

**DER NACHHALTIGKEITSBEIRAT DER LANDESREGIERUNG  
BADEN-WÜRTTEMBERG (NBBW)**

***Der Beitrag der Abfallwirtschaft  
zu einer nachhaltigen Entwicklung  
in Baden-Württemberg***

Sondergutachten

**Stuttgart, März 2005**

*Autoren:*

Peter Fritz\*

Ursula Gundert-Remy\*

Jürgen Zeddies\*

Ulrich Höpfner

Giselher Kaule

Franz Josef Radermacher

Stefan Rahmstorf

Ortwin Renn

Lutz Wicke

\* Hauptautoren des vorliegenden Gutachtens

Herausgeber: Der Nachhaltigkeitsbeirat der Landesregierung Baden-Württemberg  
Geschäftsstelle c/o Universität Stuttgart  
Breitscheidstraße 2  
70174 Stuttgart  
Tel. (0711) 121-3261  
Fax (0711) 121-2175  
E-Mail: [info@nachhaltigkeitsbeirat-bw.de](mailto:info@nachhaltigkeitsbeirat-bw.de)  
Internet: <http://www.nachhaltigkeitsbeirat-bw.de>

Redaktion: Christian D. León und Bettina Alder (Geschäftsstelle NBBW)

### **Der Nachhaltigkeitsbeirat Baden-Württemberg (NBBW)**

Der Nachhaltigkeitsbeirat ist ein von der Landesregierung Baden-Württemberg eingesetztes Beratungsgremium. Er wurde am 24.4.2002 konstituiert und für die Dauer von zunächst drei Jahren berufen. Der Beirat hat den Auftrag, durch periodische Begutachtung die Umweltsituation in Baden-Württemberg und deren Entwicklungstendenzen zu bewerten, die Umsetzung und Fortschreibung des Umweltplans Baden-Württemberg kritisch zu begleiten sowie umweltpolitische Fehlentwicklungen und Möglichkeiten zu deren Vermeidung oder Beseitigung (Controlling) aufzuzeigen. Der Nachhaltigkeitsbeirat legt der Landesregierung alle drei Jahre, erstmals 2005, ein derartiges Gutachten vor. Einmal im Jahr erstellt der Beirat Empfehlungen zu Schwerpunkten bei der Umsetzung des Umweltplans.

Bisher erschienen sind die Sondergutachten „Neue Wege zu einem nachhaltigen Flächenmanagement in Baden-Württemberg“ (Februar 2004) und „Nachhaltiger Klimaschutz durch Initiativen und Innovationen aus Baden-Württemberg“ (Januar 2003).

Die Mitglieder des Beirats sind:

- Dr. Peter Fritz, Forschungszentrum Karlsruhe (Vorsitzender)
- Prof. Dr. Ursula Gundert-Remy, Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR), Berlin (stellv. Vorsitzende)
- Dr. Ulrich Höpfner, IFEU - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg
- Prof. Dr. Giselher Kaule, Institut für Landschaftsplanung und Ökologie, Universität Stuttgart
- Prof. Dr. Dr. Franz Josef Radermacher, Forschungsinstitut für anwendungsorientierte Wissensverarbeitung (FAW), Ulm
- Prof. Dr. Stefan Rahmstorf, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK)
- Prof. Dr. Ortwin Renn, Institut für Sozialwissenschaften, Abteilung für Technik- und Umweltsoziologie, Universität Stuttgart
- Prof. Dr. Lutz Wicke, Institut für Umweltmanagement, Europäische Wirtschaftshochschule Berlin
- Prof. Dr. Dr. h.c. Jürgen Zeddies, Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre, Universität Hohenheim

## Vorbemerkungen

Bei der Befriedigung der Grundbedürfnisse des Menschen wie z.B. Nahrung, Wasser, Unterkunft, Wärme, Energie, Kleidung und Gesundheit entstehen in allen dafür notwendigen Prozessen Reststoffe in Form von Abfällen und Emissionen. Für die Erstellung von Gütern und Dienstleistungen zur Befriedigung der Grundbedürfnisse werden erneuerbare Ressourcen „genutzt“ und nicht erneuerbare Ressourcen „verbraucht“. Reste oder Nebenprodukte werden verwertet oder einfach „entsorgt“. Das Entstehen von Abfällen ist somit eng gekoppelt mit dem Verbrauch von Ressourcen und dem gegenwärtigen Konsumverhalten. Waren zu Beginn der Diskussion um Abfälle vor allem knappe oder fehlende Entsorgungsmöglichkeiten ein Problem (Stichwort „Müllnotstand“), so sind es heute vermehrt Schadstoffe, die sich durch veränderte Produktionsweisen und Konsumgewohnheiten in Produkten und damit auch in Abfällen – auch bedingt durch empfindlichere Untersuchungsmethoden – wieder finden lassen. Diese führen zu Risiken für Mensch und Umwelt, auch wenn sie zum Teil noch nicht sicher nachgewiesen sind und in manchen Fällen erst Auswirkungen auf nachfolgende Generationen haben werden.

Im Umweltplan Baden-Württemberg ist dem Thema Abfälle wegen der großen Bedeutung ein eigenes Kapitel gewidmet worden. Unabhängig von der Bewertung des Umweltplanes hat sich der Nachhaltigkeitsbeirat der Landesregierung Baden-Württemberg entschlossen, dieses hochaktuelle Thema in einem Sondergutachten zu behandeln, da beobachtet werden kann, dass mit der Abfallpolitik in Deutschland unterschiedliche umweltpolitische Zielsetzungen verfolgt werden, deren Auswirkungen zu teilweise fragwürdigen Entsorgungspfaden führen, die im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung zu hinterfragen sind. Allerdings muss gesehen werden, dass die europäische Umwelt- und Abfallpolitik in zunehmendem Maße die nationale Politik der Mitgliedstaaten bestimmt und dabei zu wenig die regional unterschiedlichen Anforderungen und historisch gewachsenen Strukturen in den Mitgliedstaaten berücksichtigt. Da sich etwa 60 Prozent des deutschen Umwelt- und Abfallrechts auf Vorgaben der EU beziehen, hat ein einzelnes Bundesland nicht viel Spielraum bei der Gestaltung der eigenen Abfallpolitik.

Im Rahmen mehrerer Expertenanhörungen und Arbeitssitzungen hat der Nachhaltigkeitsbeirat Baden-Württemberg abfallbezogene Leitlinien für eine nachhaltige Entwicklung diskutiert und Kurzexpertisen<sup>1</sup> erstellen lassen. Dabei wurden exemplarisch die Abfallströme Klärschlamm, Elektronikschrott und Kunststoffverpackungen genauer betrachtet und insbesondere die Frage untersucht, ob die heute praktizierten Formen der Verwertung im Sinne der Nachhaltigkeit tatsächlich zielführend sind. Aus aktuellem Anlass hat sich der NBBW zusätzlich mit den Problemen beschäftigt, die zum 1. Juni 2005 aufgrund des Inkrafttretens der TA Siedlungsabfall in Verbindung mit der Abfallablagerungsverordnung auf die Bundesländer, hier speziell Baden-Württemberg, möglicherweise zukommen.

Stuttgart, im März 2005

Peter Fritz, Ursula Gundert-Remy, Ulrich Höpfner, Giselher Kaule, Franz Josef Radermacher, Stefan Rahmstorf, Ortwin Renn, Lutz Wicke, Jürgen Zeddies

---

<sup>1</sup> J. Giegrich: Elemente nachhaltiger Entwicklung in der Abfallwirtschaft, Heidelberg 2003; T. Kolb (Koordination FZK): Abfallwirtschaft in Baden-Württemberg, Karlsruhe 2004

## Gliederung

<b>Vorbemerkungen</b> .....	<b>1</b>
<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>4</b>
<b>Verzeichnis der Abkürzungen</b> .....	<b>8</b>
<b>Teil I: Allgemeiner Teil</b> .....	<b>9</b>
<b>1. Allgemeine Grundsätze der Abfallwirtschaft</b> .....	<b>9</b>
<b>2. Abfall und Ressourcenschonung</b> .....	<b>13</b>
<b>3. Abfallaufkommen in Baden-Württemberg</b> .....	<b>16</b>
<b>Teil II: Bewertung ausgewählter Abfallarten</b> .....	<b>19</b>
<b>4. Klärschlamm</b> .....	<b>19</b>
4.1 <i>Aufkommen</i> .....	19
4.2 <i>Beschreibung und Bewertung der Verwertungs- und Beseitigungswege</i> .....	20
4.2.1 <i>Direkte Verwertung</i> .....	20
4.2.1.1 <i>Deponierung</i> .....	20
4.2.1.2 <i>Klärschlambeseitigung auf landwirtschaftlichen Nutzflächen</i> .....	20
4.2.1.2.1 <i>Situation für die landwirtschaftlichen Betriebe</i> .....	21
4.2.1.2.2 <i>Verbleib von Schadstoffen und gesundheitliche Bewertung</i> .....	24
4.2.1.2.3 <i>Konsequenzen eines Ausstiegs aus der landwirtschaftlichen Klärschlambeseitigung</i> .....	27
4.2.1.3 <i>Verwertung von Klärschlamm im Landschaftsbau</i> .....	30
4.2.2 <i>Thermische Behandlung von Klärschlamm</i> .....	30
4.2.2.1 <i>Monoverbrennung</i> .....	31
4.2.2.2 <i>Mitverbrennung in der Müllverbrennungsanlage</i> .....	32
4.2.2.3 <i>Mitverbrennung im Kraftwerk / Heizkraftwerk</i> .....	33
4.2.2.4 <i>Mitverbrennung im Zementdrehrohrofen</i> .....	34
4.2.2.5 <i>Vergasungsverfahren</i> .....	35
4.2.3 <i>Nasoxidative Verfahren</i> .....	35
4.2.3.1 <i>Seaborne-Verfahren</i> .....	35
4.2.3.2 <i>Verfahren in der Entwicklung</i> .....	36
4.2.4 <i>Bewertung der Verfahren</i> .....	36
4.2.4.1 <i>Gefährdungspotenzial</i> .....	37
4.2.4.2 <i>Nutzungspotenziale</i> .....	38
4.3 <i>Empfehlungen</i> .....	38
<b>5. Elektronikschrott</b> .....	<b>41</b>
5.1 <i>Stand der Verwertung / Beseitigung</i> .....	41
5.1.1 <i>Spezifikationen</i> .....	41
5.1.1.1 <i>Herkunftsbereich private Haushaltungen</i> .....	41
5.1.1.2 <i>Gewerblicher Herkunftsbereich</i> .....	42
5.1.2 <i>Mengenaufkommen</i> .....	42
5.1.3 <i>Wege der Verwertung / Beseitigung</i> .....	43
5.1.4 <i>Tendenzen bei Mengen und Zusammensetzung</i> .....	43
5.2 <i>Darstellung der Ziel-Vorgaben</i> .....	43
5.2.1 <i>Zielvorgaben EU</i> .....	43
5.2.2 <i>Zielvorgaben Deutschland</i> .....	44
5.2.3 <i>Zielvorgaben Baden-Württemberg</i> .....	44

5.3 <i>Beschreibung und Bewertung der Verwertungs- und Beseitigungswege</i> .....	44
5.3.1 Technologische Möglichkeiten und Probleme .....	44
5.3.1.1 Stand der Technik .....	45
5.3.1.2 Auftretende Probleme durch die EU-Elektro(nik)-Altgeräte-Richtlinie .....	46
5.3.2 Neue Technologien und Perspektiven.....	47
5.3.3 Verbleib von Schadstoffen.....	47
5.3.4 Förderprogramme des Landes Baden-Württemberg.....	48
5.4 <i>Empfehlungen</i> .....	48
<b>6. Kunststoffverpackungen</b> .....	<b>51</b>
6.1 <i>Stand der Verwertung / Beseitigung</i> .....	51
6.1.1 Spezifikation .....	51
6.1.2 Mengenaufkommen.....	52
6.1.3 Wege der Verwertung / Beseitigung.....	54
6.1.4 Tendenzen bei Mengen und Zusammensetzung .....	54
6.2 <i>Darstellung der Ziel-Vorgaben</i> .....	54
6.3 <i>Beschreibung und Bewertung der Verwertungs- und Beseitigungswege</i> .....	56
6.3.1 Übersicht .....	56
6.3.2 Werkstoffliche Verwertung.....	57
6.3.3 Rohstoffliche Verwertung .....	58
6.3.4 Energetische Verwertung .....	58
6.4 <i>Empfehlungen</i> .....	59
<b>7. Hausmüllentsorgung unter Berücksichtigung der TA Siedlungsabfall 2005</b> .....	<b>61</b>
7.1 <i>Mengen und Kapazitäten</i> .....	61
7.1.1 Daten für die Bundesrepublik Deutschland .....	61
7.1.2 Daten für Baden Württemberg.....	63
7.2 <i>Rechtliche Vorgaben</i> .....	64
7.3 <i>Verfahren zur mechanisch-biologischen Abfallbehandlung</i> .....	65
7.3.1 Verfahrensprinzip .....	65
7.3.2 Verfahrensbeispiele.....	66
7.3.3 Verfahren in Baden-Württemberg.....	67
7.4 <i>Bewertung</i> .....	68
7.5 <i>Empfehlungen</i> .....	71

## Zusammenfassung

Die Abfallwirtschaft muss **aus Sicht einer nachhaltigen Entwicklung unter den Randbedingungen der globalen Ressourcenbilanz und dem Schutz von Gesundheit und Umwelt betrachtet** werden. Eine „nachhaltige“ Abfallwirtschaft steht daher vor der Aufgabe, die Quantität der anfallenden Abfälle so weit wie ökonomisch vertretbar zu verringern und die Qualität der verbleibenden Abfälle so zu gestalten, dass die in Abfällen enthaltene Energie und Rohstoffe wieder verwertet werden können und die letztlich in der Biosphäre verbleibenden Reststoffe möglichst wenig natur- und klimaschädlich sind. Eine solche nachhaltige Gestaltung der Abfallwirtschaft kann den weltweiten Ressourcenverbrauch zeitlich strecken und damit einen wesentlichen Beitrag dazu leisten, dass die Geschwindigkeit des Ressourcenverbrauchs verringert und die negativen Wirkungen der Reststoffe auf Mensch und Umwelt reduziert werden.

### Allgemeine Grundsätze

1. Priorität in der nachhaltigen Abfallwirtschaft haben Maßnahmen zur Verringerung des Ressourceneinsatzes und des Eintrags von Schadstoffen in die Umwelt. Richtungweisend sind die Einführung des **Vorsorgeprinzips in das Europäische Rechtssystem** und die Strategien der **Herstellerverantwortung** und **Integrierten Produktpolitik (IPP)**. Denn: die beste Ressourcenschonung ist dann erreicht, wenn weder Abfälle noch geringwertige Nebenprodukte entstehen.
2. In zweiter Linie ist es das Ziel einer nachhaltigen Abfallwirtschaft, den Einsatz erneuerbarer Ressourcen zu verstärken und – wo dies nicht möglich ist – nicht erneuerbare Ressourcen in einen geschlossenen Nutzungskreislauf zu überführen. Der Aufwand für das Recycling kann erheblich sein, so dass vorab die Wirtschaftlichkeit und die ökologischen Auswirkungen des gesamten Kreislaufs überprüft und angemessen berücksichtigt werden müssen. Bei der Prüfung der Wirtschaftlichkeit sind die gesamten volkswirtschaftlichen Kosten einzubeziehen. Vor allem müssen die externen Kosten bei der Verwendung knapper, nicht erneuerbarer Rohstoffe in den Produktpreis einbezogen werden. Erst wenn dies erfolgt und gleichzeitig die **externen Ersparnisse** im Preis von Recyclingprodukten eingerechnet werden, ist der Kostenvergleich fair und aussagekräftig. Unter diesen Umständen ist auch ein weitgehendes Recycling häufig konkurrenzfähig.
3. Die Abfallwirtschaft selbst kann (bei gleichzeitigen Bestrebungen zur Ressourcenschonung und Abfallvermeidung durch andere Instrumente) zu einer nachhaltigen Entwicklung beitragen. Das **Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/ AbfG)** ist auf eine nachhaltige Ressourcennutzung ausgerichtet und kann daher als Erfolg gewertet werden. In der Praxis muss allerdings hinterfragt werden, ob einzelne Entsorgungswege und Recyclingsysteme sowohl unter wirtschaftlichen als auch unter ökologischen Aspekten die Ziele der Kreislaufwirtschaft tatsächlich effizient verfolgen.
4. **Abfallsammeln und -recyceln** erfreut sich in der deutschen Bevölkerung großer Beliebtheit. Laut der Studie „Umwelt 2004“ bevorzugen 71 Prozent der Bevölkerung diese Form der Abfallbeseitigung. Tatsache ist jedoch, dass die heute praktizierte Form (insbesondere das System „Grüner Punkt“) vergleichsweise wenig zur Verringerung des Ressourcenverbrauchs beiträgt und gleichzeitig die Qualität der verbleibenden Reststoffe nur wenig verändert. Obwohl die Abfalltrennung von den meisten als ein wichtiger persönlicher Beitrag zum Umweltschutz gesehen wird, hätten andere Aktivitäten eine viel höhere Wirkung auf den Ressourcenverbrauch. Darunter fallen z.B. die Veränderungen von Konsumgewohnheiten.

5. Das **Verbrennen von Abfällen** (thermische Behandlung oder energetische Verwertung) stellt heute dank aufwändiger Rauchgasbehandlungs- und Filteranlagen eine sichere und saubere Form der Abfallbeseitigung dar. Durch die Nutzung der entstehenden Abwärme und Dampf kann Wärme genutzt und Strom erzeugt werden. Dadurch werden nicht erneuerbare Energieressourcen geschont. Durch das Verbot der Ablagerung unbehandelter Abfälle ab Juni 2005 wird diese Form der Abfallbeseitigung und -behandlung deshalb erheblich an Bedeutung gewinnen. Die Anerkennung aller Müllverbrennungsanlagen (MVA) als Verwertungsanlagen ist sinnvoll und sollte angestrebt werden.
6. Für die Vorbehandlung von Abfällen zur Erfüllung der Abfallablagerungsverordnung und der Technischen Anleitung Siedlungsabfall (TASi) stehen neben Müllverbrennungsanlagen (MVA) Anlagen zur **mechanisch-biologischen Abfallbehandlung (MBA)** zur Verfügung. Ob die MBAs die Ziele einer nachhaltigen Abfallbehandlung in gleicher Weise einlösen können wie thermische Behandlungsanlagen, erscheint fraglich. Zu deponierende Fraktionen aus einer MBA unterliegen weniger stringenten Grenzwerten als deponierbare Fraktionen aus einer MVA.

#### **Der Nachhaltigkeitsbeirat stellt fest und empfiehlt:**

7. In Baden-Württemberg sind die **insgesamt anfallenden Abfallmengen** in den letzten Jahren nahezu unverändert geblieben (im Jahr 2003 ca. 39 Mio. Tonnen). Rechnet man die Baumassenabfälle heraus, erfolgte von 1996 bis 2003 sogar eine Zunahme der Abfallmengen um 17 Prozent.
8. Im Bereich der **Abfälle aus Privathaushalten** (Haus- und Sperrmüll, Bioabfälle, Wertstoffe) sind die Abfallmengen im gleichen Zeitraum (1996-2003) bei rund 330 kg/Einwohner nahezu unverändert geblieben. Innerhalb des Gesamtaufkommens ist eine deutliche Verschiebung weg von der Beseitigung und hin zur getrennten Erfassung und Verwertung zu beobachten. Die hohe Bereitschaft zum Mülltrennen hat sich deshalb in einem höheren Grad der Verwertung, aber nicht in einer Zunahme der Vermeidung niedergeschlagen.
9. In Bezug auf die ab 1.6.2005 anzuwendenden Regelungen der TA Siedlungsabfall für die Deponierung von Restabfällen stellt der NBBW fest, dass die **Entsorgungssicherheit** zur Zeit wesentlich von den zu diesem Zeitpunkt tatsächlich verfügbaren Kapazitäten der **mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen (MBA)** abhängt. Werden die geplanten Durchsätze nicht erreicht oder die geforderten Qualitäten der erzeugten Stoffströme (Deponiematerial und Ersatzbrennstoff) nicht eingehalten, so müssen diese Stoffströme in einer **Müllverbrennungsanlage (MVA)** thermisch nachbehandelt werden. Freie MVA-Kapazitäten werden ab Juni 2005 jedoch wahrscheinlich nicht verfügbar sein. Der NBBW empfiehlt, zur Zeit in Baden-Württemberg nicht auf weitere MBA-Kapazitäten zu setzen. Vielmehr sollten die Betriebserfahrungen mit den ab Juni 2005 betriebenen MBAs abgewartet und die noch offenen Fragen geklärt werden, z.B. zum Durchsatz der Anlagen, der Qualität der Stoffströme zur Ablagerung, den Kosten und dem Verbleib der im Abfall enthaltenen Schadstoffe. Treten Kapazitätsengpässe auf, kann zum heutigen Zeitpunkt nur die Schaffung zusätzlicher Kapazitäten durch Müllverbrennungsanlagen empfohlen werden.
10. Die **getrennte Sammlung** bestimmter Abfallfraktionen sollte dort weitergeführt werden, wo sie sich bewährt hat und es keine anderen, ökologisch besseren Alternativen gibt (z.B. Papier, Glas). Neuen technischen Entwicklungen der mechanischen-automatischen Abfallsortierung sollte man aufgeschlossen gegenüber stehen, wenn die

bisher erreichten hohen Umweltstandards beibehalten werden. Wenn der Umweltnutzen nicht klar nachgewiesen ist, sollte auf die Einführung neuer, zusätzlicher Getrennthaltungssysteme verzichtet werden. Der Einsatz der Biotonne sollte daher überdacht werden, solange die Qualität des Endproduktes „Kompost aus Bioabfällen“ weiter fraglich bleibt und der Absatz nicht sichergestellt ist. Die **Zukunft der Getrenntsammlung** von Abfällen aus Privathaushalten wird vermehrt und aus Sicht des NBBW zu Recht in Frage gestellt. Sie sollte nicht zum Dogma erhoben werden.

11. Die Empfehlung der Landesregierung, **Klärschlamm nicht mehr auf landwirtschaftlichen Nutzflächen auszubringen**, wird vom Nachhaltigkeitsbeirat Baden-Württemberg ausdrücklich unterstützt. Solange über die Wirkungen organischer Stoffe nicht genügende Erkenntnisse vorliegen, aber der Verdacht besteht, dass sie die Gesundheit des Menschen gefährden können, ist aus Vorsorgegründen von einer derartigen Beseitigungsform abzusehen. Die Empfehlung muss sich auch auf die Ausbringung von Klärschlamm in der Rekultivierung und im Landschaftsbau erstrecken, da dies ebenfalls als problematisch einzustufen ist. Dieser Verwertungsweg ist in den letzten Jahren vermehrt genutzt worden; dies ist auch bei den exportierten Mengen zu beobachten (v.a. in die neuen Bundesländer). Der NBBW empfiehlt hier, die sinnvolle Verwertung nach gleichen Grundsätzen wie in Baden-Württemberg sicherzustellen. Ein Ausstieg aus der Klärschlamm Entsorgung auf landwirtschaftlich genutzten Flächen hat Konsequenzen für die Einkommenssituation der Klärschlammverwender. Allerdings ist der Anteil der Flächen und Betriebe in Baden-Württemberg, die für Klärschlamm Entsorgung genutzt werden, vergleichsweise gering. Bezogen auf die Brutto-Wertschöpfung der Landwirtschaft in Baden-Württemberg entspricht das einer vergleichsweise geringen Einkommenseinbuße.
12. Als **Alternativen zur Klärschlamm Entsorgung auf landwirtschaftlichen Flächen** bieten sich die Verbrennung in speziellen Verbrennungsanlagen sowie die Mitverbrennung in kohlegefeuerten Kraftwerken an. Die Mitverbrennung in Produktionsprozessen, die verwendbare Endprodukte erzeugen, wie z.B. der Einsatz in Zementdrehrohröfen, ist bezüglich der Einbindung von Schadstoffen bereits kritisch überprüft worden. Sollte allerdings der Anteil von Klärschlamm in Zementdrehrohröfen weiter gesteigert werden, ist zu klären, wie sich die Einbindung von Schwermetallen in den Zementklinker langfristig auswirkt. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass in Einzelfällen Schadstoffe wieder freigesetzt werden. Da bei der Verbrennung der Rohstoff Phosphat verloren geht und die Phosphat-Lagerstätten weltweit begrenzt sind, sollten **Verfahren der Phosphor-Rückgewinnung** aus Klärschlamm weiterentwickelt und nach Gesichtspunkten der Ökoeffizienz bewertet werden.
13. **Elektro- und Elektronikgeräte** spielen in einer modernen Gesellschaft eine große Rolle und sind im Alltag nicht mehr wegzudenken. In Baden-Württemberg wurden im Jahr 2003 50 800 t Elektro- und Elektronikaltgeräte getrennt erfasst. Schätzungen gehen jedoch von einem tatsächlichen Aufkommen von ca. 180 000 t jährlich aus. Die ab 2006 geltende EU-weite Sammelquote für Elektro- und Elektronikaltgeräte von 4,0 kg pro Einwohner und Jahr wird zwar im baden-württembergischen Durchschnitt bereits übertroffen (2003: 4,8 kg). Da jedoch die Gefahr besteht, dass trotz Rückgabepflicht durch die Endverbraucher insbesondere „mülltonnengängige“ Elektrogeräte (z.B. Mobiltelefone), aber auch Akkus und Batterien, weiterhin über die graue Tonne entsorgt werden, sollte aus Sicht des NBBW über die **Einführung eines Pfandsystems** nachgedacht werden.



14. Ein wichtiger Schritt zur Ressourcenschonung ist die **Verlängerung der Nutzungsdauer von Elektrogeräten** durch die Verbraucher, z.B. durch Wieder- und Weiterverwendung. Dies ist bei den meisten Geräten der „weißen Ware“ (z.B. Kühlschränke, Waschmaschinen) durchaus sinnvoll, weil dort weitere technische Innovationen mit relevanten Verbesserungen der jeweiligen Dienstleistungen kaum mehr zu erwarten sind und wenn überhaupt eher langsam verlaufen. Bei Geräten aus dem Bereich der Informations- und Telekommunikationstechnologie („graue Ware“) ist die Innovationsgeschwindigkeit wesentlich höher als bei der weißen Ware, aber auch dort sind viele angebliche Verbesserungen eher kosmetischer Art, während wirkliche Leistungsdurchbrüche seltener sind. Ratsam wären hier Aufklärungskampagnen für Verbraucher, möglicherweise unter Mitwirkung der Verbraucherverbände, bei der Anschaffung auf langlebige Produkte zu achten und essentielle Dienstleistungen von peripherem modischem Beiwerk unterscheiden zu können. Bei der Wieder- und Weiterverwendung von Altgeräten ist jedoch darauf zu achten, dass es unter diesem Banner nicht zur Verschleppung der Entsorgungsproblematik in das außereuropäische Ausland kommt. Hier bedarf es eines Bewertungsprozesses, unter welchen Randbedingungen die angewandten Verwertungsmöglichkeiten den angestrebten Zweck erfüllen oder nicht.
15. Zur Erfüllung der Verwertungs- und Recyclingquoten der europäischen Richtlinie über Elektro- und Elektronikaltgeräte (WEEE-Richtlinie) bietet sich neben mechanischen Recycling-Verfahren das **Haloclean-Verfahren** an. Dieses Verfahren ermöglicht u.a. die Rückgewinnung des Broms und Vorbereitung der Kunststoffe als Einsatzstoff für die Methanolsynthese. Der Abschluss der industriellen Testläufe des Haloclean-Prozesses (Eppingen und Volpiano, Italien) ist vor einer Markteinführung abzuwarten.
16. Bei **Kunststoffflaschen und Folien größer DIN A4** ist die **stoffliche Verwertung** anzuwenden, da sie nachweislich einen ökologischen Vorteil gegenüber der energetischen Verwertung aufweist. Bei **Leichtverpackungen** wie kleinen Folien, Kunststoffverbunden und sonstigen Kunststoffverpackungen ist die **energetische Verwertung** günstiger. Da eine Getrenntsammlung weder ökologisch noch ökonomisch sinnvoll ist. Leichtverpackungen sollten zusammen mit dem Hausmüll eingesammelt werden.
17. Aus ökologischer Sicht ist die **Vorgabe von Verwertungspfaden und -quoten** (Bevorzugung stofflicher Verwertung), wie in der Verpackungsverordnung formuliert, **nicht sinnvoll**. Die thermische Verwertung von Kunststoffen ist dann mindestens ökologisch gleichwertig, wenn der Wirkungsgrad der Anlagen entsprechend hoch ist. Hier ist sowohl für Monoverbrennungsanlagen, für die Kombination von Verfahren (z.B. UPSWING-Prozess<sup>2</sup>) wie auch für Mitverbrennungsprozesse noch ein erhebliches Entwicklungspotenzial vorhanden, das durch die Bevorzugung nichtthermischer Prozesse in den letzten Jahren vernachlässigt wurde. In den Bemühungen für einen verstärkten Einsatz erneuerbarer Energien sind die Potenziale der thermischen Abfallbehandlung angemessen mit zu berücksichtigen.

---

<sup>2</sup> „Unification of Power Plant and Solid Waste Incineration on the Grate“

## Verzeichnis der Abkürzungen

AbfAbIV	Abfallablagerungsverordnung
AbfKlärV	Klärschlammverordnung
AwV	Abwasserverordnung
BBodSchV	Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung
BImSchV	Bundesimmissionsschutzverordnung
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BVL	Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit
DepV	Deponieverordnung
DKR	Deutsche Gesellschaft für Kunststoffrecycling
DSD	Duales System Deutschland AG
DüMV	Düngemittelverordnung
EAG	Elektro- und Elektronik-Altgeräte
ElektroG	Elektro- und Elektronikgerätegesetz
Gew.-%	Gewichtsprozent
ha	Hektar
HMV	Hausmüllverbrennungsanlage
IPP	Integrierte Produktpolitik
KrW-/AbfG	Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz
LAGA	Länderarbeitsgemeinschaft Abfall
MBA	Anlage zur mechanisch-biologischen Abfallbehandlung
MJ	Megajoule
MVA	Müllverbrennungsanlage
NE-Metalle	Nichteisen Metalle
örE	öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger
STS	Schlamm Trockensubstanz
t/a	Tonnen pro Jahr
TA Luft	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft
TASi bzw. TA Siedlungsabfall	Technische Anleitung Siedlungsabfall
TOC	Gesamter organischer Kohlenstoff (Total Organic Carbon)
TS	Trockensubstanz
UVM	Umwelt- und Verkehrsministerium Baden-Württemberg
VerpackV	Verordnung über die Vermeidung und Verwertung von Verpackungsabfällen (Verpackungsverordnung)
VKE	Verband Kunststoffherstellende Industrie
WEEE	EU-Verordnung über Elektro- und Elektronik-Altgeräte

## Teil I: Allgemeiner Teil

### 1. Allgemeine Grundsätze der Abfallwirtschaft

Ziel einer nachhaltigen Abfallwirtschaft ist neben der Verringerung des absoluten Aufkommens an Abfällen (bzw. der Ressourcenschonung) die Vermeidung negativer Einflüsse auf Umwelt und Gesundheit durch Entsorgungs- oder Verwertungsprozesse. Ein Anstieg der Abfallmengen und veränderte Zusammensetzung der Abfälle haben vermehrt zu direkten und indirekten Auswirkungen auf die Umwelt geführt. Da die Deponierung von Abfällen u.a. aufgrund von Flächenverbrauch, Gasaustritt (Treibhauseffekt) und nicht dauerhaft funktionsfähiger Bodenabdichtungssysteme (Grundwassergefährdung, Altlastengefahr, Gesundheitsgefahr) insbesondere aus Verantwortung gegenüber kommenden Generationen nicht weiter gewollt ist, dürfen nach der Technischen Anleitung Siedlungsabfall (TASi) und der Abfallablagereverordnung (AbfAbV) ab 1.6.2005 keine unbehandelten Abfälle mehr in Deponien abgelagert werden. Gleichzeitig werden Abfälle vermehrt einer Verwertung zugeführt. Allerdings können durch Verwertung Umweltbelastungen nicht gänzlich vermieden werden, so dass je nach Abfallart über die am besten geeignete Verwertungs- bzw. Beseitigungsform entschieden werden muss.

Die Basis für die heutige Abfallwirtschaft bildet das am 27. September 1994 verabschiedete „Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen“ (KrW-/AbfG)<sup>3</sup>. Es trat 1996 an die Stelle des bis dahin geltenden „Gesetzes über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen“ von 1986. Das Kreislaufwirtschaftsgesetz beginnt mit der Zielsetzung:

#### § 1 Zweck des Gesetzes (KrW-/AbfG)

Zweck des Gesetzes ist die Förderung der Kreislaufwirtschaft zur Schonung der natürlichen Ressourcen und die Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen.

Mit dem Bezug zur Ressourcenschonung hat das Kreislaufwirtschaftsgesetz in § 1 eine direkte Verbindung zu einer der Hauptforderungen für eine nachhaltige Entwicklung geschaffen. So widmet etwa die Agenda 21 – verabschiedet bei der Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung 1992 in Rio de Janeiro – den Teil II allein der „Erhaltung und Bewirtschaftung der Ressourcen für die Entwicklung“<sup>4</sup>.

Mit dem Begriff der Kreislaufwirtschaft im Gesetz wird deutlich, welchen wichtigen Beitrag die Abfallwirtschaft zu einem nachhaltigen Umgang mit Stoffen und Materialien in unserer Gesellschaft leisten soll und auch kann. Die Abfallwirtschaft spielt dabei eine Schlüsselrolle im verantwortungsvollen Umgang mit unseren Ressourcen.

Konkretisiert hat diesen Umgang mit Ressourcen im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung die Enquete-Kommission der 12. Legislaturperiode des Deutschen Bundestages „Schutz des Menschen und der Umwelt“.

