Cadmium	0,02	0,3	0,08	< 0,6	0,5	0,25
Thallium	< 0,04	0,15	0,12	< 0,2	0,2	0,06
Quecksilber	0,004	0,02	0,02	< 0,06	0,05	0,04
Antimon	k.A.	0,07	0,2	< 3,6	5,4	1,6
Arsen	0,4	1,9	0,6	< 0,6	1,6	0,3
Blei	1,5	10	8	< 15,2	10,8	11,9
Chrom	0,7	3,7	4	< 18,2	12,4	7,8
Kobalt	0,2	1,2	0,8	< 0,9	1,4	0,4
Kupfer	0,6	3,7	4	< 42,4	21,6	21,9
Mangan	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	15,6
Nickel	0,7	3,5	4	< 9,1	10,8	5,0
Vanadium	1,5	k.A.	k.A.	< 1,8	2,2	0,6
Zinn	0,1	0,4	0,4	< 9,1	5,4	1,9

\* Gew.-%

\*\* umgerechnet mit 7% Wassergehalt aus originärer Datenquelle

\*\*\* heizwertreiche Fraktion aus Siedlungsabfall, mg/kg TS wurde umgerechnet auf mg/MJ mit Hu 16.000 MJ/Mg

Zwar ist gegenwärtig noch unklar, welche Grenzwertvorschläge sich durchsetzen werden. Bei den oben dargestellten Belastungen der Ersatzbrennstoffe werden die beispielsweise vom BDE im Rahmen der Bundesgütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe vorgeschlagenen Grenzwerte (Hu für EBS aus Hausmüll liegt im Bereich von knapp 13.000 MJ/Mg) für die meisten Parameter sicher eingehalten. Daher dürfte gegenwärtig für die EBS-Aufbereitung kein Motiv erkennbar sein, eine weitergehende Entfrachtung durchzuführen. Deshalb wird für die industrielle Mitverbrennung mit den folgenden Belastungswerten gerechnet.

**Tabelle 40: Mittlere Belastung von Ersatzbrennstoffen, berechnet mit Modell-Hausmüll und modelliertem hausmüllähnlichen Gewerbeabfall (inkl. Sortierresten und Baustellenmischabfällen) und den Transferfaktoren der Stand der Technik-MBA für Ersatzbrennstoffe**

Parameter	Ersatzbrennstoff aus Hausmüll (mg/Mg)	Ersatzbrennstoff aus hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen (inkl. Sortierreste und Baustellenmischabfälle) (mg/Mg)
Chlor	3.710.300	11.347.500
Schwefel	1.402.500	1.530.000
Cadmium	2.600	2.700
Thallium	k. A..	k. A.
Quecksilber	300	100
Antimon	14.300	97.500
Arsen	900	300
Blei	102.500	45.500
Chrom	11.300	38.300
Kobalt	600	600
Kupfer	45.000	120.000
Mangan	52.500	10.000
Nickel	1.500	1.800
Vanadium	300	400
Zinn	27.500	11.300

#### 5.4.5.1 Zementwerke

In Deutschland sind rund 50 Zementöfen in Betrieb. Die folgende Tabelle zeigt den vorhandenen Bedarf an Brennstoffen und die Absatzmöglichkeiten an Ersatzbrennstoffen aus Hausmüll und hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen (inkl. Sortierresten und Baustellenmischabfällen), in Abhängigkeit der angenommenen Substitutionsraten. Daraus folgt, dass ein ausreichendes Potenzial vorhanden ist, Abfälle für die Mitverbrennung aufzunehmen.

Die Mitverbrennung im Zementprozess kann in der Primär- oder in der Sekundärfeuerung erfolgen. Beim Einsatz in der Primärfeuerung ist von einer vollständigen Mineralisierung (oberhalb 99%) aller organischen Inhaltsstoffe auszugehen.

Der Zementprozess hat im wesentlichen nur zwei Austragspfade:

- Reingas,
- Erzeugnis (Klinker).

**Tabelle 41: Theoretische Einsatzpotenziale für Ersatzbrennstoffe in der Zementindustrie in der BRD in Abhängigkeit von der Substitutionsrate [INFA/BZL, 2000a]**

Energiebedarf	3,5 Mio. Mg SKE/a
Derzeitige Substitutionsrate	16%
bei Substitutionsrate von x% verbleibender Bedarf:	
x = 25%	0,32 Mio. Mg SKE/a (= 0,67 Mio. Mg EBS aus Hausmüll)
x = 50%	0,64 Mio. Mg SKE/a (= 1,34 Mio. Mg EBS aus Hausmüll)

Die folgende Tabelle zeigt, wie sich die mit den Ersatzbrennstoffen eingebrachten Schwermetalle (sowie Chlor und Schwefel) auf diese beiden Austragspfade verteilen.

**Tabelle 42: Transferfaktoren für energetische Nutzung im Zementwerk**

Parameter	Transferfaktoren Reingas	Transferfaktoren Produkt
Chlor	0,0002	0,9998
Schwefel	0,01 @	0,99
Cadmium	0,00003	0,99997
Thallium	0,0002	0,9998
Quecksilber	0,4	0,6
Antimon	0,000005	0,999995
Arsen	0,000005	0,999995
Blei	0,00002	0,99998
Chrom	0,000005	0,999995
Kobalt	0,000005	0,999995
Kupfer	0,000005	0,999995
Mangan	0,000005	0,999995
Nickel	0,000005	0,999995
Vanadium	0,000005	0,999995
Zinn	0,000005	0,999995
VOC	<0,0001 <sup>a</sup>	<0,0001 <sup>a</sup>
ELU*	<0,0001 <sup>a</sup>	<0,0001 <sup>a</sup>

\* wasserlösliche organische Stoffe; Daten: [MURL NRW, 2000]

a = eigene Schätzung @ [GALLENKEMPER, BRAUNGART, 1999]

Die Transferfaktoren für die Schwermetalle wurden vom VDZ (Verein Deutscher Zementwerke) aus den dort vorliegenden Untersuchungen errechnet [MURL NRW, 2000]. Für Quecksilber scheint die errechnete Verlagerung ins Reingas niedrig. Hier wird von anderen Autoren bis zu 90% angegeben [GALLENKEMPER, BRAUNGART, 1999]. Wir haben uns entschlos-

sen, für diese Studie weitgehend auf die Datenbasis der betreibenden Industrie zurückzugreifen, weil hierdurch die jeweiligen Ergebnisse sicherlich nicht als zu pessimistisch kritisiert werden können. Im Rahmen der Sensitivitätsbetrachtung wird mit einem höheren Transferfaktor nach Gallenkemper und Braungart [GALLENKEMPER, BRAUNGART, 1999] gerechnet.

#### 5.4.5.2 Kraftwerke

Die folgende Tabelle zeigt das Einsatzpotenzial an Ersatzbrennstoffen in Abhängigkeit angenommener Substitutionsraten für den Prozess Kraftwerk. Kraftwerke verfügen demnach über einen deutlich höheren Brennstoffbedarf, als dies für Zementwerke in Deutschland der Fall ist und können demzufolge auch höhere Mengen an Ersatzbrennstoffen aufnehmen. Allerdings ist die Applikation dieser Brennstoffe in den Verbrennungsraum je nach Kraftwerkstyp mit höheren Aufwendungen und Schwierigkeiten verbunden.

**Tabelle 43: Theoretische Einsatzpotenziale für Ersatzbrennstoffe in der Energiewirtschaft in der BRD in Abhängigkeit von der Substitutionsrate [INFA /BZL, 2000]**

Energiebedarf (alte Bundesländer 1994)	84,3 Mio. Mg SKE/a
derzeitige Substitutionsrate	Unbekannt
bei Substitutionsrate von x% verbleibender Bedarf:	
x = 5%	4,5 Mio. Mg SKE/a (= 9,7 Mio. Mg EBS aus Hausmüll)
x = 10%	9,0 Mio. Mg SKE/a (= 19,4 Mio. Mg EBS)

Der Kraftwerkspark in Deutschland setzt sich im wesentlichen zusammen aus:

- Rostfeuerung,
- Wirbelschichtfeuerung,
- Staubfeuerung (Trockenfeuerung),
- Schmelzkammerfeuerung.

In Abhängigkeit der jeweiligen Feuerungsart ist in der Diskussion, ob der Einsatz von Abfällen die Zeitverfügbarkeit der Kraftwerksanlagen beeinträchtigen kann (Korrosion). Nun kann gegenwärtig nicht prognostiziert werden, welche der genannten Kraftwerkstypen sich mehr oder weniger umfangreich auf dem EBS-Markt engagieren. Die Schmelzkammerfeuerung ist sicherlich eine Technologie, die auch aus ökologischer Sicht besonders günstige Voraussetzungen für die Abfallmitverbrennung aufweist. Hier ist insbesondere die Einbindung der schwer flüchtigen Schwermetalle in die Schmelze zu nennen. Allerdings ist die Anzahl der in Deutschland betriebenen Schmelzkammerfeuerungen derzeit eher gering. Neben diesem Feuerungstyp werden zunehmend auch Braunkohlekraftwerke (Staubfeue-

rung) ins Gespräch gebracht (z. B. Jänschwalde in Brandenburg). Daher wird u.E. neben der Schmelzkammerfeuerung die Abfallverwertung mengenmäßig hauptsächlich im Bereich der Braunkohle-Staubfeuerung stattfinden. Die folgende Tabelle zeigt die Transferfaktoren (Reingas) für ein Braunkohlekraftwerk (Staubfeuerung) und die berechneten Transferfaktoren für die anderen Umweltmedien.

**Tabelle 44: Transferfaktoren TF energetische Nutzung im Kraftwerk (Reingas: Kohlekraftwerk Bocksberg (Staubfeuerung Braunkohle)) [a = eigene Schätzungen; b nach [RENTZ ET AL., 1998]]**

	TF Reingas	TF REA-Gips <sup>a,b</sup>	TF (Schlacke + Stäube <sup>a,b</sup> )	TF Abwasser <sup>a,b</sup>
Chlor	0,002	0,0001	0,0001	0,9978
Schwefel	0,0001	0,86	0,1349	0,005
Cadmium	0,00019	0,03781	0,96	0,002
Thallium	0,018	0,041	0,94099	0,00001
Quecksilber	0,62	0,005	0,37	0,005
Antimon	0,005	0,051	0,94399	0,00001
Arsen	0,0016	0,01439	0,984	0,00001
Blei	0,0031	0,00589	0,991	0,00001
Chrom	0,00018	0,001	0,998815	0,000005
Kobalt	0,00068	0,001	0,998315	0,000005
Kupfer	0,0037	0,001	0,995295	0,000005
Mangan	0,00083	0,001	0,998165	0,000005
Nickel	0,016	0,008	0,975995	0,000005
Vanadium	0,00018	0,007	0,99281	0,00001
Zinn	0,0027	0,001	0,996295	0,000005
VOC	0,00002	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
ELU*	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

\* wasserlösliche organische Stoffe

In der Sensitivitätsbetrachtung (siehe dort) wird zu berücksichtigen sein, dass sich im Falle anderer Kraftwerkstypen die obigen Transferfaktoren verschieben.

#### 5.4.5.3 Sonstiges

Unter die Rubrik sonstige Anlagen fallen Hochöfen, Kalkstein- und Ziegelindustrie u.v.m... Diese Prozesse, mögen sie in Einzelfällen auch durchaus interessant und bedeutend sein, dürften für die Betrachtung der drei Entwicklungsszenarien in Deutschland eine eher untergeordnete Rolle einnehmen.

## **6 Stoffflüsse in die Prozesse und Zielmedien**

Im Folgenden werden die Schadstoffflüsse innerhalb der zu betrachtenden Entwicklungsszenarien für die Bundesrepublik Deutschland für die Jahre 2002, 2006 und 2010 prognostiziert.

Die Entwicklungsszenarien sollen die praktischen, ökologischen Konsequenzen analysieren, die mit der Einführung der Abfallverwaltungsvorschrift des BMU (AbfallVwV) verbunden wären. Wobei, aufgrund der gegebenen zeitlichen Parallelität, für die Szenarien zur Siedlungsabfallentsorgung auch die Entscheidungen zur Novellierung der TA Siedlungsabfall einzu beziehen waren.

### **6.1 Szenario 1**

Das Szenario 1 beschreibt eine Entwicklung, in der konsequent die Grundgedanken des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes vollzogen werden. Hausmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle (inkl. Sortierreste und Baustellenmischabfälle) sind in der Überlassungspflicht der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger. Deponien ohne Basisabdichtung, Sickerwasserfassung und Gasfassung sind bis 2002 bundesweit geschlossen. Scheinverwertung findet nicht statt. Bis 2005 sind alle erforderlichen Vorbehandlungsanlagen realisiert und in Betrieb, unvorbehandelter Restabfall wird nicht mehr abgelagert (Szenario 1: Verwirklichung der Grundgedanken des KrW-/AbfG). Die TASI-Anforderungen [TA Siedlungsabfall, 1993] werden in diesem Szenario per Rechtsverordnung (Abfall-Ablagerungs-Verordnung, AbfAbIV) gefasst und dadurch in ihrem bindenden Charakter unmittelbar wirksam. Die AbfAbIV wird allerdings nicht für MBA-Fractionen geöffnet.

#### **6.1.1 Abfallmengen Szenario 1**

Die im Szenario 1 prognostizierten (nähere Begründung s. o.) Mengen für die oben beschriebenen Prozesse sind im Anhang detailliert wiedergegeben. Die folgenden Abbildungen geben die wichtigsten Daten grafisch wieder.

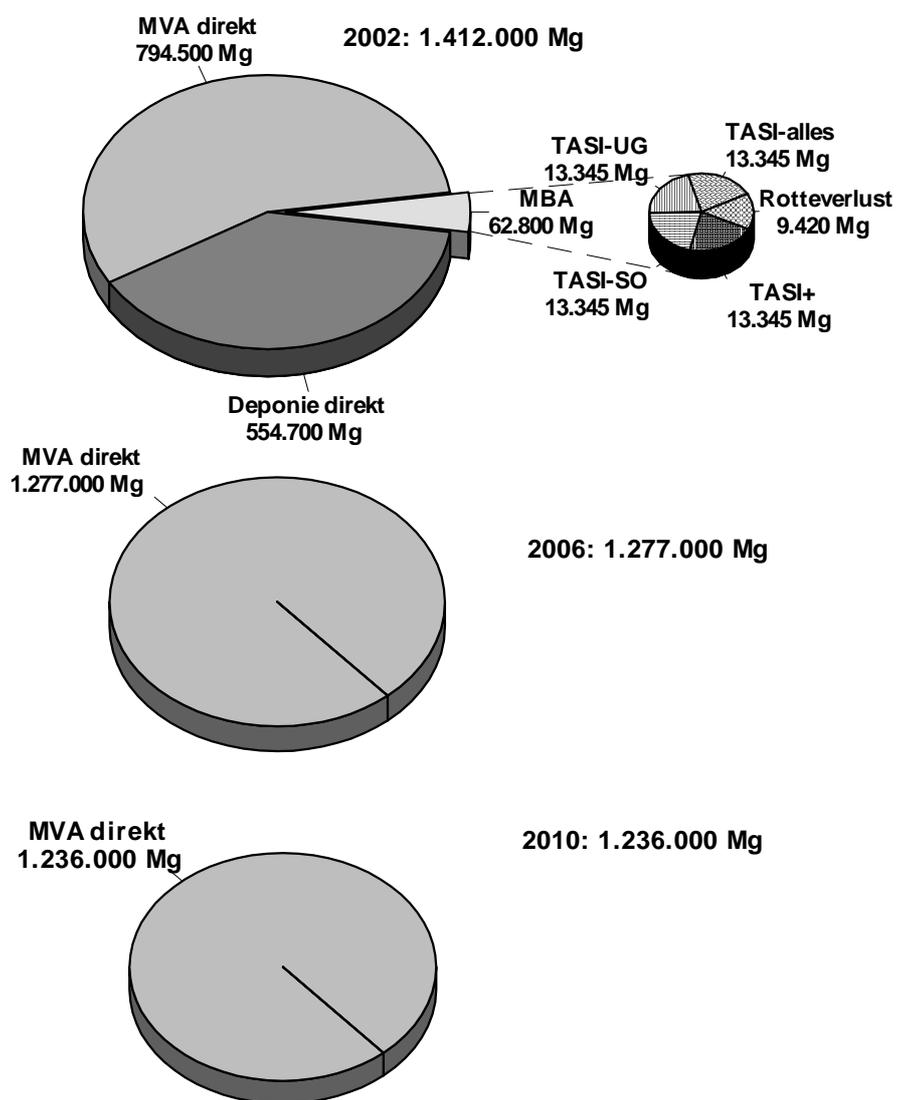
**Abb. 16: Szenario 1 – Hausmüll. Mengenströme im Überblick. Aufkommen in Baden-Württemberg, Verbleib in Deutschland.**

TASi+ = Deponie komplett mit TASi-Standard

TASi-SO = Deponie mit TASi-Standard bis auf Standortvoraussetzungen

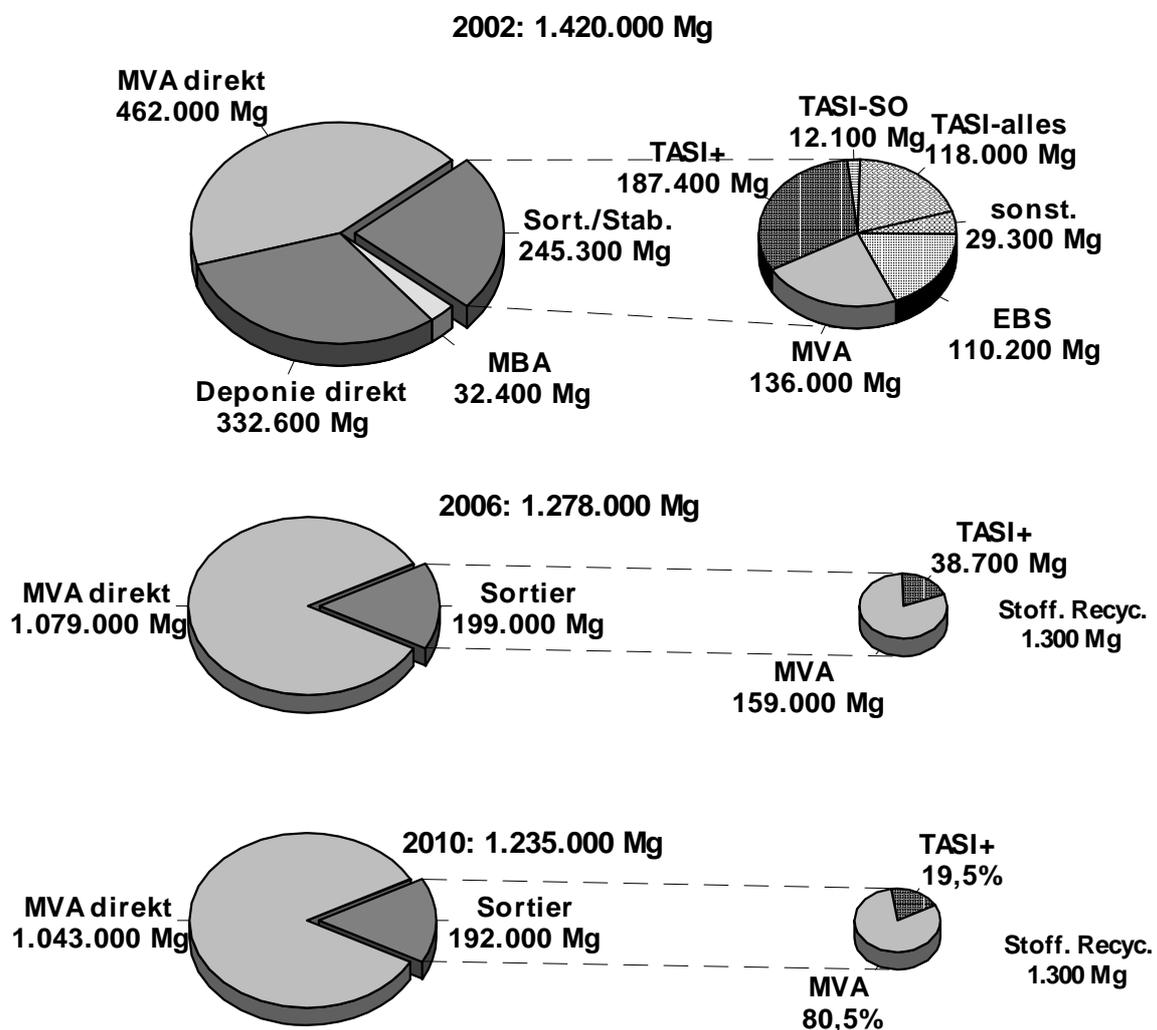
TASi-UG = Deponie mit TASi-Standard bis auf Untergrundabdichtung

TASi-alles = Deponie ohne Abdichtung, Sickerwasserfassung und Gasfassung



**Abb. 17: Szenario 1 – Hausmüllähnlicher Gewerbeabfall. Mengenströme im Überblick. Aufkommen in Baden-Württemberg, Verbleib in Deutschland.**

- TASi+ = Deponie komplett mit TASi-Standard
- TASi-SO = Deponie mit TASi-Standard bis auf Standortvoraussetzungen
- TASi-UG = Deponie mit TASi-Standard bis auf Untergrundabdichtung
- TASi-alles = Deponie ohne Abdichtung, Sickerwasserfassung und Gasfassung



### 6.1.2 Berechnungsergebnisse Szenario 1

Die folgende Tabelle zeigt die errechneten Stoffflüsse für Szenario 1 im Detail.

**Tabelle 45: Szenario 1: Stoffflüsse. Aufkommen in Baden-Württemberg, Verbleib in Deutschland.**

Bezugsjahr		I n p u t ( k g )			
		Hg	Cd	VOC	ELU
2002		3.500	24.400	2.360.000	108.000.000
2006		3.200	22.000	2.130.000	97.000.000
2010		3.100	21.300	2.060.000	94.000.000
Bezugsjahr		O u t p u t			
	Zielmedium	Hg@	Cd@	VOC	ELU
2002	Luft	1,3%	0,1%	31,0%	0,0%
2002	Wasser	0,0%	0,1%	0,0%	15,8%
2002	Boden	4,3%	7,9%	0,2%	0,6%
2002	Erzeugnis	0,5%	3,2%	0,0%	0,0%
2002	Deponie	37,9%	38,5%	16,8%	29,3%
2002	Senke	50,8%	46,1%	51,9%	54,2%
<b>2002</b>	<b>Summe Zielmedien</b>	<b>94,8%</b>	<b>95,9%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>
2006	Luft	0,7%	0,1%	1,1%	0,0%
2006	Wasser	0,0%	0,0%	0,0%	0,5%
2006	Boden	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
2006	Erzeugnis	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
2006	Deponie	0,5%	1,8%	0,7%	1,3%
2006	Senke	97,2%	94,3%	98,2%	98,2%
<b>2006</b>	<b>Summe Zielmedien</b>	<b>98,4%</b>	<b>96,2%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>
2010	Luft	0,7%	0,1%	1,1%	0,0%
2010	Wasser	0,0%	0,0%	0,0%	0,5%
2010	Boden	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
2010	Erzeugnis	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
2010	Deponie	0,5%	1,7%	0,7%	1,2%
2010	Senke	97,2%	94,3%	98,2%	98,2%
<b>2010</b>	<b>Summe Zielmedien</b>	<b>98,4%</b>	<b>96,1%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>

@ Differenz zu 100% ist der im System verbleibende Anteil (Modellierung siehe Abb. 9)

Die obigen Ergebnisse zeigen insbesondere die Auswirkungen, die mit der konsequenten Umsetzung der TASI verbunden sind.

Die betrachteten Schwermetalle werden über Senken von den Umweltmedien ferngehalten, die organischen Schadstoffe werden weitgehend mineralisiert (wird hier ebenfalls als Senke angesehen).