<sup>3</sup> Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz; Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (KrW-/AbfG) vom 27. September 1994 (BGBl. I Nr. 66 vom 06.10.1994 S. 2705) zuletzt geändert 25.1.2004 (BGBl. I S. 82)

<sup>4</sup> BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT: Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung im Juni 1992 in Rio de Janeiro. Dokumente: Agenda 21, 1997

Die Enquete-Kommission hat die so genannten Managementregeln zum nachhaltigen Umgang mit Ressourcen – unterschieden in erneuerbare und nicht erneuerbare Ressourcen – so formuliert<sup>5</sup>:

#### **Nicht erneuerbare Ressourcen**

„Nicht erneuerbare Ressourcen sollen nur in dem Umfang genutzt werden, in dem ein physisch und funktionell gleichwertiger Ersatz in Form erneuerbarer Ressourcen oder höherer Produktivität der erneuerbaren sowie der nicht erneuerbaren Ressourcen geschaffen wird.“

#### **Erneuerbare Ressourcen**

„Die Abbaurate erneuerbarer Ressourcen soll deren Regenerationsrate nicht überschreiten. Dies entspricht der Forderung nach Aufrechterhaltung der ökologischen Leistungsfähigkeit, d. h. (mindestens) nach Erhaltung des von den Funktionen her definierten ökologischen Realkapitals.“

Als Leitmotiv und Verbindung zu einer Politik der nachhaltigen Entwicklung geben diese Managementregeln Orientierung und schaffen die Verbindung zu einer Abfallwirtschaft, die Ausgangspunkt für eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft sein muss.

Im Sinne einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft gibt das Gesetz auch die Hierarchien bei dem Umgang mit Abfällen – also möglichen Rohstoffen – vor:

#### **Grundsätze der Kreislaufwirtschaft (§ 4 Abs. 1 KrW-/AbfG)**

Abfälle sind

1. in erster Linie zu vermeiden, insbesondere durch die Verminderung ihrer Menge und Schädlichkeit,
2. in zweiter Linie
  - a) stofflich zu verwerten oder
  - b) zur Gewinnung von Energie zu nutzen (energetische Verwertung), wobei stoffliche und energetische Verwertung gleichrangig einzustufen sind.

An letzter Stufe der Hierarchie in der Kreislaufwirtschaft steht die Beseitigung:

#### **Grundpflichten der Kreislaufwirtschaft (§ 5 Abs. 2 KrW-/AbfG)**

Die Erzeuger oder Besitzer von Abfällen sind verpflichtet, diese nach Maßgabe von § 6 zu verwerten. Soweit sich aus diesem Gesetz nichts anderes ergibt, hat die Verwertung von Abfällen Vorrang vor deren Beseitigung. Eine der Art und Beschaffenheit des Abfalls entsprechende hochwertige Verwertung ist anzustreben. Soweit dies zur Erfüllung der Anforderungen nach den §§ 4 und 5 erforderlich ist, sind Abfälle zur Verwertung getrennt zu halten und zu behandeln.

und

#### **Grundsätze der gemeinwohlorientierten Abfallbeseitigung (§ 10 Abs. 1 KrW-/AbfG)**

Abfälle, die nicht verwertet werden, sind dauerhaft von der Kreislaufwirtschaft auszuschließen und zur Wahrung des Wohls der Allgemeinheit zu beseitigen.

<sup>5</sup> ENQUETE-KOMMISSION DES DEUTSCHEN BUNDESTAGES „SCHUTZ DES MENSCHEN UND DER UMWELT“ (HRSG.): Die Industriegesellschaft gestalten. Perspektiven für einen nachhaltigen Umgang mit Stoff und Materialströmen. – Wege zum nachhaltigen Umgang mit Stoff- und Materialströmen“, 1994

Eine Verwertung kann jedoch einer nachhaltigen Entwicklung entgegenstehen, wenn sich beispielsweise Schadstoffe in Erzeugnissen oder Umweltmedien anreichern. Die dritte Managementregel zum nachhaltigen Umgang mit Ressourcen lautet daher<sup>6</sup>:

#### **Aufnahmekapazität der Umwelt**

„Stoffeinträge in die Umwelt sollen sich an der Belastbarkeit der Umweltmedien orientieren, wobei alle Funktionen zu berücksichtigen sind, nicht zuletzt auch die ‚stille‘ empfindlichere Regelungsfunktion.“

In diesen Fällen kann die Beseitigung die umweltverträglichere Lösung darstellen. Das Kreislaufwirtschaftsgesetz selbst nennt Kriterien, die zu einer Beurteilung der umweltverträglichsten Lösung heranzuziehen sind (§ 5 Abs. 5 KrW-/AbfG) und ganz im Sinne des Leitbildes einer nachhaltigen Entwicklung verstanden werden können. Zu beurteilen sind:

- die zu erwartenden Emissionen,
- das Ziel der Schonung der natürlichen Ressourcen,
- die einzusetzende oder zu gewinnende Energie und
- die Anreicherung von Schadstoffen in Erzeugnissen, Abfällen zur Verwertung oder daraus gewonnenen Erzeugnissen.

Unter dieser Maßgabe sind alle Entscheidungen einer Abfallwirtschaft, die zu einer nachhaltigen Entwicklung beitragen können, zu hinterfragen und der jeweils am besten geeignete Weg einzuschlagen.

Unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten ist besonders zu beachten:

- Schonung der nicht erneuerbaren Ressourcen in erster Linie durch *Vermeidung* von Abfällen, in zweiter Linie durch Verwertung
- Vermeidung von Überlastungen der Aufnahme- und Regenerationskapazitäten der natürlichen Systeme
- Minimierung der bei der Entsorgung und Verwertung von Abfällen entstehenden Umwelt- und Gesundheitsbeeinträchtigungen
- Entsorgungssicherheit: Für anfallende Abfälle muss die Vorhaltung ausreichender und geeigneter Behandlungskapazitäten gewährleistet sein
- Entsorgungsgerechtigkeit: Abfälle sollen möglichst entstehungsnah („Nähe-/ Autarkieprinzip“) und mit vergleichbaren Standards behandelt werden
- Partizipation: Bei der Gestaltung des Abfallwirtschaftssystems ist die Teilhabe der Betroffenen an den Entscheidungsprozessen zu gewährleisten
- Die Resonanzfähigkeit der Gesellschaft gegenüber Abfall bezogenen Problemen ist zu sichern bzw. zu stärken
- Wirtschaftlichkeit im weiten Sinn: Das Abfallwirtschaftssystem ist zu vertretbaren gesamtwirtschaftlichen Kosten (d. h. betriebswirtschaftliche plus externe Kosten) zu gestalten
- Internationale Verantwortung: Die ärmsten Staaten sind bei der Gestaltung geeigneter Abfallwirtschaftssysteme zu unterstützen, Abfälle sollten nicht „zur Verwertung“ in Länder mit niedrigeren Umweltstandards exportiert werden.

<sup>6</sup> ENQUETE-KOMMISSION DES DEUTSCHEN BUNDESTAGES 1994 a.a.O.

Die heutige Abfallwirtschaft ist vor allem durch folgende Entwicklungen gekennzeichnet:

- Werte für die Entwicklung der Abfallmengen haben sich nicht verändert:
  - die jährlich anfallenden Abfälle zur Beseitigung und zur Verwertung, bei deutlicher Verschiebung hin zur Verwertung, verharren seit In-Kraft-Treten des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes im Jahr 1996 nahezu konstant auf hohem Niveau trotz Verwertung (Deutschland: ca. 380 Mio t/a), die zu behandelnden Restabfallmengen bei den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern (öRE) haben sich in den letzten 15 Jahren dramatisch reduziert,
  - das Verpackungsaufkommen ist seit In-Kraft-Treten der Verpackungsverordnung im Jahr 1991 nahezu konstant geblieben (Deutschland: ca. 15 Mio. t/a),
- Zielwerte für wichtige Indikatoren fehlen (z. B. Ressourcenverbrauch, Pro-Kopf-Abfallmengen), stattdessen werden Zielwerte für im Sinne der Nachhaltigkeit eher nachrangige Indikatoren festgelegt und Maßnahmen umgesetzt,
- die Schadstoffbelastung von Boden und Grundwasser durch zwischenzeitlich fortgesetzte Deponierung unbehandelten bzw. nicht ausreichend vorbehandelten Abfalls besteht weiterhin,
- zur Unterstützung der Markteinführung neuer technischer Konzepte wurden bereits als richtig anerkannte Umweltstandards nachträglich „verwässert“ (Beispiel: Abfälle, die in mechanisch-biologischen Anlagen behandelt wurden, dürfen mit einem höheren organischen Anteil deponiert werden als Abfälle aus thermischen Behandlungsanlagen),
- die Feinverteilung aufkonzentrierter Schadstoffe durch umweltoffene Verwertung (z. B. Klärschlamm) wird zunehmend gestoppt, Baden-Württemberg hat sich als eines der ersten Bundesländer auf einen konsequenten Ausstieg aus der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung festgelegt,
- das Elektro(nik)schrott-Aufkommen steigt weiter an,
- es besteht eine schwierige und nicht zielführende rechtliche Abgrenzung zwischen Abfällen zur Verwertung und Abfällen zur Beseitigung. Teilweise werden die technisch unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten geeigneten Technologien ohne rechtlichen Verwertungsstatus zugunsten anderer schlechterer Lösungen deutlich benachteiligt. Abfallstoffe werden beispielsweise beim Einsatz in einem Zementdrehrohr verwertet, in einer Müllverbrennungsanlage trotz energetischer Nutzung lediglich beseitigt.

## 2. Abfall und Ressourcenschonung

Primärer Ansatzpunkt, auch in der Abfallpolitik, sind die Konsumgewohnheiten und der Ressourcenverbrauch an sich. Eine noch so gute und optimierte Abfallbewirtschaftung kann nur darauf ausgerichtet sein, die Umweltbelastungen vor Ort gering zu halten. „Sie verbessert aber nicht den weltweiten Ressourcenverbrauch und die Rahmenbedingungen der Warenproduktion“<sup>7</sup>. Vermehrte Anstrengungen bei der Abfallverwertung konnten bisher nichts daran ändern, dass der Anteil von Recyclingmaterial am gesamten Ressourceninput sehr gering ist. Abfallvermeidung muss aber oberstes Ziel einer nachhaltigen Abfallpolitik sein. Das drückt sich auch in den Leitlinien des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes (KrW-/AbfG) aus. Aktivitäten im Bereich der Integrierten Produktpolitik (IPP) und die Produzentenverantwortung können dazu beitragen, dass Abfallvermeidungsstrategien bereits bei der Entwicklung von Produkten berücksichtigt werden.

Das seit Oktober 1996 geltende Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) verfolgt – anders als frühere Regelungen der Abfallwirtschaft – als explizites Ziel die „Schonung der natürlichen Ressourcen“ (vgl. § 1 KrW-/AbfG). Dies kann durch Vermeidung und Verwertung von Abfällen erreicht werden. Oberste Priorität hat laut § 4 Abs. 1 KrW-/AbfG die Vermeidung von Abfällen. Maßnahmen in diesem Bereich zielen insbesondere auf die Produzenten und Konsumenten (§ 4, Abs. 2):

- anlageninterne Kreislaufführung von Stoffen
- abfallarme Produktgestaltung
- Erwerb abfall- und schadstoffarmer Produkte

Dies bedeutet eine Forderung nach Veränderung von Produktionsweisen in Betrieben (Prinzip des Stoffstrommanagements) und von Verhaltensgewohnheiten (Lebensstilen) und reicht damit in einen Bereich außerhalb der klassischen Abfallpolitik und des Abfallrechts. Da das Ziel der absoluten Abfallvermeidung insgesamt nicht erreicht wurde (s. Daten für Deutschland und Baden-Württemberg im folgenden Kapitel) und die notwendigen Instrumente über das Abfallrecht nicht vorhanden sind, wurde bereits von einigen Experten gefordert, dieses Ziel im Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz fallen zu lassen<sup>8</sup>.

In der Tat setzt eine reine Abfallwirtschaft erst am Ende der Produktionskette an:

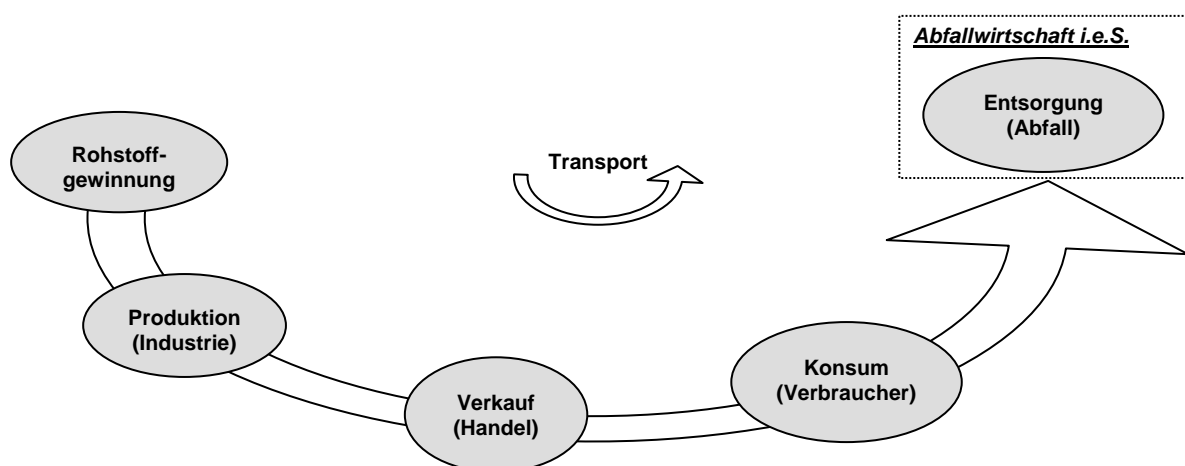


Abbildung 1: Stoffstrom- und Abfallwirtschaft

<sup>7</sup> KOPYTZIOK, N.: Abfall und nachhaltige Entwicklung. Globale Aspekte für die regionale Umweltplanung auf der Grundlage stoffstrombezogener Prozessbeobachtungen. Berlin, 2000

<sup>8</sup> KAIMER, M.; SCHADE, D.: Zukunftsfähige Hausmüllentsorgung. Berlin 2002

Ziel ist deshalb eine Stoffstromwirtschaft, die zunächst die gleichen Ziele wie die Abfallwirtschaft verfolgt (Reduktion von Abfallmengen und Umweltbelastungen), aber weiter vorne ansetzt und auf die Reduzierung des gesamtwirtschaftlichen Stoffdurchsatzes gerichtet ist.

Ein Ansatzpunkt zur Durchsetzung des Vermeidungsgebotes findet sich im Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz in der Produktverantwortung (§ 22 bis 26 KrW-/AbfG). Die Hersteller tragen demnach die Verantwortung für die von ihnen in Verkehr gebrachten Produkte „von der Wiege bis zur Bahre“. Operationalisiert wurde dies bisher in verschiedenen Verordnungen beispielsweise für Altfahrzeuge, Altöl, Batterien und Verpackungen. Geplant ist in Kürze eine Regelung für die Rücknahme von Elektro- und Elektronik-Altgeräten. Durch Rücknahmepflichten sollen Anreize geschaffen werden, die Produkte so zu gestalten, dass zum einen bei deren Herstellung und Gebrauch das Entstehen von Abfällen vermindert wird und zum anderen die umweltverträgliche Verwertung und Beseitigung der Produkte nach deren Gebrauch sichergestellt ist.

Am Beispiel der Verpackungsverordnung, die 1991 in Kraft getreten ist, zeigt sich, dass durch Regelungen der Produkt- oder Herstellerverantwortung bislang keine, bzw. nur begrenzte Erfolge bei der Abfallvermeidung erzielt werden konnten (Tabelle 1).

1991	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
15,6	14,0	14,1	14,0	13,6	13,8	14,2	15,0	15,4	15,1	15,5	15,5

**Tabelle 1:** Verpackungsverbrauch in Deutschland in Mio. t/a. Quelle: Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH (GVM) [www.gvm-wiesbaden.de](http://www.gvm-wiesbaden.de)

Die Produktverantwortung führte bisher vielmehr dazu, dass bestimmte Abfallströme umgelenkt und damit nicht mehr den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern angeliefert werden. Durch Rücknahmeverpflichtungen entstehen neue Entsorgungszweige oder Unternehmen (Beispiel „Duales System Deutschland AG“), die für die Entsorgung und Verwertung der Abfälle zuständig sind. Da diese Strukturen auf den Durchsatz hoher Abfallmengen angewiesen sind (Geld wird mit entstandenen, nicht mit vermiedenen Abfällen verdient), besteht die Gefahr, dass mit Hinweis auf die Arbeitsplatzsicherung dieser Wirtschaftszweige im Sinne der (ökonomischen) „Nachhaltigkeit“ das Vermeidungsziel in den Hintergrund gedrängt wird.

Damit wird deutlich, dass Ressourcenschonung und Abfallvermeidung nicht erst bei den entstandenen Abfällen, sondern in einer früheren Stufe ansetzen müssen. Die Europäische Kommission hat dazu eine Mitteilung zur integrierten Produktpolitik (IPP)<sup>9</sup> verabschiedet, in der verstärkt das „Denken in Lebenszyklen“ propagiert wird.

Eine Strategie der produktbezogenen Verringerung von Stoffströmen muss allerdings auch den Handel einschließen, der mit der sog. „gate-keeper“-Funktion gegenüber dem Endverbraucher auch als Produkthanbieter auftritt und durch seine Sortimentsgestaltung ressourcen- und abfallbezogene Aspekte (verpackungsarme und langlebige Produkte usw.) berücksichtigen kann.

Letztlich entscheidet der Verbraucher durch sein Konsumverhalten, welche Produkte hergestellt und vertrieben werden. Allerdings ist das Verbraucherverhalten stark beeinflusst durch Rahmenbedingungen wie Preise, verfügbares Einkommen und Werbung. Aufklärung und Information (durch Verbraucherzentralen, Produktkennzeichnung u.a.) sind sinnvoll, erreichen in den meisten Fällen aber nur Verbraucher, die dafür offen und daran interessiert sind

<sup>9</sup> Kommission der Europäischen Gemeinschaften: Mitteilung der Kommission an den Rat und das Europäische Parlament: Integrierte Produktpolitik. Auf den ökologischen Lebenszyklus-Ansatz aufbauend. Brüssel, den 18.6.2003. KOM(2003) 302 endgültig



(zudem gibt es einen Widerspruch zwischen Wissen und Handeln). Diese Maßnahmen können nur breitenwirksam werden, wenn sie in einem relativ frühen Stadium der Bewusstseinsbildung (Kindergarten, Schule) einsetzen und sind daher eher langfristige Strategien (es sei denn, es treten aktuelle Ereignisse oder Skandale auf, die zu einem Bewusstseinswandel führen – Beispiel BSE-Krise).

Da der Preis vor allem in wirtschaftlich schwierigen Zeiten das zentrale Kaufkriterium ist, muss erreicht werden, dass Preise die „ökologische Wahrheit“ sagen, d.h. dass sich der Ressourcenverbrauch im Preis auswirkt und sich Langlebigkeit und Qualität von Produkten als Kriterium durchsetzen. Hier kann der Staat Anstöße geben, um das Kaufverhalten in diese Richtung zu lenken (z.B. finanzielle Förderung des Einsatzes von Energiesparlampen in Privathaushalten).

Die **Verlängerung der Nutzungsdauer** ist im Bereich der Elektrogeräte bei den meisten Geräten der sog. „weißen Ware“ (z.B. Kühlschränke, Waschmaschinen) durchaus sinnvoll, weil dort weitere technische Innovationen mit relevanten Verbesserungen der jeweiligen Dienstleistungen kaum mehr zu erwarten sind und dann auch eher langsam verlaufen. Ratsam wären hier Aufklärungskampagnen für Verbraucher, möglicherweise unter Mitwirkung der Verbraucherverbände, bei der Anschaffung auf langlebige Produkte zu achten und essentielle Dienstleistungen von peripherem modischem Beiwerk zu unterscheiden. Bei Geräten aus dem Bereich der Informations- und Telekommunikationstechnologie (sog. „graue Ware“) ist die Innovationsgeschwindigkeit wesentlich höher als bei der weißen Ware, aber auch dort sind viele angebliche Verbesserungen eher kosmetischer Art, während wirkliche Leistungsdurchbrüche seltener sind. Nur bei der Computer-Hardware ergibt sich ein Erneuerungszwang in relativ kurzen Zeiträumen, wobei aber häufig Routineanwendungen auch mit älteren Geräten problemlos bewältigt werden können. Bei der Wieder- und Weiterverwendung von Altgeräten ist jedoch darauf zu achten, dass es unter dem Banner der Wiederverwertung nicht zur Verschleppung der Entsorgungsproblematik in das außereuropäische Ausland kommt. Hier bedarf es eines Bewertungsprozesses, unter welchen Randbedingungen die angewandten Verwertungsmöglichkeiten den angestrebten Zweck erfüllen oder nicht.

Eine Entlastung des Ressourcenverbrauchs kann auch dadurch erreicht werden, dass Gebrauchsgüter nicht mehr gekauft, sondern gemietet werden. Dahinter steckt die Idee, dass der Verbraucher in manchen Fällen nicht so sehr daran interessiert ist, ein Produkt zu besitzen, sondern den Nutzen (durch eine Dienstleistung), den das Produkt erbringt. Diese Idee, die sich in Unternehmen z.B. beim Einsatz von Großkopierern bereits durchgesetzt hat und im Energiespar-Contracting in öffentlichen Liegenschaften vermehrt angewendet wird, sollte sich auch auf den Privatverbraucher ausweiten, insbesondere auf solche Produkte, die eine relativ kurze Lebenszeit haben (Personalcomputer, Mobiltelefone u.a.). Produzenten werden dadurch angehalten, ihre Produkte auf einen hohen Nutzwert zu optimieren und ressourcen- und recyclingfreundlich zu gestalten. Sinnvoll wären hier ebenfalls Aufklärungskampagnen für Verbraucher, ggf. unter Mitwirkung der Verbraucherverbände, vor einer Anschaffung auf angebotene Dienstleistungen zu achten und Leasingangebote verstärkt zu prüfen.

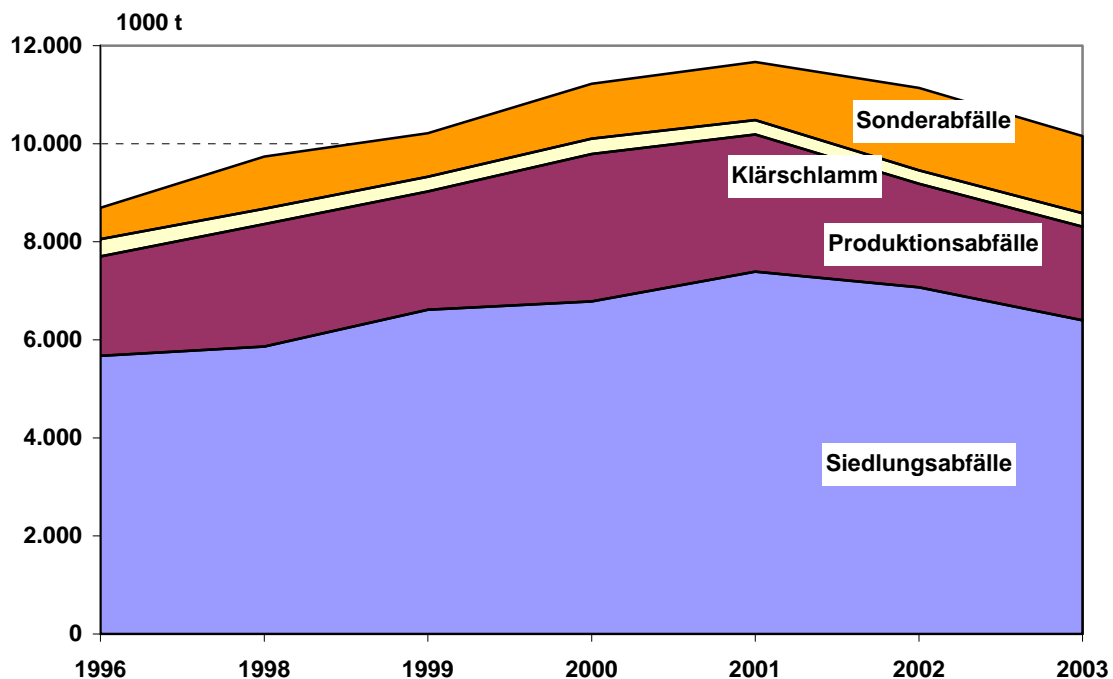
Im Sinne der Nachhaltigkeit muss daher Ressourcenschonung und Abfallvermeidung alle Akteure der Produktions- und Konsumkette einschließen und durch einen Instrumentenmix auf verschiedenen Ebenen von Prozessen ansetzen.

### 3. Abfallaufkommen in Baden-Württemberg

Die aktuelle Entwicklung des Abfallaufkommens in Baden-Württemberg kann folgendermaßen beschrieben werden<sup>10</sup>:

Das gesamte zu entsorgende **Aufkommen an Abfällen** belief sich im Jahr 2003 in Baden-Württemberg auf gut 39 Millionen Tonnen und lag damit unter der für 1996 ermittelten Menge. Das gesamte jährlich zu entsorgende Abfallaufkommen wurde über alle Jahre von den Baumassenabfällen dominiert, die zuletzt (2003) einen Anteil von 76 Prozent bzw. 28,5 Mio. t ausmachten. Weitere 17 Prozent waren allgemeine Siedlungsabfälle, 5 Prozent allgemeine Produktionsabfälle und 4 Prozent Sonderabfälle. Das Aufkommen allgemeiner Siedlungsabfälle lag 1996 bei ca. 5,7 Mio. t und 2003 bei ca. 6,4 Mio. t; das bedeutet eine Zunahme um rund 13 Prozent.

Die Gesamtabfallmengen sind abzüglich der konjunkturell bedingt stark schwankenden Baurestmassen (v.a. Bodenaushub) im Zeitraum 1996 bis 2003 von 8,7 auf 10,2 Mio. t gestiegen, d.h. um 17 Prozent (s. Abbildung 2). Nach einem Anstieg bis 2001 ist seither eine rückläufige Tendenz erkennbar.

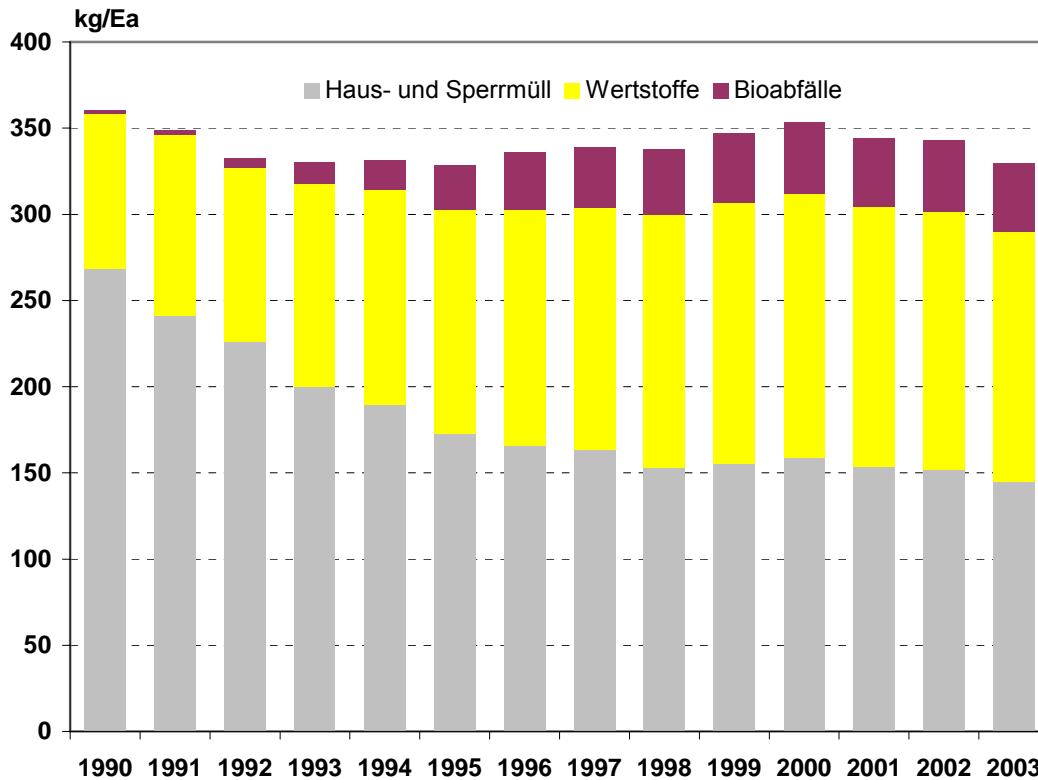


**Abbildung 2:** Gesamtaufkommen an Abfällen in Baden-Württemberg, ohne Baurestmassen. Datenquelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg.

Der **Verbleib des Gesamtabfallaufkommens** im Land hat sich seit 1996 merklich geändert. Im Jahr 2003 wurden 80 Prozent des Gesamtabfallaufkommens der Verwertung (stofflich und energetisch) zugeführt. Im Vergleich dazu betrug die Verwertungsquote 1996 noch 75 Prozent.

<sup>10</sup> Siehe auch STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG: Umweltökonomische Gesamtrechnungen in Baden-Württemberg, Statistische Daten 6/2003, Oktober 2003 (S. 25ff) und Pressemitteilung Nr. 329/2004 vom 21.9.2004 sowie MINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERKEHR BADEN-WÜRTTEMBERG (HRSG.): Abfallbilanz 2003. Stuttgart 2004

Im Rahmen des im Umweltplan Baden-Württemberg formulierten Ziels, die zu beseitigende Abfallmenge zu minimieren, spielt die Reduktion der zu beseitigenden **Abfälle aus Privathaushalten** eine wichtige Rolle. Das Aufkommen dieser aus Haus- und Sperrmüll, Bioabfällen sowie Wertstoffen und Wertstoffgemischen zusammengesetzten Abfallkategorie hat sich in Baden-Württemberg im Zeitraum 1990 bis 2003 insgesamt kaum verändert; seit 2000 ist es leicht rückläufig und liegt aktuell bei rund 330 kg/Einwohner (s. Abbildung 3).



**Abbildung 3:** Pro-Kopf-Aufkommen an Abfällen aus Privathaushalten in Baden-Württemberg von 1990 bis 2003. Datenquelle: UVM, Abfallbilanz 2003.

Beeinflusst war diese Entwicklung durch die verstärkte Erfassung der Bioabfälle sowie der Wertstoffe und Wertstoffgemische. Insgesamt wurden 2003 rund 39 kg Bioabfälle je Einwohner erfasst. Stark zugenommen hat auch die Menge der eingesammelten Wertstoffe und Wertstoffgemische. Sie machte im Jahr 2003 mit 154 kg je Einwohner mit immerhin 44 Prozent die größte Teilmenge der Abfälle aus. Im Gegenzug hat die als Restabfall eingesammelte Menge an Haus- und Sperrmüll je Einwohner seit 1990 um 46 Prozent auf 145 kg abgenommen. Ihr Anteil an den Abfällen aus Privathaushalten betrug 2003 noch rund 44 Prozent gegenüber 75 Prozent im Jahr 1990. Im Hinblick auf die Vorgaben der 1993 in Kraft getretenen TA Siedlungsabfall sowie auch der Abfallablagerungsverordnung vom März 2001 bezüglich der Deponierung von Abfällen ist hervorzuheben, dass die Menge des unbehandelt deponierten Haus- und Sperrmülls erheblich verringert wurde. Die Behandlungsquote (umfasst thermisch und mechanisch-biologische Behandlung) für Haus- und Sperrmüll betrug im Jahr 2003 knapp 53 Prozent. Im Jahr 1996 lag sie noch bei 25 Prozent.

Vor der Verwertung oder Beseitigung müssen Abfälle in der Regel behandelt oder aufbereitet werden. Hierzu steht eine Vielzahl unterschiedlicher Techniken zur Verfügung. Im Einzelnen sind zu nennen:

- biologische Behandlung (Kompostieren, Rotten und Vergären)
- chemische und/oder physikalische Behandlung (z.B. Filtration, Destillation, Entwässerung, Fällung, Neutralisation)
- mechanische Aufarbeitung (z. B. Sortieren, Zerlegen, Sieben, Sichten, Zerkleinern)
- thermische Behandlung (Abfallverbrennung, Pyrolyse, Vergasung, Mitverbrennung z.B. in Zement- und Kohlekraftwerken).

In Baden-Württemberg ist ein deutlicher Wandel in den Entsorgungswegen festzustellen. Seit 1992 ist die abgelagerte Abfallmenge auf Hausmülldeponien von 4,5 Mio. t auf 1,4 Mio. t zurückgegangen, was einer Abnahme von knapp 70 Prozent entspricht. In demselben Zeitraum nahm die stoffliche Verwertung um mehr als 50 Prozent auf über 2 Mio. t zu. Eine ähnliche Entwicklung ist bei der biologischen Behandlung zu beobachten. Die Menge der biologisch behandelten Abfälle (insbesondere zu Kompost) hat sich von 600 000 t im Jahr 1992 auf 1,39 Mio. t im Jahr 2002 mehr als verdoppelt.

Ab Juni 2005 dürfen nur noch weitestgehend mineralisierte Abfälle auf Deponien abgelagert werden. Rechtliche Grundlage hierfür sind die Deponieverordnung (DepV), die Abfallablagerungsverordnung (AbfAbIV) und die Technische Anleitung Siedlungsabfall (TASi). Die entsorgungspflichtigen öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger (öRE) haben für die Restabfallentsorgung in Baden-Württemberg ab 2005 genügend Beseitigungskapazitäten vertraglich gesichert, wobei Kapazitäten von mechanisch-biologischen Behandlungsanlagen (MBA) und Müllverbrennungsanlagen (MVA) addiert worden sind (s. Kapitel 7).

Die Zusammensetzung der Restabfälle einer MBA ist mit den Rückständen einer MVA nicht vergleichbar. Ob mechanisch-biologische Behandlungsanlagen wirklich im Nachhaltigkeits-sinn einer thermischen Behandlungsanlage gleichzusetzen sind, müssen die Langzeiterfahrungen zeigen.