## **6.2 Szenario 2**

In Szenario 2 wird der heutige Status quo beibehalten. Rechts- und Investitionsunsicherheiten sind die beherrschenden Randbedingungen in diesem Szenario. Die Abfallverwaltungsverordnung des BMU (AbfallVwV) wird nicht erlassen, der Vorgang bleibt aber weiter „zunächst unterbrochen bzw. eingefroren, aber keineswegs zurückgezogen“. Klarstellungen zur Überlassungspflicht und zur Scheinverwertung müssen dadurch weiterhin im Einzelfall erstritten werden. Auf diesem Feld werden daher für das Land Baden-Württemberg sowohl einzelne Erfolge als auch Misserfolge eintreten. Die Scheinverwertung lässt sich mit den Mitteln des Landesvollzugs nur teilweise verhindern.

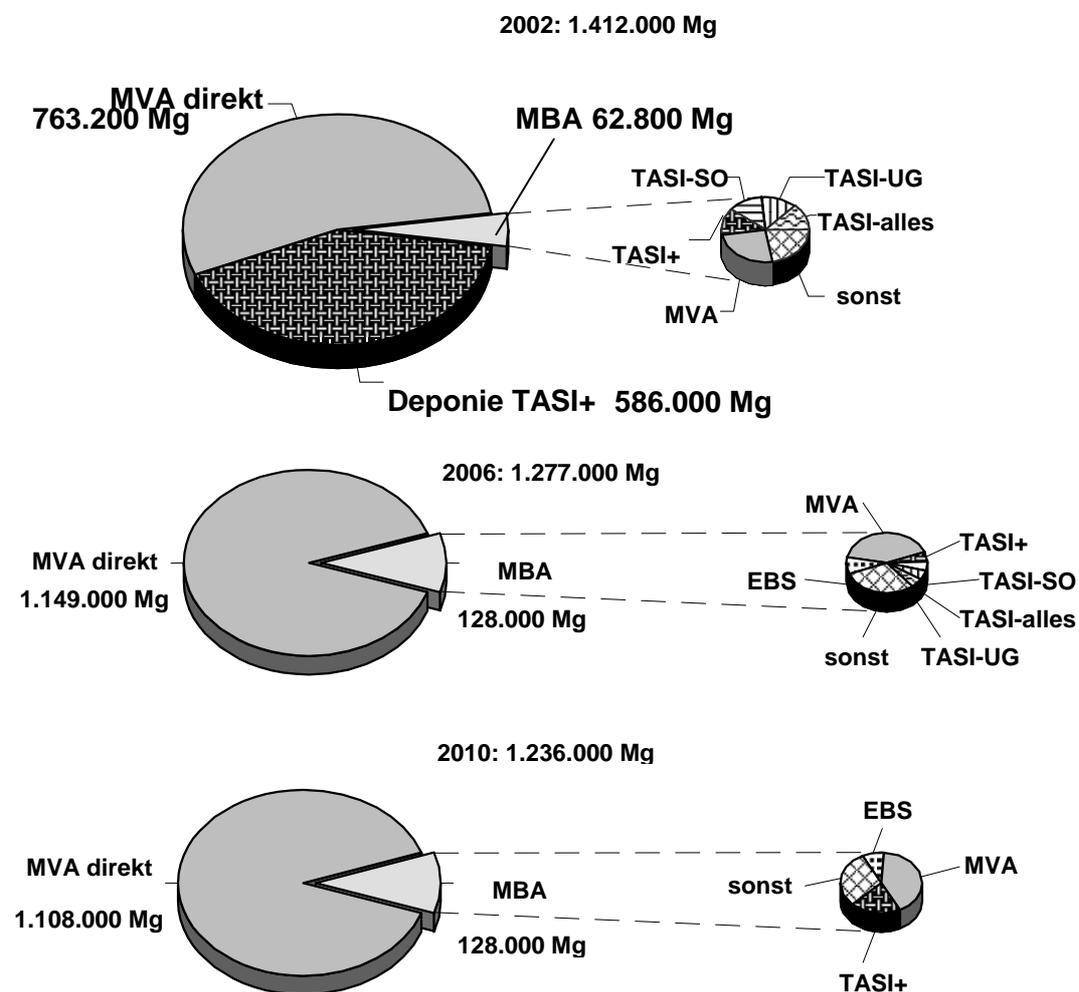
Die TASI [TA Siedlungsabfall, 1993] wird in diesem Szenario gemäß den Vorstellungen des BMU novelliert (AbfAbIV [AbfAbIV, 2000]; WHG § 7a Anhang 59 [ANHANG 59, 2000], 30. BImSchV [30. BImSchV, 2000]).

### **6.2.1 Abfallmengen Szenario 2**

Die im Szenario 2 prognostizierten (nähere Begründung s. o.) Mengenströme für die oben beschriebenen Prozesse sind im Anhang detailliert wiedergegeben. Die folgenden Abbildungen geben die wichtigsten Daten grafisch wieder.

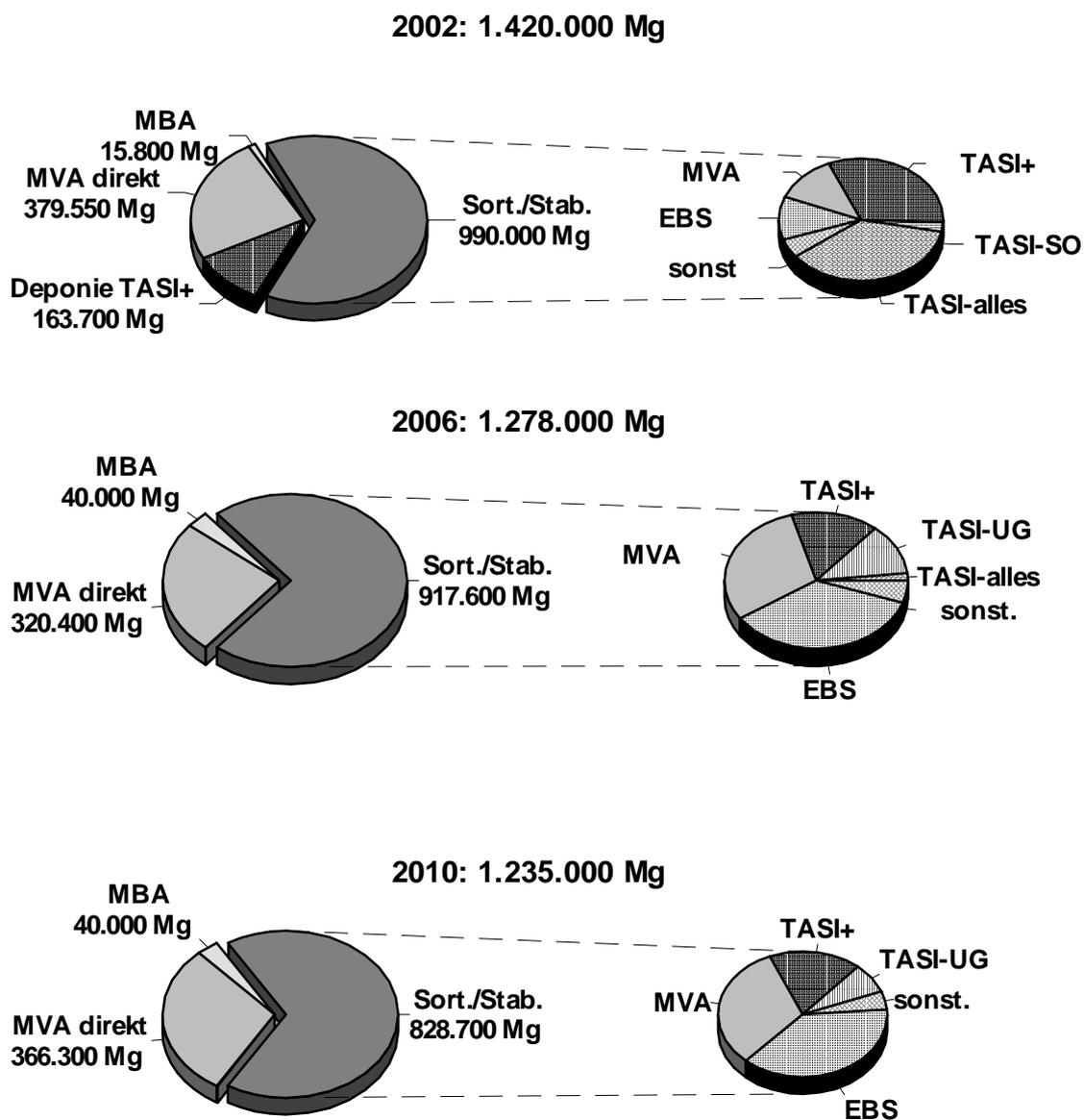
**Abb. 18: Szenario 2 – Hausmüll. Mengenströme im Überblick. Aufkommen in Baden-Württemberg, Verbleib in Deutschland.**

- TASi+ = Deponie komplett mit TASi-Standard
- TASi-SO = Deponie mit TASi-Standard bis auf Standortvoraussetzungen
- TASi-UG = Deponie mit TASi-Standard bis auf Untergrundabdichtung
- TASi-alles = Deponie ohne Abdichtung, Sickerwasserfassung und Gasfassung



**Abb. 19: Szenario 2 – Hausmüllähnlicher Gewerbeabfall. Mengenströme im Überblick. Aufkommen in Baden-Württemberg, Verbleib in Deutschland.**

- TASi+ = Deponie komplett mit TASi-Standard
- TASi-SO = Deponie mit TASi-Standard bis auf Standortvoraussetzungen
- TASi-UG = Deponie mit TASi-Standard bis auf Untergrundabdichtung
- TASi-alles = Deponie ohne Abdichtung, Sickerwasserfassung und Gasfassung



## 6.2.2 Berechnungsergebnisse Szenario 2

Die folgende Tabelle zeigt die errechneten Stoffflüsse für Szenario 2 im Detail.

**Tabelle 46: Szenario 2: Stoffflüsse. Aufkommen in Baden-Württemberg, Verbleib in Deutschland.**

Bezugsjahr		I n p u t ( k g )			
		Hg	Cd	VOC	ELU
2002		3.500	24.400	2.360.000	108.000.000
2006		3.200	22.000	2.130.000	97.000.000
2010		3.100	21.300	2.060.000	94.000.000
Bezugsjahr		O u t p u t			
	Zielmedium	Hg@	Cd@	VOC	ELU
2002	Luft	1,2%	0,0%	27,1%	0,0%
2002	Wasser	0,0%	0,1%	0,0%	16,4%
2002	Boden	6,4%	14,7%	0,5%	1,0%
2002	Erzeugnis	0,6%	2,6%	0,0%	0,0%
2002	Deponie	37,2%	35,6%	13,2%	23,5%
2002	Senke	45,5%	38,3%	59,1%	59,1%
<b>2002</b>	<b>Summe Zielmedien</b>	<b>90,8%</b>	<b>91,3%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>
2006	Luft	3,0%	0,1%	2,4%	0,0%
2006	Wasser	0,0%	0,0%	0,0%	2,4%
2006	Boden	4,7%	8,8%	0,7%	0,6%
2006	Erzeugnis	2,1%	9,5%	0,0%	0,0%
2006	Deponie	2,6%	5,1%	0,4%	1,0%
2006	Senke	76,8%	65,7%	96,5%	96,0%
<b>2006</b>	<b>Summe Zielmedien</b>	<b>89,2%</b>	<b>89,1%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>
2010	Luft	3,0%	0,1%	1,4%	0,0%
2010	Wasser	0,0%	0,0%	0,0%	1,3%
2010	Boden	1,2%	4,6%	0,4%	0,3%
2010	Erzeugnis	2,2%	10,0%	0,0%	0,0%
2010	Deponie	5,5%	7,2%	0,3%	1,1%
2010	Senke	77,9%	68,0%	98,0%	97,4%
<b>2010</b>	<b>Summe Zielmedien</b>	<b>89,8%</b>	<b>89,8%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>

@ Differenz zu 100% ist der im System verbleibende Anteil (Modellierung siehe Abb. 9)

Die Ergebnisse des Szenarios 2 zeigen ebenfalls den positiven Einfluss der Umsetzung der TA Siedlungsabfall. Durch einen stärkeren Rückgriff auf energetische Nutzungsanlagen erhöhen sich in diesem Szenario die Schadstoffeinträge ins Erzeugnis. Zusätzlich führt die Öffnung der TAs für die MBA zu erhöhten Werten für die Deponie und den Boden.

### **6.3 Szenario 3**

Szenario 3 beschreibt eine Entwicklungsrichtung, die eintreten wird, sofern die Abfallverwaltungsvorschrift des BMU (AbfallVwV) erlassen wird. Die der Verwaltungsvorschrift zugrundeliegende Rechtsauffassung setzt sich in diesem Szenario bundesweit durch<sup>2</sup>.

Die TASI wird in diesem Szenario ebenfalls entsprechend den Vorstellungen des BMU novelliert. Daher ergeben sich bezüglich der TASI-Problematik zwischen Szenario 2 und 3 keine unterschiedlichen Annahmen bzw. Randbedingungen.

#### **6.3.1 Abfallmengen Szenario 3**

Die im Szenario 3 prognostizierten (nähere Begründung s. o.) Mengenströme für die oben beschriebenen Prozesse sind im Anhang detailliert wiedergegeben. Die folgenden Abbildungen geben die wichtigsten Daten grafisch wieder.

---

<sup>2</sup> Durch das Urteil des Bundesverwaltungsgerichts vom 15.06.2000 (BVerwG 3 C 4.00) hat sich die Meinung des Bundesumweltministeriums in dem wichtigen Teilbereich der Beurteilung der Mischabfälle durchgesetzt.

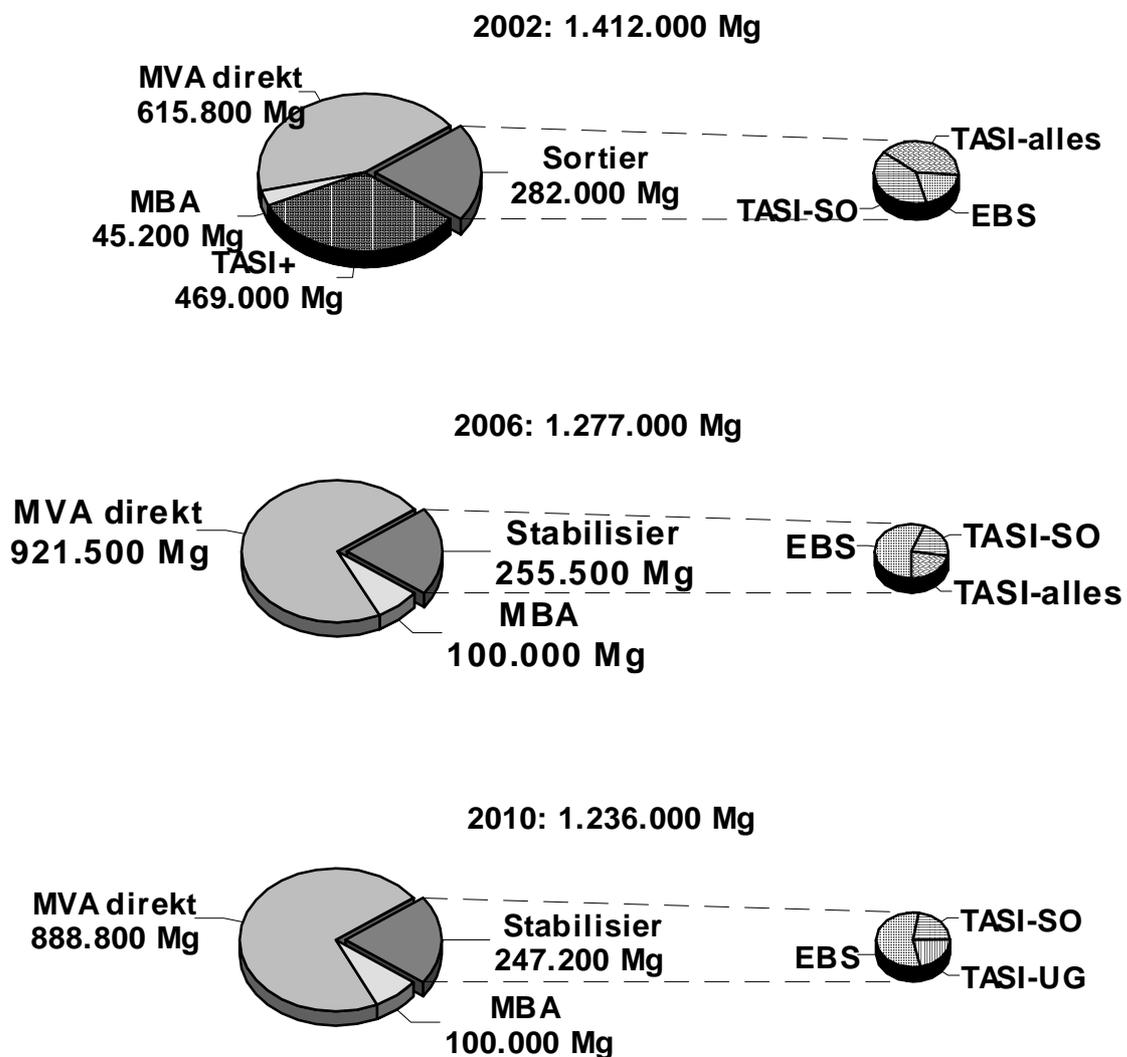
**Abb. 20: Szenario 3 – Hausmüll. Mengenströme im Überblick. Aufkommen in Baden-Württemberg, Verbleib in Deutschland.**

TASi+ = Deponie komplett mit TASi-Standard

TASi-SO = Deponie mit TASi-Standard bis auf Standortvoraussetzungen

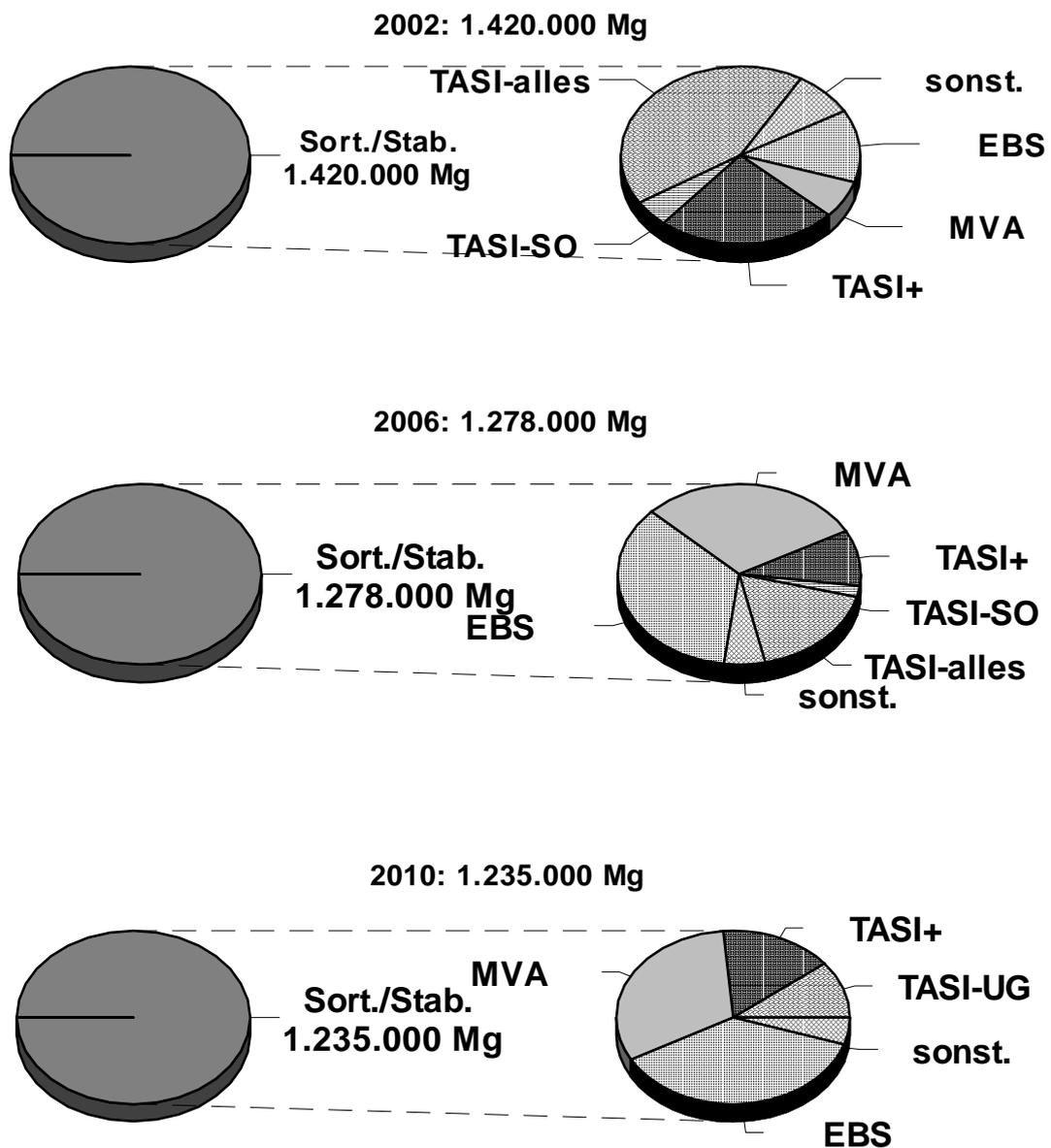
TASi-UG = Deponie mit TASi-Standard bis auf Untergrundabdichtung

TASi-alles = Deponie ohne Abdichtung, Sickerwasserfassung und Gasfassung



**Abb. 21: Szenario 3 – Hausmüllähnlicher Gewerbeabfall. Mengenströme im Überblick. Aufkommen in Baden-Württemberg, Verbleib in Deutschland.**

- TASi+ = Deponie komplett mit TASi-Standard
- TASi-SO = Deponie mit TASi-Standard bis auf Standortvoraussetzungen
- TASi-UG = Deponie mit TASi-Standard bis auf Untergrundabdichtung
- TASi-alles = Deponie ohne Abdichtung, Sickerwasserfassung und Gasfassung



### 6.3.2 Berechnungsergebnisse Szenario 3

Die folgende Tabelle zeigt die errechneten Stoffflüsse für Szenario 3 im Detail.

**Tabelle 47: Szenario 3: Stoffflüsse. Aufkommen in Baden-Württemberg, Verbleib in Deutschland.**

Bezugsjahr		I n p u t ( k g )			
		Hg	Cd	VOC	ELU
2002		3.500	24.400	2.360.000	108.000.000
2006		3.200	22.000	2.130.000	97.000.000
2010		3.100	21.300	2.060.000	94.000.000
Bezugsjahr		O u t p u t			
	Zielmedium	Hg@	Cd@	VOC	ELU
2002	Luft	1,7%	0,0%	23,5%	0,0%
2002	Wasser	0,0%	0,1%	0,0%	16,5%
2002	Boden	16,1%	27,6%	0,8%	1,9%
2002	Erzeugnis	1,2%	5,7%	0,0%	0,0%
2002	Deponie	28,3%	27,5%	9,8%	17,6%
2002	Senke	32,3%	23,4%	65,8%	63,9%
<b>2002</b>	<b>Summe Zielmedien</b>	<b>79,6%</b>	<b>84,4%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>
2006	Luft	3,8%	0,0%	3,5%	0,0%
2006	Wasser	0,0%	0,1%	0,0%	3,8%
2006	Boden	9,0%	16,2%	0,3%	0,7%
2006	Erzeugnis	2,9%	14,6%	0,0%	0,0%
2006	Deponie	2,2%	4,6%	0,6%	1,3%
2006	Senke	57,8%	47,7%	95,7%	94,2%
<b>2006</b>	<b>Summe Zielmedien</b>	<b>75,7%</b>	<b>83,1%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>
2010	Luft	3,9%	0,0%	1,5%	0,0%
2010	Wasser	0,0%	0,0%	0,0%	1,9%
2010	Boden	5,7%	11,5%	0,3%	0,5%
2010	Erzeugnis	3,1%	15,3%	0,0%	0,0%
2010	Deponie	5,0%	7,8%	0,5%	1,4%
2010	Senke	58,0%	48,5%	97,7%	96,1%
<b>2010</b>	<b>Summe Zielmedien</b>	<b>75,7%</b>	<b>83,1%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>

@ Differenz zu 100% ist der im System verbleibende Anteil (Modellierung siehe Abb. 9)

Szenario 3 schneidet gegenüber Szenario 2 deutlich ungünstiger ab (Boden, Deponie, Senke, Luft), da die untersuchten Verwertungsprozesse verstärkt genutzt werden.

## 6.4 Neu gebildete Schadstoffe am Beispiel des Treibhauseffektes

Die obigen Berechnungen zur Stoffflussanalyse ausgewählter Schadstoffe beschränkt sich im Kern auf Verteilungsfragen auf unterschiedliche Prozesse und Umweltmedien.

Zusätzlich besteht für organische Schadstoffe die Möglichkeit des biologischen und/oder chemisch-physikalischen Abbaus. Ein entsprechender Abbau wurde in obiger Betrachtung ebenfalls in seiner Ergebnisrelevanz analysiert.

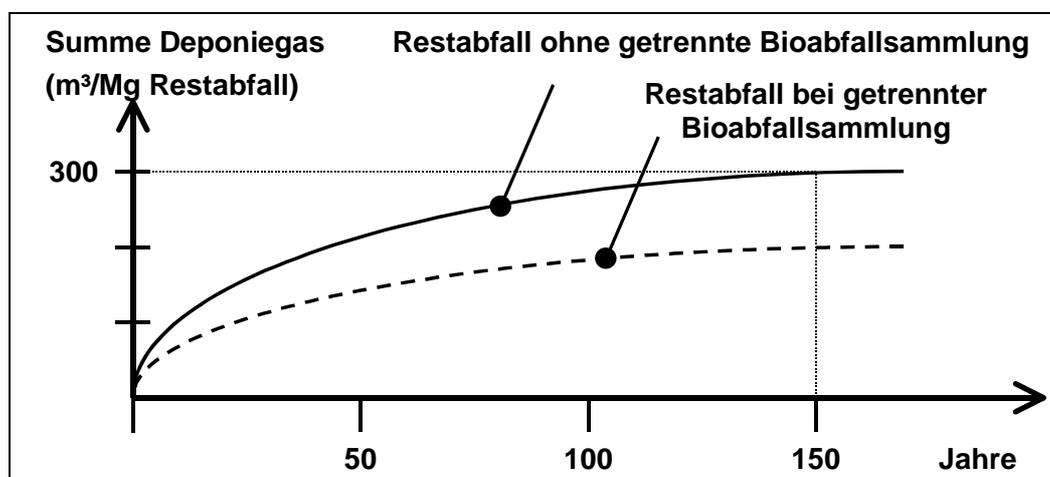
Schließlich ist auch die Neubildung von Schadstoffen von Bedeutung. So können bekanntlich Dioxine und Furane im Rahmen von thermischen Entsorgungsprozessen entstehen. Bei der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung wurde festgestellt, dass treibhauswirksames Lachgas ( $N_2O$ ) gebildet werden kann.

Ökobilanzielle Studien von Abfallentsorgungstechniken haben gezeigt, dass aus ökologischer Sicht die Methanerzeugung im Rahmen der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung die dominierenden negativen Effekte hervorruft [LAHL ET AL., 2000]. Methan hat eine hohe Klimarelevanz (um Faktor 21 höhere Wirkung als  $CO_2$ ). Daher haben wir für die genannten drei Szenarien diesen Effekt näher untersucht.

Die Methanbildung findet unter anaeroben Abbaubedingungen im Abfallkörper statt. Daher ist einerseits (unter Umständen) die MBA selbst eine Methanquelle und andererseits die Deponie der wichtigste Methanproduzent.

Für die Berechnung der Methanbildung durch Deponierung werden die folgenden Randbedingungen angenommen. Die Deponiegasbildung verläuft entsprechend der folgenden Abbildung.

**Abb. 22: Deponiegasbildung aus unvorbehandeltem Abfall (Hausmüll mit und ohne getrennter Bioabfallsammlung) ( $m^3/Mg$  Abfall)**



Über einen Betrachtungszeitraum von 150 Jahren ist, wenn die vorherige getrennte Bioabfallsammlung als eingeführt unterstellt wird, beispielsweise für unvorbehandeltem Hausmüll mit der Bildung von rund 200 m<sup>3</sup> Deponiegas pro Mg Abfall zu rechnen [LFU Ba-Wü, 2000]. Ist die getrennte Bioabfallsammlung nicht eingeführt, ergeben sich höhere Deponiegasbildungsraten.

Der mittlere Methangehalt im Deponiegas wird mit 55% angesetzt. Allerdings wird das gebildete Methan, je nach technischer Ausstattung der Deponie, nicht oder nur anteilig emittiert (s.o.).

Die obige Abbildung macht deutlich, dass im Falle der Deponie über eine aktive Entgasung nur eine Teilmenge des gebildeten Deponiegases erfasst werden kann. Dies hauptsächlich aus den folgenden Gründen:

- Während der Einbauphase sind keine Vorrichtungen zur Deponiegasfassung (und Verwertung) vorhanden.
- Während der Entgasungsphase verläuft die Zwangsentgasung nur unvollständig, da zusätzlich ein Teil des gebildeten Deponiegases diffus entweicht.
- In der Nachsorgephase ist die Deponiegasfassung gegenüber der Entgasungsphase häufig weiter reduziert..

Erfahrungsgemäß ist es daher schwer, unter Betriebsbedingungen insgesamt eine Deponiegasfassung oberhalb von 50% zu erreichen. Wir rechnen mit einem Erfassungsgrad von 40% (TASi-Standard-Deponien). Das erfasste Deponiegas wird vollständig mineralisiert.

Sofern die Deponie über keine Entgasungsanlage verfügt, wird eine vollständige Emission des gebildeten Methans unterstellt (100%).

Das Methanbildungspotenzial kann anhand des im Abfall enthaltenen abbaubaren Organikgehaltes abgeschätzt werden (Tabelle 48).

Im Falle der MBA wird je nach Ausstattung der Anlagen auf die in der Literatur dokumentierten Methanemissionen zurückgegriffen. Für die low level-MBA (Freilandrotte) wird in der Literatur über Messungen unter Praxisbedingungen berichtet, nach denen regelmäßig erhebliche Methankonzentrationen im Mieteninneren (im Prozentbereich) auftreten. Wir haben hieraus eine Fracht für die Hausmüllbehandlung von rund 63 kg Methan/Mg Abfall abgeschätzt. Die Deponierung des erzeugten Rottegutes liefert mit 20 kg/Mg gegenüber der Rohmülldeponierung (110 kg/Mg) wiederum eine vergleichsweise niedrige Fracht.

Die technische MBA nach heutigem Standard (nur Biofilter) liefert eine Methanfracht von 1,5 kg/Mg. Diese Fracht wurde anhand der Betriebswerte verschiedener MBAs ermittelt. Für die MBA nach BMU-Standard ergibt sich für die Hausmüllbehandlung eine Methanemission von rund 10 g/Mg. Diese geringe Methanemission wird angenommen, obwohl aufgrund der aktuellen Grenzwertvorschläge (für NMVOC) dieser niedrige Wert nicht zwingend ist.

**Tabelle 48: Methanbildungspotenzial: Mg CH<sub>4</sub> pro Mg Anlagen- bzw. Deponieinput**

Methanbildungspotenzial: Mg CH <sub>4</sub> pro Mg Anlageninput									
	Hausmüll (HM)				Gewerbeabfall (GA)				
	HM MBA low level	HM MBA Splitting	HM Sortierung / Stabilisierung	Gewerbeabfall	GA MBA low level	GA MBA Splitting	GA Sortierung	GA Stabilisierung	
Szenario 1	0,063	0,00001	0,000	0,045	0,0315	0,00001	0,000001	0,00001	
Szenario 2	0,063	0,00001	0,000	0,090	0,0315	0,00001	0,000001	0,00001	
Szenario 3	0,063	0,00001	0,000	0,090	0,0315	0,00001	0,000001	0,00001	
Methanbildungspotenzial: Mg CH <sub>4</sub> pro Mg Deponieinput									
	Hausmüll (HM)				Gewerbeabfall (GA)				
	Restabfall	MBA-Output low level	MBA-Output Splitting	Output Sortier-/Stabilisierungsanlagen	Gewerbeabfall	MBA-Output low level	MBA-Output Splitting	Output aus Sortierung	Output aus Stabilisierung
Szenario 1									
2002	0,110	0,020	0,010	0,025	0,045	0,018	0,015	0,0375	0,001
2006	0,110	0,020	0,010	0,0033	0,045	0,018	0,015	0,0375	0,001
2010	0,110	0,020	0,010	0,0033	0,045	0,018	0,015	0,0375	0,001
Szenario 2	0,110	0,020	0,010	0,025	0,090	0,018	0,015	0,0375	0,001
Szenario 3	0,110	0,020	0,010	0,025	0,090	0,018	0,015	0,0375	0,001

Wir haben dennoch insgesamt unterstellt, dass der BMU-Grenzwertvorschlag von 55 g NMVOC/Mg Abfall im Entwurf einer 30. BImSchV nur über eine thermische Behandlung des MBA-Abgases einzuhalten ist.

Die folgende Tabelle zeigt nun die Ergebnisse für die drei Szenarien. Die Ergebnisse sind, umgerechnet in CO<sub>2</sub>-Äquivalente, folgende:

**Tabelle 49: Neu gebildete Schadstoffe (Methan) im Rahmen der betrachteten Szenarien, in Mg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten**

Bezugsjahr	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
2002	1.190.000 Mg	1.195.000 Mg	1.024.000 Mg
2006	18.300 Mg	43.000 Mg	81.000 Mg
2010	17.500 Mg	22.900 Mg	38.800 Mg

Zunächst zeigen die Ergebnisse, dass die mit der heutigen Abfallentsorgung, trotz hohen MVA-Anteils in Baden-Württemberg, verbundenen klimarelevanten Emissionen immer noch erheblich sind.

Weiter zeigen die Ergebnisse eindrucksvoll, welche positiven Effekte mit der konsequenten bundesweiten Umsetzung der TASI (heutige Fassung) verbunden wären (im Szenario 1). Die Emissionen lassen sich um beinahe zwei Größenordnungen senken.

Im Szenario 2 werden durch die dort unterstellte Öffnung der TASI für die MBA für die Jahre nach 2005 weniger gute Ergebnisse erzielt. Ursache sind im wesentlichen die Methanrestemissionen aus der Deponie. Wir haben hier unterstellt, dass das gebildete Methan (10 kg/Mg über 150 Jahre) überhaupt nicht (0% bei Deponien ohne Abdichtung, Sickerwasserfassung und Gasfassung) bzw. durch deponietechnische Maßnahmen zu 40% zurückgehalten wird. Es gibt andere Abschätzungen in der Fachliteratur, die von höheren Emissionsreduzierungen ausgehen (80 bzw. 90%) (u.a. [WALLMANN, 1999]). Dies soll durch den Einbau von Methanoxidationsschichten erreicht werden.

Die leichten und in Szenario 3 deutlichen Unterschiede zu Szenario 1 sind auf die Deponierung von Abfallfraktionen (im wesentlichen Gewerbeabfall) über Sortier- und auch Stabilisieranlagen zu erklären.

## 7 Untersuchung besonders überwachungsbedürftiger Abfälle

An dieser Stelle soll ergänzend betrachtet werden, wie sich die abfallwirtschaftliche Situation aufgrund der oben beschriebenen rechtlichen Rahmenbedingungen (AbfallVwV) auf dem Feld der besonders überwachungsbedürftigen Abfälle entwickeln würde. Hierfür werden Abfallarten betrachtet, die für Baden-Württemberg von Bedeutung sind:

- Vorgemischte Abfälle zum Zwecke der Verbrennung (EAK-AS 190204D1),
- Lack- und Farbschlämme (LAGA-AS 55503),
- Mineralölschlämme, insbesondere Schlämme aus Öltrennanlagen (LAGA-AS 54703).

Untersucht wird, wie für die Bereiche der Siedlungsabfallwirtschaft, welche ökologischen Auswirkungen für die Sonderabfallwirtschaft mit der Verabschiedung der geplanten Abfallverwaltungsvorschrift (AbfallVwV) verbunden sind. Auch hier konzentriert sich die Betrachtung auf das Thema „Schadstoffe“.

Da die Deponierung für diese Abfallarten aus Baden-Württemberg keine Bedeutung hat, werden nur die Stoffe:

- Chlor
- Schwermetalle

berechnet.

## 7.1 Schadstoffbelastung der zu betrachtenden Abfälle

Im Folgenden werden die Schadstoffbelastungen der drei zu betrachtenden Abfallarten dargestellt. Für diesen Zweck wurde auf Untersuchungen aus Baden-Württemberg zurückgegriffen. Ziel war es, Daten aus den Erzeugerbereichen zu erheben bzw. auszuwerten, die für die aktuellen Diskussionen von Bedeutung sind.

### 7.1.1 Vorgemischte Abfälle zum Zwecke der Verbrennung

In Baden-Württemberg werden in sechs „Mischanlagen“ Abfälle zum Zwecke der Verbrennung vorgemischt. Die hier charakterisierte Abfallart (AS 190204D1) enthält mindestens einen besonders überwachungsbedürftigen Abfall. Viele dieser Abfallgemische gehen aktuell in bundesdeutsche Sonderabfallverbrennungsanlagen. Der Einsatz derartiger Abfallgemische als Ersatzbrennstoff für die Zementindustrie ist in der Diskussion.

Die Gemische werden, entsprechend den Anforderungen der aufnehmenden Beseitigungs- oder Verwertungsanlage, aus zehn bis hin zu über hundert einzelnen Abfallarten zusammengemischt. Die folgende Tabelle zeigt exemplarisch für einen Marktteilnehmer, welche Abfallarten und -anteile für die Erzeugung eines Gemisches für den Einsatz in einem Zementwerk vorgesehen waren (in 1994).

**Tabelle 50: Hauptkomponenten eines typischen Abfallgemisches, wie es 1994 zur Mitverbrennung in der belgische Zementindustrie vermarktet wurde**

LAGA AS	Stoffgruppe	Anteil im Gemisch
547 03	Schlämme aus Öltrennanlagen	34%
555 03	Lack- und Farbschlämme	27,5%
547 04	Schlamm aus Tankreinigung und Fasswäsche	10,2%
547 10	Schleifschlamm, ölhaltig	5,1%
554 02	Lösemittelhaltige Schlämme ohne halogenierte Lösemittel	4,1%
571 29	Sonstige ausgehärtete Kunststoffabfälle	3,0%
544 02	Bohr- und Schleifölemulsionen, Emulsionsgemische	1,6%
542	Fette und Wachse aus Mineralöl	1,0%
573	Kunststoffschlämme und –emulsionen	1,0%
547 01	Sandfangrückstände	3,6%
314 34	Verbrauchte Filter- und Aufsaugmassen	1,3%
---	Sonstiges	7,6%

Im Zeitraum von 1995 und 1996 wurde für einen der Mischanlagenbetreiber eine relativ detaillierte Untersuchung über die Qualität des erzeugten Mischguts durchgeführt [TÜV UM-

WELT, 1996]. Die Untersuchung erfolgte zur Unterstützung der Verbringungsabsichten in belgische Zementwerke und kann daher sicherlich nicht als überzogene worst case-Beprobung angesehen werden. Sie wird demzufolge für diese Studie als geeignet eingestuft und der weiteren Berechnung zugrunde gelegt. Die folgende Tabelle zeigt die Schadstoffbelastungen des untersuchten Abfallgemisches.

**Tabelle 51: Schadstoffbelastung aus vermischten Sonderabfällen aus Baden-Württemberg**

Parameter	Dimension in FS	Mittelwert (Anzahl Proben = 37)	Maximalwert (Anzahl Proben = 37)
Heizwert Hu	MJ/Mg	10.532	16.000*
Chlor gesamt	%	0,18	1,20
Blei	mg/kg	309	1.700
Chrom	mg/kg	132	280
Kupfer	mg/kg	458	1.500
Nickel	mg/kg	131	450
Zink	mg/kg	2.396	11.000

\* Für die worst case-Betrachtungen wird als Hu der Mittelwert verwendet

### 7.1.2 Lack- und Farbschlämme

Lack- und Farbschlämme (LAGA-AS 55503) werden auch direkt (unvermischt) als Ersatzbrennstoff eingesetzt.

**Tabelle 52: Schadstoffbelastung von Farb- und Lackschlämmen aus Baden-Württemberg [UVM, 2000]**

Parameter	Dimension in FS	Mittelwert (Anzahl Proben = 12)	Maximalwert (Anzahl Proben = 12)
Heizwert Hu	MJ/Mg	10.140	27.420*
Chlor gesamt	%	0,16	0,5
Arsen	mg/kg	2,5	2,5
Blei	mg/kg	2.569	15.700
Cadmium	mg/kg	2,9	10
Chrom	mg/kg	604	3.300
Kupfer	mg/kg	59,1	148
Nickel	mg/kg	15,3	35,8
Quecksilber	mg/kg	0,6	2,5
Zink	mg/kg	4.513	20.800

\* Für die worst case-Betrachtungen wird ein Hu im unteren Drittel des Datenkollektivs verwendet

Die obige Tabelle zeigt den Belastungsbereich für derartige Abfälle aus unterschiedlichen Herkunftsbereichen.

### 7.1.3 Mineralölschlämme

Mineralölschlämme, insbesondere Schlämme aus Öltrennanlagen (LAGA-AS 54703), werden auch direkt als Ersatzbrennstoffe eingesetzt. Die folgende Tabelle zeigt den Belastungsbereich für derartige Abfälle aus unterschiedlichen Herkunftsbereichen.

**Tabelle 53: Schadstoffbelastung von Mineralölschlämmen aus Baden-Württemberg [UVM, 2000]**

Parameter	Dimension in FS	Mittelwert (Anzahl Proben = 43)	Maximalwert (Anzahl Proben = 43)
Heizwert Hu	MJ/Mg	14.410	30.100*
Chlor gesamt	%	0,4	2
Antimon	mg/kg	4,9	6,6
Arsen	mg/kg	5	5
Blei	mg/kg	276	1.182
Cadmium	mg/kg	6,6	27,7
Chrom	mg/kg	713	3.200
Kobalt	mg/kg	104	178
Kupfer	mg/kg	5.481	61.253
Nickel	mg/kg	376	1.416
Quecksilber	mg/kg	2,2	10
Vanadium	mg/kg	8,5	8,5
Zink	mg/kg	2.706	16.811
Zinn	mg/kg	17	17

\* Für die worst case-Betrachtungen wird als Hu der Mittelwert verwendet

## 7.2 Entsorgungsalternativen

Gegenwärtig werden die gemischten Sonderabfälle im Wesentlichen in Sonderabfallverbrennungsanlagen entsorgt.

Im Falle einer Verabschiedung der genannten Abfallverwaltungsvorschrift (AbfallVwV) würden derartige vermischte Abfälle nicht mehr in Sonderabfallverbrennungsanlagen, sondern weitgehend in die energetische Nutzung in Industrieanlagen gehen. Hierfür ist insbesondere die Entsorgung in belgischen Zementwerken in der Diskussion.

### 7.2.1 Abfallbeseitigung in einer Sonderabfallverbrennungsanlage

Die Abfall-Verwertungs-Gesellschaft mbH (AVG) betreibt auf dem Gelände Borsigstraße in Hamburg eine Hochtemperatur-Verbrennungsanlage für Sonderabfälle.

Die folgende Tabelle zeigt wichtige technische Daten der Anlage, wie sie den folgenden Berechnungen zugrunde gelegt wurden.

**Tabelle 54: Relevante technische Daten der SVA Borsigstraße/Hamburg [AVG, 1998]**

<b>1. Technik</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 Linien</li> <li>• Drehrohrofen</li> <li>• Dampfkessel</li> <li>• Elektrofilter, zweistufige Nasswäsche, A-Kohlefilter, Katalysator</li> </ul>			
<b>2. Kapazität</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durchsatz</li> <li>• Hu, Mittelwert</li> <li>• Abgasvolumenstrom (gemäß 17. BImSchV)</li> <li>• spezifisches Abgasvolumen (gemäß 17. BImSchV)</li> <li>• energiespezifisches Abgasvolumen (N, tr., 11% O<sub>2</sub>)</li> <li>• Dampfparameter</li> <li>• Schadstoffbegrenzung Input</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>12,6 Mg/h</li> <li>15.000 MJ/Mg</li> <li>123.600 m<sup>3</sup>/h</li> <li>9.810 m<sup>3</sup>/Mg Abfall</li> <li>0,654 m<sup>3</sup>/MJ</li> <li>20 bar, 380°C</li> <li>keine</li> </ul>		
<b>3. Emissionen Luft</b> (Regelbetrieb, AVG-Abfall im Jahresmittel) in mg/m <sup>3</sup> (Normzustand)	<table border="0" style="width: 100%;"> <tbody> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Arsen &lt;0,0001</li> <li>• Beryllium &lt;0,0001</li> <li>• Blei &lt;0,0006</li> <li>• Cadmium &lt;0,0001</li> <li>• Chrom<sub>gesamt</sub> &lt;0,0011</li> <li>• Chrom-VI &lt;0,00008</li> <li>• Nickel &lt;0,0011</li> <li>• Quecksilber 0,0005</li> <li>• Thallium &lt;0,0003</li> </ul> </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• CO<sub>2</sub> 177.000</li> <li>• CO 13</li> <li>• CH<sub>4</sub> &lt;0,4</li> <li>• NMVOC &lt;0,05</li> <li>• PCB 0,000003</li> <li>• PCDD/F 0,000000011</li> <li>• PCP &lt;0,000001</li> <li>• NO<sub>x</sub> 72</li> <li>• NH<sub>3</sub> &lt;0,5</li> </ul> </td> </tr> </tbody> </table>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arsen &lt;0,0001</li> <li>• Beryllium &lt;0,0001</li> <li>• Blei &lt;0,0006</li> <li>• Cadmium &lt;0,0001</li> <li>• Chrom<sub>gesamt</sub> &lt;0,0011</li> <li>• Chrom-VI &lt;0,00008</li> <li>• Nickel &lt;0,0011</li> <li>• Quecksilber 0,0005</li> <li>• Thallium &lt;0,0003</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CO<sub>2</sub> 177.000</li> <li>• CO 13</li> <li>• CH<sub>4</sub> &lt;0,4</li> <li>• NMVOC &lt;0,05</li> <li>• PCB 0,000003</li> <li>• PCDD/F 0,000000011</li> <li>• PCP &lt;0,000001</li> <li>• NO<sub>x</sub> 72</li> <li>• NH<sub>3</sub> &lt;0,5</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arsen &lt;0,0001</li> <li>• Beryllium &lt;0,0001</li> <li>• Blei &lt;0,0006</li> <li>• Cadmium &lt;0,0001</li> <li>• Chrom<sub>gesamt</sub> &lt;0,0011</li> <li>• Chrom-VI &lt;0,00008</li> <li>• Nickel &lt;0,0011</li> <li>• Quecksilber 0,0005</li> <li>• Thallium &lt;0,0003</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CO<sub>2</sub> 177.000</li> <li>• CO 13</li> <li>• CH<sub>4</sub> &lt;0,4</li> <li>• NMVOC &lt;0,05</li> <li>• PCB 0,000003</li> <li>• PCDD/F 0,000000011</li> <li>• PCP &lt;0,000001</li> <li>• NO<sub>x</sub> 72</li> <li>• NH<sub>3</sub> &lt;0,5</li> </ul>			

• TOC	0,5	• HCl	0,5
• Benzol	<0,09	• SO <sub>2</sub>	0,07
		• HF	<0,01
<b>4. Emissionen Wasser</b> (Abwasser aus CPA (mg/l); Ergebnisse von vier Messreihen)			
As	0,076	0,099	0,042
Cd	0,021	-	0,015
Cr	0,012	0,0032	0,0031
Ni	0,020	0,015	0,063
Pb	0,088	0,0017	0,021
Hg	0,044	0,0012	0,015
<b>5. Massenbilanz</b>			
	Input	Output (pro Mg Abfall)	
	Abfall: 1 Mg	Schlacke:	200 kg/Mg
	Betriebsstoffe	Fe-Metalle:	1,5 kg/Mg
	RGR: 22 kg/Mg	Stäube:	0 kg/Mg
	Frischwasser: 0 l/Mg	Abwasser:	360 l/Mg
		Salze ARA:	5 kg/Mg
		REA-Gips:	175 kg/Mg
		Salzsäure (Rohsäure):	100 kg/Mg
<b>6. Schlacke</b>			
	Originalsubstanz (mg/kg)	Eluat DEV S4 (mg/l)	
Glühverlust	48		
CSB			48
Sulfat			56
Chlorid			128
As			0,01
Cd			<0,001
Pb			<0,005
Cr			<0,002
Ni			<0,01
Hg			<0,001
<b>7. Energiebilanz</b>			
	Input	Output	
	Gas: 0 m <sup>3</sup> /Mg	Dampf:	0,29 Mg/Mg
	Heizöl/Diesel: 38 kg/Mg		
	Strom: 280 kWh/Mg	Strom:	0 kWh/Mg
	Abfall 15.000 MJ/Mg	Wärme ins Netz:	10.200 MJ/Mg
	Wirkungsgrad (thermisch): 68%		

Die Anlage besteht aus 2 Linien. Die Verbrennungseinheit besteht aus Drehrohröfen. Die Rauchgasreinigung arbeitet abwasserfrei.