## Teil II: Bewertung ausgewählter Abfallarten

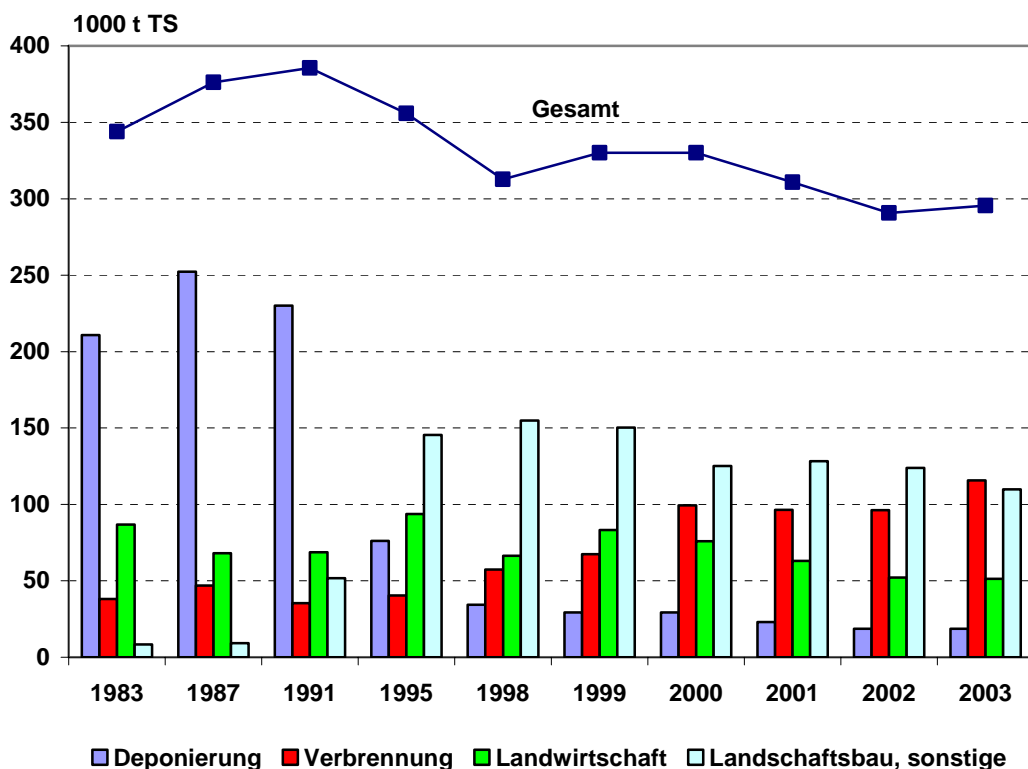
### 4. Klärschlamm

#### 4.1 Aufkommen

Klärschlamm ist ein Abfall, der bei der Reinigung von kommunalen und industriellen Abwässern entsteht. Demnach ist seine Entstehung beabsichtigt. Eine mengenmäßige Vermeidung des Klärschlammes ist, soweit die Funktion der Abwasserreinigung beeinträchtigt sein sollte, nicht zielführend. Allerdings bestehen erhebliche Potenziale, um die Schädlichkeit des Klärschlammes zu vermeiden (qualitative Abfallvermeidung). Diese an der Entstehung der Inhaltsstoffe des Abwassers ansetzenden Maßnahmen haben auch nach den Grundsätzen der Abfallwirtschaft oberste Priorität.

Das Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg rechnet mit einem langfristig konstanten Klärschlammaufkommen von rund 300 000 t Trockensubstanz (TS)<sup>11</sup>. Es wird davon ausgegangen, dass steigende Mengen auf Grund verschärfter Anforderungen an die Abwasserreinigung (zusätzliche Behandlungsstufen in den Kläranlagen) durch verstärkte Anstrengungen zur besseren Abtrennung der Nutstoffe im Klärschlamm oder durch verbesserte Ausfällung kompensiert werden.

Die Verwertung kommunaler Klärschlämme war in der Vergangenheit stark auf die Deponierung und die Ausbringung auf landwirtschaftliche Flächen ausgerichtet (s. Abbildung 4).



**Abbildung 4:** Aufkommen von Klärschlamm und Entsorgungswege in Baden-Württemberg. Datenquelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg und Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg.

<sup>11</sup> Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg: Klärschlamm Entsorgung. Stuttgart, 2002

Die beiden Entsorgungswege „Deponierung“ und „Landwirtschaft“ haben in der Zwischenzeit stark abgenommen. Die Deponierung wird bis zum 1. Juni 2005 auf Null zurückgeführt (TASi 2005), während im Jahr 2003 nur noch rund 17 Prozent des Klärschlammaufkommens (51 251 t TS) auf landwirtschaftliche Nutzflächen entsorgt wurde (1983: 25 Prozent). Im Bundesgebiet werden etwa 40 Prozent der Klärschlämme auf landwirtschaftlichen Nutzflächen entsorgt.

Es ist ebenfalls aus Abbildung 4 deutlich zu erkennen, dass die Verbrennung von Klärschlamm in den letzten Jahren stark angestiegen ist (auf rund 116 000 t TS bzw. 39 Prozent des Klärschlammaufkommens im Jahr 2003). Seit etwa 10 Jahren werden große Klärschlammengen aber auch im Landschaftsbau, im Wesentlichen bei Rekultivierungsmaßnahmen in den neuen Bundesländern, eingesetzt (2003: 102 000 t TS bzw. 34,5 Prozent des Klärschlammaufkommens).

Eine Klärschlammverwertung in der Landwirtschaft und im Landschaftsbau ist eine technisch einfache, für die Kläranlagenbetreiber kostengünstige und wegen der Düngestoffe im Klärschlamm für die Klärschlammabnehmer auf den ersten Blick interessante Lösung.

Die ökologische Problematik bei dieser Art der Klärschlammverwertung liegt darin, dass kommunaler Klärschlamm immer eine Senke für Schadstoffe darstellt, die von Flüssen, Bächen und Seen fern gehalten werden müssen. Je besser die Abwässer in den kommunalen Kläranlagen gereinigt werden, umso mehr Schadstoffe müssen sich zwangsläufig in den Klärschlämmen wieder finden. Dabei geht es heute nicht nur um schädliche Schwermetalle, sondern immer mehr um schwer abbaubare ökotoxische organische Substanzen, die zunehmend aus dem häuslichen Umfeld stammen: Wirkstoffe in Arzneimitteln und Kosmetika, Rückstände aus Wasch- und Reinigungsvorgängen, Weichmacher aus Kunststoffen, Flammenschutzmittel, Rückstände aus Verbrennungsvorgängen, usw. Das Gefährdungspotenzial dieser Stoffe für die Bodenfauna und -flora ist zwar noch weitgehend unbekannt, es besteht aber die Besorgnis, dass bei Fortsetzung der Klärschlammverwertung in der Fläche den Böden und dem Grundwasser Schaden zugefügt wird. Das Ministerium für Umwelt und Verkehr und das Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg raten deshalb aus Vorsorgegründen von einem weiteren bodenbezogenen Klärschlammeinsatz ab.

## **4.2 Beschreibung und Bewertung der Verwertungs- und Beseitigungswege**

### **4.2.1 Direkte Verwertung**

#### **4.2.1.1 Deponierung**

Die Deponierung von unbehandeltem Klärschlamm ist gemäß TA Siedlungsabfall nach dem 1. Juni 2005 verboten. Für verschiedene Deponien wurden bereits Ausnahmegenehmigungen für die Ablagerung von unbehandelten Abfällen ( $\text{TOC} \geq 3$  bzw. 5 Gew.-%) erteilt. Der politische Wille sowohl der Länder als auch des Bundes ist die Durchsetzung der TASi ohne Ausnahmen. Ob dies tatsächlich gelingen wird, kann zur Zeit noch nicht beurteilt werden.

#### **4.2.1.2 Klärschlammabeseitigung auf landwirtschaftlichen Nutzflächen**

In Baden-Württemberg wurden nach Daten der Abfallbilanz des Landes im Jahr 2003 rund 51 251 t Klärschlamm Trockensubstanz (TS) auf landwirtschaftlichen Nutzflächen entsorgt, mit abnehmender Tendenz. Die mittlere Ausbringungsmenge betrug 2,4 Tonnen Trockensubstanz (TS) pro Hektar. Daraus ergibt sich, dass in Baden-Württemberg nur etwa 3 Prozent der Ackerflächen jährlich in einer Vorratsdüngung für bis zu drei Jahre mit Klärschlamm gedüngt werden. Das heißt, dass nur etwa 80 000 Hektar bzw. knapp 10 Prozent

der Ackerfläche Klärschlammdüngung erhalten. Auch Komposte aus Klärschlamm werden noch auf landwirtschaftlichen Nutzflächen entsorgt. Im Jahr 2001 waren es ca. 66 000 t TS, im Jahr 2003 nur noch ca. 7 000 t TS.

Diese Zahlen belegen, dass nur wenige landwirtschaftliche Betriebe von einem Klärschlammausbringungsverbot auf landwirtschaftlich genutzten Flächen betroffen wären. Entscheidend für die Diskussion der politischen Handlungsalternativen, nämlich „weitere Risikominimierung oder verbieten“ ist die gesellschaftliche Akzeptanz der Klärschlammdüngung. Eine zunehmend kritische Haltung zur Ausbringung von Klärschlamm und anderen Sekundärrohstoffen findet man bei Verpächtern von Ackerflächen, bei Verarbeitungsbetrieben (insbesondere Hersteller sensibler Produkte wie Babynahrung), bei Handel und Verbrauchern und zunehmend in Teilen der Gesellschaft, die Risiken bezüglich Hygiene und Schadstoffbelastung von Nahrungsmitteln und Böden befürchten.

Dem gegenüber stehen erhebliche Verdienstmöglichkeiten für landwirtschaftliche Betriebe, die ihre Flächen gegen Zahlung einer Prämie für die Klärschlammdüngung zur Verfügung stellen. Hinzu kommen Einsparungen an Düngerkosten, positive Wirkungen der darin enthaltenen organischen Substanz, geldwerte Vorteile regelmäßig durchgeführter kostenloser Bodenproben, kostenloser Düngeberatung u.a..

#### **4.2.1.2.1 Situation für die landwirtschaftlichen Betriebe**

Aus der Sicht landwirtschaftlicher Betriebe sind für den Einsatz von Klärschlamm neben einer Fülle von acker- und pflanzenbaulichen Aspekten insbesondere Einsatzbegrenzungen durch administrative Regelungen, besondere Risiken, ökonomische Aspekte und Akzeptanzprobleme zu berücksichtigen.

Wegen spezieller Risiken bzw. Gefährdungen der Böden und Nahrungsmittel durch Schwermetalle, organische Schadstoffe und Krankheitserreger hat die Gesetzgebung für den Einsatz von Klärschlamm eine Vielzahl von Regelungen erlassen, die teilweise in die pflanzenbauliche Praxis restriktiv eingreifen.

Die Klärschlamm Entsorgung unterliegt strengen rechtlichen Vorgaben. Sie ist durch Vorschriften des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes, der TA Siedlungsabfall, durch die Klärschlammverordnung, das Düngemittelgesetz und die Düngemittelverordnung geregelt. Danach müssen bei landwirtschaftlicher Klärschlammverwertung wichtige Anforderungen erfüllt sein<sup>12</sup>. Neben Höchstausbringungsmengen (max. 5 t Klärschlamm trockenmasse je Hektar in drei Jahren) sind die Nährstoffbilanzen als Begrenzung der Ausbringungsmenge zu beachten. Daraus folgt, dass Böden, die gut mit Phosphat versorgt sind, und Kulturpflanzen, die weniger Stickstoffdünger vertragen, wie beispielsweise Braugerste und Zuckerrüben, nicht mit der Höchstausbringungsmenge oder gar nicht mit Klärschlamm gedüngt werden dürfen. Das erklärt wiederum, dass die durchschnittliche Ausbringungsmenge nicht 5 t Klärschlamm TS, sondern nur etwa 2,4 t je ha beträgt.

Die **Risiken** für landwirtschaftliche Unternehmen und die Gesellschaft nehmen zu. Aus der Sicht der landwirtschaftlichen Unternehmen ist das Gefährdungspotenzial für die Böden durch Kontamination mit Schwermetallen begrenzt. Dies wird durch Expertenaussagen gestützt. Schwermetalle werden in die Böden auch durch Zukauf von Futtermitteln, Mineralfuttermittel sowie durch Korrosion von Maschinen und Stalleinrichtungen eingetragen. Kupfer, Zink, Chrom und andere Schwermetalle werden durch Gülle ausgebracht bzw. durch Handelsdüngemittel zugekauft. Allerdings muss neben Expertenmeinungen auch die gesellschaftliche Akzeptanz berücksichtigt und unter Betrachtung aller Aspekte schließlich politisch entschie-

<sup>12</sup> Siehe HEUER, H.J. und J. GROCHOLL: Qualität Prüfungen, bedarfsgerecht ausbringen. In: dlz, Heft 12, 1999 und N.N.: Klärschlammeinsatz mit Bedacht. Neue Landwirtschaft Heft 8/1998.

den werden. Hormonell wirksame Substanzen, Arzneimittelrückstände, Krankheitserreger u.a. sind überwiegend abbaubare Stoffe, die den Boden nicht nachhaltig schädigen. Die meisten Pflanzen nehmen organische Schadstoffe nicht in nennenswertem Umfang auf (Wurzelbarriere). Einige Pflanzen haben allerdings ein besonderes Aneignungsvermögen für Schadstoffe. Auch mit anhaftender Erde können Schadstoffe in die Nahrungskette gelangen. Im Übrigen wird auch der Co-Verbrennung von Klärschlamm entgegen gehalten, dass die Luft mit Quecksilber, Cadmium und anderen Verbrennungsrückständen belastet werden kann und Asche wiederum deponiert werden muss. Für die bisher deutlich teureren Verbrennungsverfahren des Klärschlammes spricht die mögliche Wiedergewinnung von Phosphat, das weltweit begrenzt verfügbar und nicht erneuerbar ist, und gegenwärtig in erheblichem Umfang abgebaut wird<sup>13</sup>.

Große Landverpächter, aber auch viele Kleinverpächter, lehnen aus Gründen der Bodenentwertung die Anwendung von Klärschlamm ab und schließen diese in entsprechenden Klauseln der Pachtverträge aus.

Obwohl die gesundheitliche Gefährdung für **Verbraucher** durch belastete Nahrungsmittel weitgehend ausgeschlossen werden kann, sehen **Verarbeitungsbetriebe und Handel** (beispielsweise Mühlen, Hersteller von Kindernahrung u.a.) dennoch teilweise erhebliche Vermarktungsrisiken, die durch Pannen und Skandale grundsätzlich nicht auszuschließen sind, und vereinbaren deshalb nicht nur im Vertragsanbau, sondern auch bei Annahme der Ware durch schriftliche Erklärung einen Ausschluss der Klärschlammverwendung. Als Maßstab für den Klärschlammeinsatz in der Landwirtschaft sollte die Vorsorge von gesundheitlichen Risiken gelten. Gleichwohl gibt es genügend Betriebe, die über landwirtschaftlich genutzte Flächen verfügen, deren Erträge nicht direkt vermarktet werden (beispielsweise im Betrieb verfüttertes Getreide), oder als nachwachsende Rohstoffe in Verwendungen gehen, die weder Vermarktungsrisiken noch Preisabschlägen ausgesetzt sind.

**Die ökonomischen Vor- und Nachteile** der Klärschlammverwendung auf landwirtschaftlich genutzten Flächen ergeben sich vor allem aus möglichen Einsparungen an Düngerkosten und darüber hinaus aus dem Wert der organischen Substanz und geldwerten Vorteilen kostenloser Bodenuntersuchungen und Düngeberatung.

Für die folgende Kalkulation wird von definierten Inhaltsstoffen ausgegangen und unterstellt, dass 20 Prozent des Gesamtstickstoffs bei Klärschlamm pflanzenverfügbar ist. Es wird weiterhin unterstellt, dass unter Berücksichtigung der Düngeverordnung durchschnittlich 1,67 t Klärschlammrockensubstanz je Hektar und Jahr ausgebracht werden können. Dann ergeben sich die in der Tabelle 2 dargestellten Kosteneinsparungen durch die Nährstoffzuführung aus Klärschlamm von 350 €/ha/Jahr. Daraus ergibt sich eine Nährstoffwirkung von ca. 70 €/t Klärschlamm TS. Da die landwirtschaftlichen Unternehmen die Klärschlammausbringung nicht selbst durchführen, ergibt sich bei mittlerer oder defizitärer Nährstoffversorgung der Böden immer eine positive Rentabilität. Der oben genannte Düngerwert ist als Maximalwert zu betrachten. Er trifft in der Höhe nur zu, wenn die Böden mit den bewerteten Nährstoffen nicht überversorgt sind und der den Düngerwert maßgeblich bestimmende Phosphor nicht durch Schlammkonditionierung oder andere Ursachen nur teilweise, nur langfristig oder überhaupt nicht pflanzenverfügbar ist.

Die durch Klärschlamm zugeführte organische Substanz hat auch bodenverbessernde Wirkungen. Sie verbessert die physikalischen Eigenschaften des Bodens und wirkt sich auf Wasserhaltevermögen und biologische Umsetzungen positiv aus, was bei einigen Kulturen durchaus zu höherer Biomasseproduktion und höheren monetären Erträgen führen kann. In der Mehrzahl der landwirtschaftlichen Betriebe, ausgenommen anmoorige und Moorböden,

---

<sup>13</sup> FRITSCH, F.: Klärschlamm - verbessern oder verbieten? DLG-Mitteilungen, Heft 12/2001



ist eine Humusersatzwirtschaft erforderlich. Dies gilt vor allem für so genannte leichte, d.h. sandige Böden sowie in Betrieben mit starkem Hackfruchtbau, also in Kartoffel-, Zuckerrüben- und Silomaisfruchtfolgen. Hier besteht die Notwendigkeit, bei Verzicht auf Klärschlammdüngung durch Anbau von Gründüngungspflanzen die organische Substanz zu ersetzen, deren Kosten sich auf etwa 20 €/t organische Substanz belaufen<sup>14</sup>. Dadurch erhöht sich der Wert des Klärschlammes aus Nährstoffwirkung und organischer Substanz bei 43 Prozent organischer Substanz in der TS um 43 € auf 396 €/ha bei Höchstgabe bzw. 79 €/t Klärschlammrockensubstanz. Auch dieser Wert ist wiederum als Maximalwert zu betrachten.

Nährstoff	Mittlerer Gehalt in %	Nährstoffmenge pflanzen- verfügbar kg/ha	Nährstoff- kosten bei Zukauf €/kg	Düngerwert Klärschlamm	
				€ 5 t	€/t
N	3,41	34,1	0,59	20,12	4,02
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	8,98	449,0	0,54	242,46	48,49
K <sub>2</sub> O	0,39	19,5	0,32	6,24	1,25
MgO	1,08	54,0	0,12	6,48	1,30
CaO	12,90	645,0	0,12	77,40	15,48
<b>Gesamt</b>				<b>352,70</b>	<b>70,54</b>

**Tabelle 2:** Kosteneinsparungen bei Klärschlammdüngung

Zusätzlich erhalten die Verwerter von Klärschlamm eine Ausbringungsprämie. Über die Höhe gibt es wenig Information, NOELL<sup>15</sup> beziffert sie zwischen 25 und 100 €/t TS Klärschlamm. Lokal sollen bis zu 300 €/t TS gezahlt werden. In Baden-Württemberg werden im Durchschnitt nur etwa 20 €/t Klärschlamm TS gezahlt. Die Entgelte variieren etwa zwischen 15 und 25 €/t. Dabei handelt es sich aber um Nettobeträge, wobei der Landwirt keine Kosten für Ausbringung, Bodenproben, Verwaltungsaufwand etc. zu tragen hat. Unter Annahme eines Ausbringungsentgelts in Höhe von 20 €/t Klärschlamm TS ergibt sich ein Geldwert bzw. geldwerter Vorteil in der Größenordnung von 496 € je behandeltem ha bei der zulässigen Maximalausbringungsmenge von 5 t Klärschlamm TS bzw. 165 €/ha und Jahr bzw. 99 €/t Klärschlamm TS. Bei der in Baden-Württemberg realisierten Ausbringungsmenge von etwa 2,5 t je ha beträgt der betriebliche Nutzen durchschnittlich 248 €/ha Ausbringungsfläche bzw. 83 €/ha und Jahr.

Die Berechnungen zeigen, dass Klärschlammdüngung in der Landwirtschaft für Ackerbaubetriebe mit einem hohen Anteil düngungsfähiger Flächen eine beträchtliche Einkommenswirkung besitzt, soweit sie keinen Einschränkungen bei der Abnahme ihrer Produkte unterliegen. NOELL<sup>16</sup> weist an einem Modellbetrieb nach, dass in einem flächenreichen Ackerbaubetrieb die Klärschlammdüngung den Deckungsbeitrag von ca. 500 €/ha um etwa 30 Prozent steigert. Der Gewinn des landwirtschaftlichen Betriebes kann dabei mehr als verdoppelt werden. Lokal kommt es zu Pachtpreissteigerungen, wenn Klärschlammdüngung in den privatrechtlichen Verträgen vom Verpächter zugelassen wird.

<sup>14</sup> REISCH, E., J. ZEDDIES: Einführung in die landwirtschaftliche Betriebslehre, Band 2, Spezieller Teil: Grundlagen und Methoden der Entscheidung, Ökonomik der pflanzlichen und tierischen Produktion. In: UTB Agrarwissenschaften 617 (1977). Stuttgart 1992

<sup>15</sup> NOELL, Ch.: Sekundärrohstoffe in der Landwirtschaft, Einkommensquelle mit Akzeptanzproblemen. Neue Landwirtschaft, Heft 8/1998

<sup>16</sup> NOELL, Ch.: Landbewirtschaftung und Recycling: eine Erwerbskombination mit Zukunft? In: Landwirtschaftliche Rentenbank Frankfurt am Main, Schriftenreihe Band 12, 1998

Die **ökonomischen Nachteile** der Klärschlamm Entsorgung auf landwirtschaftlich genutzten Flächen betreffen Vermarktungsverluste und Bodenwertminderungen. Bei der Vermarktung von Agrarprodukten an Mühlen, Nahrungsmittelhersteller u.a. wird die Abnahme der Produkte von klärschlammgedüngten Flächen ausgeschlossen. In solchen Fällen lässt sich potenzielles Konsumgetreide nur als Futtergetreide zu niedrigerem Preis verkaufen. Diese überkompensieren bei einem Durchschnittsertrag an Getreide von beispielsweise 8 t/ha den Düngungsvorteil des Klärschlammes bereits bei etwa 10 Prozent Vermarktungsverlust bzw. 1 €/dt Getreide. Analog gilt das für Absatzwege mit Gütesiegeln wie bei dem Herkunfts- und Qualitätszeichen Baden-Württemberg. Solche Absatzwege existieren aber stets nur für ein begrenztes Marktsegment, das von Klärschlammverwendern nicht beliefert wird. Deshalb ist gängige Praxis, dass Klärschlämme von den Verwendern auf Flächen ausgebracht werden, auf denen Futtergetreide für die betriebseigene Verwendung oder für die Produktion nachwachsender Rohstoffe angebaut wird. Insofern kann nicht generell bei Klärschlammausbringung von Vermarktungsverlusten ausgegangen werden.

Bodenwertminderungen durch Klärschlamm Düngung sind bisher nicht systematisch analysiert worden. Die strengen Grenzwerte verhindern eine signifikante Anreicherung von Schadstoffen. Dennoch ist davon auszugehen, dass sie bei langjähriger Klärschlamm Düngung stattfindet und dass sachkundige potenzielle Käufer für landwirtschaftlich genutzte Böden den Tatbestand langjähriger Klärschlamm Düngung ins Kalkül ziehen und damit versuchen, den Kaufpreis zu senken. Allerdings ist der Bodentransfer über den Markt für landwirtschaftlich genutzte Grundstücke extrem gering. Den Preis bestimmen dominierend die lokale Angebots- und Nachfragesituation und andere Gründe wie Lage und Bodenqualität. Daraus folgt, dass Vermarktungsverluste ein kalkulierbares Risiko darstellen, während Bodenwertminderungen praktisch nicht monetarisierbar sind.

Die **Akzeptanz** nimmt weiter ab. Die einzelbetriebliche Rentabilität würde es nahe legen, dass jeder Betrieb, der über düngungsfähige Flächen für Klärschlamm verfügt und nicht für den Markt produziert, diese Sekundärrohstoffe einsetzt. Eine Akzeptanzbefragung von NOELL<sup>17</sup> hat ergeben, dass Klärschlamm bei etwa zwei Drittel der befragten Landwirte ein Negativimage hat, während Komposte mit durchaus ähnlichen Risiken nur von 15 Prozent der Befragten als negativ eingeschätzt wurden. Von Entsorgungsunternehmen wird die Akzeptanz des Einsatzes von Sekundärrohstoffen als sehr hoch eingeschätzt; von Kommunen und Landwirten mittel, von Bauernverband, Kirchen, Verbrauchern, Nahrungs- und Genussmittelindustrie gering und von BUND und Greenpeace sehr gering.

Auf Unverständnis stößt bei einigen Befürwortern der Klärschlamm Düngung die Tatsache, dass der Handel bzw. Nahrungsmittelhersteller bei deutschen Rohstoffproduzenten eine Klärschlamm- Ausschlussgarantieerklärung verlangen, während importierte Rohstoffe aus anderen EU-Mitgliedsstaaten solchen Vorschriften nicht unterliegen. Auf Unverständnis stößt auch die Tatsache, dass Baden-Württemberg und einige andere Bundesländer über ihre Institutionen auf eine Verringerung des Klärschlammeinsatzes auf landwirtschaftlichen Flächen hinwirken, während benachbarte und weiter entfernt liegende Bundesländer über ihre Institutionen den Klärschlammeinsatz in der Landwirtschaft forcieren.

#### **4.2.1.2.2 Verbleib von Schadstoffen und gesundheitliche Bewertung**

Bei der Beurteilung des Verbleibs und der gesundheitlichen Bewertung ist zu bedenken, dass nicht nur Klärschlamm, sondern auch Wirtschaftsdünger, Mineraldünger und Kompost Schadstoffe enthalten, die zu einer Belastung führen.

Die in Klärschlämmen gemessenen Inhaltsstoffe schwanken je nach Einzugsgebiet der Kläranlage und der Konditionierung des Klärschlammes extrem stark. Nach Untersuchungsergeb-

<sup>17</sup> NOELL, Ch.: Landbewirtschaftung und Recycling: eine Erwerbskombination mit Zukunft? a.a.O

nissen in Baden-Württemberg sind in den hier verwendeten Klärschlämmen die in Tabelle 3 dargestellten Inhaltsstoffe gemessen worden. Bezüglich des Stickstoffgehalts ist zu berücksichtigen, dass der unmittelbar pflanzenverfügbare Ammoniumanteil des Stickstoffs zwischen 10 und 70 Prozent des Gesamtstickstoffgehalts liegen kann und im Jahr 2001 durchschnittlich etwa 20 Prozent betrug.

Blei	55,1
Cadmium	1,4
Chrom	54,2
Kupfer	346,5

Nickel	29,9
Quecksilber	0,8
Zink	876,8

AOX	173,9
PCB 28	0,01
PCB 52	0,01
PCB 101	0,02

PCB 138	0,030
PCB 153	0,03
PCB 180	0,02
PCDD/F als TE	9,56

Stickstoff (N-insg.)	3,41 %
Stickstoff (Ammon.)	0,71 %
Phosphor (P-insg.)	3,92 %
Phosphat (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	8,98 %
Kalium (K <sub>2</sub> O)	0,39 %
Magnesium (MgO)	1,08 %

Trockensubstanz	20,8 %
Org. Substanz	43 %
pH-Wert	8,1
bas. wirks. Stoffe	90 500

**Tabelle 3:** Klärschlammgehalte in Baden-Württemberg im Jahr 2001. Angabe der Mittelwerte. Gewogenes arithmetisches Mittel der Schadstoffgehalte der für die Verwendung in der Landwirtschaft bestimmten Schlämme, in mg/kg TS bzw. % TS. Quelle: Umwelt- und Verkehrsministerium Baden-Württemberg.

In den letzten Jahren wurden Klärschlämme hinsichtlich ihres Gehalts an hochmolekularen organischen Einzelsubstanzen verstärkt analysiert<sup>18</sup>. Dabei handelt es sich neben Schwermetallen vor allem um folgende organische Stoffverbindungen, die in hohen Konzentrationen gemessen wurden:

- Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)
- polychlorierte Dibenzodioxine und-furane (PCDD/PCDF)
- Organozinnverbindungen
- polyzyklische Moschusverbindungen
- aromatische organische Halogenverbindungen
- Schwermetalle: Quecksilber, Cadmium und Kupfer

Systematische Untersuchungen zu Zerstörung, Abbau von Stoffen nach dem Ausbringen, Persistenz oder Anreicherung sind nur spärlich vorhanden. Der Bericht der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg ist hier als wesentliche Quelle hervorzuheben. Zentrales Ergebnis der Studie ist der Nachweis von Schadstoffanreicherungen in Böden an drei von elf untersuchten landwirtschaftlichen Flächen und an zwei untersuchten Versuchsflächen als Folge langjähriger Klärschlammdüngung. Die Anreicherung über weitere 70 Jahre wurde

<sup>18</sup> z.B. LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG: Schadstoffe in klärschlammdüngten Ackerböden Baden-Württembergs. Karlsruhe 2003

simuliert und erbrachte ein Überschreiten von Vorsorgewerten zunächst bei Kupfer und Zink. Es ist durch diese Untersuchungen und Berechnungen nachgewiesen, dass grundsätzlich mit einer Anreicherung von Schadstoffen in Böden durch Aufbringung von Klärschlamm auf landwirtschaftliche Flächen zu rechnen ist.

Im Hinblick auf die gesundheitliche Bewertung liegen derzeit wenige Befunde vor, welche einen möglichen Eintrag in die Nahrungskette belegen. Bereits 1983 wurde aus der Schweiz über chemische Verunreinigungen in Lebensmitteln tierischer Herkunft als Folge der Klärschlammmanwendung berichtet<sup>19</sup>. Die Veröffentlichung von Daten aus dem nationalen Rückstandskontrollplan 1996 und 1997 des Bundesamtes für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) gab an, dass vor allem mit Cadmiumrückständen oberhalb des Richtwerts belastete Kälber und Rinder auffällig waren<sup>20</sup>. Als Ursache wurde die Gabe von Futter, das von mit Klärschlamm belasteten Grünflächen stammte, ermittelt. Auch wenn hier klar erkennbar ist, dass entsprechende Vorschriften nicht eingehalten wurden, zeigt der Befund den Eintrag in die Nahrungskette auf. In der Leber von Kälbern wurden erhöhte Kupfergehalte ermittelt, für die ein ähnlicher Eintragemechanismus zu vermuten ist. Moschusxylole wurden in Lebensmitteln gefunden und in Muttermilchproben nachgewiesen.

Die Bewertung der Ausbringung von Klärschlamm orientiert sich derzeit an den Kriterien einer vorsorgeorientierten Begrenzung von Schadstoffeinträgen in landwirtschaftlich genutzten Böden. Danach gilt:

- Schädliche Stoffeinträge in den Boden sind bei Stoffen, die synthetisch hergestellt worden sind (Xenobiotika), die nur durch menschliche Tätigkeit in die Umwelt gelangen und von denen prinzipiell eine schädliche Wirkung ausgehen kann, vollständig zu vermeiden, zumal das ökotoxikologische Potenzial dieser Stoffe meist nicht ausreichend bekannt ist. Aus humantoxikologischer Sicht sind insbesondere Stoffe mit kancerogenen, mutagenen oder reproduktionstoxischen Wirkungen zu vermeiden. Die gleiche Forderung gilt für Stoffe, deren toxikologisches Wirkprofil unzureichend untersucht ist.
- Die Einträge in den Boden dürfen nicht zu einer Akkumulation führen.

Unter Anlegung dieser Kriterien sind einige der Stoffe, welche in Klärschlamm nachgewiesen werden, aus gesundheitlicher Sicht kritisch zu beurteilen. Manche Stoffe besitzen zum Teil Wirkungen, welche Interaktionen mit der Reproduktion bedingen; das Schwermetall Cadmium ist als nierenschädigend mit dem Verdacht der Auslösung von Krebserkrankungen zu bewerten.

Insofern liegen gesundheitlich bedenkliche Befunde für Stoffe vor, welche in den Untersuchungsprogrammen erfasst wurden und welche auch grundsätzlich in die Nahrungskette gelangen können.

Auch wenn derzeit die Befunde nicht zu einem akuten Handeln Anlass geben, sollte dem Vorsorgegedanken folgend von einer weitere Ausbringung des Klärschlammes auf landwirtschaftlich genutzten Flächen abgesehen werden und ein vorsorgeorientiertes Verwerten von Klärschlamm bevorzugt werden.

<sup>19</sup> HAPKE H.J. (1983) Chemische Verunreinigungen in Lebensmitteln tierischer Herkunft als Folge der Klärschlammmanwendung. In: Schweizer Archiv für Tierheilkunde 125 (10), 685-693

<sup>20</sup> Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL): Nationaler Rückstandskontrollplan 1996 und 1997. Ergebnisse der amtlichen Rückstandsuntersuchungen der Länder. Zusammenfassung Deutschland [www.bvl.bund.de/lebensmittel/rkp1996-97.htm](http://www.bvl.bund.de/lebensmittel/rkp1996-97.htm)

#### **4.2.1.2.3 Konsequenzen eines Ausstiegs aus der landwirtschaftlichen Klärschlammabeseitigung**

Aus der Sicht des Landes Baden-Württemberg stellt sich die Frage, ob eine politische Entscheidung des Ausstiegs weit reichende Konsequenzen für die Landwirtschaft, externe Effekte und gegebenenfalls hohe volkswirtschaftliche Verluste verursachen würde.

Die **Mengenbilanz** verschiebt sich bereits seit Jahren zu Gunsten der Verbrennung. Wurden 1983 noch 90 000 t Klärschlamm TS auf landwirtschaftlichen Flächen aufgebracht, sind es nach letzten Erhebungen noch 51 251 t TS.

Das **Einsatzpotenzial in der Landwirtschaft** ist größer als die derzeit entsorgte Menge. Die derzeit mit Klärschlamm gedüngte Fläche in Baden-Württemberg (rund 27 000 Hektar) liegt deutlich unter der theoretisch möglichen Klärschlamm-Düngungsfläche. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass die potenziellen Ausbringungsflächen im Trend schrumpfen, u.a. durch starke Ausdehnung des ökologischen Landbaues und Anwendungsverbote von Produktverarbeitern, beispielsweise Zuckerhersteller. NOELL hat 1998 errechnet, dass in Baden-Württemberg etwa 130 000 Hektar (15,5 Prozent) alle drei Jahre mit bis zu 5 t Klärschlamm TS gedüngt werden könnten, jährlich also ca. 40 000 Hektar (etwa 5 Prozent der Ackerfläche). Bei einer Ausdehnung der Düngungsflächen würden allerdings höhere Kosten für die Entsorgungsunternehmen entstehen, weil höhere Akzeptanzbarrieren, höhere Transportkosten und geringere Ausbringungsmengen je ha in Kauf genommen werden müssten. Geht man von einem maximalen Flächenpotenzial für Klärschlamm-Düngung von derzeit noch ca. 100 000 Hektar aus, könnte bei Nutzung aller Flächen mit durchschnittlich 2,4 t/ha der Anteil der stofflichen Verwertung von derzeit rund 52 000 t bzw. 18 Prozent der Klärschlamm-Menge in Baden-Württemberg auf 80 000 t bis auf 30 Prozent erhöht werden. Insgesamt folgt aus den Trends, dass die Entsorgungssicherheit in der Landwirtschaft rasch abnimmt.