Die Flugstäube werden in den Verbrennungsraum zurückgeführt und in die Schlacke eingeschmolzen. Das Einschmelzen der Reststoffe drückt sich, wie obige Tabelle zeigt, in einem sehr günstigen Eluatverhalten aus. Da die eingeschmolzenen Schlacken zudem auf einer TASI-konformen Deponie abgelagert werden, ist keine relevante Umweltbeeinträchtigung zu besorgen. Auf die Modellierung eines Wasserpfades für die Schlackeablagerung konnte daher verzichtet werden.

Als weitere mengenmäßig wichtige Reststoffe fallen Salzsäure und Gips an.

- Die Salzsäure sollte ursprünglich zu einem verkaufsfähigen Produkt aufbereitet werden. Aktuell wird die Rohsäure als Neutralisationsmittel in einer chemisch-physikalischen Abfallbehandlungsanlage (CPA) eingesetzt. Das Abwasser wird der CPA vor der Einleitung ins Hamburger Kanalnetz neutralisiert und mit Fällungsmittel zur Schwermetallabscheidung (hauptsächlich aus den behandelten Abfällen der CPA) behandelt. Der erhaltene Filterkuchen wird deponiert. Die Abwassereinleitung der CPA hält die Entwässerungssatzung der Hansestadt sicher ein. Die Klärschlämme der Hamburger zentralen Kläranlage werden in einer Klärschlammverbrennungsanlage entsorgt. Die dort erhaltenen Stäube und Aschen werden TASI-konform deponiert. Insgesamt kann daher auf die Modellierung eines Wasserpfades verzichtet werden.
- Gips wird als verwertbares Produkt ausgeschleust.

Die Abfallverbrennung selbst führt zu Emissionen. Diese Emissionen werden durch die vorhandene Abgasreinigungsanlage reduziert. Die resultierenden Reingaswerte sind ebenfalls in Form von mittleren Betriebswerten oder repräsentativen Messwerten in obiger Tabelle 54 aufgeführt. Die Emissionen werden durch die Zusammensetzung und Schadstoffbelastung des Abfallinputs bestimmt.

Die Abfallverbrennung bei der AVG wird mit Energienutzung durchgeführt. Die im Rahmen der Abfallverbrennung entbundene Wärme wird zur Dampferzeugung genutzt.

Die Transferfaktoren für Sonderabfallverbrennungsanlagen lassen sich nach folgender Beziehung berechnen.

$$T_{f_{\text{Rein}}} = F_{\text{Rein}} / F_{\text{In}} \quad \text{[Formel 1]}$$

$T_{f_{\text{Rein}}}$  = Transferfaktor Reingas

$F_{\text{Rein}}$  = Fracht Reingas

$F_{\text{In}}$  = Fracht Input

wobei gilt:

$$F_{\text{Rein}} = K_{\text{Rein}} \cdot H_u \cdot \varphi \quad [\text{Formel 2}]$$

$K_{\text{Rein}}$  = Konzentration im Reingas (mg/m<sup>3</sup>)  
 $H_u$  = unterer Heizwert des Abfalls (MJ/Mg)  
 $\varphi$  = energiespezifisches Abgasvolumen (N, tr.) (m<sup>3</sup>/MJ)

Die folgende Tabelle gibt die dergestalt für die Sonderabfallverbrennungsanlage der AVG ermittelten Transferfaktoren wieder.

**Tabelle 55: Transferfaktoren der Sonderabfallverbrennungsanlage der AVG ( $\Sigma = 1$ ; a = eigene Schätzung)) [AVG, 2000]**

	Transferfaktoren Reingas	Transferfaktoren Schmelzgranulat und Filterkuchen
Chlor	0,0001	0,9999
Schwefel	0,00002	0,99998
Cadmium	0,0000000003	0,9999999997
Thallium	k.A.	k.A.
Quecksilber	0,0001	0,9999
Antimon	0,000000033	0,999999967
Arsen	0,000000033	0,999999967
Blei	0,000000033	0,999999967
Chrom	0,000000033	0,999999967
Kobalt	0,000000033	0,999999967
Kupfer	0,000000033	0,999999967
Mangan	k.A.	k.A.
Nickel	0,000000033	0,999999967
Vanadium	0,000000033	0,999999967
Zinn	0,000000033	0,999999967
VOC	<0,0001 <sup>a</sup>	<0,0001 <sup>a</sup>
ELU*	<0,0001 <sup>a</sup>	<0,0001 <sup>a</sup>

\* wasserlösliche organische Stoffe

## 7.2.2 Abfallentsorgung in ausländischen Zementwerken

Für den Einsatz von Abfällen im Zementerzeugungsprozess kommen im Prinzip vier Einsatzorte in Frage:

1. Mit dem Input der mineralischen Ausgangsstoffe (Rohmehl) können auch Abfälle zugeführt werden, die aufgrund ihrer Zusammensetzung in die vorgesehene Zementrezeptur passen (Sekundärrohstoff).
2. In der Primärfeuerung (Ofen) als Ersatzbrennstoff.
3. In der Sekundärfeuerung im Rahmen der Vorwärmung des Brenngutes (bzw. Vorcalcinator) oder im Ofeneingangsbereich ebenfalls als Ersatzbrennstoff.
4. Als Additiv im Rahmen der Klinkermahlung zur Zementerzeugung, soweit dies mit den gewünschten Produkteigenschaften konform geht (Sekundärrohstoff).

Im Folgenden werden nur die Einsatzbereiche als **Brennstoffsubstitut (Ersatzbrennstoff)** näher betrachtet.

Die Verbrennungsbedingungen im Drehrohr sind für die Abfallbeseitigung unter dem Gesichtspunkt der Mineralisierung sehr günstig. So wird das Brenngut auf rund 1.450°C erhitzt (Abgastemperatur über 2.000°C), und Mindestverweilzeiten von 15 min. für den Feststoff und in der Gasphase von über 2 Sekunden sind eingehalten.

Zwar ist die deutsche Zementindustrie aktuell sehr am Ausbau des Einsatzes von Abfällen zur Brennstoffsubstitution interessiert, die hier betrachteten besonders überwachungsbedürftigen Abfälle waren bisher eher die Domäne ausländischer Zementwerke.

Das belgische Zementwerk Obourg beispielsweise verfügt über zwei Drehrohröfen und arbeitet nach dem sog. Nassverfahren. Hierbei wird das nass vermahlene Rohmaterial mit Wassergehalten von 30–40% dem Drehrohr aufgegeben. Trocknen, Kalzinieren und Sintern finden im Drehrohr statt.

Nassverfahren werden in Mitteleuropa relativ selten eingesetzt, da sie ökonomisch und ökologisch ungünstig zu bewerten sind. So beträgt der Wirkungsgrad des Nassverfahrens, bezogen auf den thermodynamisch notwendigen Wärmeverbrauch zum Brennen von Klinker (1.750 MJ/Mg Klinker), beim Nassverfahren nur 31% [REITER, STROH, 1995]. Umgerechnet bedeutet dies einen Energieverbrauch von rund 5.500–6.000 MJ/Mg Klinker gegenüber 3.100–3.500 MJ/Mg Klinker, wie dies für typische inländische Zementwerke der Fall ist. **Für die folgende Berechnung wird mit einem Wert von 5.700 MJ/Mg gearbeitet.**

Die Transferfaktoren für ein Nassverfahren lassen sich nach folgender Beziehung berechnen:

$$TF = (1 - \varepsilon) \cdot (1 - \eta) \cdot SK \quad \text{[Formel 3]}$$

$\varepsilon$  = Einbindegrad in den Klinker

$\eta$  = Wirkungsgrad E-Filter

SK = Stoffkonzentrationsfaktor für filtergängige Feinstäube

Die folgende Tabelle zeigt die erhaltenen Berechnungsergebnisse.

**Tabelle 56: Errechnete Transferfaktoren für Zementwerk nach dem Nassverfahren**

Parameter	Transferkoeffizient Reingas	Transferkoeffizient Erzeugnis
Chlor	0,06809	0,93191
Cadmium	0,00152	0,99848
Quecksilber	0,4925	0,5075
Blei	0,00064	0,99936
Chrom	0,00024	0,99976
Kupfer	0,0024	0,9976
Nickel	0,00008	0,99992

## 7.3 Untersuchungsszenarien

Im Folgenden werden zwei Szenarien miteinander verglichen.

Mit Hilfe der Stoffflussanalyse wird für die Stoffe der Tabelle 51 bis Tabelle 53 errechnet, welche Umweltmedien in den jeweiligen Szenarien beansprucht werden.

Die Untersuchung erfolgt jeweils auf eine Menge von 1.000 Mg/a der oben genannten Abfälle bezogen (funktionelle Einheit).

Neben einer Mittelwertbetrachtung (für 1.000 Mg) wird zusätzlich eine worst case-Abschätzung für hochbelastete Einzelchargen durchgeführt. Diese Betrachtung ist erforderlich, weil es zum Charakteristikum der Sonderabfallwirtschaft gehört, mit hohen Belastungsschwankungen der Abfälle umgehen zu müssen. Mit dieser worst case-Abschätzung wird eine Risikoanalyse verbunden.

Die sich aus dieser Situation ergebenden zwei Szenarien (**Szenario SVA** = Sonderabfallverbrennungsanlage bzw. **Szenario Zementwerk**) werden im Folgenden erläutert.

### 7.3.1 Szenario 4

Im Szenario 4 wird davon ausgegangen, dass die Abfallverwaltungsvorschrift des BMU (AbfVwV) nicht verabschiedet wird und das KrW-/AbfG sich in Verbindung mit dem Bund-Länder-Konsenspapier unter weiterer Konkretisierung bundesweit und auf EU-Ebene durchsetzt. Sonderabfälle unterliegen hiernach der Beseitigung, wenn bei deren Behandlung die Beseitigung des Schadstoffpotenzials und nicht die Nutzung der Abfalleigenschaft im Vordergrund steht.

**Im Rahmen dieses Szenarios wäre es weiterhin wünschenswert, die büA zur Beseitigung durch den Bundesgesetzgeber näher zu definieren. PCB- und PCT- sowie hochschwermetallhaltige und hochhalogenhaltige brennbare Abfälle sollten eindeutig der Beseitigung zugeordnet werden. Im Rahmen des Szenarios SVA müsste die Verbrennung der unten genannten Abfälle bei entsprechendem Schadstoffgehalt der Beseitigung zugeordnet werden. Ebenso würden im Rahmen dieses Szenarios weitere hochschadstoffhaltige büA von der Kreislaufwirtschaft ausgeschlossen werden, um so mit Sicherheit eine Schadstoffanreicherung in Wirtschaftskreisläufen zu vermeiden.**

### 7.3.2 Szenario 5

Im Szenario 5 wird die Abfallverwaltungsvorschrift des BMU (AbfVwV) verabschiedet und setzt sich bundesweit als Rechtsstandpunkt verbindlich durch. Auf europäischer Ebene setzen sich die derzeitigen Regelungen des KrW-/AbfG in Verbindung mit dem Bund-Länder-Konsenspapier ebenfalls nicht durch.

Entsprechend ist im Rahmen der Umsetzung der Rechtspositionen des BMU damit zu rechnen, dass alle büA künftig zur energetischen Verwertung ins benachbarte Ausland und dort insbesondere in die Zementindustrie gelangen. Wichtig ist hierbei insbesondere, dass gemäß dem Entwurf der AbfallVwV im Rahmen der Abfallverbringung ins Ausland keine Mindestheizwerte (wie im Inland) zur energetischen Verwertung erforderlich sind. Des weiteren wird im Ausland über die vorherige Benutzung von genehmigten Mischanlagen auch der Einsatz von büA in Industrieprozessen mit Schadstoffgehalten, die weit über den genehmigten Werten für den Industrieprozess liegen, ermöglicht.

Im Szenario 5 findet die Entsorgung der genannten Abfälle daher als Ersatzbrennstoff in einem belgischen Zementwerk statt.

### **7.3.3 Besonderheit Farb- und Lackschlämme**

Im Rahmen der beiden oben dargestellten Szenarien werden drei mengenmäßig relevante besonders überwachungsbedürftige Abfälle aus Baden-Württemberg betrachtet, die im Jahre 1998 thermisch beseitigt wurden. Mit dem 1.1.1999 trat jedoch der europäische Abfallartenkatalog (EAK) mit den entsprechenden Bundesverordnungen in Kraft, hierdurch wurde eine sogenannte Umschlüsselung der Abfälle zu den neuen EU-konformen Bezeichnungen erforderlich. Für einen Teil der Farb- und Lackschlämme hatte dies als Konsequenz, dass diese künftig nicht mehr besonders überwachungsbedürftig sind und wie Siedlungsabfälle entsorgt werden können.

## 7.4 Berechnungsergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse für die berechneten Mittelwerte und die Maximalabschätzung getrennt abgehandelt.

### 7.4.1 Durchschnittlich belastete Abfälle

Die folgende Tabelle zeigt die erhaltenen Berechnungsergebnisse für die zu betrachtenden Abfälle für das Schwermetall Quecksilber.

**Tabelle 57: Ergebnis Stoffflussanalyse für Szenario 4 und 5, hier Quecksilber (in kg/1.000 Mg Abfall)**

	Luft	Erzeugnis	Senke
<b>Vermischte Sonderabfälle</b>			
Szenario 4 (Sonderabfallverbrennung)		keine Daten für Hg	
Szenario 5 (Zementwerk)		keine Daten für Hg	
<b>Lack- und Farbschlämme</b>			
Szenario 4 (Sonderabfallverbrennung)	0,00006	0	0,62
Szenario 5 (Zementwerk)	0,31	0,31	0
<b>Mineralölschlämme</b>			
Szenario 4 (Sonderabfallverbrennung)	0,00022	0	2,2
Szenario 5 (Zementwerk)	1,09	1,12	0

Für Quecksilber ist zu beobachten, dass im Vergleich zum SVA-Szenario im Zementwerk-szenario deutlich höhere Emissionsfrachten in die Luft eintreten.

Die folgende Tabelle zeigt die Berechnungsergebnisse für die nicht-flüchtigen Schwermetalle am Beispiel der humantoxikologisch relevanten Elemente Cadmium, Chrom und Nickel.

Man erkennt, dass das Zementwerksszenario im Vergleich zum SVA-Szenario mit höheren Luftemissionen und einer besonders hohen Verlagerung der Schwermetalle ins Erzeugnis (gegenüber der Senke für die Beseitigung) verbunden ist. Dies scheint für diese Elementgruppe (schwer flüchtige Schadstoffe) die wichtigste Erkenntnis zu sein.

**Tabelle 58: Ergebnis Stoffflussanalyse für Szenario 4 und 5, hier Cadmium (Cd), Chrom (Cr) und Nickel (Ni) (in kg/1.000 Mg Abfall)**

	kg Cd / 1.000 Mg Abfall			kg Cr / 1.000 Mg Abfall			kg Ni / 1.000 Mg Abfall		
	Luft	Erzeug.	Senke	Luft	Erzeug.	Senke	Luft	Erzeug.	Senke
<b>Vermischte Sonderabfälle</b>									
Szenario 4 (SVA)	keine Daten für Cd			0,000	0	132	0,000	0	131
Szenario 5 (Zementwerk)	keine Daten für Cd			0,032	132	0	0,011	131	0
<b>Lack- und Farbschlämme</b>									
Szenario 4 (SVA)	0,000	0	2,94	0,000	0	604	0,000	0	15,3
Szenario 5 (Zementwerk)	0,005	2,94	0	0,145	603	0	0,001	15,3	0
<b>Mineralölschlämme</b>									
Szenario 4 (SVA)	0,000	0	6,64	0,09	0	713	0,000	0	376
Szenario 5 (Zementwerk)	0,010	6,63	0	0,17	712	0	0,03	376	0

#### 7.4.2 Worst case-Betrachtungen

In diesem Abschnitt wird untersucht, welche Belastungen das Produkt Klinker maximal aufweisen kann. Es wird berechnet, zu welchen Klinkerbelastungen es führen würde, wenn der jeweils am höchsten belastete Ersatzbrennstoff eingesetzt wird. Diese worst case-Betrachtung dient der Risikoanalyse. Die Berechnung erfolgt nach folgender Gleichung.

$$K_{\text{Kli}} = (K_{\text{Roh}} \cdot 1,6) + (K_{\text{Abf}} \cdot \chi \cdot A \cdot f / Hu_{\text{Abf}}) + (K_{\text{RBrenn}} \cdot \chi \cdot (1 - A) \cdot f / Hu_{\text{RBrenn}})$$

[Formel 4]

wobei

K = Konzentration im jeweiligen Material

$\chi$  = Energiebedarf des jeweiligen Zementwerkes zum Klinkerbrennen (hier: Nassverfahren)

A = Substitutionsrate des Ersatzbrennstoffes

f = elementspezifischer Einbindegrad in den Klinker nach SPRUNG

Hu = unterer Heizwert des jeweiligen Brennstoffes

Die Basisdaten für die Berechnungen (Einbindegrad in Drehrohröfen nach SPRUNG/WINKLER; Rohmehl nach WINKLER, Regelbrennstoff nach ENET 96) wurden aus [GALLENKEMPER, BRAUNGART, 1999] entnommen.

Die obige Formel zeigt, dass das Einbringen der Schadstofffrachten in die inneren und äußeren Kreisläufe des jeweiligen Zementwerkes nicht mit einbezogen wurden. Hierdurch würden sich die Klinker- bzw. Zementwerte weiter erhöhen. Mit der hier gewählten verein-

fachten Berechnung wird nur der (Haupt-)Anteil der eingebrachten Schwermetalle erfasst, der nach der Brennstoffaufgabe in die Primärfeuerung direkt in den Klinker eingebunden wird.

**Tabelle 59: Maximalabschätzung Klinkerbelastung bei Einsatz von Sonderabfällen**

Parameter	in FS	Abfalleinsatz max.				Richtwert Erzeugnis	
		10%	25%	50%	80%	Obourg (B)	BUWAL (CH)
<b>Vorgemischte Sonderabfälle</b>							
Blei	mg/kg	121	256	480	749	100	100
Chrom	mg/kg	83	107	147	195	200	150
Kupfer	mg/kg	105	230	438	687	100	100
Nickel	mg/kg	69	110	178	259	150	100
Zink	mg/kg	720	1.669	3.251	5.149	500	350
<b>Lack- und Farbschlämme</b>							
Cadmium	mg/kg	0,6	1,1	1,9	2,8	1	0,5
Quecksilber	µg/kg	83	85	88	93	1.000	500
Arsen	mg/kg	26	26	26	25	80	40
Blei	mg/kg	866	2.118	4.204	6.707	100	100
Chrom	mg/kg	260	551	1.036	1.618	200	150
Kupfer	mg/kg	30	41	61	84	100	100
Nickel	mg/kg	44	46	50	55	150	100
Zink	mg/kg	1.285	3.081	6.075	9.668	500	350
<b>Mineralölschlämme</b>							
Cadmium	mg/kg	1,2	2,5	4,7	7,4	1	0,5
Quecksilber	µg/kg	87	97	110	130	1.000	500
Antimon	mg/kg	2	3	4	5	50	-
Arsen	mg/kg	26	26	26	27	80	40
Blei	mg/kg	94	187	342	529	100	100
Chrom	mg/kg	254	537	1.007	1.571	200	150
Kobalt	mg/kg	20	36	62	92	50	50
Kupfer	mg/kg	3.435	8.555	17.089	27.329	100	100
Nickel	mg/kg	128	258	474	734	150	100
Vanadium	mg/kg	173	173	172	171	200	-
Zinn	mg/kg	5	6	8	10	30	25
Zink	mg/kg	1.055	2.506	4.926	7.829	500	350

Tabelle 59 zeigt die Schadstoffbelastung des erzeugten Klinkers, wenn die Abfälle mit der höchsten Belastung eingesetzt werden (Substitution durch EBS: 10%, 25%, 50% und 80%).

Diese Ergebnisse stellen keine überzogene Maximalabschätzung der höchsten Belastungen des Klinkers durch Abfalleinsatz dar, da die für die Abfallmodellierung verfügbare Datenmenge klein war. In der Praxis sind durchaus Chargen mit höheren Belastungen wahrscheinlich.

Die obigen Ergebnisse stellen insoweit eine Maximalabschätzung dar, da unterstellt wurde, dass die Belastungsspitze des vorliegenden Datenkollektivs als Einzelcharge in den Zementprozess gelangt und dort, entsprechend der festgelegten Substitutionsrate und dem bekannten Klinkereinbindungsgrad, zu einer Belastungsspitze des Erzeugnisses führt. Da ein Vermischen von Abfall-Einzelchargen mit dem Ziel, Konzentrationen herunterzuverdünnen, nicht zulässig ist, kann dieser Ansatz sicherlich nicht kritisiert werden.

Bezogen auf die vorgemischten Sonderabfälle ist zudem darauf hinzuweisen, dass die Maximalwerte *nach* Vermischung ermittelt wurden, also für ein Material, das transportfertig für die „Verwertung“ in Obourg war. Da die Maximalwerte zudem weitgehend unterhalb der Anforderungen an den Ersatzbrennstoff liegen, die vom Zementwerk Obourg vorgegeben sind (und stichprobenartig kontrolliert werden), ist für diese Abfallart der Eintritt des berechneten worst case mehr als realistisch.

Schließlich ist einzuschränken, dass die obigen Belastungsspitzen nur elementweise auftreten werden, da der eingesetzte Abfall nicht gleichzeitig für alle Schadstoffe den Spitzenwert ausmacht.

Die Ergebnisse zeigen insgesamt, dass unter pessimalen Konstellationen sehr hohe Klinkerbelastungen möglich sind. Die obige Tabelle zeigt auch, dass die Konzentrationen auf Werte ansteigen können, je nach Substitutionsrate des Regelbrennstoffes, die die einschlägigen Richtwerte für eine „noch“ akzeptable Produktbelastung deutlich überschreiten.

**Der Hinweis auf die (abfallwirtschaftlich sicherlich nicht zu befürwortende und rechtlich fragwürdige) aber technisch gegebene Möglichkeit der weiteren Vermischung von Einzelchargen mit Spitzenbelastungen mit weniger belasteten Abfällen (im Szenario 5) soll hier nur der Vollständigkeit halber angesprochen werden.**

## 7.5 Diskussion

Sowohl im Szenario 4 als auch im Szenario 5 werden die organischen Schadstoffe weitgehend mineralisiert (Senke), was für beide Szenarien positiv zu bewerten ist. Ein gravierender Unterschied zwischen Szenario 4 (SVA) und Szenario 5 (Zement) besteht auf dem Feld der anorganischen Schadstoffe.

Hier zeigt das Szenario 4 eine weitgehende Verlagerung der Schwermetallflüsse ins Zielmedium Senke, während im Szenario 5 das Zielmedium insbesondere das Erzeugnis ist. Daher ist als erster relevanter Unterschied hervorzuheben, dass im Unterschied zur **Schadstoffkonzentrierung** im Szenario 4 im Szenario 5 eine **Schadstoffverteilung** stattfindet. Dieser Unterschied ist aus umweltpolitischen Gründen grundsätzlich kritisch zu beurteilen, da es bisher ein entscheidendes Paradigma der deutschen Umweltpolitik war, Schadstoffe – insbesondere toxische Schwermetalle – von Umweltmedien wie Luft, Wasser oder Boden fernzuhalten und in Senken zu konzentrieren. Dieses Paradigma wird aus dem Vorsorgegrundsatz der deutschen Umweltpolitik gespeist.