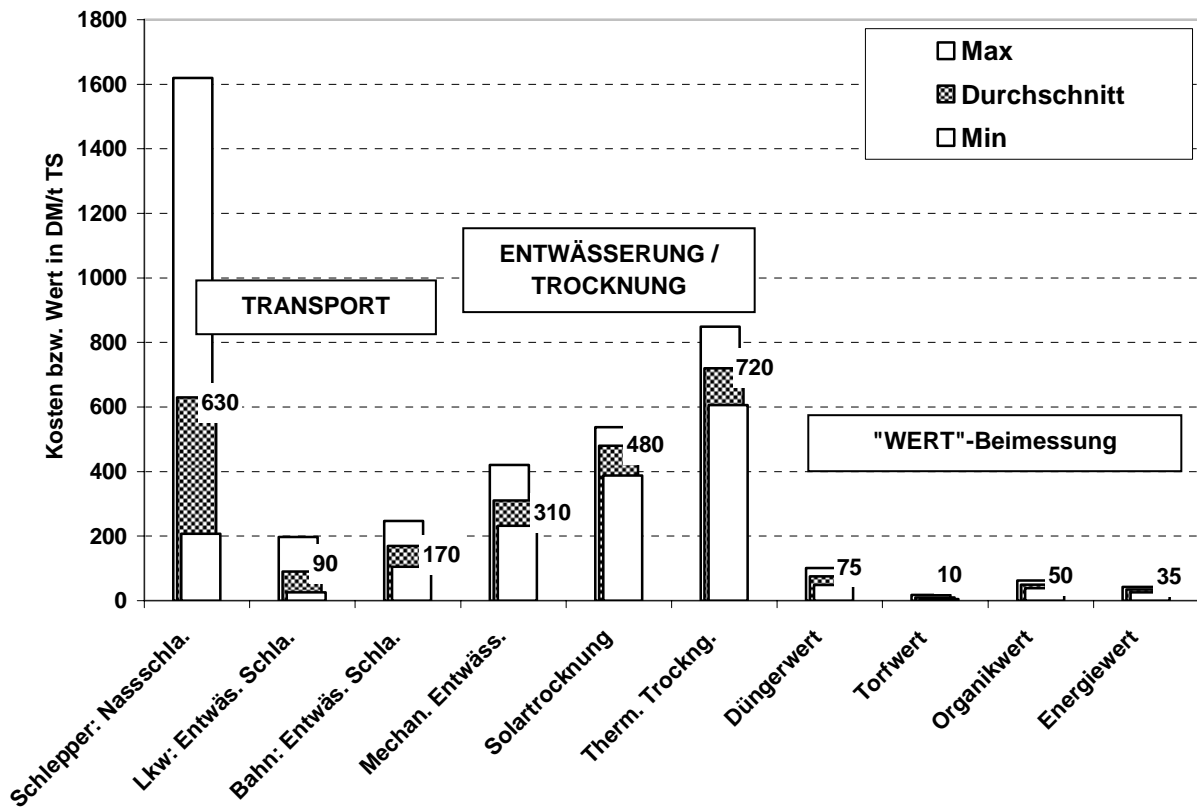
Eine **Gewinn- und Verlustrechnung für die Landwirtschaft** ist nur überschlägig möglich. Die derzeit eingesetzte Menge an Klärschlamm auf landwirtschaftlich genutzten Flächen von 51 251 t TS (2003) ermöglicht dem Verwender einen potenziellen Zusatzgewinn durch Düngereinsparung, Prämien und Wert der organischen Substanz von etwa 5,1 Mio. €/Jahr (99 €/t). Bezogen auf die in der Statistik ausgewiesene Brutto-Wertschöpfung der Land- und Forstwirtschaft zu Herstellungspreisen in Baden-Württemberg (2,32 Mrd. €) entspricht das etwa 0,22 Prozent, also eine vergleichsweise geringe Einkommenseinbuße. Es muss allerdings berücksichtigt werden, dass es sich bei der oben genannten Zahl wiederum um einen maximalen Bewertungsansatz handelt. Gleichwohl wären spezialisierte Ackerbaubetriebe mit erheblichem Klärschlamm-Einsatz von gravierenden Einkommensminderungen betroffen. Es sind vor allem die Landkreise Karlsruhe, Biberach, Bodenseekreis, Heidenheim, Göppingen, Esslingen, Ravensburg, Sigmaringen, Heilbronn und Alb-Donau-Kreis mit jeweils mehr als 1 000 ha Ausbringungsfläche betroffen.

Die „**externen**“ **Effekte** in der Klärschlamm-Entsorgung müssen bei einem Vergleich alternativer Entsorgungsformen richtig bewertet werden. Die alternativen Verwertungs- und Entsorgungswege bestehen derzeit noch in den Verfahren Landschaftsbau und Verbrennung, wenn man davon ausgeht, dass eine Ausdehnung der Exporte begrenzt bzw. nicht gewollt ist.

Zu betrachten sind neben Schwermetallanreicherungen und organischen Schadstoffen vor allem Phosphat und klimarelevante Gase. In der derzeitigen Situation werden durch Klärschlamm-Entsorgung in der Landwirtschaft ca. 4 670 t Phosphorsäure ausgebracht. Im Vergleich dazu wird in Form von Handelsdünger in Baden-Württemberg jährlich eine Menge von ungefähr 51 420 t Phosphorsäure gedüngt. Bei Verzicht auf Klärschlamm-Ausbringung in der Landwirtschaft würde sich der Handelsdüngeraufwand demzufolge um gut 4 000 t Phosphorsäure erhöhen. Auch bei diesem Wert handelt es sich um einen Maximalwert, bei dessen Berechnung eine volle Pflanzenverfügbarkeit des im Klärschlamm enthaltenen Phos-

phors unterstellt ist. Mit anderen Worten: gelingt zukünftig die Rückgewinnung von Phosphat aus Klärschlamm bei Verbrennung, stünden aus Klärschlämmen, die derzeit verbrannt und in der Landwirtschaft ausgebracht werden, insgesamt rund 151 000 t Klärschlamm TS zur Verfügung, woraus sich gut 13 000 t Reinnährstoff Phosphat ( $P_2O_5$ ) gewinnen ließe. Diese Menge würde etwa ein Viertel des Phosphorsäurebedarfs Baden-Württembergs in Form von Handelsdünger abdecken können. Es ergäbe sich dann auch ein vergleichsweise wertvolles Nebenprodukt aus der Klärschlammverbrennung, ein Phosphatdünger, der einem Wert von etwa 50 €/t Klärschlamm TS entspricht. Diese Überlegungen machen deutlich, dass Verfahren zur Phosphatrückgewinnung aus Klärschlamm und Asche mit zunehmender Begrenztheit der endlichen Phosphatvorräte ein dringendes Forschungsfeld darstellen.

Nach einer Zusammenstellung von LEIBLE<sup>21</sup> fallen bei der Klärschlammentsorgung Kosten für Transport, Konditionierung (Entwässerung, Trocknung), Verbrennung und Deponie an. Bei einem Vergleich mit dem Wert von Klärschlamm, bestehend aus Düngerwert, Wert der organischen Substanz und Energiewert bei Verbrennung, übersteigen die Kosten der Behandlung und Entsorgung den Wert des Substrates in der Landwirtschaft und in der Strom- und Wärmeerzeugung mit Abstand. Dabei ist darauf hinzuweisen, dass die in Abbildung 5 dargestellten Kosten nach LEIBLE die Prämien an die Klärschlammverwender in der Landwirtschaft nicht enthalten.



**Abbildung 5:** Kommunaler Klärschlamm. Gegenüberstellung von Kosten und Wert. Quelle: LEIBLE ET AL. 2000 a.a.O.

<sup>21</sup> LEIBLE, L., E. NIEKE, A. ARLT, H. SEIFERT UND B. FÜRNISS,.: Bereitstellung und energetische Nutzung biogener Abfälle - ein wesentlicher Beitrag der Landwirtschaft zur Nachhaltigkeit. In: VDLUFA (Hrsg.), Kongress „Nachhaltige Landwirtschaft“ am 18.-22. September 2000 in Stuttgart-Hohenheim. VDLUFA, Darmstadt, VDLUFA-Schriftenreihe 55/2000, S. 193-200

Ein Vollkostenvergleich einschließlich Prämien an Landwirte von REIMANN<sup>22</sup> aus dem Jahr 2000 zeigt, dass bei landwirtschaftlicher Nutzung von Klärschlamm ohne Konditionierung Kosten zwischen 75 und 175 €/t TS gegenüber Monoverbrennung konditionierten Klärschlamm in Höhe von 375 bis 655 €/t TS anzusetzen sind. Bei dem kostengünstigsten Co-Verbrennungsverfahren lagen die Kosten zwischen 285 und 340 €/t TS. Die zitierten Berechnungen sind inzwischen durch eingetretene technische Fortschritte und Preis- und Kostenänderungen veraltet. Derzeit werden die kostengünstigsten Co- Verbrennungsverfahren nur noch bei 200 bis 240 €/t TS eingeschätzt.

Bei Verbrennung wäre allerdings eine CO<sub>2</sub>-Gutschrift für den Energiewert, der bei LEIBLE<sup>23</sup> mit 18 €/t TS angegeben wird, und für CO<sub>2</sub>-Emissionsminderung zu berücksichtigen, da die thermische Behandlung zu einer Umweltentlastung führt. Eine Studie des Forschungszentrums Karlsruhe<sup>24</sup> stellt dazu fest, dass eine energetische Nutzung von Klärschlamm einen Beitrag zu den CO<sub>2</sub>-Reduktionszielen leisten kann. Es ist zu prüfen, ob die Kostendifferenz zwischen landwirtschaftlicher Verwertung von Klärschlamm und thermischer Entsorgung durch die CO<sub>2</sub>-Gutschrift deutlich reduziert, aufgehoben oder überkompensiert wird. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass auch der pflanzenverfügbare Stickstoff im Klärschlamm (etwa 34 kg) durch Handelsdünger ersetzt würde. Bei dessen Herstellung entstünden zusätzliche CO<sub>2</sub>- Emissionen von 7,7 kg je kg Stickstoff, somit 0,26 t CO<sub>2</sub> je t Klärschlamm TS, bzw. 13 600 t CO<sub>2</sub>- Emission für die Verbrauchsmenge in Baden- Württemberg. Diese ist zwar für Baden-Württemberg nicht relevant, weil in Baden- Württemberg kein Handelsdünger erzeugt wird, in der Gesamtbewertung ist dieser Punkt allerdings zu berücksichtigen.

Bei einer **volkswirtschaftlichen Bewertung** gibt es Kriterien und Tatbestände, die monetär bewertbar sind und solche, die sich einer monetären Bewertung entziehen. Im ersten Ansatz ist die Differenz zwischen den Verwertungs- und Entsorgungswegen monetär zu bewerten. Ausgehend von Entsorgungskosten von durchschnittlich 120 €/t TS in der Landwirtschaft und 220 €/t bei Co-Verbrennung errechnet sich für Baden-Württemberg eine Kostendifferenz von 52 018 t TS x 100 €/t = 5,2 Mio. €. Diese Größenordnung liegt im Bereich der Kostenschätzung des Ministeriums für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg, das bei einem vollständigen Wechsel d. h. auch anderer Entsorgungswege zur thermischen Klärschlamm Entsorgung von 16,5 Mio. € Mehrkosten ausgeht. Diese Mehrkosten der Entsorger werden auf die Wasserverbraucher abgewälzt werden. Nach Schätzungen des Ministeriums für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg würde sich dadurch der Wasser/Abwasserpreis um ca. 0,17 €/m<sup>3</sup> erhöhen bzw. 1,5 € pro Einwohner im Jahr. Hinzuzurechnen ist aber der entgangene Gewinn der landwirtschaftlichen Betriebe aus dem Verzicht auf Klärschlamm in Höhe von etwa 99 €/t x 52 018 t = 5,1 Mio. €, also etwa 10,3 Mio. €. Diese Kosten einschließlich entgangener Gewinne belasten den Verbraucher in Baden-Württemberg.

Die zu erwartende Verringerung der Emissionsbelastung, die sich aus dem Energiewert von Klärschlamm bei der Verbrennung durch die Substitution von fossiler Energie ergibt, ist zwar ein Beitrag zu den CO<sub>2</sub>-Minderungszielen der Bundesregierung. Der geldwerte Vorteil würde allerdings im Bundesland Baden-Württemberg nur wirksam, wenn das Land auf andere kostenwirksame CO<sub>2</sub>-Minderungsmaßnahmen verzichten würde. In einer umfassenden Analyse wäre weiterhin zu prüfen, wie sich Klärschlammausbringung bei verschiedenen Konditionierungsverfahren auf landwirtschaftlich genutzten Flächen im Vergleich zur Verbrennung auf die Emissionen von Lachgas (N<sub>2</sub>O) und Methan (CH<sub>4</sub>) auswirkt. Beide Treibhausgase sind bei Klärschlammbehandlung relevant, besitzen ein hohes Treibhauspotenzial und können

<sup>22</sup> REIMANN: Vortrag VDI-Seminar. Bamberg 2000

<sup>23</sup> LEIBLE ET AL. 2000 a.a.O.

<sup>24</sup> LEIBLE, L.; ARLT, A.; FÜRNISS, B.; KÄLBER, S.; KAPPLER, G.; LANGE, S.; NIEKE, E.; RÖSCH, C. UND D. WINTZER. Energie aus biogenen Rest- und Abfallstoffen. Dokumentation in AGRA-EUROPE 34/03, August 2003

durchaus den Vorteil der biogenen CO<sub>2</sub>-Nutzung aus Klärschlamm überkompensieren. Unterstellt man die vom Forschungszentrum Karlsruhe angesetzten CO<sub>2</sub>-Minderungskosten von 50 €/t CO<sub>2</sub>, reduziert sich der volkswirtschaftliche Verlust für das Bundesland Baden-Württemberg erheblich. Dem verbleibenden volkswirtschaftlichen Verlust ist letztlich der Nutzen gegenüber zu stellen, den Verarbeitungsbetriebe, Handel, Verbraucher, Naturschutz, Bodeneigentümer und andere Betroffene aus der Vorsorgepolitik ziehen.

#### **4.2.1.3 Verwertung von Klärschlamm im Landschaftsbau**

Die Verwertung im Landschaftsbau einschließlich Kompostierung ist in den letzten Jahren stark angestiegen (ca. 102 039 t TS in 2003). Dieser Anstieg findet sich auch in den exportierten Mengen wieder. Diese Mengen werden in den neuen Bundesländern und in Bayern überwiegend der landwirtschaftlichen oder landbaulichen Verwertung zugeführt.

Kompostierte Klärschlämme sind gemäß der Klärschlammverordnung (AbfKlärV) oder der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) zu verwerten. Da es außer beim Einsatz in der Landwirtschaft keine Nachweispflichten für kompostierte Klärschlämme beim Einbringen in den Stoffkreislauf gibt, ist zu unterstellen, dass die Produkte i.d.R. in der Rekultivierung und im Landschaftsbau eingesetzt werden. Mit Inkrafttreten der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) sind außerhalb des Regelungsbereiches der Klärschlammverordnung (Landwirtschaft/Gartenbau) die materiellen Anforderungen des Bodenschutzrechtes anzuwenden, hier ist insbesondere der § 12 BBodSchV zu beachten. Bei dem Einsatz von Klärschlämmen im Bereich Rekultivierung/Landschaftsbau sind nicht nur die Schadstoff- sondern auch die Nährstoffgehalte im Hinblick auf eine schadlose und nützliche Verwertung relevant (gute fachliche Praxis)<sup>25</sup>.

Langfristig muss mit einem Rückgang dieses Entsorgungspfades gerechnet werden, da die Rekultivierung devastierter Flächen im größeren Maßstab in den nächsten Jahren abgeschlossen sein wird und der mengenmäßige Einsatz von Klärschlämmen aufgrund der hohen Nährstoffgehalte durch die BBodSchV limitiert wird.

Die landschaftsbauliche Nutzung von Klärschlamm ist aus Gründen des Grundwasserschutzes im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung nicht akzeptabel.

#### **4.2.2 Thermische Behandlung von Klärschlamm**

Für die thermische Behandlung von Klärschlamm werden Verbrennungs- oder Vergasungsverfahren eingesetzt. Bei der Verbrennung/Co-Verbrennung werden die organischen Anteile (Schlamm biomasse und Schadstoffe) bei Temperaturen größer 850°C mit Luft praktisch vollständig in Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und Wasser (H<sub>2</sub>O) umgewandelt, die fühlbare Wärme der Rauchgase wird zur Dampf- und Stromerzeugung genutzt. Bei der Vergasung entsteht ein heizwerthaltiges Prozessgas (Synthesegas), das sowohl stofflich als auch energetisch verwertet werden kann. Die inerten Bestandteile des Klärschlammes werden als Asche oder Schlacke (je nach Prozesstemperatur) ausgetragen. Der Kohlenstoffrestgehalt der Aschen / Schlacken liegt in der Regel bei < 3 Gew.-%. Die Auslaugbarkeit (Freisetzung von Schadstoffen, z.B. Schwermetalle) wird nach den strengen Vorschriften der LAGA überprüft. Die Schlacken / Aschen werden stofflich verwertet, z.B. als Zuschlagstoffe in der Zementproduktion oder im Straßenbau, oder deponiert.

Für die thermische Behandlung ist der untere Heizwert Hu des Klärschlammes das entscheidende Kriterium. Dieser hängt wesentlich vom Wassergehalt bzw. vom Trockensubstanzgehalt (TS) und somit von der Vorbehandlung des Klärschlammes ab. Nach dem Eindicker wer-

<sup>25</sup> BMU/BMVEL: Landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm, Gülle und anderen Düngern unter Berücksichtigung des Umwelt- und Verbraucherschutzes; Wissenschaftliche Anhörung 25./26.10.2001 in Bonn; KTBL-Schrift 404. Bonn 2001



den TS-Gehalte von maximal 10 Gew.-% erreicht. Eine mechanische Entwässerung (Zentrifuge, Dekanter, Filterpresse) führt zu TS-Gehalten von 20 bis 45 Gew.-%. Bei der thermischen Trocknung werden 80 bis 95 Gew.-% TS erreicht, bei der solaren Klärschlamm-trocknung 50 bis 90 Gew.-% TS.

Eine selbstgängige Verbrennung (ohne Zufeuerung von Stützbrennstoff) ist ab einem unteren Heizwert  $H_u$  von ca. 5 MJ/kg möglich. Dieser Heizwert stellt sich je nach Art des Klärschlammes bei einem TS-Gehalt im Bereich 40 bis 70 Gew.-% ein. Mechanisch entwässerter Klärschlamm kann daher in der Regel nur mit Stützbrennstoff verbrannt werden.

Die energetische Verwertung von Abfällen ist nach europäischer Rechtsprechung an den Ersatz von Primärbrennstoffen gebunden, gemäß Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz ist sie nur für Abfälle mit einem Heizwert  $H_u > 11$  MJ/kg möglich. Diese Festlegung ist rein politisch motiviert (die thermische Behandlung von Hausmüll sollte rechtlich nicht als energetische Verwertung anerkannt werden). Die energetische Verwertung von Klärschlamm setzt auf Grund der gesetzlichen Vorgabe damit in der Regel eine thermische oder solare Trocknung voraus. Vom technisch/wissenschaftlichen Standpunkt gesehen ist eine Trocknung in Abhängigkeit vom Verbrennungsverfahren nicht zwingend in einem isolierten Verfahrensschritt notwendig, es können Abfälle mit deutlich geringerem Heizwert energetisch verwertet werden (der Heizwert des Brennstoffs Braunkohle liegt bei ca.  $H_u = 8$  MJ/kg).

#### 4.2.2.1 Monoverbrennung

Klärschlämme insbesondere aus der industriellen Produktion werden überwiegend in Wirbelschichtöfen verbrannt. Man unterscheidet stationäre und zirkulierende Wirbelschichten. Der Klärschlamm muss entwässert und eventuell mit einem Heizwertträger (z.B. Ballastkohle) angereichert werden, bevor er in den Wirbelschichtofen eingetragen wird. Moderne stationäre Wirbelschichtanlagen werden heute für Durchsätze bis 50 000 t STS/a (Schlamm-trocken-substanz) gebaut, dies entspricht einer Filterkuchenmenge von ca. 200 000 t/a bzw. einer thermischen Leistung von ca. 25 MW (unterer Heizwert ca. 3 500 kJ/kg). Prinzipiell besteht der Wirbelschichtofen aus einem zylindrischen Schacht mit einem Düsenboden, durch den vorgewärmte Verbrennungsluft eingetragen wird. Die Luft durchströmt das Wirbelbett gegen die Schwerkraft und hält es damit in Bewegung. Das Bettmaterial besteht zu ca. 90 Prozent aus Sand oder Schlacke und nur zu ca. 10 Prozent aus Brennstoff. Das Inertmaterial dient als Wärmeträger. Aufgrund der intensiven Durchmischung von Inertmaterial, Brennstoff und Verbrennungsluft stellen sich im Wirbelbett sehr homogene Temperatur- und Konzentrationsverteilungen ein, so dass heizwertarme Brennstoffe sehr gut ausbrennen. Die Feuer-raumtemperatur liegt bei 850 bis 950°C. Die fühlbare Wärme der Rauchgase wird zur Dampf- und Stromproduktion genutzt.

Neben der Wirbelschicht ist der Etagenherdofen für industrielle Klärschlämme im Einsatz. Dieses System ist jedoch verfahrenstechnisch sehr anspruchsvoll (drehende Teile im Hochtemperaturprozess) und hat für die Monoverbrennung von Klärschlamm keine Vorteile gegenüber der Wirbelschicht.

In Baden-Württemberg werden 2 kommunale Klärschlammverbrennungsanlagen auf Basis der Wirbelschichttechnologie betrieben (Gesamtkapazität 35 000 t STS/a). Eine weitere Anlage in Bayern (10 000 t STS/a) verarbeitet Klärschlamm aus Baden-Württemberg. Eine Zyklonverbrennung mit vorgeschalteter Wirbelschichttrocknung (2 000 t STS/a) ist nicht in Betrieb.

**Die Mono-Verbrennung von Klärschlamm im Wirbelschichtofen ist Stand der Technik. Günstigstes Verfahren unter dem Gesichtspunkt Schadstoffsenke (Zerstörung von organischen Schadstoffen und Abscheidung von Schwermetallen). Geringerer elektrischer Wirkungsgrad (< 20 Prozent) gegenüber Kraftwerk, hohe Kosten.**

Bei der **Mitverbrennung** wird Klärschlamm als Ersatzbrennstoff in Feuerungsanlagen für fossile Brennstoffe (Kohlekraftwerk), in Müllverbrennungsanlagen (Rostöfen) oder in Hochtemperaturprozessen der Grundstoffindustrie (Zementdrehrohrofen) zugefeuert. Diese Anlagen sind verfahrenstechnisch für den Einsatz eines Regelbrennstoffs (z.B. Kohle, Hausmüll) ausgelegt und können daher nur einen begrenzten Anteil dieses Regelbrennstoffs durch Klärschlamm ersetzen.

Beim Einsatz von Klärschlamm als Ersatzbrennstoff muss der Anlagenbetreiber Vorteile und Risiken bewerten. Dabei sind insbesondere folgende Aspekte zu beachten:

- verfahrenstechnische Änderungen erforderlich, z.B. Beschickung
- prozesstechnische Risiken möglich
- Produktqualität kann sich verändern, z.B. Schlackeverwertung
- Emissionen können ansteigen, z.B. Quecksilber
- Genehmigung muss erweitert werden, z.B. nach Immissionsschutzrecht
- Ökonomie muss überprüft werden, z.B. Brennstoffkosten
- Soziale / politische Randbedingungen, z.B. Akzeptanz des Umfeldes

#### 4.2.2.2 Mitverbrennung in der Müllverbrennungsanlage

Hausmüll, hausmüllähnliche Gewerbeabfälle und spezielle Abfallfraktionen werden überwiegend in Rostöfen bei Temperaturen > 850°C verbrannt. Die Anlagen sind für ein breites Abfallspektrum mit einem mittleren Heizwert von 8 bis 11 MJ/kg ausgelegt. Höhere Heizwerte sind mit technischen Maßnahmen sicher beherrschbar, niedrigere Heizwerte erfordern den Einsatz von hochwertigem Zusatzbrennstoffen. Die im Brennstoff chemisch gebundene Enthalpie wird zur Dampf- und Stromproduktion genutzt; die Anlagen sind jedoch aufgrund der gesetzlichen Randbedingungen nur im Ausnahmefall als Anlagen zur energetischen Verwertung genehmigt. Der Inertanteil des Brennstoffs wird als Rostasche ausgetragen und überwiegend im Straßenbau oder als Zuschlagstoff stofflich verwertet. Die gas- und partikelförmigen Schadstoffe werden in einer aufwändigen Rauchgasreinigung auf Emissionswerte gemäß 17. BImSchV gereinigt.

Mechanisch entwässerte Klärschlämme können mit einem Anteil von bis zu 20 Gew.-% über das Standardbeschickungssystem (Bunker) aufgegeben werden. Für die Anlagenbetreiber ergeben sich Probleme bzgl. Geruchsbelästigung und Hygiene bei Anlieferung und im Bunker (Biostoff-VO). Quecksilber-Emissionen können bei bestimmten Konfigurationen der Rauchgasreinigungssysteme zusätzliche technische Maßnahmen erfordern.

In Baden-Württemberg werden 6 Müllverbrennungsanlagen (MVA), davon 5 Rostöfen mit einer Gesamtkapazität von 0,9 Mio. t/a (BRD: 58 Anlagen mit 13 Mio. t/a) betrieben. Die Anlagen sind zur Zeit überwiegend noch nicht voll ausgelastet. Nach Ablauf der Übergangsfristen der TA Siedlungsabfall und Inkrafttreten der Abfallablagereverordnung (1.6.2005) wird die Kapazität der verfügbaren Anlagen durch die gegenwärtig noch deponierten Abfallmengen voll ausgelastet werden.

Im Jahr 2001 wurden in Deutschland 12 MVAs mit einer Gesamtmenge von 39 000 t/a TS Klärschlamm beschickt. Eine Erhöhung der Mengen auf 63 000 t/a war zu diesem Zeitpunkt geplant<sup>26</sup>. Diese Mengen entsprechen einem Anteil von ca. 2 Prozent der gesamten (kommunalen) Klärschlammmenge in Deutschland.

<sup>26</sup> ITAD-Arbeitsgruppe Klärschlamm: Klärschlamm Entsorgung und Mitverbrennung von Klärschlamm in thermischen Abfallbehandlungsanlagen, 2003

**Die Mitverbrennung von Klärschlamm in Müllverbrennungsanlagen (MVA) ist Stand der Technik. Nach Inkrafttreten der Abfallablagerungsverordnung in Verbindung mit der TA Siedlungsabfall (1.6.2005) wird eine Vollauslastung der MVAs durch Hausmüll erwartet. Kapazitäten für die Klärschlammverbrennung regeln sich über die erzielbaren Preise. Ökologie und Ökonomie vergleichbar mit Mono-Verbrennung.**

#### **4.2.2.3 Mitverbrennung im Kraftwerk / Heizkraftwerk**

Die in der Kraftwerkstechnik eingesetzten Feuerungssysteme sind Rostfeuerung, Wirbelschicht und Staubfeuerung. Großanlagen werden in der Regel als Staubfeuerungen im Leistungsbereich 300 bis 2000 MW thermisch ausgeführt. Als Brennstoff wird sowohl Steinkohle (Hu = 30 MJ/kg, Wassergehalt < 13 Gew.-%) als auch Braunkohle (Hu = 8 MJ/kg, Wassergehalt = 50 Gew.-%) eingesetzt. Der Abzug der Asche erfolgt schmelzflüssig (Schmelzkammerfeuerung) oder staubförmig (Trockenfeuerung). Die Schlacke wird im Straßenbau oder als Zuschlagstoff stofflich verwertet. Die gas- und partikelförmigen Schadstoffe werden in einer aufwändigen Rauchgasreinigung auf Emissionswerte gemäß 13. BImSchV (Großfeuerungsanlagen Verordnung) gereinigt. Beim Einsatz von Abfall müssen die Emissionsgrenzwerte der novellierten 17. BImSchV, die in Abhängigkeit von der Art der Mitverbrennungsanlage teilweise feste Emissionsgrenzwerte (z.B. für Quecksilber) und für verschiedene Abgasparameter gleitende Emissionsgrenzwerte (in Abhängigkeit von der mitverbrannten Abfallart und -menge) vorsieht, eingehalten werden. Der elektrische Wirkungsgrad von Kohlekraftwerken liegt bei ca. 40 Prozent und damit um den Faktor zwei über den Wirkungsgraden der Stromerzeugung der Mono- und Müllverbrennungsanlagen.

Für den Klärschlammeinsatz sind, wie bei der Müllverbrennung auch, bei den Kraftwerken hauptsächlich die Verfahrensschritte Anlieferung und Beschickung besonders zu beachten. Auf Grund des hohen Wassergehalts muss bei mechanisch entwässerten Klärschlämmen die Erhöhung der Rauchgasmenge als kapazitätsbegrenzende Größe berücksichtigt werden. Die Einhaltung der Quecksilber-Emissionsgrenzwerte kann ebenfalls die Klärschlammmenge begrenzen<sup>27</sup>.

Mechanisch entwässertes Klärschlamm kann in Braunkohlekraftwerken mit 5 Prozent Anteil bezogen auf die thermische Gesamtleistung eingesetzt werden. In mit Steinkohle gefeuerten Kraftwerken kann mechanisch entwässertes Klärschlamm bis maximal 5 Prozent eingesetzt werden; thermisch (solar) getrockneter Klärschlamm kann mit höherem Anteil zugegeben werden.

Wesentliche Kriterien der Kraftwerksbetreiber bei der Mitverbrennung von Klärschlamm sind:

- Es darf keine Beeinträchtigung des Hauptprozesses der Stromerzeugung (bzgl. Anlagenverfügbarkeit, Anlagenkapazität) auftreten
- keine Einschränkung der Verwertungsfähigkeit der Produkte (Schlacke, REA-Gips)
- Akzeptanz der Mitverbrennung im Umfeld (politisch, sozial)

Die Mitverbrennung von Klärschlamm in Kraftwerken ist heute Stand der Technik<sup>28</sup>.

Die Kapazitäten der Kohlekraftwerke in Deutschland (Steinkohle: 46,5 Mio. t/a SKE, Braunkohle: 45,9 Mio. t/a SKE, Basis 1998) sind theoretisch ausreichend, um bei einem thermischen Anteil von 3 Prozent Klärschlamm das gesamte Klärschlammaufkommen in Braunkoh-

<sup>27</sup> FORKERT J., MIELKE F., KAPPA S.: Betriebserfahrungen bei der thermischen Verwertung von Sekundärbrennstoff im Braunkohlekraftwerk; 9. Fachtagung Thermische Abfallbehandlung. Kassel 2004

<sup>28</sup> SCHEURER, W.; RICHERS, U.: Untersuchungen zum Stand der Mitverbrennung von Klärschlamm, Hausmüll und Biomasse in Kohlekraftwerken; IVD Stuttgart FZ Karlsruhe, 2000

lekraftwerken mit zu verbrennen<sup>29</sup>. In Steinkohlekraftwerken ist die Mitverbrennungskapazität für mechanisch entwässerten Klärschlamm auf Grund der sehr unterschiedlichen Brennstoff-Spezifikation deutlich geringer.

In einer Studie der Landesanstalt für Umweltschutz<sup>30</sup> wird die genehmigte Kapazität für die Mitverbrennung von Klärschlamm in Kraftwerken in Baden-Württemberg mit 40 000 t/a angegeben (Heizkraftwerk Heilbronn). Die tatsächlich verbrannten Mengen lagen 2001 bei 28 000 t.

**Die Mitverbrennung von Klärschlamm in Kohlekraftwerken ist Stand der Technik. Die Kapazitäten der Braunkohlekraftwerke sind theoretisch ausreichend, um die Gesamtmenge Klärschlamm in Deutschland bei einem Lastanteil von 3 Prozent mit zu verbrennen. Ökonomisch und ökologisch günstigstes Verfahren.**

#### 4.2.2.4 Mitverbrennung im Zementdrehrohr

Zementklinker wird bei Temperaturen von 1200 bis 1500°C im Drehrohr aus Kalkstein und Ton/Kalksteinmergel gebrannt. Sekundärrohstoffe wie z.B. Schlämme aus der Wasseraufbereitung, Gießereialsande und Aschen aus Verbrennungsprozessen ersetzen bis zu 35 Prozent, in Ausnahmefällen bis zu 95 Prozent der Primärrohstoffe. Stein- und Braunkohle sind die Hauptenergieträger des Hochtemperaturprozesses, bis zu 60 Prozent des Energiebedarfs wird aus Sekundärbrennstoffen (hauptsächlich Altreifen, Altöl, aufbereitete Fraktionen aus Haus- und Gewerbemüll) gedeckt.

Klärschlämme können als Sekundärrohstoff (hoher Inertanteil) und Sekundärbrennstoff (Heizwert) im Klinkerbrennprozess fungieren. Der im Klärschlamm enthaltene Phosphor beeinflusst die Klinkerqualität ab Konzentrationen >2 Gew.-% Phosphat (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) negativ<sup>31</sup>. Dieser Wert ist aufgrund der Mengenverhältnisse nicht problematisch für den Einsatz von Klärschlamm im Zementprozess.

Grundsätzlich müssen bei der Mitverbrennung von Klärschlamm in Zementdrehrohröfen die Schadstoffpfade kritisch betrachtet werden. Organische Schadstoffe werden auf Grund der hohen Temperaturen und Verweilzeiten praktisch vollständig zerstört. Schwermetalle werden entweder im Produkt (Zementklinker) eingebunden und damit über das Baugewerbe diffus in die Umwelt eingebracht oder über das Abgas in die Atmosphäre abgegeben (Zementdrehrohröfen haben außer der Staubabscheidung keine weiteren Rauchgasreinigungsstufen). Bei den Rauchgasen ist die Einhaltung der Quecksilber-Emissionsgrenzwerte nach 17. BImSchV problematisch.

In der erwähnten Studie der Landesanstalt für Umweltschutz wird die genehmigte Kapazität für die Mitverbrennung von Klärschlamm in der Zementindustrie in Baden-Württemberg mit 21 000 t/a angegeben (Versuchskapazität in einem Zementwerk). Diese Kapazität wurde praktisch nicht genutzt. Bundesweit wurden ebenfalls nur verschwindende Mengen an Klärschlamm eingesetzt.