Auf der zweiten Betrachtungsebene ist zu untersuchen, in welchem Umfang und über welche Zeiträume die ins Erzeugnis verlagerten Schadstoffe in die Umweltmedien Wasser und Boden weiterverlagert werden können. Zur Beantwortung dieser Frage kann auf ältere Literatur zurückgegriffen werden. Eine zusammengefasste Literaturlauswertung in [FEHRINGER ET AL., 1999] kommt zu dem Ergebnis, dass für übliche Betonbauwerke etc. nur sehr geringe Auslaugraten auftreten. Daher scheint in der Regel für die üblichen Einsatzbereiche und die gängigen Nutzungszeiträume von Betonprodukten keine unmittelbare Verlagerung vom Erzeugnis ins Umweltmedium Boden bzw. Wasser zu befürchten zu sein.

Die relevante Fragestellung lautet aus unserer Sicht: Wie verhält sich belasteter Beton bzw. Zement in der Nachnutzung, wenn ein Betonteil zu Abfall (Bauschutt) geworden ist (end of life status)? Bauschutt wird ohne Einsatzbeschränkung in offener Anwendung als Wegbefestigung, Straßenunterbau, Geländeauffüllung, Lärmschutzwall u.v.m. eingesetzt. Für diese Fallkonstellation sind daher die häufig herangezogenen Elutionsversuche an intakten Prüfkörpern mit neutralem Wasser über wenige Tage Versuchsdauer **nicht geeignet**.

- So wird der Bauschutt im Straßen- und Landschaftsbau in zerkleinerter Form eingesetzt. Das Korngrößenspektrum der Zerkleinerung kann von wenigen Zentimetern bis zu wenigen Millimetern gehen.
- Weiter ist davon auszugehen, dass dieses Material der Einwirkung aggressiver Wässer (saurer Regen) ausgesetzt sein kann.
- Schließlich sind die Zeiträume, über die eine Elution von Schwermetallen auszuschließen sein sollte, länger anzusetzen, als dies für die eigentliche Nutzungsphase von Beton bzw. Zement als Bauteil gilt.

Die folgende Tabelle zeigt Versuchsergebnisse für zerkleinerten Beton unter genormten Elutionsbedingungen (Verfügbarkeitstest).

**Tabelle 60: Ergebnisse eines Auslaugtests mit zerkleinertem Zement nach NEN 7341 (Niederländische Norm) [DEGRE, 1996]**

Parameter	Ausgangskonzentration im Zement (mg/kg)	Verfügbarkeit aus dem Zement (mg/kg)	Verfügbarkeit
Cadmium	0,31	0,70	100%*
Quecksilber	0,03	< 0,005	<15%
Antimon	6,1	< 0,2	< 3%
Arsen	6,5	0,1	2%
Blei	8,5	1,8	20%
Chrom	48	9	20%
Kobalt	15	0,9	5%
Kupfer	26	11	40%
Nickel	46	8,7	20%
Selen	< 0,5	< 0,2	-
Vanadium	118	2,5	2%
Zink	59	30	50%

\* im Original so angegeben, obwohl Verfügbarkeit >> Ausgangskonzentration

Obige Tabelle zeigt, dass unter diesen Testbedingungen einige Schwermetalle nicht fest in der Zementmatrix eingebunden sind. Dies gilt in diesem Fall gerade für die Schwermetalle, die unter toxikologischen Gesichtspunkten als sehr kritisch gesehen werden (Cadmium, Chrom, Nickel, Blei).

Eine weitere umfassende Untersuchung aus den Niederlanden bestätigt die grundsätzliche Verfügbarkeit von Schwermetallen aus der Zementmatrix, wenn das Material in seinem „end-of-life-Einsatz“ als zerkleinerter Bauschutt eingesetzt wird und mit Wasser intensiven Kontakt hat [VAN DER SLOOT, 1998]. Die folgende Tabelle zeigt Auslaugraten für einen hundertjährigen Zeitraum, berechnet auf der Basis von Auslaugtests von zerkleinertem Bauschutt im pH-Bereich von 7 bis 11. Überschreitungen der Werte des Baumaterial-Erlasses [STAATS-BLAD, 1995], Kategorie I, sind **fett** und *kursiv* gesetzt.

Bei niedrigeren pH-Werten (saurer Regen) würden die Auslaugraten für eine Reihe von Schwermetallen deutlich steigen. **Insgesamt wird daher erkennbar, dass zumindestens für einzelne Schwermetalle eine kritische Situation eintreten kann, wenn der Einsatz von Bauschutt, was gegenwärtig die Regel ist, in der „end-of-life-Phase“ zerkleinert und offen erfolgt.**

Nach diesen Untersuchungen muss, geht man von hinreichend langen Betrachtungszeiträumen aus, die langfristige **Verfügbarkeit** (anteilig) der über den Abfalleinsatz ins Erzeugnis eingebrachten Schwermetalle **als gegeben angesehen werden**.

**Tabelle 61: Vergleich der Freisetzung von „end of life“-Beton mit Nutzungskriterien [VAN DER SLOOT, 1998]**

Parameter	Baumaterial-Erlass [STAATSBLAD, 1995] (mg/m <sup>2</sup> in 100 Jahren)*, Kategorie I	Freisetzung Minimum (mg/m <sup>2</sup> in 100 Jahren)*	Freisetzung Maximum (mg/m <sup>2</sup> in 100 Jahren)*
Cadmium	12	5,4	11,9
Quecksilber	4,5	2,7	2,7@
Antimon	39	108	<b>705</b>
Arsen	435	54	<b>1.034</b>
Blei	1.275	54	370
Chrom	1.500	116	<b>143.660</b> <b>(28.000)©</b>
Kobalt	300	11	<b>11.600</b>
Kupfer	540	54	<b>2.080</b>
Molybdän	150	55	<b>20.500</b>
Nickel	525	54	<b>3.900</b>
Selen	15	54	54@
Vanadium	2.400	620	<b>28.600</b>
Zink	2.100	54	1.200
Zinn	500	54	<b>3.226</b>

@ ungenügende Analysenempfindlichkeit

© Wert in Klammern: Maximalwert bei Nichtberücksichtigung eines Extremwertes

\* Einheit gibt die Freisetzung von Schwermetallen über 100 Jahre aus der Grenzfläche von 1 m<sup>2</sup> des Baustoffes an.

Nun können die obigen Einzeluntersuchungen keine umfassende Gesamtbewertung ersetzen, auch weil die Autoren weiteren Forschungsbedarf in dieser Frage sehen. Weiter wird kontrovers diskutiert, welche Testbedingungen praxisgerecht sind (SPRUNG, RECHBERGER 1988). Dies kann sicherlich nicht der monolithische intakte Prüfkörper in neutralem Wasser sein.

Nach gegenwärtiger Kenntnislage ist das Nutzen des Erzeugnisses Klinker / Zement / Beton als Entsorgungsmedium für Schwermetalle aus der energetischen Nutzung von Sonderabfällen als kritisch anzusehen.

Die Nutzung des Erzeugnisses Klinker / Zement / Beton als Zielmedium für die Schwermetallentsorgung von Sonderabfällen stellt zudem einen Paradigmawechsel in der deutschen bzw. europäischen Umweltpolitik dar.

Bisher war es unstrittig, dass es umweltpolitisch erforderlich ist, Schwermetalle (und hier wiederum die besonders toxischen Vertreter dieser Schadstoffgruppe) durch abfallwirtschaftliche Maßnahmen aus den Kreisläufen abzutrennen und in Senken zu konzentrieren. Hierdurch war es möglich, auf strikte Einsatzverbote dieser Stoffe weitgehend zu verzichten, da viele dieser toxischen Elemente wirtschaftlich eine hohe Bedeutung haben und in manchen Einsatzbereichen auch schwer zu substituieren sind. Diese umweltpolitischen Entscheidungen (kein Einsatzverbot) wurden hauptsächlich in den 80er Jahren getroffen, einem Zeitraum, in welchem abfallwirtschaftliche Maßnahmen zur Ausschleusung, Konzentrierung und Einbringung in Senken umgesetzt wurden.

Diese umweltpolitische Zielsetzung der Abfallwirtschaft ist die wesentliche Positivaufgabe, mit der Umweltschutz durch Abfallbeseitigung betrieben wird. Die Kreisläufe werden entlastet, durch die Nutzung von Umwelt-Senken erfolgt eine Trennung von Umweltmedien und toxischen Schwermetallen.

Durch die Ausschleusung von Schadstoffen aus dem Kreislauf werden auch akute und chronische toxische Einwirkungen auf den Menschen minimiert. Da die meisten der toxischen Schwermetalle anerkanntermaßen auch eine carcinogene Wirkung auf den Menschen ausüben, ist dieser Minimierungsansatz auch fachlich zwingend, denn für diese Schadstoffe können keine Wirkungsschwellen (no-effect-level) angegeben werden, unterhalb derer eine irreversible Schädigung des Menschen auszuschließen ist.

Mit der Nutzung des Zementwerkes als Zielpfad für die Sonderabfallentsorgung findet ein Paradigma-Wechsel beim Umgang mit diesen Schadstoffen statt. Angesichts des Einsatzes von Zementprodukten in ihrer Nachnutzungsphase (end-of-life-Phase) als Bauschutt ist von einer Verteilung dieser Schwermetalle in der Umwelt (Boden) auszugehen. Da zudem Verfügbarkeitsuntersuchungen zeigen, dass ein Übertritt vom Bauschutt in den Wasserpfad stattfinden kann, ist auch dieses Umweltmedium einzubeziehen. **Damit ist dieser Paradigmawechsel mit hohen ökologischen Langzeitrisiken verbunden und umweltpolitisch abzulehnen.**

Die Kritik, dass die Verfügbarkeitsfrage für den Wasserpfad nicht abschließend wissenschaftlich geklärt ist, greift nicht. Es wurden unsererseits in dieser Studie Einzeluntersuchungen dokumentiert, die in Zweifel ziehen, dass die genannten Schwermetalle vollständig in die Zementmatrix eingebunden sind. Die beschriebenen Versuchsbedingungen sind nicht unrealistisch, verglichen mit Praxisbedingungen. Diese Verfügbarkeits-Erkenntnisse sind daher ausreichend für obige kritische Einschätzung, da für diese Bewertung ein Vorsorgestandpunkt einzunehmen ist. Ein Vorsorgestandpunkt bedeutet, dass etwaige verbliebene Erkenntnislücken als Defizit angesehen werden, das gegen einen umweltpolitischen Paradigmawechsel in der Sonderabfallwirtschaft spricht. Ein Nachsorgestandpunkt ist nicht vertretbar, da die Verteilung von Schadstoffen auf die Umweltmedien Boden und Wasser einen irreversiblen Prozess darstellt.

## **8 Sensitivitätsbetrachtung**

Die Sensitivitätsbetrachtung dient der Prüfung der Robustheit von Ergebnissen, wobei Zukunftsprognosen immer auch von Randbedingungen abhängig sind. Werden die Randbedingungen verändert, ändern sich die Prognoseergebnisse. Häufig lassen sich aus derartigen „Eingriffen“ weitere Erkenntnisse über Zukunftsentwicklungen ableiten. Daher dient die Sensitivitätsbetrachtung in dieser Studie auch diesem Prüfungsbereich.

### **8.1 Veränderte politische Randbedingungen**

Die Freiheitsgrade, um die Randbedingungen der oben strukturierten Szenarien zu ändern, sind vielfältig. Aber nicht jede denkbare Variation ist auch politisch wahrscheinlich.

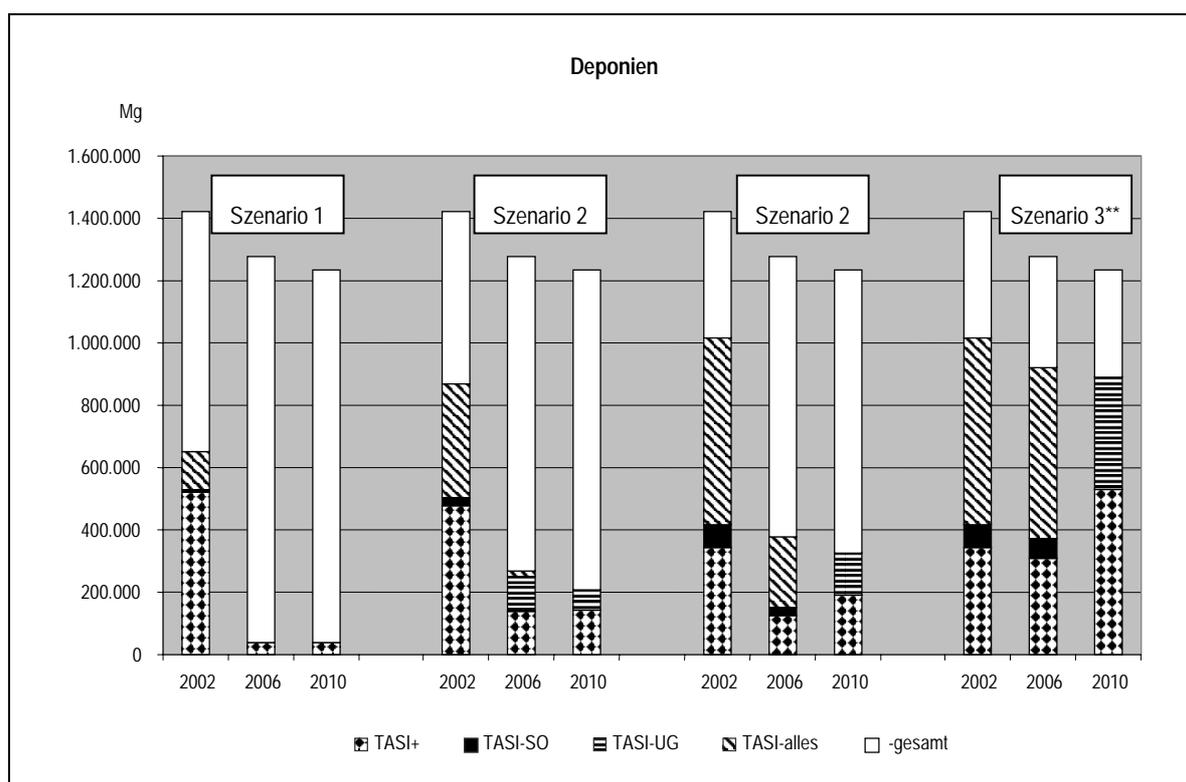
Während die Zukunftschancen der AbfallVwV, politisch betrachtet, nur die in den Szenarien 1 bis 3 beschriebenen Optionen umfassen (sie kommt, sie bleibt eingefroren, sie wird durch andere Rechtspositionen ersetzt), ergeben sich auf dem Feld der TASI-Novellierung zusätzliche Optionen, die nicht gänzlich unwahrscheinlich sind.

Hierzu gehört insbesondere Möglichkeit, dass sich im Verordnungsverfahren Positionen durchsetzen, die einen niedrigeren ökologischen Standard für die MBA (gegenüber dem BMU-Vorschlag) vorschlagen und einen Weiterbetrieb nicht TASI-gerechter Deponien nach 2005 ermöglicht sehen wollen.

Wir haben daher berechnet, wie sich das Szenario 3 verändern würde, wenn sich diese Randbedingungen einstellen würden (Szenario 3\*\*). Für die MBA wurde eine norddeutsche Pilotanlage als Stand der Technik unterstellt (vergl. Abschn. 5.4.2), für die Deponiestrecke wurde auch hier angenommen, dass MBA-Material bis 2006 auch noch auf weniger gesicherten Anlagen entsorgt werden darf (Details siehe Anhang). Weiter kann die Deponie auch im Rahmen von Übergangslösungen im Einzelfall für einfach vorbehandelte Abfälle genutzt werden. Die folgende Abbildung zeigt, in welchem Umfang die jeweiligen Deponietypen in den einzelnen Szenarien für Gewerbeabfälle genutzt werden.

**Abb. 23: Nutzung von Deponien in den verschiedenen Szenarien (hausmüllähnlicher Gewerbeabfall einschließlich MBA-Output aus Hausmüll)**

- TASi+ = Deponie komplett mit TASi-Standard
- TASi-SO = Deponie mit TASi-Standard bis auf Standortvoraussetzungen
- TASi-UG = Deponie mit TASi-Standard bis auf Untergrundabdichtung
- TASi-alles = Deponie ohne Abdichtung, Sickerwasserfassung und Gasfassung
- gesamt = Gewerbeabfall gesamt abzüglich deponierter Mengen



Erwartungsgemäß verschlechtern sich die Ergebnisse für die Emission organischer Stoffe in das Umweltmedium Luft und Wasser beachtlich. Hierfür ist insbesondere der niedrigere MBA-Standard verantwortlich.

Die erhöhten Schwermetall-Einträge in den Boden sind im wesentlichen auf die Aufweichungen von Deponiestandards zurückzuführen.

Tabelle 62: Ergebnis Stoffflussanalyse für ein modifiziertes Szenario 3

Bezugsjahr		I n p u t ( k g )			
		Hg	Cd	VOC	ELU
2002		3.500	24.400	2.360.000	108.000.000
2006		3.200	22.000	2.130.000	97.000.000
2010		3.100	21.300	2.060.000	94.000.000
Bezugsjahr		O u t p u t			
Zielmedium		Hg	Cd	VOC	ELU
2002	Luft	1,7%	0,0%	30,9%	0,1%
2002	Wasser	0,0%	0,2%	0,0%	22,3%
2002	Boden	12,3%	33,0%	3,0%	4,4%
2002	Erzeugnis	1,2%	5,7%	0,0%	0,0%
2002	Deponie	28,3%	27,5%	9,8%	17,6%
2002	Senke	32,3%	23,4%	56,2%	55,7%
<b>2002</b>	<b>Summe Zielmedien</b>	<b>75,9%</b>	<b>89,8%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>
2006	Luft	2,3%	0,1%	20,7%	0,0%
2006	Wasser	0,0%	0,1%	0,0%	16,6%
2006	Boden	14,3%	34,6%	3,0%	4,5%
2006	Erzeugnis	1,4%	5,8%	0,0%	0,0%
2006	Deponie	5,1%	11,5%	1,9%	4,0%
2006	Senke	52,8%	37,2%	74,4%	74,9%
<b>2006</b>	<b>Summe Zielmedien</b>	<b>75,9%</b>	<b>89,3%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>
2010	Luft	2,3%	0,1%	16,6%	0,0%
2010	Wasser	0,0%	0,1%	0,0%	13,3%
2010	Boden	7,8%	24,0%	5,8%	5,0%
2010	Erzeugnis	1,4%	5,7%	0,0%	0,0%
2010	Deponie	11,6%	22,2%	3,0%	6,9%
2010	Senke	52,7%	37,2%	74,5%	74,8%
<b>2010</b>	<b>Summe Zielmedien</b>	<b>75,9%</b>	<b>89,2%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>

Dass die Negativeffekte so deutlich ausfallen, hängt im Kern damit zusammen, dass eine positive Beschlußfassung zur AbfallVwV und eine Aufweichung der TAsi-Novelle sich gegenseitig negativ verstärken. Durch die Aufweichung der TAsi werden die Zielorte mit hoher Methanproduktion (low level-MBAs, unzureichende Deponien) auch nach 2005 (auf Zeit) offen gehalten, und die Verwaltungsvorschrift liefert die rechtlichen Möglichkeiten, diese

Zielorte zur Fortsetzung der Scheinverwertung intensiv zu nutzen. Diese lokalen Einzelfälle, wie sie für die TASI-Diskussion politisch positioniert werden, entwickeln sich im Lichte der erlassenen AbfallVwV (über den Verwertungshebel) zu überregionalen Abfallmagneten.

**Die Sensitivitätsbetrachtung zeigt daher, dass diese politisch nicht ganz unwahrscheinliche zeitliche Kopplung zweier abfallrechtlicher Entscheidungsbereiche das worst case-Szenario darstellen, dessen politisches Eintreten leider nicht ausgeschlossen ist.**

## **8.2 Abschöpfen von Hausmüll in die Scheinverwertung**

Im Szenario 3 wird konservativ abgeschätzt, dass rund 20% des heute überlassungspflichtigen Hausmülls aufgrund der skizzierten rechtlichen Rahmenlage abgeschöpft werden. Hier werden die größeren Wohnungsverwaltungsgesellschaften Baden-Württembergs als Akteure ausgemacht.

In einem Szenario 3 ist aber auch denkbar, dass diese Zahlen höher ausfallen. Dies würde nicht nur zu beträchtlichen ökonomischen Verlusten führen, sondern zusätzlich die ökologischen Ergebnisse gegenüber den anderen Szenarien weiter verschlechtern. Daher ist das Szenario 3 keinesfalls als übertrieben pessimistisch zu qualifizieren, wie dies möglicherweise kritisch eingewandt werden wird.

## **8.3 Anwendung der 17. BImSchV**

Die ungünstigen Ergebnisse im Szenario 2, 3 und 5 für den Luftpfad sind auf die industrielle Mitverbrennung zurückzuführen. Je nach Anwendung der 17. BImSchV in den einzelnen Bundesländern können sich diese Ergebnisse verschlechtern oder verbessern.

Welche Bedeutung diesem Aspekt zukommt, zeigt die Sensitivitätsbetrachtung am Beispiel des Szenarios 3 für das Element Quecksilber.

Die folgende Tabelle vergleicht die Ergebnisse berechnet mit dem Transferfaktor des VDZ (0,40) und dem, was andere Autoren [GALLENKEMPER, BRAUNGART, 1999] für den Zementprozess für zutreffend halten (0,92). Man erkennt das Risikopotenzial, wenn Zementwerke über ein ungünstiges Rückhaltevermögen für flüchtige Schwermetalle verfügen.

**Tabelle 63: Sensitivitätsbetrachtung Szenario 3: Stofffluss in das Umweltmedium Luft bei verändertem Transferfaktor Reingas im Zementwerk für das Element Quecksilber**

Transferfaktor Reingas für Hg	2002	2006	2010
<b>0,40 (VDZ)</b>	58 kg	114 kg	114 kg
<b>0,92@</b>	95 kg	190 kg	193 kg

@ [GALLENKEMPER, BRAUNGART, 1999]

#### 8.4 Unterschiedliche Kraftwerkstypen

Die im Falle der energetischen Nutzung über Kraftwerke (Trockenfeuerung) ausgeschleusten Schadstoffe tauchen aufgrund der heutigen Entsorgungspraxis (obertägige Verfüllung von Restlöchern) in unserer Systematik im Umweltmedium Boden auf. Diese Annahme ist sicherlich inhaltlich berechtigt, wobei aber durchaus zu diskutieren ist, wie sich die unterschiedliche Verfügbarkeit von Schadstoffen aus diesen Ablagerungen langfristig auswirken.

Im Falle der Abfallnutzung in Kraftwerken des Typs Schmelzkammerfeuerung ist die Schadstoffeinbindung in eine glasartige Matrix einzubeziehen. Hier ist von einer geringeren Verfügbarkeit auszugehen. Diese Randbedingungen (Abfallmitverbrennung primär in Schmelzkammerfeuerungen) wurden hier nicht betrachtet; würden das Gesamtergebnis aber nicht unbeachtlich verändern. Ähnliches gilt für die Randbedingung, dass im Falle der Abfallmitverbrennung in Kraftwerken des Typs Trockenfeuerung an die Entsorgung der Schlacken, Aschen und Stäube höhere als die heute üblichen Anforderungen gestellt werden könnten [VGB, 1992].

Weiter ist der Standard der jeweiligen Rauchgasreinigung einzubeziehen. Das hier herangezogene Kraftwerk verfügt über eine relativ moderne Ausstattung. U.E. besteht durchaus die Möglichkeit, dass sich zukünftig eher ältere abgeschriebene Anlagen auf dem Markt der Abfallmitverbrennung engagieren. Daher kann nicht der Vorwurf erhoben werden, wir hätten bei den in dieser Studie unterstellten technischen Kennziffern auf zu pessimale Randbedingungen zurückgegriffen. In der Praxis wird eher mit weniger günstigen Werten zu rechnen sein.

#### 8.5 Zielmedium Erzeugnis

Der Transfer ins Erzeugnis zieht von seiner Systematik her problematische und weniger problematische Einzeleffekte zusammen. Auch hier müssen die einzelnen Zahlenwerte in ihrer Bedeutung bzw. ökologischen Bewertung jeweils vertieft diskutiert werden.

Auf die Schadstoffverlagerung ins Erzeugnis Zementklinker wurde an den entsprechenden Stellen dieser Untersuchung schon eingegangen (siehe Szenario 4 und 5).

In der hier vorgenommenen Untersuchung war es nicht Aufgabe, eine exakte Quantifizierung der Schadstoffübergänge an der Schnittstelle Erzeugnis zu den Umweltmedien Boden und Wasser vorzunehmen.

Da das wesentliche Kriterium für das Zielmedium „Erzeugnis“ (als Teilmenge aller sonstigen Erzeugnisse in der Technosphäre) die irreversible Verteilung in den Umweltmedien Luft, Wasser und Boden ist, kann diese Vereinfachung gerechtfertigt werden.

## 8.6 Transferfaktoren Deponie

Von allen modellierten Prozessen weist die Modellierung der Deponie (genauer: der Deponien mit unterschiedlicher Ausstattung) die größten Unsicherheiten auf. Dies lässt sich u.E. auch nicht durch eine umfänglichere Untersuchung lösen.

Letztlich ist diese Unsicherheit eine systemimmanente Unsicherheit: Die Deponie ist ein potenzielles Umweltrisiko. Selbst mit modernem Sicherheitsstandard stellt sie ein Bauwerk mit begrenzter Lebensdauer dar. Genaugenommen ist es diese nicht lösbare Prognoseaufgabe bzw. Beschreibbarkeit des Modells Deponie, die dazu geführt hat, dass die Deponie in ihrer Bedeutung für die Abfallwirtschaft heruntergefahren werden soll.

Wir haben in dieser Situation eher auf vorsichtige Schätzungen über das Umweltverhalten der Deponie zurückgegriffen. Unsere eigenen Annahmen und Schätzungen sind eher optimistisch, wir haben eine relativ langfristige Intaktheit des Baukörpers Deponie angenommen. Die folgende Tabelle zeigt Transferfaktoren, wie sie von anderen Autoren ermittelt wurden.

Diese Werte liegen deutlich über unseren Ansätzen. Sie würden, insbesondere wenn zusätzlich mangelhafte Ausstattungen einbezogen würden, das Ergebnis für die Deponierung deutlich verschlechtern (höhere Schadstoffverlagerung in die Medien Luft und Wasser).

Weiter hat sich das Fraunhofer Institut für Verfahrenstechnologie und Verpackung (IVV), Freising, intensiv in vielen Ökobilanzen mit der Prognose der bei der Deponierung von Hausmüll anfallenden Emissionen auseinandergesetzt ([FRAUNHOFER ILV, 1997], [GÜNTHER, LANGOWSKI, 1998], [BEZ ET AL., 1998], [HEYDE, KREMER, 1998], [HEYDE, KREMER, 1999a], [HEYDE, KREMER, 1999b]). Die hier abgeschätzten Prognosen, rechnet man sie in Transferfaktoren um, liegen unterhalb der Werte, die in Tabelle 64 angenommen werden, aber immer noch deutlich oberhalb der Werte, mit denen wir rechnen (Tabelle 38).

Daher stellt die von uns durchgeführte Untersuchung die Gesamtergebnisse nicht überzeichnet negativ dar, eher im Gegenteil.

**Tabelle 64: Transferfaktoren für Reaktordeponie (ESU 1996, S. 72; zit. in [GALLENKEMPER, BRAUNGART, 1999])**

Parameter	TF Gasphase	TF Sickerwasser < 150a	TF Deponiekörper < 150a
Cl	0,014	0,986	-
S	0,358	0,642	-
Cadmium	0,004	0,656	0,34
Quecksilber	0,209	0,391	0,4
Blei	-	0,01	0,99
Kupfer	0,0001	0,45	0,55
Zink	-	0,68	0,32

## 8.7 Schadstoffgutschriften

Im Rahmen der Untersuchungen der in den Szenarien neu gebildeten Schadstoffe (am Beispiel des Methans) wurde für die besser ausgestatteten Deponietypen zwar eine Fassung und Entsorgung (thermische Mineralisierung) eingerechnet. Abgeschnitten wurde die Art der Mineralisierung des Deponiegases. Diese kann mit oder ohne Energiegewinnung erfolgen. Zusätzlich variiert die Effektivität der Energiegewinnung. Dies geht in der Praxis von der Gewinnung von Heizenergie (und Nutzung in den Zeiten, in denen sie gebraucht wird) bis hin zum Betreiben von Blockheizkraftwerken.

Eine effektive energetische Nutzung stellt einen energetischen Beitrag dar, der die negativen Klimaeffekte aus der sonstigen Methanemission aus dem Prozess Deponie anteilig kompensieren kann. Ist daher das Abschneiden dieses Aspektes methodisch gerechtfertigt?

Das Abschneiden ist deshalb methodisch nicht zu kritisieren, da die Methanemissionen aus den Deponien nichts mit der Gewinnung von Energie aus Deponiegas zu tun hat. Vielmehr ist es das Methan, was **nicht** zurückgehalten (und anteilig energetisch genutzt wird), was für die klimarelevante Schadstoffemission verantwortlich ist. Würde man dem emittierten Methan die energetisch genutzte Methan gutschreiben, müsste man auch dem MBA-Methan die energetische Nutzung der durch die Behandlung in der MBA gewonnenen hochkalorischen Fraktion gutschreiben oder die effektive energetische Einbindung der AVG in das Hamburger Fernwärmenetz usw. usf.. Methodisch wäre man mit dieser Betrachtung dann auf dem Feld der Ökobilanz angekommen.

Sicherlich wäre die Ökobilanz auch eine geeignete Methode, um unterschiedliche Entsorgungstechniken oder Entwicklungsszenarien miteinander zu vergleichen. Die Ökobilanz wäre aber als Methode ungeeignet, die formulierte Aufgabenstellung dieser Untersuchung zu bearbeiten und diesbezügliche Antworten zu geben. Ein wesentlicher Grund ist, dass die Ökobilanz keine Antworten dazu liefert, wie sich Schadstoffe in der Umwelt verteilen. Die hier gewählte Stoffflussanalyse liefert diese Antworten in Abhängigkeit der in dieser Untersuchung gebildeten Entwicklungsszenarien. Aber selbst wenn man diese Gutschrift für die De-

ponie methodisch für zulässig ansehen würde, würde das Gesamtergebnis nicht wesentlich verändert ausfallen, da gegenwärtig in Deutschland nur eine Teilmenge von rund 10% des insgesamt aus den Deponien über 150 Jahre freigesetzten Methans effektiv energetisch genutzt wird. Dieses Ergebnis kann sich zukünftig ändern, wenn die Nutzung von Deponiegas zur Energierückgewinnung ökonomisch begünstigt wird (vgl. EEG und Entwurf Biomasseverordnung).

## 8.8 Belastbarkeit der verwendeten Daten

Die sonstigen für die Berechnungen verwendeten Daten sind an ihrer jeweiligen erstmals in den Text eingeführten Stelle dokumentiert.

Die verwendeten Daten sind von unterschiedlicher Güte und Belastbarkeit.

- Für die Transferfaktoren thermischer Verfahren haben wir hauptsächlich auf Angaben der jeweiligen Industriekreise und Anlagenbetreiber zurückgegriffen. Daher wird sicherlich eine hinreichende Belastbarkeit zu unterstellen sein.
- *Für die Deponien ergaben sich Unsicherheiten bei ihrer Modellierung (vergleiche auch Kap. 8.6).*
- Für die MBA haben wir eigene Modellberechnungen auf der Basis österreichischer und deutscher Datenquellen durchgeführt. Als Defizit muss an dieser Stelle angesprochen werden, dass bisher keine schlüssigen Schwermetallbilanzen für die MBA vorliegen. Dies gilt insbesondere für die Schnittstelle Metallabtrennung/hochkalorische Fraktion. Hier können sich daher Ergebnisverschiebungen zu Gunsten (oder zu Lasten) der jeweils untersuchten Szenarien ergeben, soweit die MBA (Stand BMU) eine Rolle spielt.
- Die Basisdaten für die betrachteten Abfälle sind von auch statistisch befriedigender Qualität, bis auf die Datenlage für hausmüllähnliche Gewerbeabfälle (inkl. Sortierreste und Baustellenmischabfälle). Hier mussten Modellberechnungen auf der Basis des vorhandenen Datenbestandes durchgeführt werden. Da aber nicht davon auszugehen ist, dass die genannten gewerblichen Abfälle sich grundlegend vom Hausmüll unterscheiden, dürfte die hier durchgeführte Modellberechnung belastbar sein und eine geringfügig andere Inputbelastung dieser Abfallgruppe keine Ergebnisrelevanz haben.
- Eine Ausnahme würden wir für den Bereich Baustellenmischabfälle und Chlor machen. Für diese Abfallart ist bekannt, dass eine insgesamt belastbare Datenbasis zur Zusammensetzung fehlt. Da davon auszugehen ist, dass die Altbestände an PVC über diesen Pfad entsorgt werden, ist dieses Defizit für den gewerblichen Abfallbereich relevant. Bei hohen PVC-Belastungen der Baustellenmischabfälle verschlechtern sich die Ergebnisse insbesondere für die Szenarien 2 und 3 deutlich (Chlor, einzelne Schwermetalle wie Cadmium, Blei, Zinn). Dies kann bis hin zu einer „Überforderung“ von Beseitigungsanlagen gehen.

- Für die modellierte hochkalorische Fraktion (Tabelle 40) sind eher moderate Belastungen unterstellt worden. Dies zeigt auch der Vergleich mit der Untersuchung der Universität Tübingen von 6 Landkreisen in Baden-Württemberg [KRAUSS ET AL., 2000], der für die maßgeblichen Fraktionen, die die hochkalorische Fraktion ausmachen, eher höhere Konzentrationen ermittelt hat. So beträgt bei Kunststofffolien die Belastung mit Chlor zwischen 0,9 und 4% und bei Hartkunststoffen zwischen 1,9 und 7,5%, was deutlich über den von uns für die Gesamtfraktion errechneten 0,37 % liegt. Für Schwefel ergeben sich gute Übereinstimmungen (0,2%). Für Quecksilber liegen die Werte der Universität Tübingen für viele Teilfraktionen (der hochkalorischen Fraktion) unter 200 mg/Mg (Maximalwert = 650 mg/Mg), während unsere hochkalorische Modellfraktion 300 mg/Mg aufweist. Für Cadmium liegen die Werte der Kunststofffraktionen im Bereich von <1.000–50.000 mg/Mg, für die restlichen Fraktionen im Bereich <250–10.000 mg/Mg, so dass die von uns angesetzten 2.600 mg/Mg realistisch erscheinen. Für die restlichen Schwermetalle ergibt sich ein ähnliches Bild.

## 9 Gesamtergebnis

Der Verwertungs begriff hat in der Expertenmeinung sein Erscheinungsbild verändert, er wird lange nicht mehr so vorbehaltlos positiv belegt, wie dies noch in den 80er und Anfang der 90er Jahre der Fall war. Eine Umfrage unter den baden-württembergischen Abfallbehörden hat viele Einzelbeispiele und Einschätzungen dargelegt, die diesen Stimmungswandel erklären. Es stellte sich daher die Frage, ob die bisherigen abfallwirtschaftlichen Verwertungs Bemühungen in Deutschland tatsächlich einen ökologischen Fortschritt darstellen.

Vor diesem Hintergrund war die wesentliche Aufgabenstellung der Untersuchung, die zukünftigen Effekte zu erfassen und zu beschreiben, die aus ökologischer Sicht mit dem vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) vorgelegten Entwurf einer Abfallverwaltungsvorschrift (AbfallVwV) verbunden wären. Die Untersuchung wurde begonnen, als den Bundesländern ein Arbeitsentwurf zu einer ersten Stellungnahme zugeleitet wurde. Der Entwurf der AbfallVwV wurde aufgrund der überwiegend negativen Rückmeldungen vom BMU „nicht weiter verfolgt“, aber auch nicht zurückgezogen.

Eine ökologische Analyse des heutigen abfallwirtschaftlichen Status quo und möglicher Zukunftsentwicklungen (Szenarien) muss zunächst eine Risikoanalyse sein, da Abfälle häufig objektiv risikoträchtig sind (Schadstoffbelastung). Wobei die Schadstoffbelastung sowohl über Durchschnittswerte als auch über unsachgemäß verursachte Maximalwerte zu erfassen ist.

Daher wurde mit vorliegender Untersuchung über die Stoffflussanalyse berechnet, wie sich Schadstoffe aus unterschiedlichen Abfallarten in unterschiedlichen Szenarien auf Zielmedien verteilen. Zusätzlich wurde auch am Beispiel des Methans die Neubildung von Schadstoffen betrachtet. Die Stoffflussanalyse wurde für die folgenden Abfallarten durchgeführt:

- Abfälle aus Haushaltungen (Hausmüll),
- hausmüllähnlicher Gewerbeabfall (inkl. Sortierreste und Baustellenmischabfälle),
- vermischte Sonderabfälle zur Verbrennung,
- Lack- und Farbschlämme,
- Ölschlämme.

Die Zielorte bzw. Umweltmedien für die Schadstoffverteilung sind:

- Luft (Umweltmedium),
- Wasser (Umweltmedium),
- Boden (Umweltmedium),
- Erzeugnis (Umweltmedium),
- Deponie (Lagerraum),
- Umweltsenke (Lagerraum).

Für die Siedlungsabfälle (Hausmüll, hausmüllähnliche Gewerbeabfälle) wurden die folgenden drei Szenarien betrachtet:

- **Szenario 1:**

Das Szenario 1 beschreibt eine Entwicklung, in der konsequent die Grundgedanken des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes vollzogen werden. Hausmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle (inkl. Sortierreste und Baustellenmischabfälle) sind in der Überlassungspflicht der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger. Deponien ohne Basisabdichtung, Sickerwasserfassung und Gasfassung sind bis 2002 bundesweit geschlossen. Scheinverwertung findet nicht statt. Bis 2005 sind alle erforderlichen Vorbehandlungsanlagen realisiert und in Betrieb, unvorbehandelter Restabfall wird nicht mehr abgelagert (Szenario 1: Verwirklichung der Grundgedanken des KrW-/AbfG). Die TASI-Anforderungen [TA Siedlungsabfall, 1993] werden in diesem Szenario per Rechtsverordnung (Abfall-Ablagerungs-Verordnung, AbfAbIV) gefasst und dadurch in ihrem bindenden Charakter unmittelbar wirksam. Die AbfAbIV wird allerdings nicht für MBA-Fractionen geöffnet.

- **Szenario 2:**

In Szenario 2 wird der heutige Status quo beibehalten. Rechts- und Investitionsunsicherheiten sind die beherrschenden Randbedingungen in diesem Szenario. Die Abfallverwaltungsvorschrift des BMU (AbfallVwV) wird nicht erlassen, der Vorgang bleibt aber weiter „zunächst unterbrochen bzw. eingefroren, aber keineswegs zurückgezogen“. Klärstellungen zur Überlassungspflicht und zur Scheinverwertung müssen dadurch weiterhin im Einzelfall erstritten werden. Auf diesem Feld werden daher für das Land Baden-Württemberg sowohl einzelne Erfolge als auch Misserfolge eintreten. Die Scheinverwertung lässt sich mit den Mitteln des Landesvollzugs nur teilweise verhindern.

Die TASI [TA Siedlungsabfall, 1993] wird in diesem Szenario gemäß den Vorstellungen des BMU novelliert (AbfAbIV [AbfAbIV, 2000]; WHG § 7a Anhang 59 [ANHANG 59, 2000], 30. BImSchV [30. BImSchV, 2000]).

- **Szenario 3:**

Szenario 3 beschreibt eine Entwicklungsrichtung, die eintreten wird, sofern die Abfallverwaltungsvorschrift des BMU (AbfallVwV) erlassen wird. Die der Verwaltungsvorschrift zugrundeliegende Rechtsauffassung setzt sich in diesem Szenario bundesweit durch<sup>3</sup>.

Die TASI wird in diesem Szenario ebenfalls entsprechend den Vorstellungen des BMU novelliert. Daher ergeben sich bezüglich der TASI-Problematik zwischen Szenario 2 und 3 keine unterschiedlichen Annahmen bzw. Randbedingungen.

---

<sup>3</sup> Durch das Urteil des Bundesverwaltungsgerichts vom 15.06.2000 (BVerwG 3 C 4.00) hat sich die Meinung des Bundesumweltministeriums in dem wichtigen Teilbereich der Beurteilung der Mischabfälle durchgesetzt.

Im Szenario 3\*\* wird demgegenüber untersucht, wie sich die Ergebnisse von Szenario 3 verändern, wenn die Abfallverwaltungsverfahren des BMU kommt, die TAsi aber, wie dies verschiedene Interessensgruppen fordern, auf einem niedrigen ökologischen Niveau novelliert würde.

Für die besonders überwachungsbedürftige Abfälle wurden die folgenden zwei Szenarien betrachtet:

- **Szenario 4:**

Im Szenario 4 wird davon ausgegangen, dass die Abfallverwaltungsverfahren des BMU (AbfVwV) nicht verabschiedet wird und das KrW-/AbfG sich in Verbindung mit dem Bundesländer-Konsenspapier unter weiterer Konkretisierung bundesweit und auf EU-Ebene durchsetzt. Sonderabfälle unterliegen hiernach der Beseitigung, wenn bei deren Behandlung die Beseitigung des Schadstoffpotenzials und nicht die Nutzung der Abfalleigenschaft im Vordergrund steht.

- **Szenario 5**

Im Szenario 5 wird die Abfallverwaltungsverfahren des BMU (AbfVwV) verabschiedet und setzt sich bundesweit als Rechtsstandpunkt verbindlich durch. Auf europäischer Ebene setzen sich die derzeitigen Regelungen des KrW-/AbfG in Verbindung mit dem Bundesländer-Konsenspapier ebenfalls nicht durch.

Im Szenario 5 findet die Entsorgung der genannten Abfälle daher als Ersatzbrennstoff in einem belgischen Zementwerk statt.

Die folgenden Abbildungen zeigen ausgewählte Ergebnisse für die Szenarien 1 bis 3.