Zur Zeit werden, auch auf Initiative der Landesregierung Baden-Württemberg, verstärkt Untersuchungen zur Mitverbrennung von Klärschlamm durchgeführt. Dabei werden nach Aussage des Vereins Deutscher Zementwerke überwiegend thermisch getrocknete Klärschlämme eingesetzt.

<sup>29</sup> URBAN, A. I.; BILITEWSKI, B.; FAULSTICH, M.: Prognosen zu Abfallmengen und Behandlungskapazitäten für die thermische Behandlung von Abfällen; 9. Fachtagung Thermische Abfallbehandlung. Kassel 2004

<sup>30</sup> LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG: Mitverbrennung von Abfällen in Zement- und Kohlekraftwerken in Baden-Württemberg (Kurzfassung). Karlsruhe 2003

<sup>31</sup> SALGE, H.; THORMANN, P.: Über den Einfluss von P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> auf die Konstitution von Portlandzementklinker, ZKG Intern 26 No.11, 532-539, 1973

**Die Einbindung der Schwermetalle in den Baustoff Zement ist entscheidend für die ökologische Bewertung des Verwertungsweges. Die im Auftrag des UVM durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, dass ein begrenzter Einsatz von kommunalen Klärschlämmen in der Mitverbrennung im Zementwerk schadlos möglich ist. Hohe verfügbare Kapazitäten, ökonomisch günstig.**

#### **4.2.2.5 Vergasungsverfahren**

Verfahren zur Vergasung von Abfällen wurden aus der Kohlevergasung weiterentwickelt. Die Abfälle werden mit einem Vergasungsmittel (Dampf, Sauerstoff, Luft) bei Temperaturen von 1200 bis 2000°C teilweise unter erhöhtem Druck (bis 30 bar) in ein heizwertreiches Gas (Synthesegas) umgewandelt. Synthesegas wird zur Produktion von Chemierohstoffen, Kraftstoffen oder zur Stromerzeugung genutzt.

In den Vergasern der SVZ Schwarze Pumpe (Sachsen) wurden 24 000 t thermisch getrockneter und brikettierter Klärschlamm (STS) in 2001 vergast.

In Baden-Württemberg ist eine Pilotanlage zur Monovergasung von Klärschlamm in Betrieb (1 000t STS/a).

Die Wirtschaftlichkeit des großtechnischen Verfahrens der SVZ ist nicht geklärt, so dass dieses Verfahren zur Zeit keine langfristige Entsorgungssicherheit für Klärschlamm bieten kann.

**Die Mit-Vergasung von Klärschlamm in Abfallvergasungsanlagen ist Stand der Technik. Die zukünftige Verfügbarkeit dieser Verfahren ist fraglich, da die Wirtschaftlichkeit nicht geklärt ist. Verfahren ökologisch günstig, hohe Kosten.**

#### **4.2.3 Nassoxidative Verfahren**

Eine weitere Möglichkeit der Klärschlammbehandlung sind nassoxidative Verfahren. Mit dem Begriff Nassoxidation wird die flammenlose Oxidation von Substanzen in wässriger Lösung oder dispergiert mit Sauerstoff, Luft oder anderen Oxidationsmittel bei erhöhtem Druck und hohen Temperaturen umschrieben. Das Seaborne-Verfahren ist das Einzige noch verwendete Verfahren.

##### **4.2.3.1 Seaborne-Verfahren**

Das Seaborne-Verfahren ist ein Verfahren zur Aufbereitung organischer Reststoffe (Klärschlamm, Gülle). Die einzelnen Stufen der Seaborne-Technologie sind grundsätzlich keine neuen Verfahrensschritte. Sie werden in unterschiedlichen Bereichen der Abwasserreinigung oder der chemischen Industrie teilweise seit Jahren verwendet und sind hier zu einem komplexen Gesamtprozess gekoppelt. Seit 2000 ist eine Pilotanlage in Owschlag (Schleswig-Holstein) in Betrieb mit einer Durchsatzleistung von 4 000 m<sup>3</sup>/a (ca. 7-8 m<sup>3</sup>/d). Der Bau einer Seaborn-Anlage im Klärwerk Gifhorn soll Anfang 2005 beendet sein und die Anlage Ende 2005 den Betrieb aufnehmen.

Aus der Biomasse werden Schwermetalle mittels einer chemischen Lösung extrahiert und anschließend mit Schwefelwasserstoff, der aus dem Biogas stammt, gefällt. Das aus der Biomasse entstandene und entschwefelte Biogas wird zur energetischen Verwertung zu Methangas aufgearbeitet. Die ausgefaulte Biomasse wird in einem Separator in Fest- und Flüssiganteile getrennt. Die Feststoffe werden getrocknet, pelletiert und können so als Heizmaterial eingesetzt werden. In der nachfolgenden Stickstoff-Wiederaufbereitung werden Pflanzennährstoffe wie Natrium, Phosphor und Kalium durch chemische Fällung aus der flüssigen Phase extrahiert und anschließend zu reinen Nährstoffdüngemitteln (Mineraldünger) zusammengesetzt. Übrig bleiben neben Wasser, das bis zur Vorfluterqualität gereinigt

werden kann, mineralische Bestandteile (Silicate), die im Straßenbau eingesetzt werden können.

Ein interessanter Aspekt bei dieser Technologie ist die Möglichkeit der gemeinsamen Behandlung von Klärschlamm und Gülle, da hier das Rückgewinnungspotenzial erweitert werden kann<sup>32</sup>.

**Die Ökobilanz der Klärschlamm-Entsorgung in Schleswig-Holstein bescheinigt dem Seaborne-Verfahren positive Entwicklungspotenziale, vor allem durch den integrativen Ansatz<sup>33</sup>. Jedoch ist die Schlammbehandlung nach dem Seaborne-Verfahren mit erheblichen Kostensteigerungen verbunden.**

#### 4.2.3.2 Verfahren in der Entwicklung

Zusätzlich zu den oben genannten nassoxidativen Verfahren und Methoden gibt es eine Vielzahl von Entwicklungen, die sich zum größten Teil noch im Labormaßstab befinden. Nur wenige sind in einer Vorpilothase. Diese fokussieren auf eine Schlammdesintegration noch im Klärwerk, um eine verbesserte Abbaubarkeit und eine verstärkte Überführung von Nährstoffen, wie z.B. Phosphor in die wässrige Phase zur späteren Auskristallisierung, zu erreichen sowie eine eventuelle Monoverbrennung hinsichtlich der Ascheverwertung zu unterstützen<sup>34</sup>.

**In den vergangenen Jahren hat sich kein Verfahren als wirtschaftlich und ökologisch sinnvoll erwiesen, so dass es sich zu einem etablierten Verfahren entwickelt hätte.**

#### 4.2.4 Bewertung der Verfahren

Klärschlämme weisen sowohl Gefährdungspotenziale (organische Spurenschadstoffe, Schwermetalle) als auch Nutzpoteziale (organische Bestandteile, Phosphor) auf. Die beschriebenen Verfahren zur Klärschlammbehandlung werden im Folgenden bzgl. ihrer Eignung zur umweltgerechten Beseitigung bzw. Nutzung dieser Potenziale bewertet. Tabelle 4 fasst die Bewertungsergebnisse zusammen, dabei bedeutet (+ / ++), das Verfahren ist gut / sehr gut geeignet und entsprechend (- / --), das Verfahren ist wenig / nicht geeignet das entsprechende Klärschlammpotenzial zu beseitigen / zu nutzen.

Verfahren	Abbau des Gefährdungspotenzials		Nutzpotenzial	
	Organische Schadstoffe	Schwermetalle	Organik	Phosphor
Deponie	-	-	-	-
Landwirtschaft	--	--	+	+
Landschaftsbau	--	--	+	-
NassOx (Seborn)	+	offen	+	offen
Monoverbrennung	++	++	+	offen
MVA	++	++	+	-
Kraftwerk	++	+	++	-
Vergasung	++	++	++	-
Zement	++	offen	++	-

**Tabelle 4:** Bewertungstabelle für Verfahren zur Klärschlammbehandlung

<sup>32</sup> Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm und Klärschlamm-Asche; 66. Darmstädter Seminar Abwassertechnik. Schriftenreihe WAR 147, Institut WAR, TU Darmstadt, 2002

<sup>33</sup> IFEU-Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg: Ökobilanzielle Betrachtung von Entsorgungsoptionen für Klärschlamm im Land Schleswig-Holstein; April 2002

<sup>34</sup> <http://www.nhm.ac.uk/mineralogy/phos/conferencesummary.pdf>

#### 4.2.4.1 Gefährdungspotenzial

##### Organische Schadstoffe

Bei den thermischen Verfahren zur Klärschlammbehandlung werden alle organischen Schadstoffe (AOX, Medikamentenrückstände, usw.) auf Grund der hohen Prozesstemperaturen sicher zerstört.

In nassoxidativen Verfahren werden die organischen Schadstoffe zum großen Teil abgebaut bzw. in einer nachgeschalteten thermischen Verfahrensstufe zerstört. Die Vielfalt der Verfahren und deren unterschiedlicher Entwicklungsstand lassen keine abschließende Bewertung zu.

Organische Schadstoffe werden bei der Verwertung von Klärschlamm in der Landwirtschaft und im Landschaftsbau nicht zerstört. Sie gelangen über den Boden oder das Grundwasser zurück in den Naturkreislauf.

Bei der Deponierung des Klärschlammes ist der Schadstoffaustrag in Grundwasser und Boden gehemmt (Deponieabdichtung), aber langfristig unvermeidbar.

##### Schwermetalle

Bei den thermischen Verfahren werden die Schwermetalle auf verschiedenen Pfaden aus dem Prozess ausgeschleust: Schlacke / Asche aus Feuerraum und Abhitzekeessel, bei der Zementproduktion als Produkt (Zementklinker), Stäube / Schlämme aus der Rauchgasreinigung und gasförmig als Rauchgasemission.

Eine Quantifizierung der verschiedenen Pfade ist stark von der Spezifikation des Klärschlammes und von der Anlagenstruktur abhängig und somit nur im Einzelfall durchzuführen. Wesentliche Parameter sind die Flüchtigkeit der Schwermetalle und Metallverbindungen, sowie die Prozessparameter und die Art der Rauchgasreinigung.

Allgemein gilt, dass sowohl Monoverbrennungsanlagen als auch Müllverbrennungsanlagen auf Grund ihrer aufwändigen Rauchgasreinigung die höchsten Rückhaltepotenziale für Schwermetalle aufweisen.

Bei Kohlekraftwerken sind ebenfalls sehr hohe Rückhaltepotenziale gegeben, allenfalls leicht flüchtige Metallverbindungen (Quecksilber, Cadmium) werden geringfügig schlechter als bei den obigen Systemen abgeschieden.

Zementwerke besitzen in der Regel neben einer Staubabscheidung Zyklonvorwärmer, die einen intensiven Gegenstromadsorber durch Rohmehlmassenstrom darstellen. Trotzdem können leicht flüchtige Schwermetalle z. T. über das Abgas emittiert werden. Schwermetalle mit höherem Siedepunkt werden im Zementklinker eingebunden oder im Zyklon abgeschieden.

Bei den nassoxidativen Verfahren werden Schwermetalle ausgefällt und als Schlämme entsorgt. Der Abreicherungsgrad kann auf Grund des derzeitigen Entwicklungsstands dieser Verfahren nicht bewertet werden.

Bei der landwirtschaftlichen Ausbringung, im Landschaftsbau und bei der Deponierung werden die Schwermetalle über den Boden oder das Grundwasser in den Naturkreislauf rückgeführt.

#### 4.2.4.2 Nutzungspotenziale

##### Organische Substanz

Bei den thermischen Verfahren wird die organische Substanz des Klärschlammes in Dampf / Elektrizität oder Synthesegas umgewandelt. Der untere Heizwert von mechanisch entwässertem Klärschlamm entspricht dem Wert von Rohbraunkohle, d.h. Klärschlamm ist ein wertvoller Brennstoff. Die Mitverbrennung in Kraftwerk und Zementproduktion ist auf Grund der höheren Wirkungsgrade günstiger als die Mono-Verbrennung und die Mitverbrennung in Abfallverbrennungsanlagen.

Die Nutzung der organischen Substanz wird bei den nassoxidativen Verfahren unterschiedlich realisiert, teilweise wird sie als Brennstoff energetisch verwertet.

Bei der Deponierung werden die organischen Substanzen im Klärschlamm in Deponiegas umgewandelt, das z. T. energetisch verwertet wird, überwiegend werden sie ungenutzt in die Atmosphäre abgegeben und tragen somit zum Treibhaus-Effekt bei.

##### Phosphor

Phosphor kann bei der Mono-Verbrennung aus der Asche rück gewonnen werden, gleiches gilt bei der nassoxidativen Oxidation. Die Verfahren zur P-Rückgewinnung sind jedoch sehr aufwändig und z. Zt. im Entwicklungsstadium. Die Wirtschaftlichkeit der Verfahren ist heute nicht gegeben.

Bei der thermischen Verwertung des Klärschlammes in Mitverbrennungs-Verfahren ist auf Grund der starken Verdünnung eine P-Rückgewinnung aus den Aschen nicht sinnvoll.

Die Ablagerung von Klärschlamm auf der Deponie und die Verwertung im Landschaftsbau erlauben keine P-Rückgewinnung.

#### 4.3 Empfehlungen

Ein Ausstieg aus der Klärschlamm Entsorgung auf landwirtschaftlich genutzten Flächen entzieht den Verwendern von Klärschlamm eine lukrative Einkommensmöglichkeit. Allerdings sind der Anteil der Betriebe und der Anteil der Flächen in Baden-Württemberg vergleichsweise gering. Die Kosten der Klärschlamm Entsorgung werden bei Übergang zu anderen Entsorgungsformen teilweise deutlich erhöht. Die volkswirtschaftlichen Kosten verringern sich allerdings in Folge einer Gutschrift für verminderte CO<sub>2</sub>-Emissionen. Es sollte genauer analysiert werden, welchen Einfluss die Treibhausgase Distickstoffoxid (N<sub>2</sub>O) und Methan (CH<sub>4</sub>) im Vergleich zu relevanten Klärschlamm Entsorgungsverfahren auf die Treibhausgasbilanzen haben.

Es bleibt festzuhalten, dass im Sinne der Nachhaltigkeit weitere Verschärfungen der Anforderungen an eine Klärschlammverwertung sinnvoll sind. Das Image des Klärschlamm Einsatzes wird anhaltend schlechter und als Folge davon werden die Einsatzmöglichkeiten auf wenige Flächennutzungen reduziert und Produkte, die auf diesen Flächen erzeugt werden, sind möglicherweise schwieriger zu vermarkten. Landwirten ist deshalb zu empfehlen, die weitere Entwicklung aufmerksam zu verfolgen und nach Wegen zu suchen, mögliche Einkommensverluste, die durch den Verzicht auf Klärschlammverwendung auf sie zukommen, durch höhere Preise bei der Vermarktung der Produkte zu kompensieren.

Bezüglich der *thermischen Verfahren* bleibt festzuhalten, dass die Mitverbrennung von Klärschlamm großtechnisch erprobt ist. Mitverbrennung im *Kohlekraftwerk* ist das Verfahren mit dem größten ökologischen und ökonomischen Potenzial, insbesondere bei mit Rohbraunkohle befeuerten Kraftwerken (Einsatz von mechanisch getrocknetem Schlamm). Die Kapazitäten der Kraftwerke reichen aus, um die gesamte Klärschlammmenge mit zu verbrennen



(bezogen auf die Bundesrepublik Deutschland). Da in Baden-Württemberg allerdings keine mit Braunkohle befeuerten Anlagen zur Verfügung stehen, wäre ein Transport des mechanisch vorgetrockneten Klärschlammes erforderlich. Die Mitverbrennung im *Zementdrehrohr-Ofen* ist ökonomisch günstig. Große Kapazitäten sind verfügbar. Die Auswirkungen der Einbindung der im Klärschlamm enthaltenen Schwermetalle in den Klinker sind beim Einsatz größerer Klärschlamm-mengen langfristig zu verfolgen. Deshalb ist keine abschließende ökologische Bewertung möglich. Freie Kapazitäten in *Monoverbrennungsanlagen* sollten genutzt werden. *Vergasungsverfahren* sind zur Zeit aus wirtschaftlichen Gründen noch keine Option. *Nassoxidative Verfahren* befinden sich im Entwicklungsstadium. Mittelfristig sind hiervon keine wesentlichen Impulse für Baden-Württemberg zu erwarten.

Bei der Untersuchung, welcher Beitrag zu einer nachhaltigen Entwicklung von welcher Entsorgungslösung ausgeht, muss das gesamte System der Entsorgung betrachtet werden, d.h. alle notwendigen Prozesse sind einzubeziehen. So sind etwa alle Transporte und die Bereitstellung von Energie für die Prozesse zu berücksichtigen. Selbstverständlich ist der Nutzen, der durch die Verwertung der Ressourcen im Klärschlamm entsteht, angemessen gutzuschreiben. So vermeidet etwa die Verwertung von Phosphat aus Schlamm den Abbau, die Aufbereitung und den Transport von Rohphosphat aus Lagerstätten. Bei der Bewertung des Beitrages zur nachhaltigen Entwicklung muss von der derzeitigen Situation bzgl. Mengen und Schädlichkeit des in Baden-Württemberg anfallenden Klärschlammes ausgegangen werden. Es ist schließlich ein Ziel, Abwässer so zu reinigen, dass sie die Flüsse möglichst nicht verschmutzen. Eine Schadstoffsenke bei der Abwasserreinigung stellt derzeit jedoch der Klärschlamm dar.

**Solange kein Durchbruch bei einer erheblichen Reduzierung der schädlichen Inhaltsstoffe im Klärschlamm erreicht werden kann, sollte in Einklang mit den Empfehlungen der Landesregierung Baden-Württemberg von einer Nutzung des Klärschlammes in der Landwirtschaft *und im Landschaftsbau* abgesehen werden. Alternativen, wie die thermische Behandlung von Klärschlamm, sollten bevorzugt werden.**

Daneben sind auf folgenden Gebieten verstärkte Anstrengungen in Forschung und Entwicklung angezeigt:

- Wirkungsweise / Abbau der organischen Schadstoffe (z.B. Medikamentenrückstände) im System Boden
- Einbindung von Schwermetallen im Zementklinker, insbesondere beim Einsatz großer Mengen Klärschlamm zur Mitverbrennung im Zementdrehrohr-Ofen
- Ökoeffizienzbewertungen der Phosphor-Rückgewinnung aus Klärschlamm / Klärschlamm-Asche vor dem Hintergrund der P-Flüsse in Deutschland und Baden-Württemberg.

**Tabelle 5:** Entsorgungswege Klärschlamm

	Deponie	Landwirtschaft	Landschaftsbau	NassOx	Monoverbrennung	MVA	Kraftwerk	Vergasung	Zement
<b>Schadstoffe Probleme</b>	Schwermetalle (SM); Organik (Org) z.B. Dioxine, PCB, Medikamente, Flammenschutzmittel, endokrine Substanzen								
<b>Verbleib der Schadstoffe</b>	Luft Boden Grundwasser	Boden Pflanzen/ Nahrungsmittel	Boden Pflanzen Grundwasser	SM: Salze Org: zerstört	SM: Schlacke und Flugstaub Org.: zerstört			SM: Luft, Zement Org.: zerstört	
<b>Wertstoffe Nutzen Produkt</b>		Dünger organ. Substanz	Dünger organ. Substanz	Dünger Biogas Baustoff	Baustoff für Straßenbau		Ersatzbrennstoff höherwertige Baustoffe		Ersatzbrennstoff Zement
					Dampf und Strom				
<b>Rechtliche Rahmenbedingungen</b>	AbfAbIV TASi  <i>Verbot ab 06/2005</i>	AbfKlärV BBodSchV DüMV  <i>weitere Absenkung der Grenzwerte zu erwarten</i>	AbfKlärV BBodSchV DüMV  <i>Grenzwert-Diskussion bzgl. Nährstoffeintrag</i>	AbfKlärV BBodSchV DüMV	17. BImSchV				
<b>Technische Bewertung</b>	nicht relevant TASi			Pilotanlage: Seaborne	Stand der Technik				
					keine freien Kapazitäten	vermutlich keine freien Kapazitäten (TASi)	verfügbare Kapazität für 100 % STS in BRD	geringe freie Kapazitäten	hohe verfügbare Kapazitäten
<b>Ökologische/ Ökonomische Bewertung</b>	nicht relevant TASi	ökologisch: fragwürdig wegen Verbleib der organischen Spurenschadstoffe  ökonomisch: günstig	ökologisch: fragwürdig wegen Verbleib der organischen Spurenschadstoffe  ökonomisch: günstig	ökologisch: Seaborne als günstig bewertet	ökologisch: mittel, Wärmenutzung  ökonomisch: mittel (Investition in neue Anlagen)	ökologisch: mittel, Wärmenutzung  ökonomisch: nicht zu bewerten, TASi	ökologisch: günstig, insbesondere Braunkohle-KW  ökonomisch: günstig, insbesondere Braunkohle-KW	ökologisch: günstig  ökonomisch: ungünstig	ökologisch: offen wegen Einbindung der Schwermetalle  ökonomisch: günstig

## 5. Elektronikschrott

### 5.1 Stand der Verwertung / Beseitigung

#### 5.1.1 Spezifikationen

##### 5.1.1.1 Herkunftsbereich private Haushaltungen

Die Abfallgruppe der **Elektro- und Elektronik-Altgeräte (EAG)** umfasst eine Vielzahl unterschiedlichster Gerätearten, die sich nicht nur nach Funktion, sondern auch wesentlich in ihrer stofflichen Zusammensetzung und dem Materialverbund unterscheiden. In der Sammelpraxis hat sich folgende Fraktionierung etabliert:

- **Kältegeräte:** Insbesondere wegen der FCKW-Problematik werden Kühl- und Gefriergeräte gesondert erfasst und behandelt. Des Weiteren folgt der PU-Isolierschaum einem gesonderten stofflichen Entsorgungsweg.
- Als „**Weißer Ware**“ werden alle Haushaltsgroßgeräte außer Kältegeräten bezeichnet, also beispielsweise Elektroherde, Spül- und Waschmaschinen oder Wäschetrockner. Diese Geräte zeichnen sich durch einen hohen Eisenmetallgehalt aus. Über 70 Gew.-% der demontierten Geräte können nach Stand der Technik alleine durch das Stahl-Recycling stofflich verwertet werden<sup>35</sup>. Häufig wird Weiße Ware gemeinsam mit anderem Stahl- und Eisenschrott erfasst, zumindest jedoch gemeinsam verwertet.
- Die derzeit als Abfall anfallenden **Bildschirmgeräte** sind nahezu ausschließlich Röhrengeräte und keine LCD. Die evakuierte Kathodenstrahlröhre bedingt wegen Implosionsgefahr besonderen Umgang bei Transport und Behandlung. Die Hälfte des Gerätegewichts entfällt auf Glas, in das u.a. Barium, Strontium und Blei in großen Anteilen eingebunden ist.
- Mitunter werden „wertstoffreiche“ Geräte separat erfasst. Dazu zählen vor allem Geräte aus dem Bereich **Informations- und Telekommunikationstechnologie („Graue Ware“)**, die einen vergleichsweise hohen Kupfer- und Edelmetallgehalt aufweisen und aus wirtschaftlichen Interessen getrennt gehalten werden.
- **Leuchtstoffröhren** werden einer gesonderten Behandlung zugeführt.
- Alle anderen Gerätearten werden als **sonstige EAG** gefasst. Typischerweise finden sich darunter beispielsweise Küchenkleingeräte, elektrisches Spielzeug oder elektrische Werkzeuge.
- Der Begriff „**Braune Ware**“ steht für Unterhaltungselektronik. Je nach Gerät wird diese Gerätekategorie unterschiedlich erfasst: Beispielsweise sind HiFi-Anlagen tendenziell wertstoffreich im Gegensatz zu Radiorekordern. Fernsehgeräte fallen selbstverständlich in die Sammelfraktion der Bildschirmgeräte.

Die europäische Richtlinie über EAG (Richtlinie 2002/96/EG) unterteilt abweichend in zehn Gerätekategorien. Diese Einteilung orientiert sich am Gebrauchszweck der Geräte, nicht an der Entsorgungspraxis.

<sup>35</sup> SALHOFER, S. ET AL.: Mechanische Aufbereitung von Elektroaltgeräten. Republik Österreich, Schriftenreihe des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Band 7/2000

### 5.1.1.2 Gewerblicher Herkunftsbereich

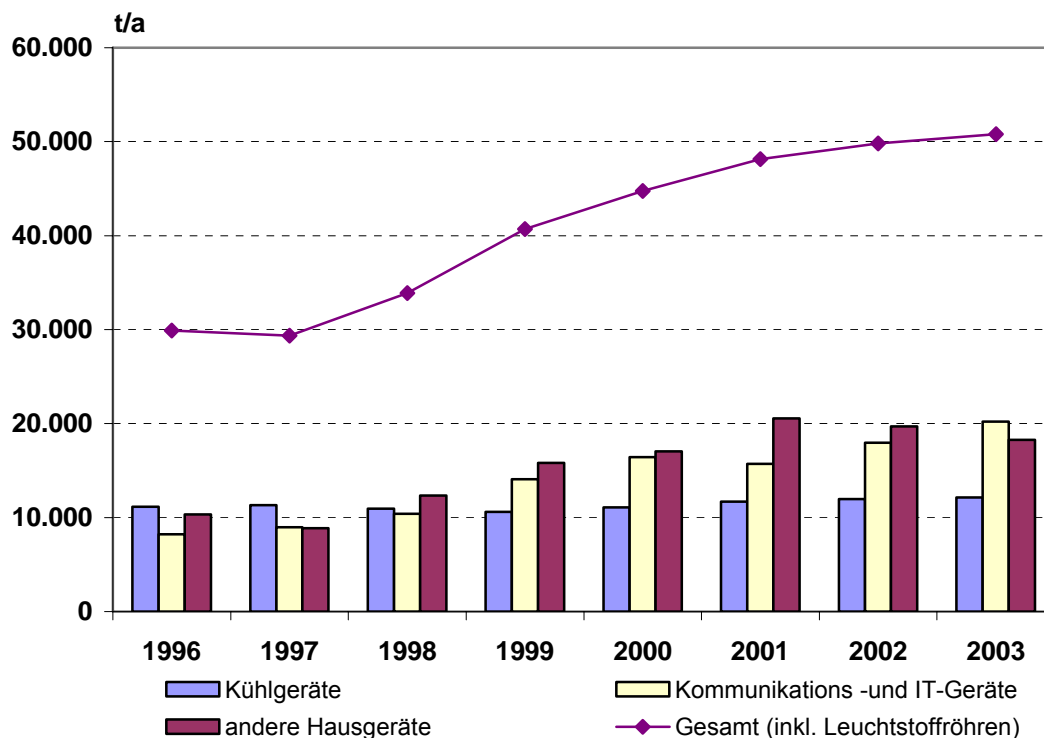
Im Gegensatz zu den privaten Haushaltungen, in denen ein buntes Gemisch an elektrischen und elektronischen Geräten anfällt, sind beim gewerblichen Abfall mitunter größere Chargen identischer Geräte zu finden. Hierzu zählen nicht nur Elektro(nik)geräte aus gewerblicher Nutzung, sondern beispielsweise auch Rücklauf aus dem Leih- und Leasingbereich sowie Produktionsrückstände und Ausschussware. Außerdem bieten manche Hersteller bzw. Händler Entsorgungsleistungen im gewerblichen Bereich als Service an, beispielsweise Tausch von Alt- gegen Neugeräte beim Kunden. Die hier anfallenden Mengen sind i.d.R. statistisch nicht erfasst.

Des Weiteren werden mache Abfallströme, wie z.B. Geräte aus der Steuerungs- und Regeltechnik oder aus anderen gewerblichen Bereichen, nicht direkt der Verwertung bzw. dem Recycling zugeführt. Hier wird in der Regel ein firmeninterner Demontage- oder Zerstörungsschritt vorgeschaltet, um zu verhindern, dass Konkurrenten aus dem Abfall die firmeneigene Technologie entnehmen können. Gewisse Gerätearten fallen fast ausschließlich im gewerblichen Bereich an, z.B. Getränkeautomaten, Spielautomaten oder medizinisches Gerät.

Für die zukünftigen Sammel- und Verwertungsstrategien des Landes Baden-Württemberg spielen die Altgeräte aus dem gewerblichen Bereich keine Rolle, da in Zukunft die Hersteller nicht nur für die Entsorgung, sondern auch für die Erfassung direkt verantwortlich sind. Diese Geräte werden somit nicht dem öffentlichen Sammelsystem zugeführt.

### 5.1.2 Mengenaufkommen

Das Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg (UVM) fragt durch Erhebungsbögen alljährlich die Mengen an EAG ab, die von den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern (öRE) gesammelt wurden. Die in den Erhebungsbögen vorgegebene Fraktionierung entspricht jedoch nicht vollständig der gängigen Sammelpraxis, so dass die Aussagekraft der Daten teilweise eingeschränkt ist. Andere fortlaufend erfasste und konsistente Daten für das gesamte Bundesland existieren nicht.



**Abbildung 6:** Erfasste Menge an Elektro(nik)altgeräten in Baden-Württemberg von 1996 bis 2002. Datenquelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg.

### 5.1.3 Wege der Verwertung / Beseitigung

Eine Verwertung von NE-Metallen, Eisenmetallen, Kabel und Glas aus Bildschirmgeräten findet in dafür geeigneten Anlagen statt. Über die momentanen Verwertungs- und Beseitigungswege sind keine Daten vorhanden. Eine Bewertung ist daher an dieser Stelle nicht möglich.

### 5.1.4 Tendenzen bei Mengen und Zusammensetzung

Für das Gebiet der EU wird mit einem jährlichen Wachstum von 3 bis 5 Prozent in den nächsten Jahren gerechnet, so dass sich in etwa zwölf Jahren der Anfall an EAG verdoppelt haben wird<sup>36</sup>.

Gegenläufig zu erhöhten Stückzahlen laufen Tendenzen zur Gewichtsreduzierung und Verkleinerung. Dies wird sich zukünftig möglicherweise auch in einer veränderten stofflichen Zusammensetzung (Kunststoffe statt Metalle) und engerem Materialverbund (höhere Funktionsdichte je Baugruppe) widerspiegeln.

## 5.2 Darstellung der Ziel-Vorgaben

### 5.2.1 Zielvorgaben EU

Anfang 2003 haben die Europäische Kommission und der Rat zwei Richtlinien erlassen. Zum einen setzt die Elektro(nik)-Altgeräte-Richtlinie (WEEE-Richtlinie) Standards für die Entsorgung (Richtlinie 2002/96/EG). Als Sammelziel sollen 4 kg pro Einwohner und Jahr bis 31. Dezember 2006 erreicht werden. Aufgegeben ist auch eine für den privaten Endverbraucher unentgeltliche Sammlung.

Die in Tabelle 6 vorgegebenen Verwertungs- und Recyclingquoten müssen nach dieser Richtlinie (2002/96/EG) ebenfalls bis Ende 2006 nachgewiesen werden. Die Recyclingquote schließt Wiederverwendung von Bauteilen und Baugruppen sowie stoffliche Verwertung ein. Zur Verwertungsquote trägt jede Art von Verwertung bei, nicht jedoch die direkte Weiternutzung der Altgeräte.

Geräteklasse	Verwertungsquote	Wiederverwendungs- und Recyclingquote
1 Haushaltsgroßgeräte	80 %	75 %
2 Automatische Ausgabegeräte		
3 Haushaltskleingeräte	70 %	50 %
4 Lampen und Leuchtmittel		
5 Elektrische und elektronische Werkzeuge		
6 Spielzeug		
7 Mess- und Kontrollinstrumente	75 %	65 %
8 IT- und Telekommunikationsgeräte		
9 Unterhaltungselektronik		
10 Gasentladungslampen		80 %

**Tabelle 6:** Recycling- und Verwertungsquoten nach Richtlinie 2002/96/EG

Zum anderen wird mit der Richtlinie 2002/95/EG (RoHS-Richtlinie<sup>37</sup>) der Einsatz bestimmter schädlicher Substanzen in Neugeräten eingeschränkt.

<sup>36</sup> CROWE, M. et al.: Waste from electrical and electronic equipment (WEEE) – quantities, dangerous substances and treatment methods. ETW Report. European Environment Agency, Kopenhagen, 2003

<sup>37</sup> RoHS = Reduction of Hazardous Substances

## 5.2.2 Zielvorgaben Deutschland

Eine nationale Implementierung der genannten europäischen Richtlinie erfolgt als Elektro- und Elektronikgerätegesetz (ElektroG)<sup>38</sup>, den der deutsche Bundestag am 20. Januar 2005 beschlossen hat. Die europäischen Zielvorgaben wurden übernommen. Ausgestaltungsspielräume auf nationaler Ebene beziehen sich vor allem auf die technische und organisatorische Ausgestaltung der Mengennachweise und die Kontrolle der Herstellerpflichten. Das Rücknahmesystem wird ebenfalls national geregelt. In Deutschland werden die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger (öRE) verpflichtet, Altgeräte aus privaten Haushalten entgegenzunehmen. Da die europäische Elektro(nik)-Altgeräte Richtlinie eine unentgeltliche Entsorgung für den Letztnutzer vorschreibt, sind die öRE gezwungen, den finanziellen Erfassungsaufwand auf die allgemeine Entsorgungsgebühr umzulegen. Dies ist abfallrechtlich umstritten<sup>39</sup>. Ein solches Gebührenmodell konterkariert zudem das Verursacherprinzip. Eine Überarbeitung des ElektroG mit einer Prüfung des Erfassungssystems ist bis spätestens 2008 vorgesehen (§ 9 ElektroG).

## 5.2.3 Zielvorgaben Baden-Württemberg

Keine der im Umweltplan Baden-Württemberg formulierten Maßnahmen trifft den Bereich der EAG-Entsorgung explizit. Mittelbar lässt sich die allgemeine Zielformulierung auf den speziellen Entsorgungsbereich anwenden:

- Ziel ist die Verringerung der zu beseitigenden Abfallmengen aus privaten Haushaltungen und sonstigen Herkunftsbereichen<sup>40</sup>.

Diese allgemeine Vorgabe geht konkret in den europäischen Vorgaben auf.

## 5.3 Beschreibung und Bewertung der Verwertungs- und Beseitigungswege

### 5.3.1 Technologische Möglichkeiten und Probleme

Bei der Beschreibung des Standes der Technik ist eine Beschränkung auf Baden-Württemberg nicht sinnvoll, da viele Stoffströme Baden-Württemberg verlassen und in anderen Bundesländern oder sogar in anderen Staaten der EU behandelt werden. Zwei Technologien sind wesentlich für das Recycling von EAG: die mechanische Aufbereitung und der Kupferschmelzprozess. Ein Demontageschritt ist üblicherweise vorgeschaltet.

Bei der Demontage werden in erster Linie Schadstoffe (z.B. quecksilber- und PCB-haltige Bauteile) und Störstoffe (z.B. lange externe Kabel) entfernt. Teilweise werden dabei große, stofflich homogene Bauteile separiert (z.B. Gehäuseteile). Die Entnahme von Bauteilen oder Baugruppen zur Wiederverwendung findet nur in Einzelfällen statt, insbesondere wenn Hersteller über ein Rücknahmesystem eigene Geräte entsorgen.

Die mechanische Aufbereitung trennt Stoffverbunde und sortiert nach unterschiedlichen Materialeigenschaften (z.B. Dichte, Korngröße, Magnetismus). Je nach Aufgabegut und Marktlage variiert die Anlagenführung. Metallreiche Fraktionen werden den entsprechenden Hüttenprozessen zugeführt (Stahl, Kupfer/Blei, Aluminium). Eine Verwertung der Mischkunststofffraktion findet i. A. nicht statt, weil diese häufig mit belastenden bromierten Flamm-

<sup>38</sup> Entwurf eines Gesetzes über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten (Elektro- und Elektronikgerätegesetz – ElektroG), Bundestags-Drucksache 15/4234

<sup>39</sup> Vgl. BÄUMER, H.; BERNER, H.-J.; PASCHLAU, H.: Elektro-Verordnung auf dem Prüfstand. Nationale Umsetzung der WEEE umstritten. Teil I in: Müll und Abfall Nr. 3/2004, S.111ff

<sup>40</sup> MINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERKEHR BADEN-WÜRTTEMBERG (HRSG.): Umweltplan B-W a.a.O.

schutzmitteln und vielfältigen Additiven versetzt sind. Gängig ist die Beseitigung durch Deponierung oder die Verbrennung.

Hochwertige Fraktionen, z.B. mit einem hohen Anteil an Kupfer und/oder Edelmetallen werden direkt in den Kupferschmelzprozess gegeben. Hier werden über mehrere Verfahrensschritte sowohl Kupfer als auch andere Metalle wie Pb, Ni, usw. und die Edelmetalle zurück gewonnen. Aluminium- und Eisenmetallanteile gehen dabei allerdings für eine hochwertige werkstoffliche Verwertung verloren.

### 5.3.1.1 Stand der Technik

- **Kältegeräte:** Das Kältemittel wird gezielt abgesaugt und das Gerät trockengelegt. Einerseits ist PU-Isoliermaterial teilweise mit CKW aufgeschäumt, andererseits ist die stoffliche Verwertung des Kunststoffs etabliert, so dass i.d.R. eine Separierung und gesonderte Behandlung stattfindet. **Eine Behandlung der Kältegeräte gemäß der Elektro(nik)-Altgeräte-Richtlinie der EU stellt kein Problem dar.**
- **Weißer Ware:** Die Demontage konzentriert sich im Wesentlichen auf eine Störstoffentnahme (Betongewichte aus Waschmaschinen, externes Kabel). Eine Verwertung findet als Stahlschrott statt (Autoshredder in Kombination mit Stahlhütte). **Auch hier ist in Bezug auf die Elektro(nik)-Altgeräte-Richtlinie kein Handlungsbedarf gegeben, da der Stand der Technik die Anforderungen erfüllt.**
- **Bildschirmgeräte:** Die evakuierte Kathodenstrahlröhre stellt arbeitstechnisch ein Sicherheitsrisiko dar. Sie wird zunächst entfernt und belüftet. Schirm- und Konusglas sowie Metallteile werden getrennt verwertet, die Leuchtschicht muss beseitigt werden. Holz kommt teilweise als Gehäusewerkstoff zum Einsatz. Als problematischer Stoffstrom fallen hier belastete Gläser (Konus- und Frontglas), **Gehäusefraktionen (Kunststoffe)** und Leiterplatten an, die zum Erreichen der vorgegebenen Verwertungsquoten (für TV-Geräte 75 Prozent) **behandelt werden müssen** und nicht, wie zur Zeit üblich, beseitigt werden dürfen.
- **Braune Ware** (ausgenommen Bildschirmgeräte) wird zunächst ebenfalls der **Demontage** zugeführt. Hier müssen genau wie bei IT Ware schadstoffhaltige Komponenten wie quecksilberhaltige Schalter, Batterien oder schwermetallhaltige Kondensatoren entfernt werden. Der Rest wird dem **mechanischen Recycling** zugeführt. Das **Metall** wird stofflich **wiederverwertet**, der **Kunststoff geht auf die Deponie oder in die Verbrennung**. Auch hier stellt sich das Problem des Erreichens der Verwertungs- und Recyclingquote.
- **Graue Ware (IT-Ware)** kann nach der **Demontage** (s.o.) auf zwei unterschiedlichen Wegen behandelt werden. Es besteht zum einen der Weg des **mechanischen Recyclings**. Hier werden über mehrere Stufen der mechanischen Verfahrenstechnik Metalle von Kunststoffen getrennt. Die **Metalle** (bei IT-Ware liegt das Hauptaugenmerk vor allem auf Kupfer und Edelmetallen) werden **zurückgewonnen**, die **Kunststoffe** müssen wiederum **deponiert oder verbrannt** werden. Der andere Weg ist der unmittelbare Einsatz im **Kupferschmelzprozess**. Hier werden ganze Platinen (mit Kunststoff) in den Hochofen gegeben. Die **Metalle** werden **zurückgewonnen**, der **Kunststoff** dient als **Reduktionsmittel**.
- **Leuchtstoffröhren:** In speziellen Aufbereitungsanlagen werden Leuchtschicht, Quecksilber und Glas getrennt und weiter verwertet.

### 5.3.1.2 Auftretende Probleme durch die EU-Elektro(nik)-Altgeräte-Richtlinie

Bei der gegebenen Darstellung handelt es sich um den derzeitigen Stand der Technik. Die dort beschriebenen Methoden sind in Zukunft nicht mehr uneingeschränkt möglich (vgl. Tabelle 7). Die europäische Richtlinie schreibt Sammel- und Recyclingquoten vor und macht somit indirekt auch Vorgaben in Hinblick auf die Technologien, denn unter Beachtung der Recyclingquoten zeigt sich, dass diese nur erreicht werden können, wenn Wiederverwertungsmöglichkeiten sowohl für die Metalle als auch für die Kunststoffe bestehen.

**Mechanische Verfahren** vollziehen weitgehend die Trennung der Stoffverbunde und bieten somit eine Basis für die separate Verwertung einzelner Stoffgruppen. Die dabei generierten Mischkunststoffe werden derzeit entweder thermisch behandelt oder deponiert. In Hinblick auf die Verwertungs- und Recyclingquoten, die in der europäischen Elektro(nik)-Altgeräte-Richtlinie vorgegeben sind, ist aber eine (Teil-)**Verwertung der Kunststoffe zwingend erforderlich**. Es wurde gezeigt, dass die Kunststoffe einen Anteil von 30 bis 35 Prozent ausmachen<sup>41</sup>. Somit ist eine Verwertungsquote von 75 Prozent nicht zu erreichen, wenn nach mechanischen Verfahren lediglich eine Verwertung der Metalle durchgeführt wird. Eine Deponierung der Kunststoffe ist aufgrund der aktuellen Gesetzeslage in Deutschland zukünftig ausgeschlossen, womit nur noch der Weg in die Verbrennung bleibt. Dass dies grundsätzlich möglich ist, wurde in verschiedenen Untersuchungen gezeigt<sup>42</sup>. Hierbei sind jedoch einige Gesichtspunkte zu beachten. Auf der einen Seite muss die Verbrennungsanlage mit der notwendigen Technologie zur Rauchgasreinigung ausgerüstet sein, um die vorgegebenen Grenzwerte einzuhalten (was i.d.R. kein Problem darstellt), auf der anderen Seite ist neben der Verwertungsquote auch die Quote zum stofflichen Recycling zu beachten.

Der **Kupferschmelzprozess** ohne vorherige Separierung stellt unter gewissen Rahmenbedingungen nach wie vor eine Alternative zur Kombination mit mechanischen Prozessen dar. Im Gegensatz zur mechanischen Zerlegung wird hier nicht nur das Metall stofflich wiederverwertet, sondern - zumindest zum Teil - auch der Kunststoff. Dieser dient als Reduktionsmittel. Des Weiteren werden auch die inerten Anteile wie z.B. die Glasfaseranteile der Leiterplatten stofflich verwertet, da diese als Schlackebildner und somit zur Schonung natürlicher Ressourcen dienen. Probleme kann u.U. jedoch das als Flammenschutzmittel enthaltene Brom bereiten, da auf der einen Seite sichergestellt sein muss, dass die notwendige Emissionsminderungstechnologie auf der Abgasseite vorhanden ist, zum anderen ist eine Wiederverwertung des Broms nur durch aufwändige nachgeschaltete Prozesse möglich, die einen Anstieg der Kosten verursachen.

Bei oxidativen Prozessen besteht grundsätzlich die Gefahr der Neubildung von Dioxinen und Furanen, woraus sich Anforderungen an Anlagen und Anlagenführung bei Verbrennung und Kupferverhüttung ergeben. Ungelöst ist bislang die Verwertung der Mischkunststoffe aus Elektronikschrott. Diese sind mit bromhaltigen Flammenschutzmitteln versehen und auch durch sonstige vielfältige Additive auf einen bestimmten Einsatzzweck zugeschnitten. Dies erschwert eine stoffliche Verwertung. **Es ist also eine Vorbehandlungsstufe notwendig.**

<sup>41</sup> MENAD, N.; BJÖRKMANN, B.; ALLAIN, E. G.: Combustion of plastics contained in electric and electronic scrap, Resources, Conservation and Recycling 24 (1998), p. 65-85 und Disposal of electronic scrap in Baden-Württemberg: Life-Cycle view on future recycling options – outline of a study, Proceedings of the Workshop on Recycling of Polymeric Materials. Karlsruhe 2003

<sup>42</sup> VEHLow, J. ET AL: Recycling of bromine from plastics containing brominated flame retardants in state-of-the-art combustion facilities. APME, 2002 und VEHLow, J.; MARK, F. E.: Energy and material recovery by co-combustion of WEEE and MSW, Proceedings of the Workshop on Recycling of Polymeric Materials. Karlsruhe 2003



### 5.3.2 Neue Technologien und Perspektiven

Wie gezeigt gibt es etablierte Wege der Verwertung von Elektronikschrott. Kritische Punkte sind einerseits die zeit- und kostenintensive händische Demontage, andererseits fehlende stoffliche Verwertungsmöglichkeiten für schadstoffbelastete Mischkunststoffe.

**Demontage** stellt keine eigenständige Entsorgungstechnologie dar, ist aber entsprechend der europäischen Richtlinie zukünftig für viele Geräte unerlässlich. Voll- oder teilautomatisierte Demontageeinrichtungen stehen teilweise an der Schwelle zur praktischen Anwendbarkeit. Beispielhaft seien hier für Mobiltelefone die Projekte ReMobile<sup>43</sup> und ReUse<sup>44</sup> genannt.

- Ein Ansatz zur Verwertung problematischer Mischkunststoffe ist die **Solvolyse**. Dabei werden die Kunststoffe in speziellen Lösungsmittelgemischen gelöst und anschließend selektiv zur stofflichen Verwertung ausgefällt. Als erstes deutsches Unternehmen hat die Firma Bigat (Berlin) dieses Verfahren umgesetzt, konnte sich jedoch nicht auf dem Markt behaupten und hat ihre Aktivitäten daher eingestellt.
- Eine andere Möglichkeit zur Behandlung halogenbelasteter Mischkunststoffe bietet die Pyrolyse. Der **Haloclean-Prozess**, eine zweistufige Niedertemperaturpyrolyse, bietet die Möglichkeit, die Kunststoffe zu zersetzen und in die Gasphase zu überführen. Hierbei geht auch das Brom in die Gasphase über und kann mit Hilfe einer Nachbehandlung in Form von Bromwasserstoff als Wertstoff wiedergewonnen werden. Auch das debromierte Pyrolyseöl kann der stofflichen Verwertung zugeführt werden. Der Pyrolysekoks steht für das Metallrecycling zur Verfügung, das durch diese Vorbehandlung effektiver gestaltet werden kann<sup>45</sup>.
- Bei der **Verbrennung/Co-Verbrennung** ist zu beachten, dass eine Rückgewinnung von Brom in konventionellen Rostfeuerungen (z.B. Hausmüllverbrennung) nur dann möglich ist, wenn diese mit entsprechenden Abscheideeinrichtungen betrieben werden<sup>46</sup>. Entsprechend der europäischen Elektro(nik)-Altgeräte-Richtlinie steht jedoch der thermische Weg nur einer Teilfraktion offen. Die Kombination der stofflichen Verwertung der Metalle und des Broms mit der energetischen Verwertung der Kunststoffe erfüllt i.d.R. nur bei Weißer Ware die geforderten Quoten<sup>47</sup>.

### 5.3.3 Verbleib von Schadstoffen

Durch händische Demontage werden insbesondere PCB-haltige Kondensatoren und quecksilberhaltige Bauteile separiert. Erstere werden meist durch Untertage-Deponierung beseitigt, letztere werden gesonderten Prozessen zur Rückgewinnung des Schwermetalls zugeführt. Stäube aus Aufbereitungsanlagen werden zum großen Teil abgesaugt und thermisch behandelt.

Organische Schadstoffe werden bei den in Hüttenprozessen herrschenden Temperaturen zerstört, jedoch kann im Rauchgasstrom eine Neubildung von z. B. PCDD/F erfolgen. Durch die Separierung und Verwertung von Halogenen leistet der Haloclean-Prozess sowohl einen Beitrag zur Erhöhung der Recyclingquoten als auch zur Darstellung einer Senke für reine

<sup>43</sup> BAŞDERE, B.; FRANKE, C.: Recycling von Mobiltelefonen. UmweltMagazin 33 (2003) Nr. 10/11; vgl. auch <http://www.mf.tu-berlin.de/remobile/>

<sup>44</sup> KOPACEK, P.; KOPACEK, B.: State of the art and future trends in intelligent disassembly. Proceedings. Going Green – CARE INNOVATION. Wien 2002; vgl. auch <http://www.re-use.net>

<sup>45</sup> HORNUNG, A. ET AL.: Haloclean/ Pydra – Thermal-Chemical Recycling of WEEE. Proceedings of the Workshop on the Recycling of Polymeric Materials MoDeSt. Karlsruhe 2003

<sup>46</sup> VEHLow, J. ET AL.: Recycling of bromine from plastics containing brominated flame retardants in state-of-the-art combustion facilities. APME, 2002

<sup>47</sup> Disposal of electronic scrap in Baden-Württemberg: Life-Cycle view on future recycling options – outline of a study, Proceedings of the Workshop on Recycling of Polymeric Materials. Karlsruhe 2003

Kunststofffraktionen aus vorgelagerten mechanischen Aufbereitungen. Gewisse luftseitige Emissionen sind auch mit moderner Technik nicht vollständig vermeidbar, hier sind insbesondere Stickoxide und Kohlenmonoxid zu nennen, ferner werden auch u. a. Blei, Arsen und Kupfer emittiert<sup>48</sup>.

Die Mitverbrennung von EAG in Hausmüllverbrennungsanlagen stellt eine Alternative für geringe bzw. diffuse Massenströme dar, wobei Bromgehalte von max. 1 Gew.-% Brom im Gesamtstofffluss nicht überschritten werden sollten.

### 5.3.4 Förderprogramme des Landes Baden-Württemberg

Mit dem Vorhaben **RegioPlast** förderte die Landesregierung den Einsatz von gebrauchten Kunststoffen aus Elektroaltgeräten, die nicht belastet sind. So konnte das Pilotprojekt zur Serienreife gebracht werden. In diesem Fall funktioniert die werkstoffliche Verwertung großteufliger Kunststoffbauteile eines Herstellers wirtschaftlich und technisch, wobei allerdings der Aufwand für Rückführlogistik und Demontageleistung vom Hersteller getragen wird<sup>49</sup>. Aus technischen Gründen kann **Material aus öffentlicher Sammlung nur zu einem marginalen Anteil** zum Einsatz kommen. Derartige Einzellösungen bieten gegenseitige Vorteile und sind weiterhin förderungswürdig, sind jedoch aufgrund der engen Randbedingungen **nicht auf die Hauptmengen der EAG übertragbar**. Der Einsatz von Kunststoffgranulat bei der Produktion von Erzeugnissen kann jedoch grundsätzlich einen wesentlichen Beitrag für eine stoffliche Verwertung leisten; die Anwendungsbereiche sind vielfältig. Es bestehen jedoch erhebliche Probleme, da die Vorgaben einer an IPP orientierten Produktherstellung wegen der hohen administrativen Aufwendungen zumeist nicht umgesetzt werden.

Durch die Förderung des Projektes „**Rohstoffliche Verwertung belasteter Kunststoffe aus der Demontage von Elektro- und Elektronikaltgeräten - Halocleanapplication**“ (**Regionales Netzwerk Baden-Württemberg**) unterstützt das Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg die Entwicklung einer Technologie, die zusätzlich eine rohstoffliche Verwertung problematischer, halogenhaltiger Mischkunststoffe bietet. Das Verfahren stellt **keine besonderen technischen Anforderungen** an das Aufgabegut, die über die rechtlich gebotenen Demontageschritte hinausgehen, bietet aber im Gegensatz zur Verbrennung die Möglichkeit einer **stofflichen Verwertung der Kunststoffe und des Broms**. Diese Technologie ist zur Zeit noch in der Entwicklung und befindet sich in der Umsetzung vom Pilotmaßstab in den technischen Maßstab. Eine erste „technische“ Anlage wurde im Rahmen des vom Land unterstützten Projektes kürzlich in Baden-Württemberg (Eppingen) installiert. Aufgrund der Prozessführung kann dies sowohl für die Verbrennung als auch für den Kupferschmelzprozess eine Vorstufe darstellen, um eine Schadstoffentfrachtung und eine Wiederverwertung der Kunststoffe zu ermöglichen. Sind die Rückstände für eine Metallverwertung nicht interessant, wie dies z.B. bei Fernsehgeräten der Fall sein kann, dann haben sie dennoch einen Heizwert, der sie für eine energetische Nutzung interessant macht.

## 5.4 Empfehlungen

- Die **Datenlage** für EAG aus dem gewerblichen Bereich ist ungenügend und für den privaten Bereich lückenhaft. Eine einfache Maßnahme zur Verbesserung der Informationslage in Baden-Württemberg wäre die **Anpassung der Erhebungsbögen des UVM an die derzeitige Entsorgungspraxis**. Dabei entsteht für die öRE kein wesentlich erhöhter Arbeitsaufwand.

<sup>48</sup> Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques in the Non Ferrous Metals Industries. European Commission 2001

<sup>49</sup> MINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERKEHR BADEN-WÜRTTEMBERG (HRSG.): *Perspektiven für die Verwertung von Kunststoffen aus Elektronik-Altgeräten*. Tagungsband. Reihe Abfall, Heft 67 (2002)

- Durch Wieder- und **Weiterverwendung** von Altgeräten kann einerseits die Nutzungsphase verlängert werden, andererseits kommt es teilweise zur **Verschleppung der Entsorgungsproblematik in das außereuropäische Ausland**. Hier bedarf es eines **Bewertungsprozesses**, unter welchen Randbedingungen andere Verwertungsmöglichkeiten zu bevorzugen sind. Für die Vermeidung problematischer Kunststofffraktionen ist die Verwendung der Schadstoffe bei der Produktion (z.B. bromierte Flammschutzmittel) zu vermeiden (s. RoHS-Richtlinie). Für die gegenwärtige bzw. mittelfristige Strategie der Verwertung bzw. Entsorgung sind aber diese Problemstoffe zu berücksichtigen. Mit der Umsetzung der Herstellerproduktverantwortung im Elektro- und Elektronikgerätegesetz (ElektroG) obliegt es den Herstellern, Art und Weise einer weiteren Nutzung ihrer Altgeräte zu steuern.
- **Mechanische Recycling-Verfahren** stellen für die Wiedergewinnung der Metalle eine gute und kostengünstige Möglichkeit dar. In Bezug auf die Verwertungs- und Recyclingquoten ist jedoch Handlungsbedarf gegeben, um ein **Einbeziehen der Kunststoffe in den Recyclingprozess** zu erreichen.
- Die **energetische Verwertung** sollte belasteten Kunststoffen vorbehalten bleiben. Hier tritt jedoch ebenfalls das **Problem des Erreichens der Verwertungs- und Recyclingquoten** auf.
- Das **Haloclean-Verfahren** stellt im Gegensatz zu gängigen Verfahren eine Alternative dar, die die Wiederverwendungs- und Recyclingquoten der europäischen Elektro(nik)-Altgeräte-Richtlinie erfüllen und die **Rückgewinnung des Broms und der Kunststoffe** als Einsatzstoff für die Methanolsynthese ermöglichen kann.
- Der **Abschluss der industriellen Testläufe des Haloclean-Prozesses** (Eppingen und Volpiano, Italien) und der laufenden Studie des UVM in Baden-Württemberg sind vor einer Markteinführung **abzuwarten**.
- Das Elektro- und Elektronikgerätegesetz (ElektroG) schreibt vor, dass die Anzahl der Sammelstellen oder die Kombination mit Holsystemen unter Berücksichtigung der jeweiligen Bevölkerungsdichte, den örtlichen Gegebenheiten und der abfallwirtschaftlichen Ziele festzulegen sei (§ 9 ElektroG). Den öRE fehlen bislang konkrete Vorgaben, die beispielsweise aus einer **systematischen Untersuchung von Sammelsystemen und -kosten** abgeleitet sind. Eine solche Untersuchung wäre auch ein Informationsgewinn für die Überarbeitung des ElektroG, was spätestens für 2008 vorgesehen ist (§ 1 Abs. 2 ElektroG).
- Die Sammelquote für EAG wird im baden-württembergischen Durchschnitt bereits übertroffen (2003: 4,8 kg/Einwohner). Bei schwer erfassbaren („mülltonnengängigen“) Kleingeräten ist jedoch zu befürchten, dass diese trotz Rückgabepflicht weiterhin über die Restmülltonne entsorgt werden. Die Erfahrungen mit den Rücknahmesystemen für Altbatterien (Batterieverordnung – BattV) zeigen, dass trotz Verpflichtung und Aufklärungskampagnen<sup>50</sup> nur rund ein Drittel der verkauften Batterien durch den Endverbraucher wieder zurückgegeben werden. Daher sollte für Kleingeräte (z.B. Mobiltelefone), Batterien und Akkumulatoren über die **Einführung eines Pfandsystems** nachgedacht werden.

<sup>50</sup> Z.B. Stiftung Gemeinsames Rücknahmesystem Batterien (GRS), [www.grs-batterien.de](http://www.grs-batterien.de)

**Tabelle 7:** Entsorgungswege Elektronikschrott

		Wieder- verwendung	stoffliche Verwertung			Verbrennung	Beseitigung Deponie
			Mechanisches Recycling	Kupferschmelz- Prozess	Haloclean- Verfahren		
<b>Schadstoffe Probleme</b>		Als Schadstoffkomponenten sind in der WEEE-Richtlinie der EU genannt: Blei, Cadmium, Quecksilber, Sechswertiges Chrom (Chrom VI), bromhaltige Flammschutzmittel Des Weiteren sind FCKWs, PCBs und PBB als Schadstoffe zu beachten					
<b>Verbleib der Schad- stoffe</b>		Filterstaub, Luft, Boden (Deponie)	Filterstaub, Luft, Boden (lokale Immissionen)	Pyrolyseöl/-Rückstand	Luft, Filterstaub, Schlacke	Boden, Grund- wasser, Luft	
<b>Wertstoffe Nutzen Produkt</b>		Für die wieder ver- wendeten Teile vollständig	Eisenmetalle, NE- Metalle, Edelmetalle	Kupfer, Blei, Edelm- talle, Kunststoffe (energetisch)	Fe- und NE-Metalle Edelmetalle, Kunststoffe (stofflich als Pyrolyseöl), Brom (HBr)	Kunststoffe (energe- tisch) u.U. Fe-Metalle u.U. verwertbare Schlacke	
<b>Rechtliche Rahmen- Bedingun- gen</b>	<b>Abfalltyp</b>	Elektro(nik)-Altgeräte-Richtlinie (WEEE-Richtlinie) der EU					
	<b>Verfahren</b>		Einzelfallgenehmigung	17 BImSchV	wird noch geklärt Genehmigung läuft	17 BImSchV	AbfAbIV ElektroG
<b>Technischer Umsetzungsgrad</b>		Stand der Technik	Stand der Technik	Stand der Technik	In der Entwicklung Umsetzung Pilotmaß- stab zu technischem Maßstab	Stand der Technik	
<b>Technische Bewertung</b>		keine Einschrän- kung	Zum Erreichen der vorgegebenen Recyc- lingquoten ist eine Behandlung des Kunststoffs notwendig	Beim Einsatz bromhal- tiger Kunststoffe ist ein Dioxinbildungspot- enzial vorhanden	stoffliches Recycling der Kunststoffe Abtrennung und Verwer- tung von Brom → keine Einschränkung	Beim Einsatz brom- haltiger Kunststoffe ist ein Dioxinbil- dungspotenzial vorhanden	zukünftig untersagt
<b>Ökologische/ Ökonomische Bewertung</b>		Problematisch: ggf. Verlagerung des Entsorgungsprob- lems in das außer- europäische Aus- land	Gegenstand laufender Untersuchung	Problem des Errei- chens der Verwer- tungs- und Recyc- lingquoten	Gegenstand laufender Untersuchung	Problem des Errei- chens der Verwer- tungs- und Recyc- lingquoten	nicht relevant

## 6. Kunststoffverpackungen

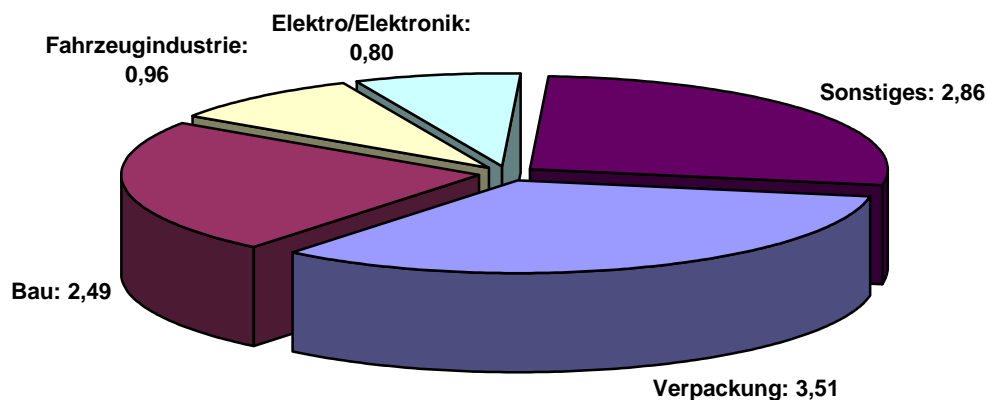
### 6.1 Stand der Verwertung / Beseitigung

#### 6.1.1 Spezifikation

Kunststoffe werden nach ihren stofflichen bzw. werkstofflichen Eigenschaften in drei Klassen eingeteilt:

- Thermoplaste gehen beim Erwärmen reversibel in einen plastischen Zustand über und behalten ihre Form nach dem Erkalten bei.
- Duroplaste sind nicht aufschmelzbare und in Lösungsmitteln unlösliche Kunststoffe, deren mechanische Eigenschaften bis zur Zersetzungstemperatur nahezu konstant bleiben.
- Elastomere sind nicht aufschmelzbare und in Lösungsmitteln unlösliche Polymere mit hoher Elastizität in einem breiten Temperaturbereich.

Im Jahr 2003 wurden 10,6 Mio. t Kunststoffe in Deutschland produziert, die sich auf vier große industrielle Einsatzbereiche aufteilen. Hierbei stellt die Verpackungsindustrie mit 3,5 Mio. t den größten Einsatzbereich dar. Als weitere wichtige Bereiche sind die Bau-, Fahrzeug- und Elektro-/Elektronikindustrie zu nennen, wie die folgende Abbildung zeigt. Im weiteren Verlauf liegt der Schwerpunkt der Untersuchung auf den Bereich der Kunststoffverpackungen. Kunststoffe aus den Bereichen der Elektro-/Elektronikindustrie wurden in Kapitel 5 behandelt.



**Abbildung 7:** Einsatzbereiche von Kunststoffen in Deutschland in 2003. Angabe in Mio. t/a. Quelle: Verband Kunststoffherzeugende Industrie (VKE)<sup>51</sup>:

Unter Berücksichtigung der jeweiligen Export/Import-Überhänge, die insbesondere in den Einsatzgebieten der Verpackungs- und Fahrzeugindustrie einen Export von über 35 Prozent ergeben, verbleiben in Deutschland 8,9 Mio. t/a an Kunststoffen beim Endverbraucher.

Durch den Export von 34 Prozent verbleiben in Deutschland von der produzierten Menge an Kunststoffverpackungen nur etwa 2,3 Mio. t/a beim Endverbraucher.

<sup>51</sup> VERBAND KUNSTSTOFFERZEUGENDE INDUSTRIE E.V. (VKE) (HRSG): Produktions- und Verbrauchsdaten für Kunststoffe in Deutschland unter Einbeziehung der Verwertung 2003 (CONSULTIC-Studie). [www.vke.de](http://www.vke.de)

In Tabelle 8 sind die unterschiedlichen, für Verpackungen relevanten Kunststoffsorten aufgeführt. Die Prozentzahlen geben die Anteile der Kunststoffsorten an der produzierten Gesamtkunststoffmenge für Verpackungen an.

Kunststoffarten	Insgesamt	Verpackungen	
	in 1 000 t	in 1 000 t	Anteile
PE-LD/LLD	1 560	1 190	76,3 %
PE-HD	1 180	631	53,5 %
PP	1 720	840	48,8 %
PS	420	190	45,2 %
EPS	200	32	16,0 %
PVC	1 590	155	9,7 %
PA	315	47	14,9 %
PET	410	373	91,0 %
Sonstige technische Thermoplaste	360	26	7,2 %
Sonstige	2845	21	0,7 %
<b>Gesamt</b>	<b>10 600</b>	<b>3 505</b>	<b>33,1 %</b>

**Tabelle 8:** Kunststoffsorten, -mengen und Verpackungsmengen und -anteile. Quelle: Verband Kunststoffherstellende Industrie (VKE) 2003 a.a.O.

### 6.1.2 Mengenaufkommen

Für das Jahr 2003 ergab sich eine Abfallmenge an Kunststoffen in Deutschland von rund 4,0 Mio. t. Hiervon entfielen 3,1 Mio. t auf die Endverbraucher und ca. 0,9 Mio. t auf Produktions- und Verarbeitungsabfälle. Der größte Anteil der Kunststoffabfälle stammt mit etwa 1,4 Mio. t aus dem Einsatzgebiet der Verpackungen (plus 12 Prozent gegenüber 2001), das gemäß der Verwendung eher eine kurze Gebrauchsdauer repräsentiert<sup>52</sup>.

Der Hauptanteil mit 731 000 t der Verpackungsabfälle entstammt dem Dualen System Deutschland (DSD). Hierbei ist die Erfassungsmenge für Leichtverpackungen aufgrund der veränderten Marktsituation weiter gestiegen, insbesondere die PET-Menge nimmt weiter stark zu. Von anderen Sammelsystemen sowie aus speziellen gewerblichen Sammelsystemen (z.B. Interseroh, Rigk etc.) werden nochmals etwa 0,2 Mio. t Kunststoffabfälle einer Verwertung zugeführt. Die restlichen Verpackungsabfälle von ca. 0,35 Mio. t werden beseitigt.

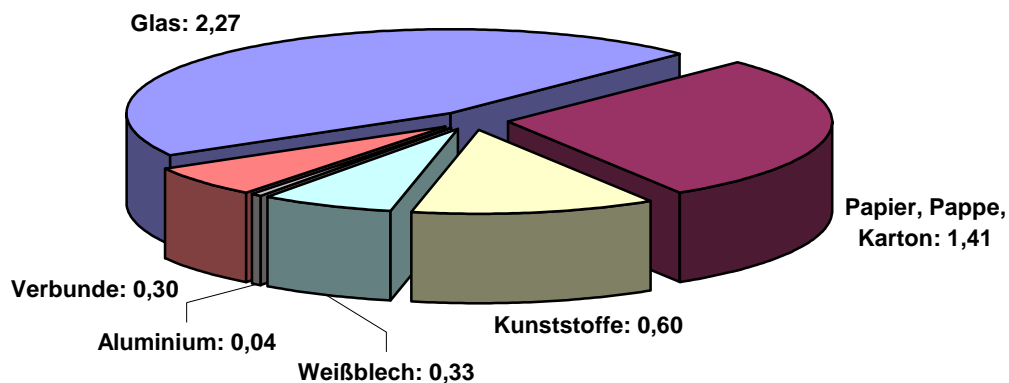
Für 2003 errechnete sich für das DSD eine Verwertungsquote für die Fraktion der Kunststoffe von 97 Prozent (2002: 87 Prozent). Die gesetzlich vorgeschriebene Verwertungsquote liegt nach der Verpackungsverordnung bei 60 Prozent. Allerdings wird diese Quote nicht aus der Menge an verwerteten Kunststoffen im Verhältnis zu den eingesammelten Kunststoffabfällen (1,4 Mio. t in 2003) ermittelt, sondern auf Basis der DSD-lizenzierten Menge an Kunststoffverpackungen. Die im Jahr 2002 für das DSD lizenzierte Kunststoffverpackungsmenge betrug 736 000 t<sup>53</sup>.

Das Aufkommen an Kunststoffabfällen, das von den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern selbst oder im Auftrag durch Dritte und vom DSD erfasst wird, ist wie das gesamte Wertstoffaufkommen in den letzten Jahren stetig gewachsen. Da mit der Steigerung des Wertstoffaufkommens ein Rückgang des Restmüllaufkommens einhergeht, ist diese Entwicklung auf eine Verbesserung der getrennten Abfallerfassung zurückzuführen.

<sup>52</sup> VERBAND KUNSTSTOFFERZEUGENDE INDUSTRIE 2003 a.a.O.