Abb. 24: Ergebnisse der Szenarien 1 bis 3 - hier: Eintrag in Senken

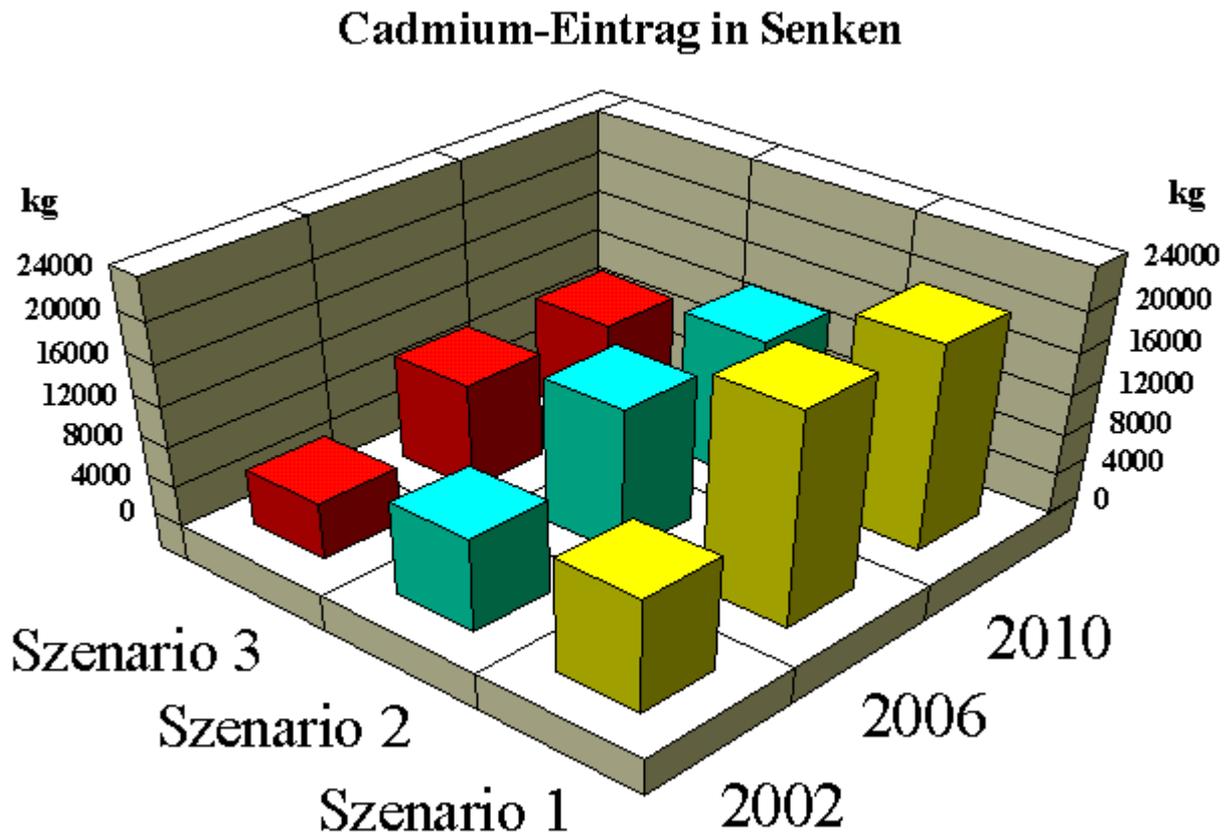


Abb. 25: Ergebnisse der Szenarien 1 bis 3 - hier: Eintrag in Luft

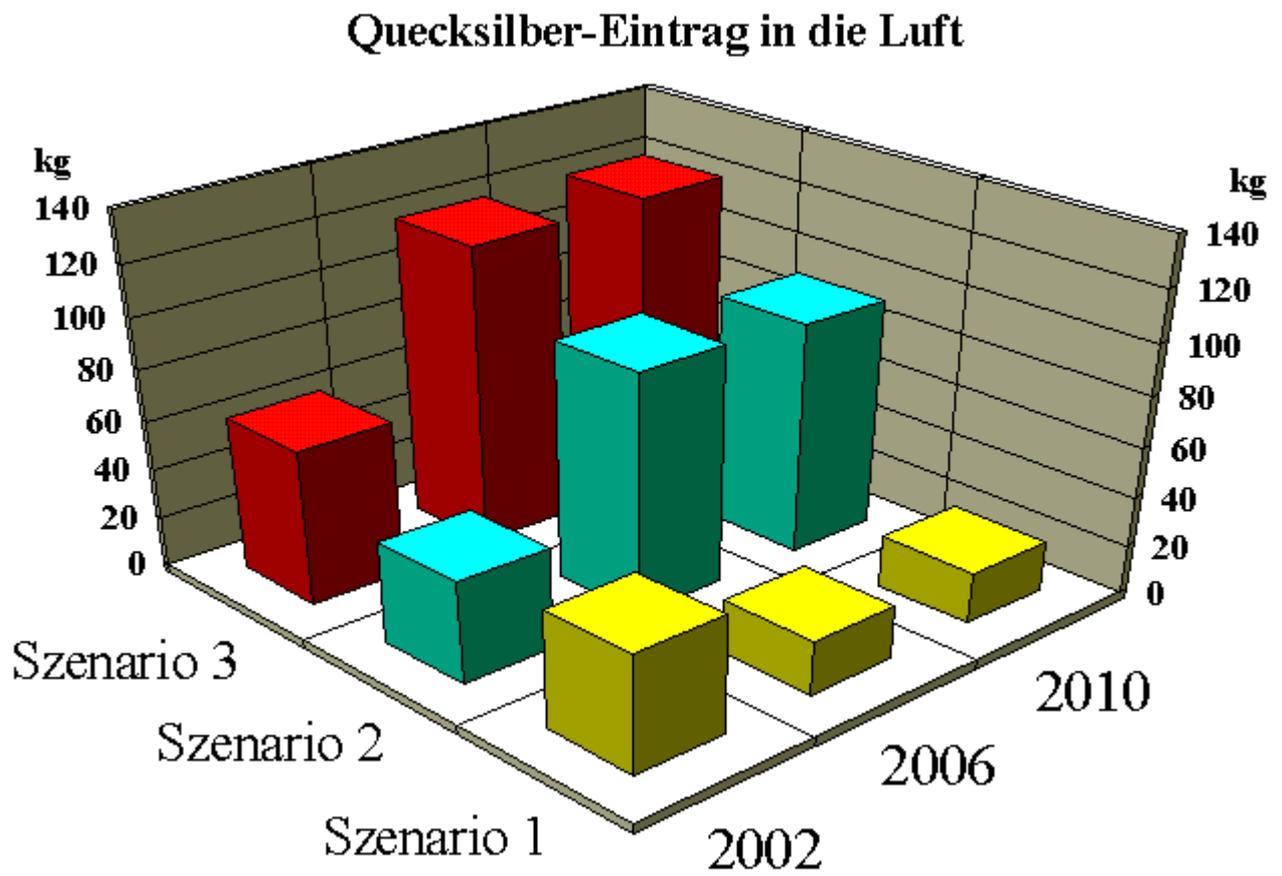


Abb. 26: Ergebnisse der Szenarien 1 bis 3 - hier: Eintrag ins Wasser

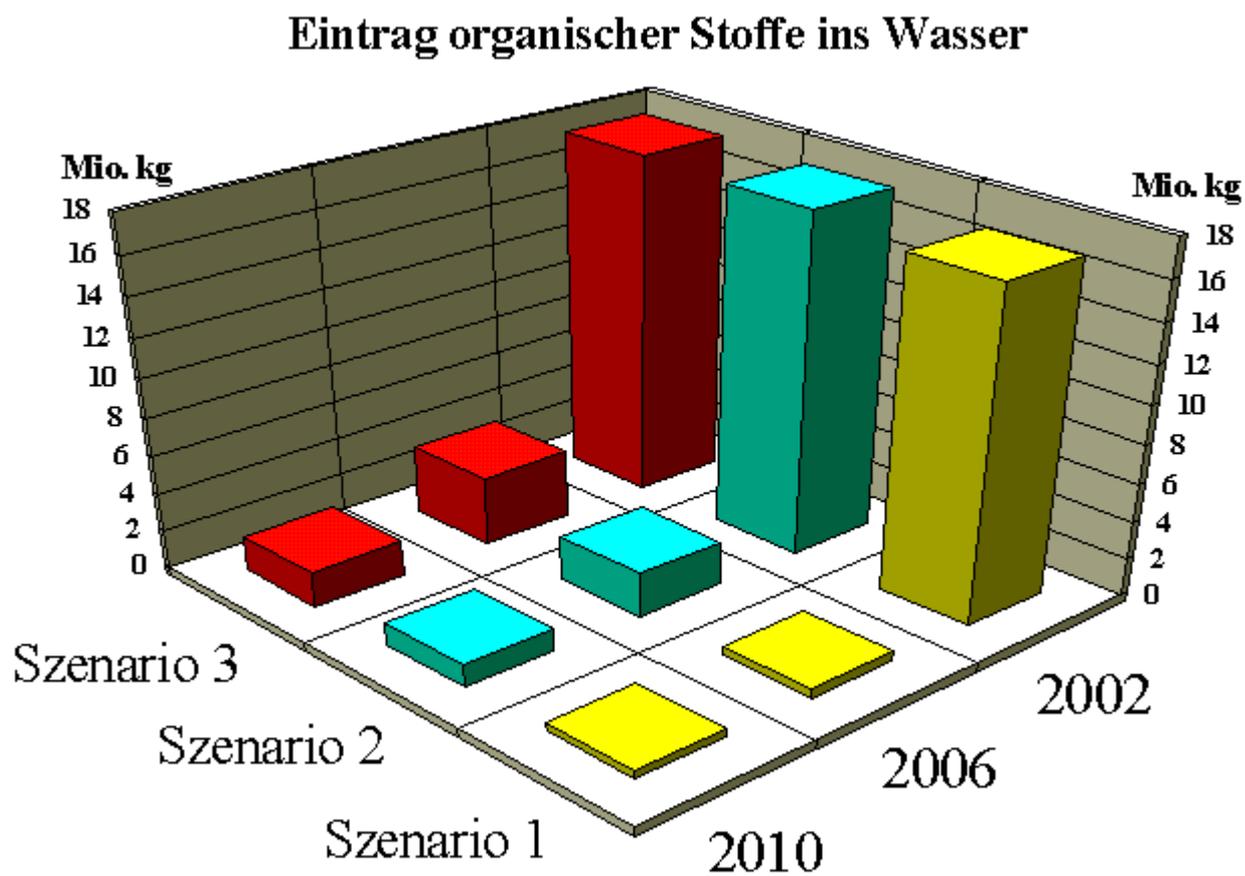


Abb. 27: Ergebnisse der Szenarien 1 bis 3 - hier: Eintrag ins Erzeugnis

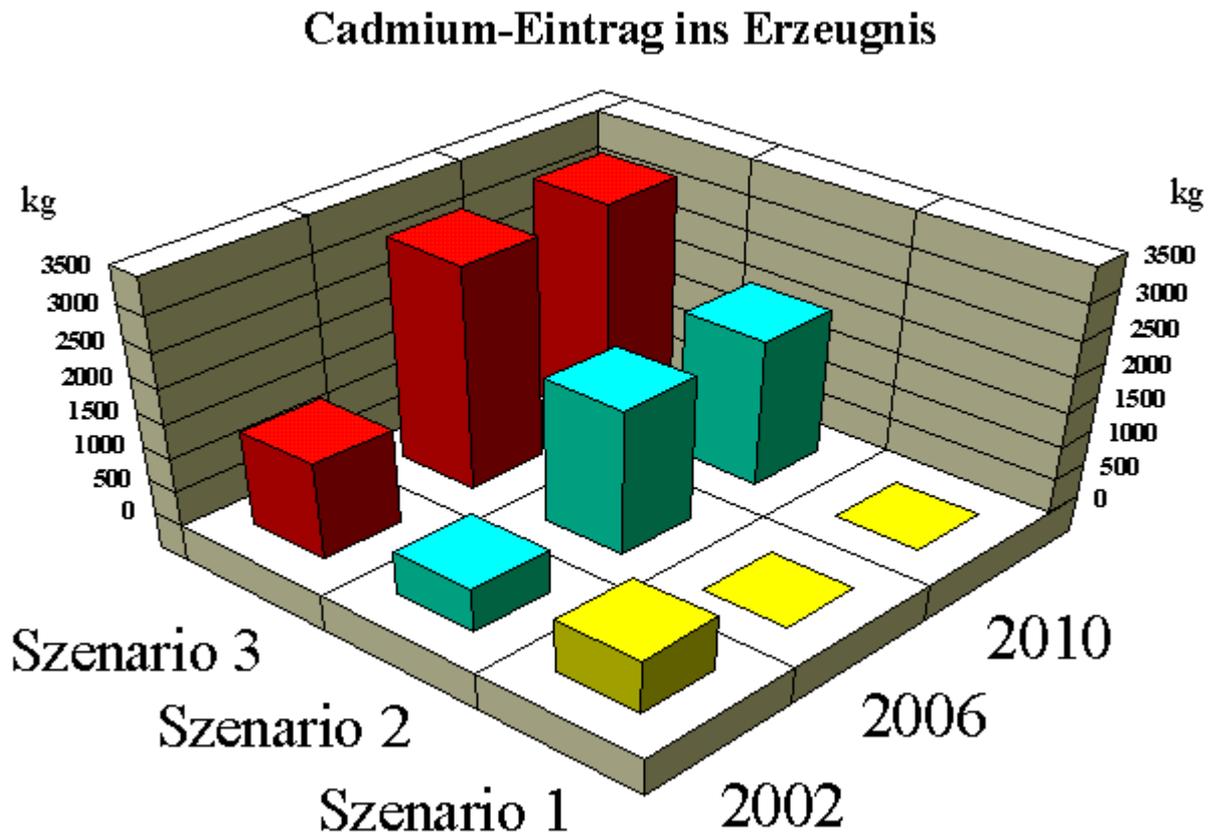
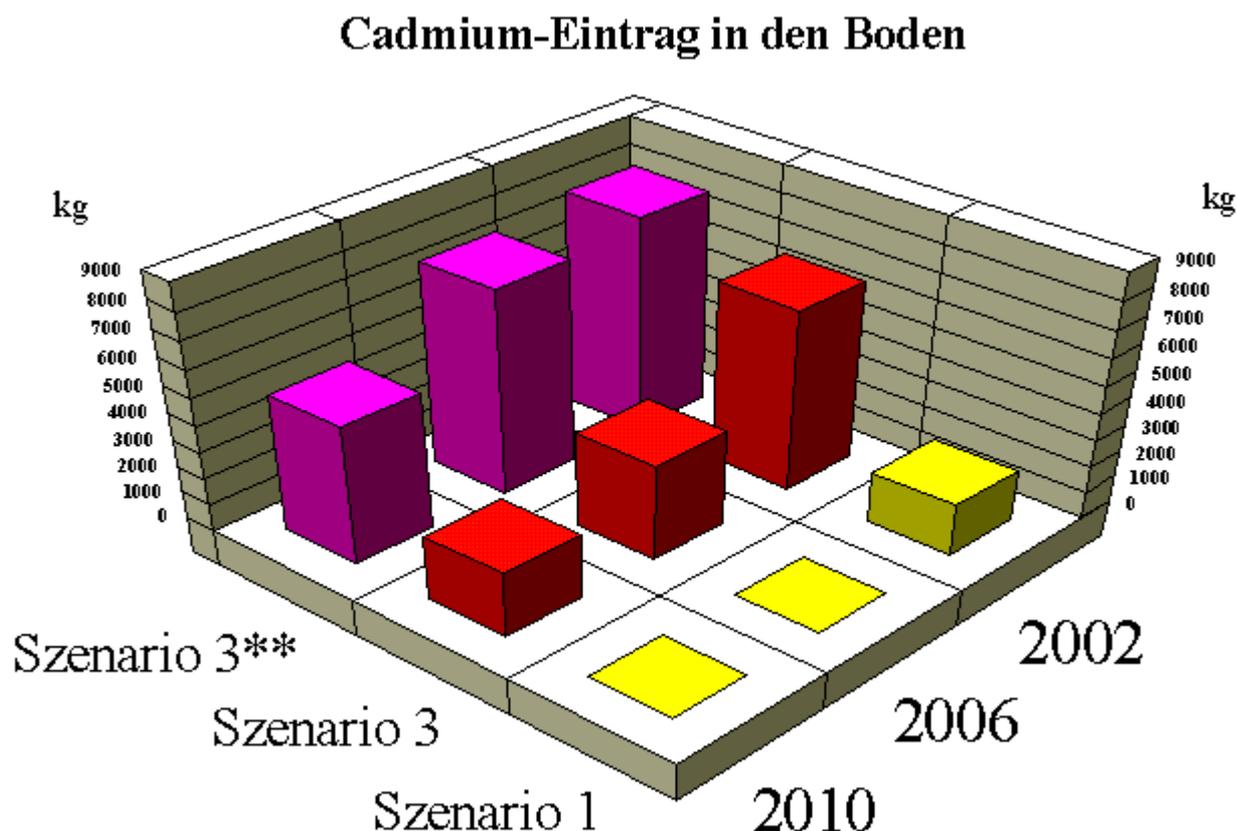


Abb. 28: Ergebnisse der Szenarien 1, 3 und 3\*\* - hier: Eintrag in den Boden



Es zeigt sich, dass mit der Fortsetzung der Rechtsunsicherheit und insbesondere im Falle des „Auftauens“ der AbfallVwV des BMU die Schadstoffeinbringung in die Umweltsenken abnehmen und dafür die Werte für die Umweltmedien Luft, Boden und insbesondere Erzeugnis steigen werden. Zudem hat die Untersuchung der Schadstoffneubildung (Methan) gezeigt, dass auch hier die Szenarien 2 und 3 durch eine erhöhte Scheinverwertung gegenüber Szenario 1 ungünstiger abschneiden.

Im Rahmen der Sensitivitätsprüfung hat sich zusätzlich gezeigt, dass ein Aufweichen der vom BMU vorgeschlagenen TAsi-Novelle mit dem Ziel, die Anforderungen an die MBA zu senken und die unzulänglichen Deponien auch nach 2005 weiter zu betreiben, sich mit der AbfallVwV in ihrer negativen Wirkung verstärken. **Diese politische Möglichkeit (Szenario 3\*\*) stellt das worst case-Szenario für den Bereich Siedlungsabfälle dar.**

Für die Szenarien 4 und 5 zeigt die folgende Tabelle die wichtigsten Ergebnisse am Beispiel zweier Schadstoffe.

**Tabelle 65: Ergebnis Stoffflussanalyse für Szenario 4 und 5, hier Quecksilber und Blei (in kg/1.000 Mg Abfall)**

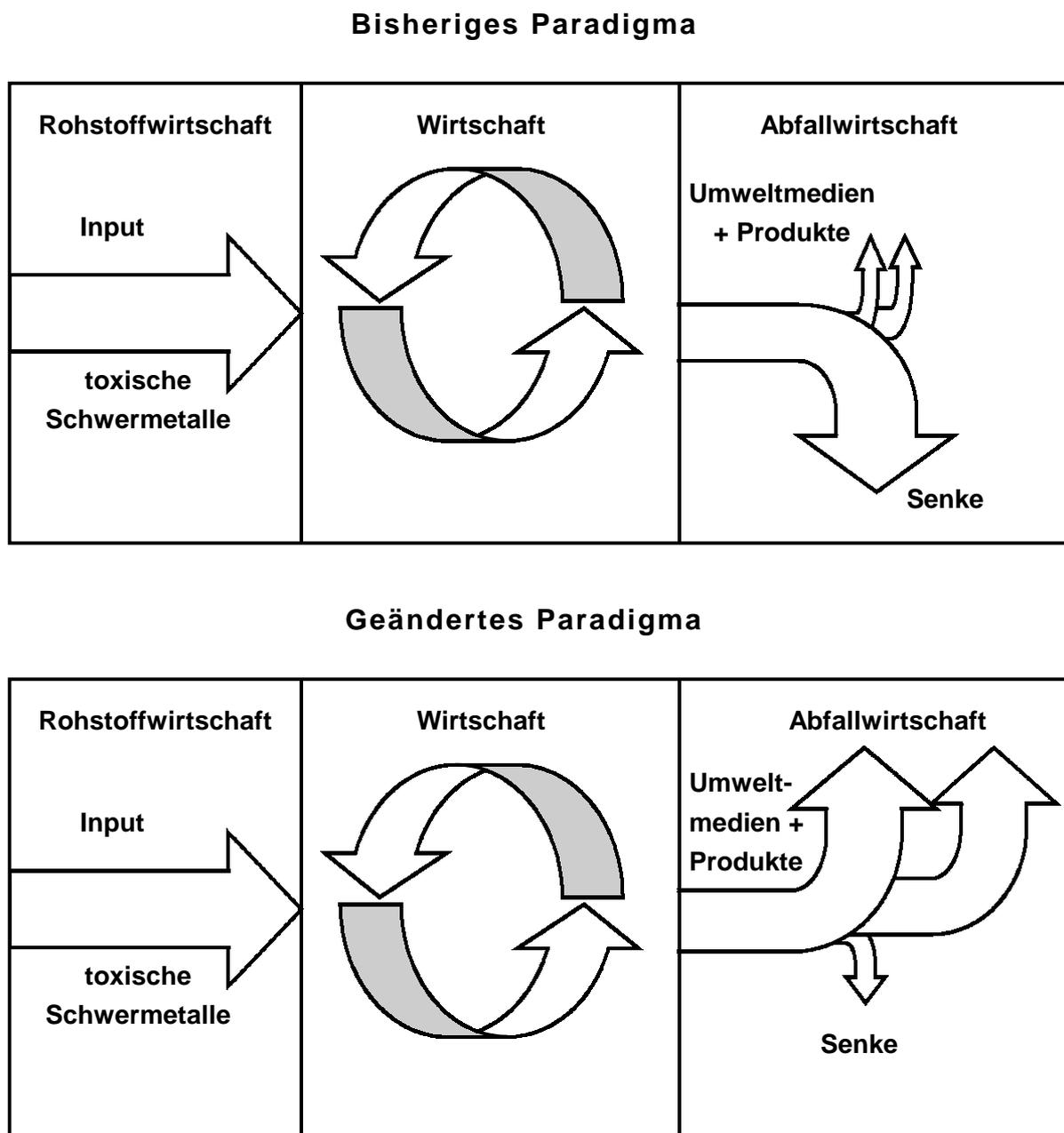
Quecksilber	Luft	Erzeugnis	Senke
<b>Vermischte Sonderabfälle</b>			
Szenario 4 (Sonderabfallverbrennung)		keine Daten für Hg	
Szenario 5 (Zementwerk)		keine Daten für Hg	
<b>Lack- und Farbschlämme</b>			
Szenario 4 (Sonderabfallverbrennung)	0,00006	0	0,6
Szenario 5 (Zementwerk)	0,31	0,31	0
<b>Mineralölschlämme</b>			
Szenario 4 (Sonderabfallverbrennung)	0,00022	0	2,2
Szenario 5 (Zementwerk)	1,09	1,12	0
Blei	Luft	Erzeugnis	Senke
<b>Vermischte Sonderabfälle</b>			
Szenario 4 (Sonderabfallverbrennung)	0,20	0	309
Szenario 5 (Zementwerk)	0,000	309	0
<b>Lack- und Farbschlämme</b>			
Szenario 4 (Sonderabfallverbrennung)	1,6	0	2.567
Szenario 5 (Zementwerk)	0,000	2.569	0
<b>Mineralölschlämme</b>			
Szenario 4 (Sonderabfallverbrennung)	0,18	0	275
Szenario 5 (Zementwerk)	0,000	276	0

Man erkennt, dass neben einer erhöhten Emission leicht flüchtiger Schwermetalle (Luftpfad) im Szenario 5 insbesondere die Schadstoffverlagerung ins Erzeugnis das wesentliche Ergebnis darstellt. Diese Verlagerung (im Rahmen einer rechtlich geförderten „Verwertung“) würde ökologisch einen grundlegend kritisch zu bewertenden Paradigmawechsel bedeuten (weg von der Ausschleusung/Konzentrierung, hin zur Verteilung in Umweltmedien).

Das bisherige umweltpolitische Paradigma (Ausschleusen/Konzentrieren und Verlagerung in Umweltsenken) war dem Ziel verpflichtet, die Umweltmedien zu entlasten und dadurch die Belastung des Menschen mit insbesondere chronisch-toxisch wirkenden Schadstoffen zu minimieren.

Mit einem Wechsel des Paradigmas zur Verteilung dieser Stoffe in der Umwelt (vgl. Abb. 29) ist auch die Erhöhung der Belastung der Umweltmedien Boden und Wasser verbunden und hierdurch auch eine erhöhte Belastung des Menschen. Dieser Effekt wäre irreversibel, was das hohe Risikopotenzial eines derartigen Paradigmawechsels dokumentiert.

Abb. 29: Umweltpolitischer Paradigmawechsel (schematische Darstellung)



Insgesamt zeigen unsere Berechnungen, dass bei Verabschiedung der AbfallVwV in Zukunft verstärkt Entsorgungswege gegangen werden, die unter ökologischer Sicht negativ zu bewerten sind. Hiermit ist nicht ausgesagt, dass Verwertung generell ökologisch unzureichend ist, ganz im Gegenteil. Vielmehr ist es das Fehlen von klaren ökologischen Anforderungen an die Verwertung, die den Verwertungsmissbrauch möglich macht.

Die Analyse der Ergebnisse für Szenario 2, 3 und Szenario 5 (verglichen mit Szenario 1 und 4) zeigt, dass der entscheidende ökologische Mangel im Schadstoffmanagement, genauer im nicht vorhandenen „Ansteuern“ der Umweltsenken für die Schadstoffbeseitigung, besteht.

Für organische Schadstoffe ist die entscheidende Umweltsenke die Mineralisierung durch biologische oder thermische Prozesse. Für anorganische Schadstoffe ist die entscheidende Umweltsenke die Untertagedeponie. Zusätzlich, mit Abstrichen, kann für den Bereich Siedlungsabfall die TASI-Deponie von vorbehandeltem Abfall ebenfalls als Umweltsenke eingestuft werden. Dieser Prozess ist daher neben der eigentlichen Senke UTD in unseren Berechnungen separat ausgewiesen („Deponie“). Beide Zielmedien können auch als „Lagerräume“ für die ausgeschleusten (und aufkonzentrierten) unzerstörbaren Schadstoffe angesehen werden.

Die für Baden-Württemberg unter den entsprechenden rechtlichen Rahmenbedingungen eintretenden Beseitigungsszenarien 1 und 4 führen zu einem gezielten Ausschleusen von Schadstoffen aus der Biosphäre hinein in Umweltsenken. Dies ist im Kern auch die Aufgabe der Abfallbeseitigung. Schadstoffe, die ansonsten im Kreislauf geführt und darüber in den relevanten Umweltmedien verteilt werden würden, werden über die Abfallbeseitigung aus den Kreisläufen ausgeschleust und diesen auf Dauer entzogen (konzentriert in Senken).

Die Verwertung, dies ist der prinzipielle Unterschied, steuert Senken nur in untergeordnetem Umfang an; sie verteilt stärker auf die Umweltmedien (und in Erzeugnisse).

**Verwertung und Beseitigung sind somit für die Abfallwirtschaft zwei sich gegenseitig stützende und bedingende Aufgabenbereiche. Nur wenn die Beseitigung in dem ökologisch erforderlichem Umfang die in den Abfällen enthaltenen Schadstoffe den Kreisläufen entzieht, kann die Verwertung für die restlichen Abfallarten ihren ökologischen Nutzen voll entfalten.**

Hierfür ist die Ableitung und Festlegung von eindeutigen naturwissenschaftlich-technischen Regelungen von zentraler Bedeutung, um die Stoffflüsse entsprechend ihrer Schadstoffbelastung zu steuern (Stoffstrommanagement). Diese Regeln sollen sicher stellen, dass ein relatives Maximum an Schadstoffentfrachtung und Ansteuern von Senken einerseits und gleichzeitig ein Maximum an hochwertiger Verwertung andererseits erfolgen kann.

Der zentrale Fehler der bisherigen „Verwertungs“-Praxis, der sich auch im genannten Stimmungswandel zur ökologischen Sinnhaftigkeit des erreichten Status quo niederschlägt, liegt in der Auflösung dieser Dualität. Motiv hierfür ist primär ein ökonomisches. Aus ökonomischen Motiven werden die „Verwertungs“-Mengen maximiert, ohne sicherzustellen, dass die jeweiligen Prozesse auch für diese Abfälle geeignet sind.

Das existierende KrW-/AbfG hat die Schnittstelle zwischen Beseitigung (Schadstoffentfrachtung der Kreisläufe) und Verwertung (Schließen der Kreisläufe) durch sehr abstrakte Regelungen (und Auslegungen) kaum noch vollziehbar gestaltet. Hierdurch wurden zunehmend schadstoffhaltige Abfälle in ökologisch fragwürdige „Verwertungs“-Prozesse gegeben. Diese Entwicklung würde forciert werden, dies zeigen unsere Berechnungen, wenn die genannte AbfallVwV des BMU verabschiedet würde.

**In der sich ergänzenden Dualität von Beseitigung und Verwertung liegt aber auch der Schlüssel zur Problemlösung:**

**Schadstoffhaltige Abfälle sind der Beseitigung zuzuführen.** Die Beseitigung hat als Qualitätsanforderung eine Mineralisierung und/oder definierte Ausschleusung an Schadstoffen in gesicherte Umweltsenken zu erfüllen. Schadstoffhaltige Abfälle sind definierte „Sonderabfälle“ mit hohem organischen Schadstoffgehalten und/oder hohen Schwermetallbelastungen, aber auch Hausmüll und hausmüllähnlicher Gewerbeabfall.