<sup>53</sup> DUALES SYSTEM DEUTSCHLAND (DSD), [www.gruener-punkt.de/Mengenstrom.97+B6Jkw9.0.html](http://www.gruener-punkt.de/Mengenstrom.97+B6Jkw9.0.html)

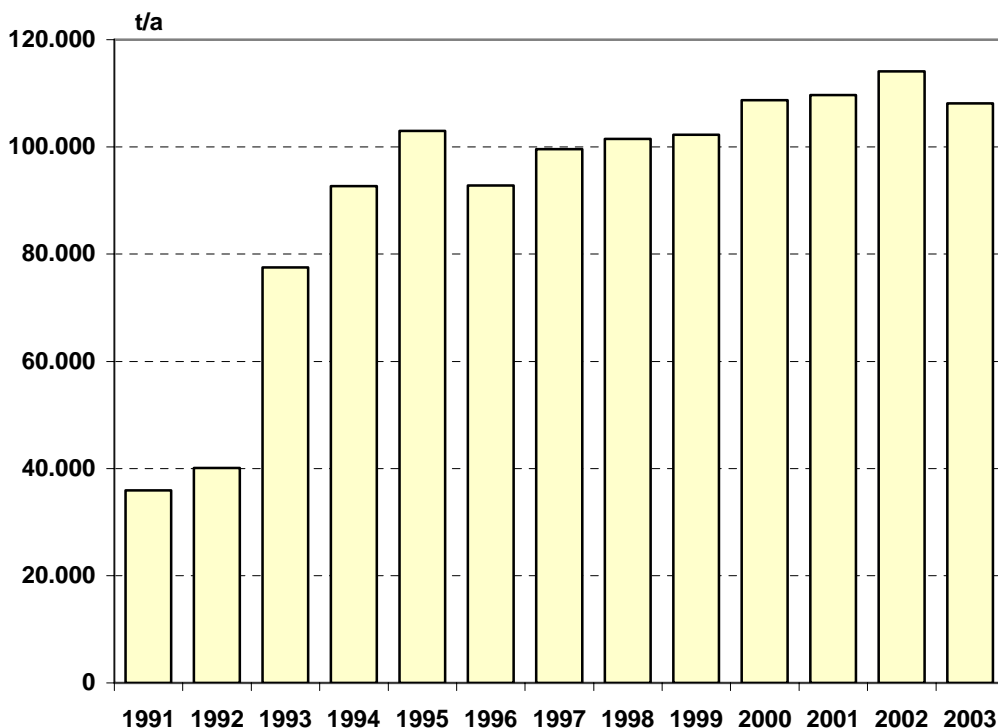
Abbildung 8 zeigt die Aufteilung der vom DSD verwerteten Verpackungsfraktionen im Jahr 2003. Die Gesamtmenge an verwerteten Kunststoffen bezieht sich auf 603 649 t, da die Menge an Verbundstoffen des DSD von 46 000 t nicht einbezogen wurde.



**Abbildung 8:** Verwertung der vom DSD eingesammelten Verkaufsverpackungen in Deutschland 2003. Angaben in Mio. t. Quelle: DSD, [www.gruener-punkt.de/Mengenstrom.97+B6Jkw9.0.html](http://www.gruener-punkt.de/Mengenstrom.97+B6Jkw9.0.html)

Die für Baden-Württemberg erhobenen Daten des Kunststoffabfallaufkommens beruhen auf Angaben des Statistischen Landesamtes, welche auch vom Ministerium für Umwelt und Verkehr in der jährlich erscheinenden Abfallbilanz publiziert werden.

Abbildung 9 stellt die Entwicklung in Baden-Württemberg seit 1991 dar. Seit dem Jahr 1993 sammelt das Duale System Deutschland die Verpackungsmaterialien in allen Kreisen. Dadurch lässt sich der sprunghafte Anstieg im gesammelten Kunststoffaufkommen in diesem Jahr erklären. Der Rückgang im Jahr 2003 wird auf die Einführung des Pflichtpfands auf Einweggetränkeverpackungen zurückgeführt. Im Jahr 2003 betrug die Menge an eingesammelten Kunststoffen 108 100 t, von denen ca. 90 Prozent vom DSD erfasst wurden.



**Abbildung 9:** Menge der eingesammelten Kunststoffe in Baden-Württemberg. Datenquelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg.

### 6.1.3 Wege der Verwertung / Beseitigung

Die Deutsche Gesellschaft für Kunststoffrecycling (DKR) gibt an, in 2003 eine vom DSD bezogene Kunststoffmenge von 633 000 t der Verwertung zugeführt zu haben; das sind rund 8 Prozent weniger als noch im Jahr 2002<sup>54</sup>. Der Unterschied zu den oben aufgeführten 603 649 t an verwerteten Kunststoffen rührt von einer miteinbezogenen Menge Kunststoffe aus den Verbundstoffen des DSD her.

Von den 633 000 t/a wurden 337 000 t/a (53 Prozent) dem werkstofflichen Recycling, 286 000 t/a (45 Prozent) dem rohstofflichen Recycling in der Stahl- und Methanolproduktion zugeführt. 10 000 t/a wurden von der DKR genutzt, um thermische Verwertungsverfahren zu testen.

Das Statistische Landesamt in Baden-Württemberg gibt bei den Entsorgungswegen für Kunststoffe eine Gesamtmenge von 60 769 t in 2002 an, davon wurden 42 214 t in Sortier- einrichtungen und 18 595 t an Verwertungsbetriebe weitergegeben. Diese Daten lassen sich nicht mit den eingesammelten Mengen aus der Abfallbilanz des Landes Baden-Württemberg in Beziehung setzen. Sie werden aus einer bundesweiten Erhebung bei den Verwertungs- und Sortierbetrieben gewonnen, bei der nach Aussage des Statistischen Landesamtes nicht alle Betriebe in die Erfassung mit eingehen. Außerdem wird bei dieser Erhebung nicht nach der Verwertungsart der Kunststoffe unterschieden. Durch eine landesweite Datenerhebung bei allen Sortier- und Verwertungsbetrieben ließe sich die Datenlage deutlich verbessern.

### 6.1.4 Tendenzen bei Mengen und Zusammensetzung

In der Literatur wird angegeben, dass mit einem steigenden Aufkommen der Kunststoffabfälle insbesondere im Endverbraucherbereich zu rechnen ist. Nach Schätzungen soll das Aufkommen im Endverbraucherbereich bundesweit von 3,1 Mio. t in 2003 kontinuierlich mit 3,5 Prozent pro Jahr auf ca. 4,4 Mio. t in 2010 ansteigen. Dies wird hauptsächlich auf den weiterhin steigenden Kunststoffverbrauch sowie den zunehmenden Rücklauf aus langlebigen Kunststoffprodukten zurückgeführt. Dabei wird deutlich gemacht, dass kein lineares Abhängigkeitsverhältnis zwischen Verbrauchsentwicklung und Abfallaufkommen besteht<sup>55</sup>.

Das Kunststoffabfallaufkommen ist von 2002 auf 2003 um 8 Prozent gesunken. Dies wird hauptsächlich auf die Einführung der Pfandpflicht zum 1.1.2003 und den starken Rückgang der sonst über den Gelben Sack und die Gelbe Tonne eingesammelten PET-Flaschen zurückgeführt<sup>56</sup>.

## 6.2 Darstellung der Ziel-Vorgaben

Die aktuellen Vorgaben für die Entsorgung von Verpackungskunststoffen ergeben sich sowohl aus europäischen Richtlinien als auch aus nationalen Vorgaben. Die wichtigsten rechtlichen Vorschriften sind in der Tabelle 9 aufgeführt.

Europa	Deutschland
EU-Verpackungsrichtlinie	Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG)
	Verpackungsverordnung (VerpackV)

**Tabelle 9:** Wichtige Vorschriften für die Entsorgung von Verpackungskunststoffen

<sup>54</sup> DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR KUNSTSTOFFRECYCLING: Mengenstrom 2003; [www.dkr.de](http://www.dkr.de)

<sup>55</sup> LINDNER, CH.; FELDMANN, H.: Kunststoffabfälle – Ist-Situation und Ausblick bei Produktion und Entsorgung. S. 158-167. In Faulstich, M.; Urban, A.; Bilitewski, B.: 6. Fachtagung Thermische Abfallbehandlung, Berichte aus Wassergüte- und Abfallwirtschaft Nr.162, Technische Universität München, 2001

<sup>56</sup> DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR KUNSTSTOFFRECYCLING a.a.O.



Durch Richtlinie 2004/12/EG vom 11. Februar 2004 (Abl. EG Nr. L 47/26 vom 18.02.2004) wurde die EU-Verpackungsrichtlinie 94/62/EG geändert und unter anderem neue Mindestverwertungsquoten für Verpackungen festgelegt, die in den Mitgliedstaaten bis 2008 erreicht werden sollen. Die angestrebte Gesamtverwertungsquote für alle Verpackungen wird durch diese Richtlinie von bisher 50 auf mindestens 60 Prozent ohne Obergrenze angehoben. Der Anteil des stofflichen Recyclings erhöht sich von 25 Prozent auf 55 bis höchstens 80 Prozent. Es werden außerdem Mindestzielvorgaben für die stoffliche Verwertung einzelner Verpackungsmaterialien festgelegt. Die Umsetzung der Richtlinie 2004/12/EG in nationales Recht muss bis 18. August 2005 durchgeführt werden.

Die neuen Verwertungsquoten dürften hierzulande keine Probleme aufwerfen, wobei zu beachten ist, dass die Vorgaben in der EU-Verpackungsrichtlinie sich auf sämtliche Verpackungen beziehen, die in Deutschland erreichten Verwertungsquoten dagegen meist nur den Bereich der Verkaufsverpackungen über das Duale System darstellen.

In Deutschland ist die rechtliche Lage im Verpackungsbereich bisher noch durch die Verpackungsverordnung (VerpackV) von 1998 geregelt. Danach müssen Kunststoffverpackungen ab 1. Januar 1990 mindestens zu 60 Prozent einer Verwertung zugeführt werden. Dabei sind mindestens 60 Prozent dieser Verwertungsquote durch werkstoffliche Verfahren zu realisieren<sup>57</sup>. Die Nacherhebung von Januar 1999 bis Januar 2000 bestätigte die Unterschreitung der Mehrwegquoten des Jahres 1997. Die spätere Nacherhebung von Mai 2000 bis April 2001 ergab sogar nur noch eine Mehrwegquote von 63,81 Prozent. Die neuen Teilergebnisse für das Jahr 2000 zeigen Rückgänge in allen Getränkesparten, besonders gravierend bei Bier, Mineralwasser und CO<sub>2</sub>-haltigen Erfrischungsgetränken. Hierdurch war die Bundesregierung aufgefordert, die Nacherhebungsergebnisse im Juli 2002 im Bundesanzeiger zu veröffentlichen, womit die Pfandpflicht für Einwegverpackungen bei den Füllgütern Bier, Mineralwasser und CO<sub>2</sub>-haltige Erfrischungsgetränke ab 1.1.2003 ausgelöst wurde. Neue Regel- und Nacherhebungen wurden vom Bundesumweltministerium im Oktober 2004 bekannt gemacht.

Durch die Dritte Verordnung zur Änderung der Verpackungsverordnung, die am 21.1.2005 vom Bundestag (Drucksache 15/4642) beschlossen wurde und voraussichtlich spätestens im Mai 2005 verkündet wird, wird die bisherige Koppelung der Auslösung der Pfandpflicht an die Unterschreitung bestimmter Quoten abgeschafft und stattdessen eine unmittelbar wirkende Pfandpflicht für Getränke in ökologisch nachteiligen Einwegverpackungen eingeführt. Die Umsetzung der Richtlinie erfolgt durch eine weitere Novelle, die derzeit beim Bundesumweltministerium erarbeitet wird.

Die politischen Bestrebungen innerhalb Baden-Württembergs im Umweltbereich sind im Umweltplan formuliert. Laut Umweltplan hat sich das werkstoffliche Recycling konsolidiert. Es stellt sich aber die Frage, ob die hohen Kosten des Dualen Systems zu rechtfertigen sind, die sich im Jahre 1999 bundesweit auf 1,85 Mrd. Euro belaufen haben. Durch die Änderung der Struktur der DSD AG von einem „Quasi-Monopolisten“ zu einem gewinnorientierten Unternehmen und die Übernahme durch den US-Finanzinvestor Kohlberg Kravis Roberts befindet sich die Entwicklung insbesondere auch hinsichtlich der künftigen Lizenzentgelte im Fluss. Wie sich die Kosten des Dualen Systems entwickeln werden, bleibt abzuwarten.

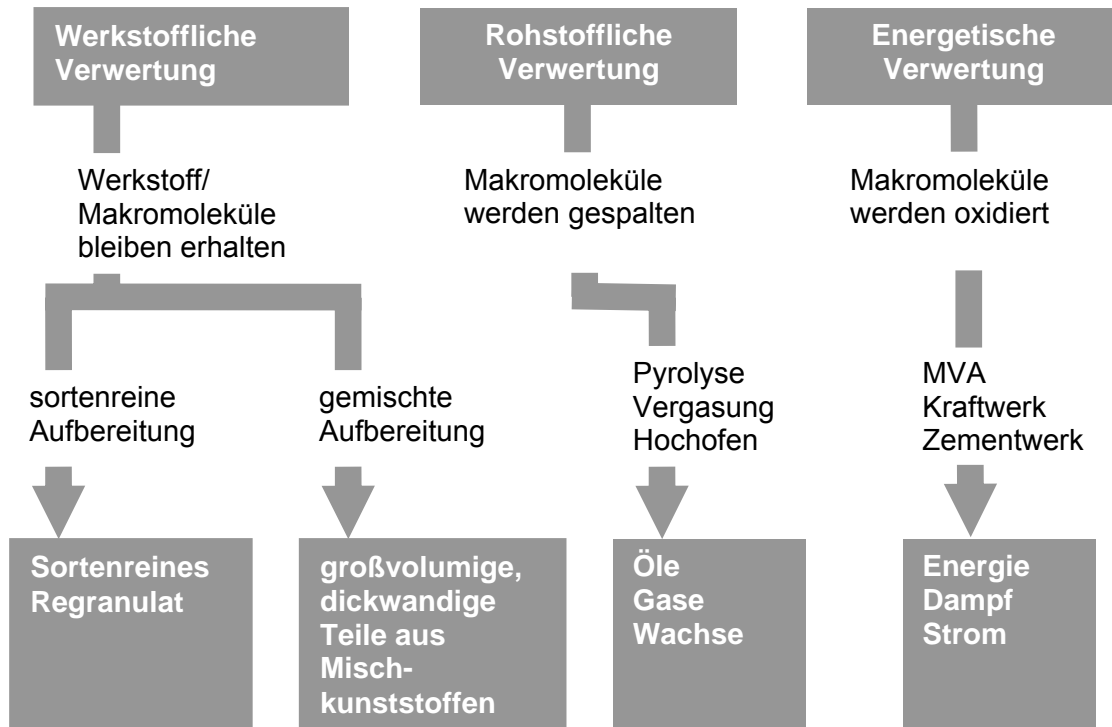
---

<sup>57</sup> Verordnung über die Vermeidung und Verwertung von Verpackungsabfällen; VerpackV – Verpackungsverordnung; 1998

## 6.3 Beschreibung und Bewertung der Verwertungs- und Beseitigungswege

### 6.3.1 Übersicht

Kunststoffe sind grundsätzlich auf drei verschiedenen Wegen zu verwerten:



**Abbildung 10:** Verwertungswege für Kunststoffe. Quelle: Verband Kunststoffherstellende Industrie (VKE), [www.vke.de](http://www.vke.de)

Bei der **werkstofflichen Verwertung** werden die gebrauchten Kunststoffe mechanisch aufbereitet. Dabei bleibt die chemische Struktur der Kunststoffe unverändert. Die Altteile werden zerkleinert, gereinigt und nach Sorten getrennt. Dies ist sinnvoll, wenn Altteile sauber und sortenrein erfasst werden können und das Rezyklat Neuware im Verhältnis eins zu eins ersetzt.

Bei der **rohstofflichen Verwertung** werden die Polymerketten z.B. durch Einwirkung von Wärme gespalten. Die Produkte sind Monomere oder petrochemische Grundstoffe wie Öle und Gase, die zur Herstellung neuer Kunststoffe eingesetzt werden können. Das Rohstoff-Recycling ist für vermischte und für verschmutzte Kunststofffraktionen geeignet.

Bei der **energetischen Verwertung** wird die in den Kunststoffen chemisch gebundene Energie durch Verbrennung bei gleichzeitiger Nutzung dieser Energie zur Erzeugung von Strom und/oder Dampf bzw. Bereitstellung von Prozesswärme genutzt. Die energetische Verwertung ist für vermischte und für verschmutzte, insbesondere für schadstoffbelastete Kunststofffraktionen geeignet.

Die meisten Verwertungsverfahren wurden schon in den vorhergegangenen Kapiteln dieses Gutachtens behandelt. Deshalb sollen hier nur noch die bisher nicht erwähnten Verfahren erläutert werden. Auf die spezifischen Eigenheiten der anderen Verfahren in Bezug auf die Kunststoffverwertung wird nur noch kurz eingegangen.

### 6.3.2 Werkstoffliche Verwertung

Bei der werkstofflichen Verwertung unterscheiden verschiedene Studien im Allgemeinen nach dem Automatisierungsgrad der Sortierung und nach der aussortierten Menge gegenüber der Restfraktion sowie nach der Sortenreinheit.

Die einfachsten und ältesten Verfahren arbeiten mit einer manuellen Sortierung, der sich meist eine Magnetabscheidung anschließt. Die Aluminiumfraktion wird entweder über Windsichter oder ebenfalls manuell abgetrennt. Die Bedeutung solcher Anlagen geht immer weiter zurück. Sie werden durch halbautomatische Anlagen ersetzt, bei denen sich die manuelle Tätigkeit auf eine Kontrollsortierung konzentriert. Die hier aussortierten Fraktionen sind: Folien, Weißblech, Mischkunststoff (flächig), Mischkunststoff (körperförmig), Flüssigkeitskartons, Aluminium, Kunststoffflaschen und Verbunde aus Papier, Pappe und Karton (PPK-Verbunde). Neuere Anlagen verwenden eine weiter entwickelte NIR- (Near Infrared) Trenntechnik, die es ermöglicht, die Kunststoffverpackungen in PE, PP, PET und PS-Artikel aufzutrennen. Der Sortierung schließt sich eine Veredelung und Verwertung der einzelnen Fraktionen an. In Deutschland sind laut Aussage der DSD AG 210 Sortieranlagen in Betrieb.

Die Reststoffe der werkstofflichen Verwertungen gehen in die rohstoffliche oder energetische Verwertung.

#### Verwertung durch sortenreine Sortierung (SORTEC 3.1)

Die von der SYSTEC, einer Tochtergesellschaft der Duales System Deutschland AG, in Hannover errichtete Sortieranlage – genannt SORTEC 3.0 – hat ihre Testphase erfolgreich absolviert. Der innovative Charakter des zugrunde liegenden Verfahrenskonzeptes liegt in der Abkehr von der manuellen Artikelsortierung. Die Bestandteile des Gelben Sackes können nun automatisch nach ihren Materialeigenschaften separiert und als hochreine Sekundärrohstoffe zurückgewonnen werden. Hierzu ist ein komplexer Prozess entwickelt worden. Die Leichtverpackungsabfälle werden zunächst in eine Gebindeöffnerstufe gegeben. Mittels Siebung wird der Materialstrom sodann in mehrere Korngrößenklassen aufgeteilt. Windsichter trennen Kunststofffolien und Papier ab. Dieses Leichtgut gelangt direkt in einen Stofflöser (Pulper). Die Schwerfraktionen werden nun zu Magnetabscheidern geleitet, die Weißblechdosen und andere Fe-Bestandteile als Endprodukt aussortieren. Danach erfolgt die Abscheidung von PET-Flaschen und Getränkekartons mittels zweier Klauengeräte. Das restliche Material wird den Pulpern zugeführt. Diese lösen das Papier in seine Faserstoffbestandteile auf. In der Waschstufe werden Papierfasern und Schmutzteilchen abgetrennt. Aluminium wird mit einem Wirbelstromabscheider sortenrein zurückgewonnen. Nach Durchlaufen einer Schwergutfalle sind praktisch nur noch Kunststoffe enthalten. Diese werden nach ihrer Dichte getrennt. Die weitgehend sortenreinen Produkte bestehen aus Polyethylen, Polystyrol und Polyolefinen. Die Kunststofffraktionen werden noch mittels Extrudern und Agglomeratoren verdichtet. Hieraus resultieren gut marktfähige Granulate.

Zur Erfassung der Leichtverpackungsabfälle wurden auf der EXPO Sammelbehälter aufgestellt. Dabei fielen pro Tag ca. 8,3 t an, die in der SORTEC 3.0-Anlage verarbeitet wurden. Zurzeit dient die Anlage, die es auf einen Jahresdurchsatz von 25 000 t bringt, zur Aufbereitung der Gelben Säcke von 1,1 Millionen Einwohnern des Großraums Hannover<sup>58</sup>.

**Der Vorteil dieser Anlage besteht in der Zusammenführung von bisher separierten Anlagentypen. Materialverluste an den Schnittstellen entfallen, was zu einer höheren Wertstoffgewinnung führt. Die ökologischen Vorteile ergeben sich durch eine hohe Sortenreinheit. Laut DSD ist der Anlagentyp kosteneffizienter als herkömmliche Sortierung und Verwertung.**

<sup>58</sup> JULIUS J.; Air: Hauszeitung der Aachener Institute für Rohstofftechnik; [http://www.rwth-aachen.de/air/airmail/archiv/mai01/recycling\\_expo.html](http://www.rwth-aachen.de/air/airmail/archiv/mai01/recycling_expo.html)

### 6.3.3 Rohstoffliche Verwertung

Im Hochofen werden die im Eisenerz enthaltenen Eisenoxide durch Kohlenstoff reduziert und in flüssiges Roheisen umgewandelt. Ein Hochofen ist ein kontinuierlich arbeitender Schachtofen, in den am unteren Teil 1000 bis 1350 °C heiße Luft eingeblasen wird. Das Gichtgas, welches bei der Reduktion entsteht, strömt von unten durch die Eisenerzschichten nach oben. Das Hauptreduktionsmittel ist Koks-kohle. Es werden Anstrengungen unternommen, die Koks-menge zu reduzieren und durch andere Reduktionsmittel wie Schweröl, welches unten mit der heißen Luft eingeblasen wird, zu ersetzen.

Da der Kunststoffabfall praktisch die gleiche chemische Struktur besitzt wie das Schweröl, wird er ebenfalls als Ersatz für die Koks-kohle eingesetzt. Aufgrund des etwas höheren Ascheanteils des Kunststoffes wird eine geringfügig höhere Menge an Kunststoff benötigt, um das Schweröl zu ersetzen<sup>59</sup>. Das Bundesministerium erkennt das Verfahren als rohstoffliche Verwertung von Kunststoffen an<sup>60</sup>.

**Die Verwendung von Kunststoffabfällen im Hochofenprozess ist Stand der Technik und wurde als ökologisch günstig bewertet<sup>61</sup>.**

### 6.3.4 Energetische Verwertung

Die ökologische Bewertung eines Verfahrens zur energetischen Verwertung ist stark vom energetischen Wirkungsgrad des Verfahrens abhängig. Je vollständiger die energetische Nutzung der im Abfall chemisch gebundenen Enthalpie ist, umso höher wird der ökologische Nutzen des Verfahrens eingestuft. Bei dieser Bewertung ist zu beachten, dass das Produkt der energetischen Nutzung sowohl Wärme (Dampf, Fernwärme) als auch elektrischer Strom oder eine Kombination aus Wärme und Strom sein kann. Es ist somit zwischen dem **energetischen Wirkungsgrad** (Produkt: Dampf oder Fernwärme) und dem **elektrischen Wirkungsgrad** (Produkt: Strom) streng zu unterscheiden.

Kunststoffe werden in folgenden Verfahren zur **Mitverbrennung** eingesetzt:

- Müllverbrennungsanlage
- Kraftwerk
- Vergasungsverfahren
- Zementdrehrohrofen

Für die Mitverbrennung von Kunststoffabfällen in Baden-Württemberg liegen Daten von Zementwerken und einem Kohlekraftwerk vor. Die gesamte genehmigte Kapazität für Kunststoffabfall in diesen beiden Anlagentypen betrug laut Landesamt für Umweltschutz 21 000 t/a. Die tatsächlich mitverbrannten Abfälle beliefen sich im Jahr 2000 nur auf 9 954 t und in 2001 auf 7 865 t<sup>62</sup>. Allerdings werden keine Angaben gemacht, aus welcher Quelle diese Kunststoffe stammen.

Es zeigt sich, dass momentan nur ein Teil des theoretischen Potenzials energetischer Verwertung von Ersatzbrennstoffen in Baden-Württemberg genutzt wird. Die Mitverbrennung in

<sup>59</sup> McMULLAN J. T.; ROMÉY I.: Energy recovery from plastic waste; Journal of the Institut of Energy; March 2000; 73; pp 56-64

<sup>60</sup> Kunststoffe im Hochofen entsorgen; UMWELT Bd. 25 (1995) Nr. 11/12

<sup>61</sup> HEYDE, M.; KREMER, M.: Recycling on Covery of Plastics from packagings in Domestic Waste – LCA-type Analysis of different Strategies. LCA Documents. Eco-informa-press, 1999; und auch ZESCHMAR-LAHL, B.; LAHL, U.: Rohstoffliche Verwertung von getrennt erfassten Verpackungen oder Mitbenutzung in der Restmülltonne? Ökobilanzieller Vergleich verschiedener Verwertungswege unter Berücksichtigung öffentlich-rechtlicher Entsorgungsinfrastrukturen. I. A. der Landbell AG. Oytén 2002

<sup>62</sup> LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG 2003 a.a.O.

Kraftwerken wird von den Kraftwerksbetreibern aufgrund des Abbrenn- bzw. Ausbrennverhaltens von Kunststoffen nicht weiterverfolgt. Um neue Verwertungswege zu erschließen und Ersatzbrennstoffe als gleichwertigen Brennstoff neben Kohle, Öl und Gas zu etablieren, bestehen trotzdem seit einigen Jahren europaweit Bestrebungen, Gütekriterien und Qualitätssicherungsmaßnahmen zu definieren, um eine umweltentlastende Verwertung sicherzustellen.

## 6.4 Empfehlungen

Bezüglich der **Datenlage** ist neben der Harmonisierung der Abfallbilanz des Landes mit den bundesweiten Angaben zu den behandelten Mengen der Verwertungs- und Sortierbetriebe auch die Verbesserung der Datenlage bezüglich der in der Mitverbrennung zu verwertenden Kapazitäten anzustreben.

Eine allgemeine Empfehlung bezüglich eines **Verwertungsweges** für gebrauchte Kunststoffe kann nicht gegeben werden, da die einzelnen Verwertungswege für spezifische Kunststoffe bzw. unter spezifischen Randbedingungen sowohl ökologisch als auch ökonomisch Vorteile gegenüber dem jeweiligen anderen Verwertungsweg besitzen können. Dieses muss fall-spezifisch über den gesamten Lebensweg betrachtet werden, wie es bereits in zahlreichen Studien entweder für Verkaufsverpackungen oder spezifische Kunststoffprodukte untersucht wurde<sup>63</sup>.

### Ergebnisse zur ökologischen Bewertung aus den Studien:

- Die stoffliche Verwertung von Kunststoffflaschen und Folien größer DIN A4 weist einen ökologischen Vorteil gegenüber der energetischen Verwertung auf. Für die Fraktionen kleinere Folien, Kunststoffverbunde und sonstige Kunststoffverpackungen ist die energetische Verwertung günstiger.
- Je höher der energetische Wirkungsgrad der Anlagen bei einer thermischen Verwertung ist, umso umweltentlastender ist der Verwertungsweg. Da die Mehrzahl an Müllverbrennungsanlagen keine günstigen Wirkungsgrade aufweisen, ist der Einsatz im Zement- oder Kraftwerk vorzuziehen.

### Ergebnisse zur ökonomischen Bewertung aus den Studien:

Der Kostenaufwand zur Verwertung von Kunststoffabfällen ist im Vergleich zu Metallen oder Glas deutlich höher. Die Werte schwanken je nach Studie und Randbedingungen bei der Sortiertechnik und den Transportwegen zwischen 400 und 1000 €/t. Dabei ist der Aufwand für die großvolumigen Teile wie Flaschen und Folien am geringsten.

Die Frage, ob ein größerer Anteil an Kunststoffverpackungen, insbesondere die kleinteiligen, verschmutzten Kunststoffteile, werkstofflich oder energetisch verwertet werden soll, ist eine Frage sowohl der Ökonomie als auch der Ökologie. Von Experten wird die Forderung aufgestellt, die getrennte Erfassung und (stoffliche) Verwertung von Kunststoffverpackungen auf die Teilmenge der großvolumigen, gering verschmutzten und weitgehend sortenreinen Hohlkörper (vor allem Flaschen) und Folien zu begrenzen<sup>64</sup>. Diese Forderung wird vom Nachhaltigkeitsbeirat Baden-Württemberg unterstützt.

<sup>63</sup> SCHMITZ, S.; OELS, H.-J.; TIEDEMANN, A.: Ökobilanz für Getränkeverpackung. UBA Texte 52/95, Berlin 1995; DINKEL, F., POHL, C.; ROS, M.: Ökobilanz stärkehaltiger Kunststoffe, BUWAL CH, Schriftenreihe Umwelt; 271/1, 1996.; NÜRRENBACH, T.; MENNER, M.; RAMSL, F.; WEBER-BLASCHKE, G.; FAULSTICH, M.: Energetische Verwertung von Mischkunststoffen in bayrischen Müllverbrennungsanlagen, Müll und Abfall 10/2002, S. 651-658; und andere Studien

<sup>64</sup> Z.B. SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN (SRU): Umweltgutachten 2000, Stuttgart 2000; und KAIMER, M.; SCHADE, D.: Zukunftsfähige Hausmüllentsorgung, Berlin 2002

**Tabelle 10:** Entsorgungswege Kunststoffverpackungen

	Beseitigung		Energetische Verwertung		Rohstoffliche Verwertung		Werkstoffliche Verwertung	
	Deponie	MVA	Kraftwerk	Zement	Hochofen	Vergasung	Sortenreine Aufbereitung	Gemischstoffliche Aufbereitung
<b>Schadstoffe/ Probleme</b>	organische Schadstoffe, Chlor							
<b>Verbleib der Schadstoffe</b>	Boden Grundwasser	Luft Rückstände d. Rauchgas- reinigung	Luft Rückstände d. Rauchgas- reinigung	Luft Zement	Luft	Rückstände der Gasreinigung	Feste Rückstände zur Beseitigung (Schwer- und Feinfraktion)	Feste Rückstände zur Beseitigung (Schwer- und Feinfraktion)
<b>Wertstoffe Nutzen Produkt</b>		Dampf/Strom	Ersatz- brennstoff Dampf/Strom	Ersatzbrennstoff	Ersatz fossiler Reduktionsmit- tel	Methanol Dampf/Strom	Gleichwertige Kunst- stoffe	Minderwertige Kunststoffe
<b>Rechtliche Rahmen- bedingungen</b>	KrW-/AbfG VerpackV	KrW-/AbfG VerpackV	KrW-/AbfG VerpackV	KrW-/AbfG VerpackV	KrW-/AbfG VerpackV	KrW-/AbfG VerpackV	KrW-/AbfG VerpackV	KrW-/AbfG VerpackV
	AbfAbIV TASi Verbot ab 2005	17. BImSchV	17. BImSchV	17. BImSchV	TA Luft	17. BImSchV		
<b>Technische Bewertung</b>		Stand der Technik; beschränkte Kapazitäten ab 2005	Stand der Technik	Stand der Tech- nik	Stand der Technik	Stand der Technik	Stand der Technik; neuere Anlagen erreichen höhere Sorten- reinheit	
<b>Ökologisch/ Ökonomische Bewertung</b>	nicht relevant TASi	Ökologisch mittel (Wär- menutzung)  ökonomisch günstig	Ökologisch besser als MVA (Wärme- nutzung)  ökonomisch günstig	Ökologisch bes- ser als MVA (Wärmenutzung)  ökonomisch günstig	Ökologisch besser als MVA ökonomisch mittel (Feedkonditio- nierung)	Ökologisch bes- ser als MVA  ökonomisch mittel (Feedkonditionie- rung)	Bietet ökologische Vorteile  ökonomisch ungünstig	Ökologische Vortei- le gering, da hoher Aufwand  ökonomisch ungünstig

## 7. Hausmüllentsorgung unter Berücksichtigung der TA Siedlungsabfall 2005

### 7.1 Mengen und Kapazitäten

Hausmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle wurden bisher in Deutschland überwiegend deponiert oder in Müllverbrennungsanlagen (MVA) thermisch behandelt bzw. energetisch verwertet. Die Deponierung unbehandelter Abfälle ist gemäß TASI<sup>65</sup> nach dem 1.6.2005 nicht mehr zulässig. Verfahren zur mechanisch-biologischen Abfallbehandlung (MBA) werden als zusätzliche Option für die Entsorgung / Verwertung dieser Abfallströme diskutiert und z. T. bereits eingesetzt.

Bei der Betrachtung von Abfallmengen und Entsorgungs-/Verwertungs-Kapazitäten müssen daher die beiden Systeme MVA und MBA sowie teilweise vorgeschaltete Sortieranlagen berücksichtigt werden. Eine einfache Addition aller Kapazitäten kann zu Fehleinschätzungen führen.

Es liegen verschiedene aktuelle und umfassende Studien vor, in denen bundesweite Abfallmengen und Anlagenkapazitäten vor dem Hintergrund der Entsorgungssicherheit nach dem 1.6.2005 bewertet werden<sup>66</sup>. Im Folgenden werden die Ergebnisse der PROGNOs-Studie<sup>67</sup> und des Berichts der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) zur 63. Umweltministerkonferenz<sup>68</sup> dargestellt.