**Gering bzw. unbelastete Abfälle sollen der Verwertung zugeführt werden.** Aber auch hier sind Anforderungen insbesondere an die ressourcenbezogene Effizienz der genutzten Techniken bzw. Prozesse festzulegen.

Die Aufbereitung von belasteten Abfällen, um einen verwertbaren Abfall zu erzeugen, kann nur über eine Schadstoffentfrachtung des ursprünglichen Abfalls erreicht werden. Hierdurch entstünde eine konzentrierte belastete Fraktion (zur Beseitigung) und eine weniger belastete Fraktion (zur Verwertung). Die Dualität von Verwertung und Beseitigung bleibt hierbei erhalten. Das Mischen von belasteten mit unbelasteten Abfällen ist dementsgegen keine geeignete Aufbereitungsstrategie, weil Schadstoffkonzentrationen verdünnt, aber Schadstofffrachten nicht ausgeschleust werden.

**Die zukünftigen rechtlichen Problemlösungsvorschläge an der Schnittstelle von Verwertung und Beseitigung sind u.E. daran zu messen, in wieweit sie die erforderliche Dualität zwischen Beseitigung und Verwertung unter Schadstoffgesichtspunkten praktisch sicherstellen.**

**Die jüngere Geschichte des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes erlaubt auf jeden Fall ein grundlegendes Fazit: Die Dualität zwischen erforderlicher Schadstoffentfrachtung der Kreisläufe (Beseitigung) und der ansonsten zu bevorzugenden Verwertung stellt sich nicht ein ohne konkrete und präzise staatliche Vorgaben.**

## 10 Literaturverzeichnis

[AbfAbIV, 2000]

Entwurf einer „Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen (AbfAbIV), BMU, Stand 03.04.2000

[ABFALLBILANZ, 1998]

Abfallbilanz 1998, 10 Jahre Abfallbilanz Baden-Württemberg, Ministerium für Umwelt und Verkehr des Landes Baden-Württemberg, Dezember 1998

[AbfallVwV, 1999]

Arbeitsentwurf für eine Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallbegriff sowie zur Abfallverwertung und Abfallbeseitigung nach dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 02.12.1999

[ABFALLWIRTSCHAFTSPLAN, 1998]

Abfallwirtschaftsplan Baden-Württemberg, Teilplan Siedlungsabfälle, Ministerium für Umwelt und Verkehr des Landes Baden-Württemberg, Dezember 1998

[ANDERSEN, FREIHALTER, 2000]

Mitteilung zum Ausgang eines Schadensersatzprozesses eines französischen Entsorgers gegen die französische Regierung im Jahre 1999, 12.04.2000 und 02.05.2000

[ANHANG 59, 2000]

Entwurf „Vierte Verordnung zur Änderung der Abwasserverordnung“, Anhang 59 Mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlagen für Siedlungsabfälle, BMU, Stand 24.03.2000

[ARGUS, 2000]

ARGUS in association with University Rostock – Prof. Spillmann and Carl Bro and Sigma Plan S.A.: The Behaviour of PVC in Landfill. European Commission DGXI.E.3; Final Report February 2000

[AVG, 1998]

Angaben: AVG, Schreiben vom 10.11.1998

[AVG, 2000]

AVG: Mitteilung von 23.5.2000

[AWISTA, 1998]

Landeshauptstadt Düsseldorf, Düsseldorfer Abfallwirtschafts- und Stadtreinigungsbetrieb AWISTA: Tabellarische Auswertung der Messwerte (1996/97) hinsichtlich der Schadstoffbelastung von Hausmüll / Restmüll (und hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen). Schreiben vom 26.1.1998

[BACCINI, BRUNNER, 1991]

Baccini P., Brunner P.H.: Metabolism of the Anthroposphere. Springer-Verlag, Heidelberg, 1991

[BARGHORN, SCHWILLING, 1995]

Barghorn M., Schwilling T.: In Sichtweite. Eine optische Klassifikation des Berliner Gewerbemülls erbrachte Ansätze zur weiteren Abfallreduzierung. Müllmagazin 3, 30–34, 1995

[BEZ ET AL., 1998]

Bez, J., Heyde, M., Goldhan, G.: Waste Treatment in Product Specific Cycle Inventories, An Approach of Material-Related Modelling. Int. J. LCA 3 (2), 100–105, 1998

- [BIDLINGMAIER ET AL., 1998]  
Bidlingmaier, W., Scheelhase T., Leikam, K., Rieger, A.: Ablagerungsverhalten mechanisch-biologisch behandelter Restabfälle. Beiheft zu Müll und Abfall, 33, 1998
- [BRUNNER ET AL., 1997]  
Brunner P.H. et al.: Güter- und Stoffbilanz der MVA Wels, ÖWAV-Bericht, 1997, hier: Tab. 441
- [Bund-Länder-Konsenspapier, 1997]  
Abfallbegriff, Abfallverwertung und Abfallbeseitigung nach dem KrW-/AbfG. Entwurf, Stand 30.9.1997 gebilligt von UMK am 6.11.97, in Ergänzung um Beispiele und Richtwerte die nicht abschließend erfolgte
- [BUWAL, o.J.]  
BUWAL, o.J., zit. in GALLENKEMPER, BRAUNGART 1999
- [BZL, 1998/1999]  
Ergebnisse von durchgeführten Seminaren zum Thema „Fehlentwicklung in der Entsorgung von Gewerbeabfällen“, im BEW in Duisburg-Rheinhausen, Leiter der Veranstaltungen BZL, 1998 –1999
- [BZL, 2000]  
BZL GmbH: Umfrage unter den MVA-Betreibern in Baden-Württemberg. Schreiben vom 21.03.2000 und entsprechende Antwortschreiben.
- [BZL/DPU, 1999/2000]  
BZL GmbH, Oyten/DPU GmbH, Essen: Beurteilung der Umweltverträglichkeit von thermischen Entsorgungsmaßnahmen. Studie im Auftrag des MURL NRW 1999/2000
- [DEGRE, 1996]  
Degre, J. P. : Waste Coprocessing in Industry. Direction Technique; CimENTS Obourg SA. September, 1996 (Untersuchungen von INTRON BV, Sittard (NL))
- [div. Quellen, 2000]  
Quellen: ABANDA des LUA NRW, Entsorger, DPU
- [DOEDENS, 1997]  
Doedens zitiert: Doedens H., v. Felde D. et al.: Effizienzsteigerung der Sammlung und Beseitigung von Schadstoffkleinmengen insbesondere aus dem Gewerbe und Dienstleistungsbereich. Unveröff. Gutachten, gemeinsam mit INFA, für den ARRW 1997
- [DPU, 1999]  
Recherche zum Öko-Dumping im Gewerbeabfallbereich in Berlin,1999, Auftraggeber: BSR Berliner Stadtreinigungsbetriebe
- [EL DAWI ET AL., 1997]  
El Dawi K.I., Stegmann R., Leikam K., Mast P.G.: Vergleich der Müllzusammensetzung von Abfallbehandlungsanlagen. TU Hamburg-Harburg, Mai, 1997; und: Mast P.G., Süßkraut G., van den Elsen H., Steketee J., Duzijn R.G.: Einfluß der Abfallzusammensetzung auf Schadstoffgehalt und –menge der Verbrennungsrückstände – Phase 1 – FB 103 10 903 im Auftrag des UBA, Berlin, Juli, 1996
- [FEHRINGER ET AL., 1997]  
Fehring R., Rechberger H., Pesonen H.L., Brunner P.H.: Auswirkungen unterschiedlicher Szenarien der thermischen Verwertung von Abfällen in Österreich (ASTRA), Endbericht im Auftrag der ARGE Thermik, Wien, November, 1997

[FEHRINGER ET AL., 1999]

Fehringer R., Rechberger H., Brunner H.P.: Positivlisten für Reststoffe in der Zementindustrie: Methoden und Ansätze (PRIZMA). Endbericht, im Auftrag der Vereinigung der österreichischen Zementindustrie. Wien, im Dezember, 1999

[FRAUNHOFER ILV, 1997]

Fraunhofer Institut für Lebensmitteltechnologie und Verpackung: Verwertung von Kunststoffabfällen aus Verkaufsverpackungen in der Zementindustrie. Ökologische Analyse nach dem LCA-Prinzip; erstellt im Auftrag des Verein Deutscher Zementwerke. 1997

[FRENTZEL-BEYME, DOMIZLAFF, 1995]

Frentzel-Beyme R., Domizlaff I.: Studie über die Epidemiologie lösemittelbedingter Erkrankungen. UBA-Berichte 3/95, Berlin 1995

[GEWERBEABFÄLLE, 1997]

Gewerbeabfälle in Baden-Württemberg – Wege und Verbleib, BZL/DPU, Studie im Auftrag der Fraktion Bündnis90/Die Grünen im Landtag Baden-Württemberg, 1997

[GALLENKEMPER, BRAUNGART, 1999]

Gallenkemper, B., Braungart, M. et al.: Untersuchung zur Umwelt- und Gesundheitsverträglichkeit von Substitut-Brennstoffen. Rethmann Entsorgung, Dieselstr. 3, 44805 Bochum 1999

[GEBHARDT, 1999]

P. Gebhardt, Öko-Institut; Schreiben vom Dez., 1999

[GÜNTHER, LANGOWSKI, 1998]

Günther A., Langowski H.-C., Fraunhofer Institut für Lebensmitteltechnologie und Verpackung, Freising (heute: Fraunhofer Institut für Verfahrenstechnologie und Verpackung): Life Cycle Assessment Study on Resilient Floor Coverings, for European Resilient Flooring Manufacturers Institute (ERFMI), 1998

[HAM, KOMILIS, 1999]

Ham R. K., Komilis, D.: A laboratory study to investigate gaseous emissions and solid decomposition during composting of municipal solid waste. U.S. Environmental Protection Agency. Research Triangle Park, NC 27711 (July, 1999).

[HARANT, 1999]

aus: Harant M: „Stoffflussanalyse bei der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung vor der Deponierung“, Dissertation am Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik, Montanuniversität Leoben, Februar, 1999

[HEYDE, KREMER, 1998]

Heyde, M., Kremer, M.: Energy Recovery from Plastics Waste by Coinceneration in Waste Incineration Heating (and Power) Stations. Assessment of the Energy, Waste and Emission Balance in Comparison with Feedstock Recycling. Study commissioned by Association of Plastics Manufacturers in Europe (APME). Final Draft January 1998 (zitiert nach Heyde M.: Einsparung von Ressourcen und Vermeidung von Emissionen und Abfällen durch thermische Verwertung heizwertreicher Abfälle. In FGU Seminar Mitverbrennung von Abfällen, 17./18. Feb. 1998, Seminarbericht)

[HEYDE, KREMER, 1999a]

Heyde, M., Kremer, M.: Recycling an Recovery of Plastics from Packagings in Domestic Waste – LCA-type Analysis of Different Strategies. LCA Documents. Eco-informa-press, 1999

- [HEYDE, KREMER, 1999b]  
Heyde M., Kremer M.: Thermische Verwertung heizwertreicher Abfälle in der Müllverbrennungsanlage Borsigstraße in Hamburg. Fraunhofer Institut für Verfahrenstechnologie und Verpackung, Freising (1999)
- [IBA, 2000]  
Mittelwert aus Untersuchungen von Ketelsen et al. (IBA Hannover): 22 Proben. Pers. Mitteilung, März, 2000
- [IFEU, 1992]  
IFEU: Vergleich der Auswirkungen verschiedener Verfahren der Restabfallbehandlung auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit, Heidelberg, 1992
- [INFA/BZL, 2000a]  
INFA, Ahlen/BZL, Oyten: Leitfaden Energetische Verwertung. Studie im Auftrag des MURL NRW 1999/2000, hier: Unterlagen vom 20.1.2000
- [INFA/BZL, 2000b]  
INFA GmbH, Ahlen, BZL GmbH, Oyten: Wissenschaftliche Beratung bei der Genehmigung der ConTherm-Anlage der VEW AG, im Auftrag des MURL NRW und der VEW Energie AG/Edelhoff Umweltservice GmbH & Co. KG, März, 2000
- [KRAUSS ET AL., 1999]  
Krauß P., unter Mitarbeit von Bernhardt A., Dörr R., Forouzani M., Knobl S., und Lang I.: Untersuchung der Restmüllqualitäten ausgewählter Gebietskörperschaften im Hinblick auf alternative Behandlungsverfahren. Schlußbericht. Hrsg.: Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg, Dezember 1999
- [KrW-/AbfG, 1994]  
Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen; BGBl. I S. 2705, 27.09.1994
- [LAGA, 1985]  
Länderarbeitsgemeinschaft Abfall: Sickerwasser aus Hausmülldeponien. Müllhandbuch Kz. 4725 1985
- [LAGA, 1997]  
LAGA: Maßstäbe und Kriterien für die energetische Verwertung von Abfällen in Zementwerken. Entwurf, 31.10.1997, zit. in GALLENKEMPER, BRAUNGART, 1999
- [LAHL ET AL., 1984]  
Lahl U., Stachel B., Schröer W., Zeschmar B.: Optimierung einer Messmethode zur Summenbestimmung organischer Halogenverbindungen in Wasserproben für den routinemäßigen Einsatz. UBA-Forschungsbericht 102 04 101, Bremen 1984
- [LAHL ET AL., 1998]  
Lahl U., Zeschmar-Lahl B., Scheidl K., Scharf W. Konrad W.: Abluftemissionen aus der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung in Österreich. Hrsg.: BMUJF, UBA-Monographien Bd. 104, Wien 1998
- [LAHL ET AL., 2000]  
siehe u.a.: Lahl U., Zeschmar-Lahl B., Angerer T.: Entwicklungspotenziale der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung – eine ökologische Analyse. In: Interner Bericht IB-612 des Umweltbundesamtes, Wien 2000

- [LAHL, ZESCHMAR-LAHL, 1997a]  
Lahl U., Zeschmar-Lahl B.: TOC-Grenzwerte (Eluat) für das nachsorgearme Deponieren von Restabfällen. Bewertung von Eluaten und Sickerwässern (organische Stoffe) aus der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung und der anschließenden Deponierung der Reststoffe/vorbehandelten Abfälle. ATV-Projekt Nr. 26/97, Dezember, 1997
- [LAHL, ZESCHMAR-LAHL, 1997b]  
Lahl U., Zeschmar-Lahl B.: PVC-Recycling: Anspruch und Wirklichkeit. Hrsg.: GREENPEACE Deutschland 1997
- [LFU Ba-WÜ, 1996]  
Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg: Entsorgung von ölhaltigen Abfällen aus Kfz-Werkstätten. Karlsruhe, 1996
- [LFU Ba-WÜ, 2000]  
Daten LfU, Karlsruhe, pers. Mitteilung, 2000
- [LÜBBE-WOLFF, 1998]  
Lübbe-Wolff G., Deutsches Verwaltungsblatt, August, 1998, S. 1091 ff.
- [LVI, 2000]  
Pressemitteilung Landesverband der Baden-Württembergischen Industrie e. V.: „Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz muss auch in Baden-Württemberg werden – Mehr Eigenverantwortung und mehr Markt statt weitere Regulierungen notwendig“, 23.03.2000
- [MENGENSTROMNACHWEIS, 1998]  
Ergänzung zum Prüfbericht zum Mengenstromnachweis 1998, ARGE cyclos/HTP im Auftrag der DSD AG, übersandt durch das UMV am 22.03.2000
- [MESIOWSKY, STEGMANN, 1997]  
Mesiowsky I., Stegmann R.: Longterm behaviour of PVC-products under soil-buried and landfill conditions. TU Hamburg-Harburg 1997
- [MØLHAVE, 1981]  
Mølhav L.: Indoor air pollution due to organic gases and vapours of solvents in building materials. Environment International 8, 117-127 1982
- [MÜLLER ET AL., 1994]  
Müller U., Beyer T., Carstens C., et al.: Bundesweite Gewerbeabfalluntersuchung, Gekürzte Fassung. UBA-Texte 68/94 1994, hier: zusammengestellt nach Tabelle 30
- [MURL NRW, 2000]  
MURL NRW: Arbeitshilfe Hochwertige und schadlose Verwertung für gewerbliche und industrielle Abfälle. Düsseldorf, März, 2000
- [NELLES ET AL., 1997]  
gerechnet nach Nelles, Harant, Hofer et al: Mechanisch-biologische Restabfallbehandlung vor der Deponie. Montanuniversität Leoben. Leoben, 1997
- [NOLTE JOAS, 1992]  
Nolte R.F., Joas R.: Handbuch Chlorchemie I, 1992. UBA-Texte 25/95
- [ÖKO-DUMPING, 1998]  
Öko-Dumping auf dem Vormarsch? – Öko-Dumping in den Bereichen Deponierung und Versatz in Deutschland und im benachbarten Ausland, DPU, Okt. 1998

- [PLEHN, 1989]  
Plehn W.: FCKW zur Kunststoffverschäumung. In: UBA (Hrsg.): Verzicht aus Verantwortung. Maßnahmen zur Rettung der Ozonschicht. UBABerichte 7/89, hier: Kap. 4.2
- [RAGOSSING ET AL. , 1999]  
Ragossing, A., Nelles, M., Tesch, H., Hofer, M., Lorber, K.E.: Restabfallsplitting bzw. Mechanisch-biologische Restabfallbehandlung vor der Verbrennung (MBRVV) im AWZ Halbenrain. Montanuniversität Leoben, August, 1999
- [RECHBERGER, 1999]  
Rechberger H.: Entwicklung einer Methode zur Bewertung von Stoffbilanzen in der Abfallwirtschaft. Wiener Mitteilungen Wasser \* Abwasser \* Gewässer Band 158, Wien, 1999
- [REIMANN, 1997]  
Fax Dr. D. Reimann vom 23.12.1997; 24,5% H<sub>2</sub>O im Restmüll-Klärschlamm-Gemisch; Anteil Restmüll im Mischabfall: 87%
- [REINHARD, JAGER, 1996]  
Reinhardt T., Jager J.: Schadstoffbelastung der Abluft bei der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung und anschließenden Deponierung. Wiener K., Kern M. (Hrsg.): Biologische Abfallbehandlung III. Kompostierung Anaerob-technik Mechanisch-biologische Abfallbehandlung Klärschlammverwertung. Witzhausen, 1996, 845–906
- [REITER, STROH, 1995]  
Reiter, B., Stroh, R.: Behandlung von Abfällen in der Zementindustrie. Umweltbundesamt Österreich, Monographien Band 72, Wien, 1995
- [RENTZ ET AL., 1998]  
Rentz O., Sasse H., Karl U., Schleef H.-J., Dorn R.: Maßnahmen zur Emissionsminderung bei stationären Quellen in der Bundesrepublik Deutschland. Band II: Minderung von Schwermetallemissionen. UBA-TEXTE 26/98, hier Tab. 5-11
- [SCHACHERMAYER ET AL., 1995]  
Schachermayer E., Bauer G., Ritter E., Brunner P.H. (1995): Messung der Güter- und Stoffbilanz einer Müllverbrennungsanlage. Bundesministerium für Umwelt, Wien: Monographien, Bd. 56
- [SCHULZE, WEISER, 1985]  
Schulze J., Weiser M.: Vermeidungs- und Verwertungsmöglichkeiten von Rückständen bei der Herstellung chlororganischer Produkte. UBA-Texte 5/85
- [SPRUNG, RECHBERGER, 1988]  
Sprung S., Rechberger W.: Einbindung von Schwermetallen in Sekundärstoffen durch Verfestigung mit Zement. Beton, 5, S. 193 –198, 1988
- [SRU, 1996]  
Sachverständigenrat für Umweltfragen: Umweltgutachten, 1996: Zur Umsetzung einer dauerhaft-umweltverträglichen Entwicklung, hier Textziffer 1175
- [STAATSBLOD, 1995]  
Building materials Decree (Bouwstoffenbesluit bodem- en oppervlaktewateren-bescherming). Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden, 567, 1995
- [STEGMANN, LEIKAM, 1995]  
Stegmann R., Leikam, K.: Abschlussbericht zu Versuchen zur mechanischen und biologischen Restabfallbehandlung in Gebietskörperschaften des Landes Schleswig-Holstein 1995

- [TA Siedlungsabfall, 1993]  
Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA Siedlungs-abfall), vom 14.05.1993; Bundesanzeiger G 1990A, Jahrgang 45, Nr. 99a
- [TÜV UMWELT, 1996]  
TÜV Umwelt, Regionalgruppe Anlagentechnik und Zuverlässigkeit, Labor Filderstadt Auftragsnummer 950004809 1996
- [UBA, 1989]  
UBA (Hrsg.): Verzicht aus Verantwortung. Maßnahmen zur Rettung der Ozon-schicht. UBA-Berichte 7/89, hier: S. 26
- [UVM, 2000]  
Proben aus den Jahren 1996–1999 der Firmen W., S., E., M. u.a., Quelle UVM Baden-Württemberg
- [VAN DER SLOOT, 1998]  
Van der Sloot, H.A.: Characterization of the leaching behaviour of cement mortars to assess long term environmental behaviour during their service life and their recycling stage. Submitted to J. Cement & Concrete Research, 14.06.1998; und: Van der Sloot H.A., Hoede D.: Long term leaching behaviour of cement mortars. ECN report number ACN-C-97-042, 1997
- [VDZ, 1996]  
Verein Deutscher Zementwerke e.V., Düsseldorf: Aktualisierte Erklärung der deutschen Zementindustrie zur Klimavorsorge. 27.3.1996
- [VDZ, 2000]  
nach VDZ, Hr. Lohrer, 5.5.2000
- [VEBA, 1997]  
VEBA: Knobloch W., Uckermann B.: Energetische Verwertung in Kraftwerken. VDI-Vortrag, 29.1.1997
- [VELVART, 1984]  
Velvart J.: Toxikologie der Haushaltsprodukte. Verlag Hans Huber, Bern 1984
- [VGB, 1992]  
VGB Technische Vereinigung der Großkraftwerksbetreiber e.V., Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke VDEW e.V.: Verwertungskonzept für Reststoffe aus Kohlekraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland. VGB-TW 702, 1992
- [VKE, 1994]  
VKE: Der deutsche Markt für Kunststoffe; Frankfurt, 25.3.1994
- [VKE, 1996]  
VKE: Umsetzung der Produktverantwortung der kunststofferzeugenden Industrie für ihre Produkte; Frankfurt 19.9.1996
- [VKE, 1997]  
pers. Mitteilung von Herrn Schlotter, VKE, am 13.5.1997
- [WALLMANN, 1999]  
Wallmann R.: Ökologische Bewertung der Mechanisch-biologischen Restabfall-behandlung und der Müllverbrennung auf Basis von Energie- und Schadgasbilanzen. ANS-Heft 38 1999
- [WERENSKIOLD, UNTERBERGER, 2000]  
Werenskiold, W., Unterberger, S.: Abschätzung der tatsächlichen und potenziellen treibhauswirksamen Emissionen von HFKW, PFKW und SF6 für Österreich. Umweltbundesamt. IB-624 (2000)

[WHITE ET AL., 1995]

White, P.R., Franke, M., Hindle, P.: Integrated solid waste management – a life-cycle inventory. Blackie Academic & Professionals 1995

[ZDF, 1999]

Schmutzige Geschäfte – Müllschiebereien bei RWE-Tochterfirmen, Frontal 430/03262, Sendung 07.12.1999, Schnurbus, Gack

[ZESCHMAR-LAHL ET AL., 2000]

Zeschmar-Lahl B., Jäger J., Ketelsen K., Lahl U., Scheidl K., Steiner M., Heckmann A.: Mechanisch-biologische Abfallbehandlung in Europa. Hrsg.: VKS e.V., A.S.A. e.V., Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin 2000

[ZIMMERMANN ET AL., 1996]

Zimmermann, P., et al.: Ökoinventare von Entsorgungsprozessen – Grundlagen zur Integration der Entsorgung in Ökobilanzen. ETH Zürich, ESU-Reihe 1/96

[30. BImSchV, 2000]

„Dreißigste Verordnung zur Durchführung des BImSchG (Verordnung über mechanisch-biologische Behandlungsanlagen für Siedlungsabfälle und andere Abfälle mit biologisch abbaubaren Anteilen - 30. BImSchV)“, BMU, Entwurf Stand 07.07.2000