#### 7.1.1 Daten für die Bundesrepublik Deutschland

Die Daten des LAGA-Berichts basieren auf einer Abfrage der Bundesländer. Für 2005 wird bundesweit mit folgenden **Abfallmengen** gerechnet:

graue Tonne mit Sperrmüll	16,2 Mio. t
Gewerbeabfall zur Beseitigung	4,2 Mio. t
<b>Gesamt</b>	<b>20,4 Mio. t</b>
Restabfall aus Behandlungsanlagen	4,1 Mio. t
<b>Gesamt-Menge BRD, LAGA</b>	<b>24,5 Mio. t</b>

Die Daten der PROGNOs-Studie basieren auf einer **Abfallmengenprognose** für alle Kreise und kreisfreien Städte in Deutschland:

<b>überlassungspflichtige Abfälle zur Beseitigung</b>	<b>20,5 Mio. t</b>
thermisch zu behandelnde Gewerbe- und Sekundärabfälle sowie Sortierreste	6,1 Mio. t
Ersatzbrennstoffe für die energetische Verwertung	2,9 Mio. t
<b>Gesamt-Menge BRD, PROGNOs</b>	<b>29,5 Mio. t</b>

<sup>65</sup> TA Siedlungsabfall; Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen; Mai 1993

<sup>66</sup> Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA); PROGNOs AG; Deutsche Projekt Union GmbH; Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik Uni Hannover (ISAH); Umweltbundesamt (UBA)

<sup>67</sup> PROGNOs AG: Abfallströme nach 2005 für die thermische Abfallbehandlung und energetische Verwertung, 2003

<sup>68</sup> Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA): Bericht der LAGA zur 63. Umweltministerkonferenz; Umsetzung der Abfallablagerungsverordnung. 3. Fortschreibung, Stand 31.8.04

Die bundesweit in 2005 als verfügbar angenommenen **Kapazitäten** von Abfallbehandlungsanlagen sind in beiden Studien praktisch identisch. In nachfolgender Tabelle 11 sind die LAGA-Daten genannt. In der letzten Spalte sind neben den verfügbaren Kapazitäten weitere geplante und im Bau befindliche Kapazitäten aufgeführt, so dass die nach 2005 verfügbaren Kapazitäten höher ausfallen.

	verfügbare Kapazitäten	verfügbare und geplante Kapazitäten
Müllverbrennungsanlagen (MVA)	16,3 Mio. t/a	17,9 Mio. t/a
Mechanisch-biologische Abfallbeh. (MBA)	6,2 Mio. t/a	7,1 Mio. t/a
<b>Gesamtkapazität MVA + MBA</b>	<b>22,6 Mio. t/a</b>	<b>25,0 Mio. t/a</b>
Mitverbrennung in Kraftwerken und Industrie	2,3 Mio. t/a	3,5 Mio. t/a
<b>Gesamtkapazität</b>	<b>24,9 Mio. t/a</b>	<b>28,5 Mio. t/a</b>

**Tabelle 11:** Behandlungskapazitäten in Deutschland 2005. Quelle: LAGA, Stand 31.8.2004

Die bundesweit verfügbaren Kapazitäten in Anlagen außerhalb Deutschlands sind nach PROGNOSE mit 0,1 Mio. t/a vernachlässigbar.

Zu den genannten Kapazitäten der MBA ist anzumerken, dass laut LAGA mit Stand 08/2004 von den insgesamt genannten 66 Standorten noch 42 Standorte im Status „geplant“, „in Genehmigung“ oder „im Bau“ sind, so dass die für 2005 angenommenen MBA-Kapazitäten als sehr optimistisch angesehen werden.

Auf Basis der oben genannten Daten kommen die beiden Studien zu unterschiedlichen Einschätzungen der Entsorgungssicherheit nach dem 1. Juni 2005:

Die PROGNOSE-Studie sieht ausgehend von 20,5 Mio. t/a überlassungspflichtiger Abfälle und einer Behandlungskapazität (MBA und MVA) von rund 22,3 Mio. t/a ausreichende Kapazitäten. Da aber nach Abschätzung von PROGNOSE weitere 6,1 Mio. t/a an frei handelbaren Sekundärabfällen thermisch in MVA zu behandeln sind, fehlen für das Jahr 2006 zusätzliche Behandlungskapazitäten von rund 4,3 Mio. t. Berücksichtigt man hierbei noch die zum Teil deutlich höheren Heizwerte der Sekundärabfälle (Faktor 1,5 bis 2), so fehlen ca. 6,8 Mio. t Behandlungskapazität in 2006.

Im Bericht der LAGA stehen dem Gesamtaufkommen an Abfällen aus Haushalten von 16,2 Mio. t in 2005 rechnerisch ausreichende Behandlungskapazitäten in MVA und MBA gegenüber (22,6 Mio. t). Auch unter Einbeziehung von hausmüllartigen Gewerbeabfällen zur Beseitigung ergibt sich noch ein Kapazitätsüberschuss. Werden allerdings zusätzlich Abfälle aus Abfallbehandlungsanlagen (MBA) berücksichtigt, so kann der Bedarf an thermischer Behandlungskapazität nicht gedeckt werden. Auch die thermische Verwertung von Gewerbeabfällen zur Verwertung, die im Bericht der LAGA wegen großer Unsicherheiten nicht quantifiziert wird, kann **nach Einschätzung der LAGA nicht durch die verfügbaren Mitverbrennungskapazitäten gedeckt werden**. Somit kommt die LAGA zu dem Ergebnis, dass ein Bedarf an zusätzlicher thermischer Behandlungskapazität nach 2005 besteht und dass zusätzlich weitere Mitverbrennungskapazitäten zu erschließen sind.

In beiden Studien wird darauf hingewiesen, dass die Gegenüberstellung der bundesweiten Abfallmengen und Kapazitäten und damit die Bewertung der Entsorgungssicherheit stark von einer lokalen Betrachtung (z. B. Bundesland oder Kreis) abweichen kann. Im Folgenden sind die Abfallmengen und Behandlungskapazitäten in Baden-Württemberg gegenübergestellt.



### 7.1.2 Daten für Baden Württemberg

Für Baden-Württemberg ergeben sich nach LAGA (Stand 31.8.04) folgende **Abfallmengen** für 2005:

graue Tonne mit Sperrmüll	1 500 000 t
Gewerbeabfall zur Beseitigung	400 000 t
<b>Gesamt</b>	<b>1 900 000 t</b>
Restabfall aus Behandlungsanlagen <sup>69</sup>	275 840 t
<b>Gesamt-Menge BW, LAGA</b>	<b>2 175 840 t</b>

Tabelle 12 zeigt die in Baden-Württemberg zum Stichtag 1.6.2005 und gemäß derzeitigem Wissensstand zukünftig verfügbaren **Behandlungskapazitäten**.

Anlagen	LAGA-Bericht v. 31.8.04		aktualisierte Daten (Stand 01/2005)
	Kapazitäten zum 01.06.05	Kapazitäten nach 01.06.05	Kapazitäten nach 01.06.05
HMV Stuttgart	250 000	420 000	420 000
HMV Mannheim	380 000	380 000	482 500
HMV Göppingen	140 000	140 000	140 000
HMV Ulm	116 000	116 000	130 000
HMV Böblingen	140 000	140 000	140 000
HMV Eschbach	150 000	150 000	150 000
Zwischensumme MVA	1 176 000	1 346 000	1 462 500
HMV Kempten Bayern	33 000	33 000	33 000
HMV Schweinfurt Bayern	25 000	25 000	25 000
HMV Würzburg Bayern	28 000	28 000	28 000
KVA Turgi, Buchs, Oftringen, Zürich	55 000	55 000	55 000
KVA Basel	49 500	49 500	49 500
KVA Weinfeldern	70 000	39 000	50 000
Zwischensumme Export	260 500	229 500	240 500
MBA Buchen	151 000	151 000	151 000
MBA Kahlenberg	100 000	100 000	100 000
MBA Heilbronn	88 600	88 600	88 600
Zwischensumme MBA	339 600	339 600	339 600
<b>Summe gesamt</b>	<b>1 776 100</b>	<b>1 915 100</b>	<b>2 042 600</b>

**Tabelle 12:** Behandlungskapazitäten in Baden-Württemberg zum Stichtag 1.6.2005 und nach Stichtag, Datenquelle: LAGA, Stand 31.8.2004 und aktualisiert nach Auskunft UVM, Stand 01/2005. Die LAGA weist zusätzlich eine Kapazität von ca. 400 000 t über mechanische Aufbereitungsanlagen (Stoffstrom-sortieranlagen) aus (diese beträgt lt. UVM rund 300 000 t).

Kapazitäten zur Mitverbrennung in Industrieanlagen werden von Baden-Württemberg nach 2005 nicht angegeben.

<sup>69</sup> Beinhaltet Siebreeste/Störstoffe aus Kompostwerken, Vergärungsanlagen und Abfallsortieranlagen sowie heizwertreiche Restfraktionen aus MBA-Anlagen

Es ist zu beachten, dass die genannten Kapazitäten aller MBA (339 600 t/a) und der MVA Eschbach (150 000 t/a) z. Zt. noch im Bau sind. Zumindest für MVA Eschbach und MBA Heilbronn ist laut UVM zugesagt, dass die geplante Entsorgungskapazität zum Stichtag zur Verfügung stehen wird.

Nach Auskunft des UVM können ca. 300 000 t/a Behandlungskapazität in so genannten Stoffstromanlagen hinzuaddiert werden. Da in diesen Anlagen Stoffe lediglich sortiert werden, ist nach Ansicht des Nachhaltigkeitsbeirats allerdings der endgültige Verbleib der Teilfraktionen (Deponie? Verwertung? MVA?) genauer zu untersuchen, eine einfache Addition erscheint nicht zulässig.

Auf Basis der aktualisierten Daten ist nach Meinung des UVM kein Kapazitätsdefizit zum Stichtag 1.6.2005 für die Entsorgung der in Baden-Württemberg den öRE überlassenen Abfälle zur Beseitigung zu erwarten, zumal jüngste Meldungen der öRE nur noch von 1,8 Mio. t/a zu behandelnden Restabfallmengen ausgehen.

Aus Sicht des Nachhaltigkeitsbeirats Baden-Württemberg hängt die **Entsorgungssicherheit** zur Zeit wesentlich von den zu diesem Zeitpunkt tatsächlich verfügbaren Kapazitäten der **mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen (MBA)** ab. Werden die geplanten Durchsätze nicht erreicht oder die geforderten Qualitäten der erzeugten Stoffströme (Deponiematerial und Ersatzbrennstoff) nicht eingehalten, so müssen diese Stoffströme in einer **Müllverbrennungsanlage (MVA)** thermisch nachbehandelt werden. Freie MVA-Kapazitäten werden ab Juni 2005 jedoch wahrscheinlich nicht verfügbar sein.

## 7.2 Rechtliche Vorgaben

Die Errichtung, die Beschaffenheit und der Betrieb von mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen (MBA) sind in der **Verordnung über Anlagen zur biologischen Behandlung von Abfällen (30. BImSchV)** geregelt.

Zusätzlich sind bei Errichtung und Betrieb einer MBA folgende Regelwerke zu beachten:

### **Abfallablagerungsverordnung (AbfAbIV)** mit

- Grenzwerten für organischen Anteil des Trockenrückstandes
- Eluatkriterien

### **Anhang 23 der Abwasserverordnung (AwV)** mit

- Grenzwerten für Abwasserqualität

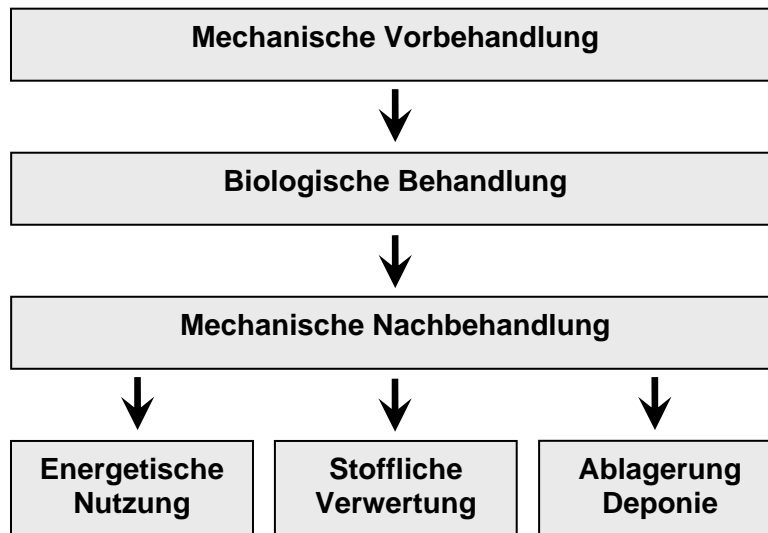
### **Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA-Luft)** mit

- Baulichen Anforderungen
- Grenzwerten

## 7.3 Verfahren zur mechanisch-biologischen Abfallbehandlung

### 7.3.1 Verfahrensprinzip

In Abbildung 11 ist das Verfahrensprinzip der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung (MBA) schematisch dargestellt. Durch den gezielten Einsatz von mechanischen und biologischen Behandlungsstufen wird der Abfall so konditioniert, dass er entweder zur Ablagerung auf der Deponie oder als Ersatzbrennstoff zur energetischen bzw. stofflichen Verwertung geeignet ist.



**Abbildung 11:** Verfahrensprinzip der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung (MBA)

Bei der Entwicklung der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung haben sich zwei Verfahrensvarianten herauskristallisiert, die sich im Verfahrensablauf und bzgl. der erzeugten Stoffströme unterscheiden. Die Bezeichnung der Verfahrensprinzipien ist in der Literatur nicht eindeutig, im Folgenden wurden die Bezeichnungen nach Umweltbundesamt (UBA) verwendet.

Hauptziel der **Stoffstromtrenn-Verfahren** ist die Vorbehandlung der Abfälle für eine umweltverträgliche Ablagerung auf der Deponie. Um biologische Abbauprozesse und die damit verbundenen Emissionen im Deponiekörper zu begrenzen, wird bei der Vorbehandlung ein weitgehender biologischer Abbau der organischen Abfallbestandteile angestrebt. In einer mechanischen Behandlungsstufe werden heizwertreiche Fraktionen für eine energetische Nutzung und Metalle für die stoffliche Verwertung abgetrennt. Die biologische Behandlung erfolgt mittels aerober Rotte, anaerober Vergärung oder kombinierter Verfahren. Beim Einsatz anaerober Verfahren wird Biogas erzeugt, das einer energetischen Nutzung zugeführt werden kann.

Behandlungsziel der **Stabilisanlagen** ist ein weitgehender Erhalt der biogenen Bestandteile im heizwertreichen Stabilat und die Gewinnung weiterer verwertbarer Fraktionen. Zur Verbesserung der Aufbereitungseigenschaften werden die Abfälle biologisch getrocknet. In der vorgeschalteten Aufbereitungsstufe erfolgt meist nur eine Konditionierung (Zerkleinerung) für die nachfolgende Trocknung. Der biologischen Trocknung wird in der Regel der gesamte Abfallstrom zugeführt, um bei möglichst geringem Abbau der Organik vorrangig die Feuchte in den Abfällen zu reduzieren. Dabei wird die bei der Selbsterhitzung der organischen Abfallbestandteile freiwerdende Wärme zur Verdampfung der Abfallfeuchte genutzt. In der abschließenden trocken-mechanischen Aufbereitung werden die getrockneten Abfälle nach Abtrennung von Metall, Inert- und Störstoffen in eine oder mehrere heizwertreiche Abfallfraktionen unterschiedlicher Qualität aufgeteilt. Es verbleibt in der Regel eine niederkalorische

Abfallfraktion, die einer thermischen Nachbehandlung z.B. in einer Müllverbrennungsanlage (MVA) unterzogen werden muss.

Alle Anlagen zur mechanisch-biologischen Abfallbehandlung müssen gemäß gesetzlichen Vorgaben eingehaust betrieben werden. Zur Einhaltung der Emissionsgrenzwerte nach 30. BImSchV wird die gesamte Abluft erfasst und einer Abluftreinigung zugeführt. Diese besteht bei neuen Anlagen überwiegend aus den Verfahrensschritten saure Wäsche und regenerative thermische Oxidation (RTO). Für schwach belastete Abgasströme werden teilweise Biofilter eingesetzt<sup>70</sup>.

### 7.3.2 Verfahrensbeispiele

Aus der Vielzahl der auf dem Markt angebotenen Verfahren soll beispielhaft das in Baden-Württemberg an 2 Standorten zur Anwendung kommende ISKA®-Verfahren vorgestellt werden. Die im Verfahrensschema angegebenen Massenanteile der einzelnen Stoffströme sind als Auslegungswerte anzusehen. Ob diese Werte im Praxisbetrieb dauerhaft erreicht werden, ist in der Literatur bisher nicht berichtet worden. Insbesondere bei Ausrichtung auf eine maximale energetische oder stoffliche Verwertung des Abfalls, fallen Reststoffströme an, die nicht mit vertretbarem Aufwand so aufzubereiten sind, dass sie einer Verwertung zugeführt werden können und daher in der Regel thermisch nachbehandelt werden müssen (MVA).

#### ISKA®-Verfahren

Beim ISKA®-Verfahren<sup>71</sup> erfolgt nach der Abfallannahme die mechanische Aufbereitung, welche aus einer Absiebung des hochkalorischen Überkorns und einer Magnetabscheidung der eisenhaltigen Metalle besteht. Das Überkorn geht entweder direkt in die energetische Verwertung/thermische Behandlung (MVA) oder nach einer mechanischen Nachbehandlung (Trennung, Pelletierung) als Ersatzbrennstoff ins Kraftwerk/Zementwerk.

Das Unterkorn wird in der Perkolation weiter bearbeitet. Der Perkolator ist ein liegender zylindrischer Behälter mit einem horizontal angeordneten Rührwerk zur Durchmischung und damit zum Aufschließen des Abfalls. Über Düsen an der Behälterdecke wird der Abfall mit dem im Kreislauf geführten Perkulationswasser diskontinuierlich beaufschlagt. Das Perkulationswasser durchdringt den Abfall und trägt über den Siebboden des Behälters die löslichen organischen Bestandteile sowie feinkörnige Mineralien aus. Durch Druckluftstöße wird sichergestellt, dass der Abfall im Perkolator ausreichend durchlüftet wird.

In einem zweiten Schritt wird unter Luftabschluss das organisch belastete Perkulationswasser in einem Fermenter zu Biogas vergoren und darüber hinaus ein großer Anteil an mineralischen Bestandteilen ausgesiebt und als Baustoff wieder verwertet. Das Biogas wird in einem Blockheizkraftwerk in Strom und nutzbare Wärme umgewandelt.

Der perkolierte Feststoff wird in der Nachbehandlung je nach Verwendungszweck nochmals mechanisch getrennt und im Falle einer Deponierung, zum Erreichen der Kriterien der Abfallablagereverordnung (AbfAbIV), einer Nachrotte zugeführt.

<sup>70</sup> DOEDENS, H.: Stand der technischen Entwicklung der MBA; 5. ASA-Abfalltagung „Countdown 2005-Chancen; Risiken und Möglichkeiten der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung“, 19./20.2.2004

<sup>71</sup> Siehe <http://www.iska-gmbh.de/html/referenzbuchen.htm> Download: 4.8.2004; TH. SEIFERMANN: MBA ISKA®-Buchen mit Perkolation; Bio- und Restabfallbehandlung 6; Fachbuchreihe Abfall-Wirtschaft des Witzenhausen-Instituts für Abfall, Umwelt und Energie, 2002

Für diese als Typ 1 bezeichnete Verfahrensvariante ist in Abbildung 12 ein Stoffstromdiagramm dargestellt. Die beiden zusätzlich angebotenen Verfahrensvarianten sollen eine optimale Nutzung von MVA-Kapazitäten (Typ 2) oder eine maximale Verwertung in industriellen Verfahren der Grundstoffindustrie oder Stromerzeugung (Typ 3) ermöglichen.

Stabilisierung des Abfalls zur umweltverträglichen Ablagerung auf Deponie.

→ Nachrotte erforderlich

Ziele:

- Nutzung vorhandener Deponiekapazitäten
- Müllreduktion

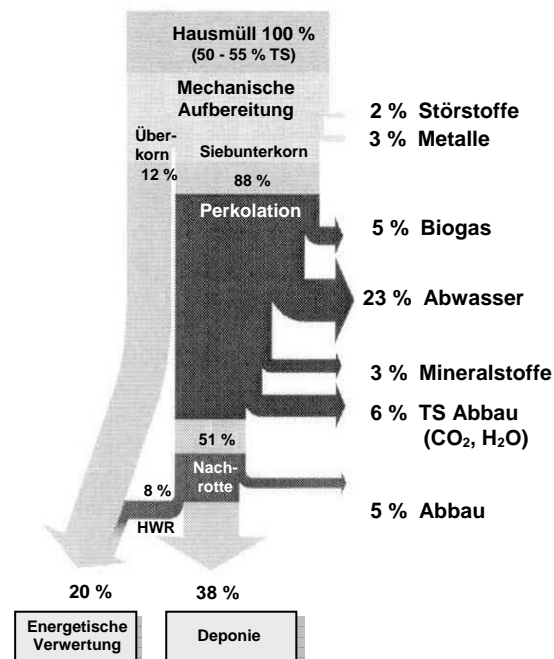


Abbildung 12: ISKA-Verfahren Typ 1 zur Nutzung von Deponiekapazitäten

### 7.3.3 Verfahren in Baden-Württemberg

In Baden-Württemberg gibt es drei Standorte mit mechanisch-biologischen Behandlungsanlagen. Sie befinden sich alle im Bau.

Die Anlagen in Buchen, Heilbronn und Kahlenberg arbeiten alle nach dem Perkolationsverfahren. Buchen und Heilbronn werden nach dem ISKA®-Verfahren der Firma U-Plus gebaut, mit der Zielsetzung, deponierbares Material herzustellen (Typ 1). Das BIOPERCOLAT®-Verfahren<sup>72</sup> der Firma Wehrle-Werk AG wird in Kahlenberg umgesetzt.

<sup>72</sup> Siehe [http://www.wehrle-werk.de/html/body\\_news.cfm#A4](http://www.wehrle-werk.de/html/body_news.cfm#A4) Download: 4.8.2004; und P. SCHALK: Das BIOPERCOLAT®-Verfahren in der Restabfallbehandlung; Bio- und Restabfallbehandlung 6; Fachbuchreihe Abfall-Wirtschaft des Witzenhausen-Instituts für Abfall, Umwelt und Energie; 2002

## 7.4 Bewertung

Ein Vergleich der Verfahren zur mechanisch-biologischen Abfallbehandlung (MBA) mit dem Rostofenverfahren der Müllverbrennungsanlagen (MVA) ist wegen des stark unterschiedlichen Entwicklungsstandes der beiden Verfahren nicht zielführend<sup>73</sup>.

Es wird deshalb im Folgenden nur der Versuch unternommen, die in Bezug auf Entsorgungssicherheit und Entsorgungskosten wesentlichen Fragen zur mechanisch-biologischen Abfallbehandlung zu erörtern.

### Anlagentechnik:

Nach LAGA sind im Jahr 2005 ca. 6,2 Mio. t/a MBA-Kapazitäten in der Bundesrepublik Deutschland verfügbar. Von den insgesamt genannten 66 Standorten sind mit Stand 08/2004 noch 42 Standorte im Status „geplant“, „in Genehmigung“ oder „im Bau“, d.h. es werden z. Zt. sehr große MBA-Kapazitäten realisiert oder nachgerüstet, ohne dass ausreichende Erfahrungen mit Anlagen vorliegen, die nach 30. BImSchV betrieben werden und die ablagerungsfähige Stoffströme gemäß AbfAbIV oder marktfähige Ersatzbrennstoffe erzeugen. Diese Einschätzung wird von DOEDENS<sup>74</sup> bestätigt und ergänzt durch die Aussage, dass dieser Umstand zu einer für Betreiber, Planer und Ausrüster teuren Wiederholung von Fehlern führen kann.

Offene Punkte in Bezug auf die Anlagentechnik sind z.B.:

- die erforderlichen Rottezeiten zur Erreichung der nach AbfAbIV geforderten Parameter in Abhängigkeit von Abfallspezifikation und eingesetztem Rotteverfahren (die Rottezeiten sind direkt proportional zum Durchsatz der MBA, so dass die 2005 tatsächlich verfügbaren MBA-Kapazitäten unsicher sind).
- das Abgasmanagement für die sehr großen Umluftströme, die bei aeroben Prozessen verfahrensbedingt auftreten und die gemäß 30. BImSchV unter Vermeidung von diffusen Emissionen in einer eingehausten Anlage zu führen sind.

### Stoffströme:

Die mit MBA-Verfahren aus Abfall erzeugten Stoffströme sollen entweder direkt deponiert werden oder als Ersatzbrennstoff in energieintensiven Prozessen der Energie- und Grundstoffindustrie eingesetzt werden. In beiden Fällen müssen diese Stoffströme vorgegebene Qualitätskriterien erfüllen.

Die Kriterien der Deponierung sind in der AbfAbIV festgeschrieben, die Ersatzbrennstoff-Spezifikation wird mit dem Verwerter gemäß der technischen und rechtlichen Randbedingungen der Verwertungsanlage vertraglich festgelegt.

Können die geforderten Kriterien nicht sicher eingehalten werden, bleibt für den MBA-Betreiber in der Regel nur die nachträgliche thermische Behandlung in einer Müllverbrennungsanlage (MVA).

Insbesondere bei den Stabilat-Verfahren, die auf eine maximale energetische oder stoffliche Verwertung des Abfalls ausgerichtet sind, fallen Reststoffströme an, die nicht mit vertretbarem Aufwand so aufzubereiten sind, dass sie einer Verwertung zugeführt werden können und daher in der Regel thermisch nachbehandelt werden müssen (MVA).

<sup>73</sup> THOMÉ-KOZMIENSKY, K. J.: Stellung, Möglichkeiten und Probleme der MBA in der Abfallwirtschaft; 5. ASA-Abfalltagung „Countdown 2005-Chancen, Risiken und Möglichkeiten der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung“, 19./20.2.2004; und K.J. THOMÉ-KOZMIENSKY: Abfallbehandlung mit Verbrennung und mit mechanisch-biologischen Verfahren; Optimierung der Abfallverbrennung 1; 2004

<sup>74</sup> DOEDENS, H. a.a.O.

Die Sinnhaftigkeit der Auslegung einer MBA als Vorstufe zur MVA muss im Einzelfall geprüft werden, da durch die MBA zwar die Abfallmenge reduziert wird, die Spezifikation der Abfälle aus der MBA jedoch in der Regel außerhalb der Auslegungsspezifikation der MVA liegt, so dass die Verbrennungskapazität der MVA durch den Einsatz des MBA-Materials reduziert wird.

Die nach Juni 2005 erforderlichen zusätzlichen MVA-Kapazitäten für nicht verwertbare oder nicht ablagerungsfähige MBA-Stoffströme und damit die Preise für die thermische Nachbehandlung dieser Stoffströme sind heute nicht belastbar abzuschätzen. Ebenso sind Aussagen über 2005 verfügbare Verwertungskapazitäten für Ersatzbrennstoffe aus der MBA unsicher, da die Qualität der Ersatzbrennstoffe nicht bewertet werden kann.

### **Emissionen, Schadstoffe:**

Belastbare Untersuchungen zum Verbleib organischer und anorganischer Schadstoffe bei mechanisch-biologischen Verfahren sind nicht publiziert. Über die Aufteilung der verschiedenen Schadstoff-Gruppen auf die Prozessströme Abgas, Abwasser und Feststoffe zur Verwertung bzw. Ablagerung fehlen Untersuchungen, wie sie für Müllverbrennungsanlagen sehr detailliert vorliegen<sup>75</sup>. Diese Untersuchungen zeigen, dass die MVA eine Senke sowohl für organische als auch für anorganische Schadstoffe ist. Während die organischen Schadstoffe praktisch vollständig bei den hohen Prozesstemperaturen zerstört werden, werden die leichtflüchtigen und partikelgebundenen anorganischen Schadstoffe in der Rauchgasreinigung abgeschieden und die Komponenten mit hohem Dampfdruck in der Rostasche eingebunden.

Dieses für die Bewertung eines Verfahrens unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit wesentliche Kriterium der Schadstoffsinke kann für die mechanisch-biologischen Verfahren wegen fehlender Daten nicht beurteilt werden.

Die MBA-Anlagen müssen gemäß 30. BImSchV eingehaust werden, um diffuse Emissionen zu vermeiden. Die Abgase werden in der Regel über eine saure Wäsche und eine thermische Stufe nachbehandelt, so dass organische Schadstoffe zerstört und flüchtige Schwermetalle überwiegend abgeschieden werden.

Das Abwasser muss Einleitbedingungen nach Anhang 23 der Abwasserverordnung (AwV) einhalten. Die Schadstoffe werden in der nachgeschalteten Kläranlage im Klärschlamm eingebunden (s. Kapitel 4).

Schadstoffe, die in der Fraktion der Ersatzbrennstoffe enthalten sind, werden industriellen Hochtemperaturprozessen zugeführt. Die Qualitätskriterien der Anlagenbetreiber legen Grenzwerte für Schadstoffgehalte fest. Bei den hohen Prozesstemperaturen werden die organischen Schadstoffe abgebaut, der Verbleib der Schwermetalle ist in der Diskussion (z.B. Zementproduktion).

Die zu deponierende Fraktion muss Kriterien zur biologischen Abbaubarkeit, zum Elutionsverhalten und zum organischen Anteil des Trockenrückstandes einhalten. Dieser als TOC zu bestimmende Wert ist mit 18 Gew.-% wesentlich höher als der Wert nach TASI mit 1 bzw. 3 Gew.-% je nach Deponieklasse. Eine schlüssige Begründung für diesen erhöhten Grenzwert findet sich in der Literatur nicht. Die Konsequenzen aus den hohen TOC-Werten z.B. bzgl. der Entwicklung von Treibhausgasen sind offen. Auch die mechanische Stabilität des Deponiekörpers bei der Ablagerung von MBA-Fractionen ist nicht abschließend geklärt.

---

<sup>75</sup> BRUNNER, H.P.; BECKMANN, M.; BORN, M.; MERRILOT, J.-M.; VEHLW J.: Research Needs for Waste Management. The Future of Waste Management in Europe, Strasbourg, October 7-9, 2002, Preprints 118 – 127; INTERNATIONAL ASH WORKING GROUP (IAWG): Chandler A.J., Eighmy T.T., Hartlén J., Hjelm O., Kosson D.S., Sawell S.E., van der Sloot H.A. & Vehlw J. (1997) Municipal Solid Waste Incinerator Residues. Amsterdam, NL: Elsevier

### **Kosten der Abfallbehandlung:**

Nach THOMÉ-KOZMIENSKY<sup>76</sup> sind signifikante Unterschiede in den Kosten für MBA und MVA (ca. 120 €/t) noch nicht erkennbar. Dies liegt in erster Linie an der Unsicherheit bzgl. der tatsächlichen Gesamtkosten der MBA.

Die Kosten der Abfallbehandlung in einer MBA hängen außer von Kapital- und Betriebskosten in erster Linie von den Kosten für die Deponierung, von Logistikkosten und vom Erlös bzw. von der Höhe der Zuzahlung für die energetisch und stofflich verwertbaren Stoffströme ab.

Damit sind die Gesamtkosten stark von der Qualität der erzeugten Stoffströme abhängig. Müssen nicht spezifikationsgerecht erzeugte Ersatzbrennstoffe für industrielle Prozesse oder nicht gemäß AbfAbIV deponierbare Reststofffraktionen einer thermischen Nachbehandlung in einer MVA unterzogen werden, oder müssen Ersatzbrennstoffe wegen fehlender Abnahmekapazitäten zwischengelagert werden, steigen die Kosten für die MBA erheblich.

### **Schlussfolgerungen:**

Im Jahr 2005 sollen in Deutschland 66 Anlagen mit einer Gesamtkapazität von ca. 6 Mio. t/a für die mechanisch-biologische Abfallbehandlung verfügbar sein. Mit Stand 08/2004 sind lt. LAGA noch 46 Standorte im Status „geplant“, „in Genehmigung“ oder „im Bau“.

Für Baden-Württemberg sind 3 Anlagen mit einer Gesamtkapazität von 339 600 t/a z. Zt. im Bau.

Langzeit-Betriebserfahrungen mit MBA-Anlagen, die gemäß der ab 06/2005 geltenden gesetzlichen Vorgaben (30. BImSchV, AbfAbIV) betrieben werden, sind bisher nicht bekannt gemacht. Daher können die wesentlichen Faktoren Anlagenverfügbarkeit, Durchsatz der Anlage, Qualität der Stoffströme (Deponiematerial oder Ersatzbrennstoff) z. Zt. nicht belastbar beurteilt werden. Da auch der Betrieb von mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen einer Lernkurve unterliegt, ist abzuwarten, ob die für 2005 angekündigten MBA-Kapazitäten – unter der Maßgabe der Einhaltung der Produktqualität – zum Stichtag 1.6.2005 tatsächlich auch erreicht werden.

Werden die geplanten Durchsätze nicht erreicht oder die geforderten Qualitäten der erzeugten Stoffströme (Deponiematerial und Ersatzbrennstoff) nicht eingehalten, so müssen diese Stoffströme in einer MVA thermisch nachbehandelt werden. Freie MVA-Kapazitäten werden ab 2005 jedoch nicht verfügbar sein. Damit ist auch eine belastbare Aussage bzgl. der Entsorgungskosten für Hausmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle in der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung MBA z. Zt. nicht möglich. Es ist jedoch zu erwarten, dass die Kosten zumindest in den ersten Jahren nach 2005 auf Grund der Unsicherheiten im Betriebsverhalten der Anlagen und wegen Kapazitätsengpässen in Anlagen zur energetischen und stofflichen Verwertung wahrscheinlich über den heutigen Werten liegen werden. Unmittelbare Auswirkung auf die öRE dürfte dies zumindest in Baden-Württemberg nicht haben, da diese langfristige Verträge abgeschlossen haben.

---

<sup>76</sup> THOMÉ-KOZMIENSKY, K.J. a.a.O.



## 7.5 Empfehlungen

Es wird empfohlen, zur Zeit in Baden-Württemberg nicht auf weitere MBA-Kapazitäten zu setzen. Vielmehr sollten die Betriebserfahrungen mit den ab Juni 2005 betriebenen Anlagen zur mechanisch-biologischen Abfallbehandlung abgewartet und die noch **offenen Fragen** geklärt werden:

- Durchsatz der Anlagen
- Qualität der Stoffströme zur Ablagerung / Verwertung
- Verwertung der erzeugten Ersatzbrennstoffe (Abnehmer, Kapazitäten, Kosten)
- Verbleib der im Abfall enthaltenen Schadstoffe

Dazu werden folgende, den Betrieb der MBA begleitende **Forschungsaktivitäten** empfohlen:

- Verfahrensoptimierung sowohl der mechanischen als auch der biologischen Verfahrensstufen im Hinblick auf Anlagenkapazität und Stoffstromqualität
- Bewertung der Qualität der Ersatzbrennstoffe zur Sicherung der Verwertbarkeit, insbesondere Charakterisierung der Verbrennungseigenschaften im Vergleich zu fossilen Brennstoffen
- Bewertung der MBA als Schadstoffsенke unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit, Verbleib der organischen und anorganischen Schadstoffe

Treten Kapazitätsengpässe bei der Entsorgung von Hausmüll und hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen auf, kann zum heutigen Zeitpunkt nur die Schaffung zusätzlicher Kapazitäten durch Müllverbrennungsanlagen nach dem Rostofen-System, für die langjährige Betriebserfahrungen vorliegen, empfohlen werden.