



Abfallentsorgung mit geringeren Lasten für Haushalte

**weitgehender Abfallverwertung und dauer-
haft umweltverträglicher Abfallbeseitigung**



Baden-Württemberg
UMWELTMINISTERIUM

Herausgeber:

Umweltministerium Baden-Württemberg
Kernerplatz 9
70182 Stuttgart

Publikationen im Internet:

<http://www.um.baden-wuerttemberg.de>

- ↳ Publikationen
- ↳ Abfall- und Kreislaufwirtschaft
- ↳ Abfallentsorgung mit geringeren Lasten für Haushalte (Heft 78)

Redaktion:

Dr. Martin Kaimer, UM, Abteilung 2
Telefon (0711) 126-2674 ▪ Telefax (0711) 126-2881
E-Mail: martin.kaimer@um.bwl.de

Druck:

e. kurz + co druck- und medientechnik GmbH, Stuttgart
100 % Recyclingpapier
Farben umweltfreundlich

Bildnachweis:

Titelbild: Copyright BMU / Transit / Eisler
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)
Referat Öffentlichkeitsarbeit
Alexanderplatz 6
10178 Berlin

Abfallentsorgung mit geringeren Lasten für Haushalte, weitgehender Abfallverwertung und dauerhaft umweltverträglicher Abfallbeseitigung

Konzepte zur langfristigen Umgestaltung der heutigen
Hausmüllentsorgung

Endbericht

Projektleitung:

Prof. Dr.-Ing. Martin Kranert

Projektbearbeitung:

Dr.-Ing. Dipl.-Chem. Klaus Fischer

Dipl.-Ing. Gerold Hafner

Nicolás Escalante, MSc.

Maria Espinoza, MSc.

Oliver Schiere, cand.-Ing.

Universität Stuttgart

Institut für Siedlungswasserbau,

Wassergüte- und Abfallwirtschaft

Lehrstuhl für Abfallwirtschaft und Abluft

März 2006

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung und Zielsetzung	7
2	Projektstruktur	8
3	Material und Methoden	9
3.1	Vorgehensweise	9
3.2	Methodik	10
3.2.1	Berechnungsmodell	10
3.2.2	Ökobilanz.....	12
4	Landkreisspezifische Untersuchungen	13
4.1	Erfassungs- und Behandlungssysteme, Varianten und Szenarien.....	13
4.2	Bewertungsparameter	17
5	Ergebnisse der landkreisspezifischen Untersuchung	19
5.1	Einteilung der Landkreise in Kategorien	19
5.2	Auswertung der landkreisspezifischen Untersuchung	20
5.2.1	Abschöpfungsquote.....	20
5.2.2	Einsparung von Primärenergie	24
5.2.3	Einsparung von klimarelevantem Kohlendioxid.....	28
5.2.4	Einwohnerspezifische Kosten	31
5.2.5	Kenngößenbezogene Kosten	35
5.2.5.1	Kosten, bezogen auf die abgeschöpften Wertstoffmengen	35
5.2.5.2	Kosten, bezogen auf die Restabfallmengen	38
5.2.5.3	Kosten, bezogen auf die eingesparte Primärenergie	41
5.2.5.4	Kosten, bezogen auf die Einsparung von klimarelevanten Kohlendioxid- Äquivalenten.....	44
5.3	Ableitung von Zusammenhängen	47
5.3.1	Kosten für Abschöpfung von Wertstoffen	47
5.3.2	Bioabfallerrfassung und Eigenkompostierung	52

5.3.3	Entlastungen für den Bürger	52
6	Ökobilanz abfallwirtschaftlicher Systeme	55
6.1	Methodik der Ökobilanzierung	55
6.2	Modelle für die Ökobilanz	57
6.2.1	Deponiemodell (Referenzszenario).....	57
6.2.2	MVA-Modell	58
6.2.3	MBA-Modell	59
6.2.4	Energetische Verwertung heizwertreicher Materialien	60
6.2.5	Modell zur stofflichen Verwertung (Recycling-Modell).....	61
6.2.6	Vergärungsmodell für Bioabfälle.....	61
6.3	Ökobilanz einzelner Stoffströme	62
6.3.1	Restabfall	63
6.3.2	Bioabfall.....	65
6.3.3	Altpapier (Papier, Pappe, Karton)	66
6.3.4	Glas	67
6.3.5	Kunststoffe	68
6.3.6	Verbunde	69
6.3.7	Fe-Metalle und NE-Metalle	70
6.4	Ökobilanz der 18 Varianten (Modellregion)	72
6.5	Reduzierung des Treibhauspotentials innerhalb der Ökobilanz (CO ₂ - Äquivalente) für die 18 Varianten (Modellregion)	73
6.6	Fazit der Ökobilanz.....	73
7	Empfehlungen für künftige Strategien.....	74
7.1	Verwertbare Stoffgruppen.....	74
7.2	Erfassungssysteme für trockene Wertstoffe	76
7.3	Kosten für die Erfassung von Wertstoffen	79
8	Zusammenfassung und Schlussfolgerung	81
9	Quellenverzeichnis	88

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Abschöpfungsquote [Massen-%] mit Ausweisung der Anteile zur stofflichen und energetischen Verwertung, Landkreis Typ A (MVA, Mischstruktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen	21
Abbildung 2: Abschöpfungsquote [Massen-%] mit Ausweisung der Anteile zur stofflichen und energetischen Verwertung, Landkreis Typ B (MVA, ländliche Struktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen	21
Abbildung 3: Abschöpfungsquote [Massen-%] mit Ausweisung der Anteile zur stofflichen und energetischen Verwertung, Landkreis Typ C (MBA, Mischstruktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen	22
Abbildung 4: Abschöpfungsquote [Massen-%] mit Ausweisung der Anteile zur stofflichen und energetischen Verwertung, Landkreis Typ D (MBA, ländliche Struktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen	22
Abbildung 5: Einsparung von Primärenergie [MJ / Mg Abfall], Landkreis Typ A (MVA, Mischstruktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen	25
Abbildung 6: Einsparung von Primärenergie [MJ / Mg Abfall], Landkreis Typ B (MVA, ländliche Struktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen	25
Abbildung 7: Einsparung von Primärenergie [MJ / Mg Abfall], Landkreis Typ C (MBA, Mischstruktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen	26
Abbildung 8: Einsparung von Primärenergie [MJ / Mg Abfall], Landkreis Typ D (MBA, ländliche Struktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen	26
Abbildung 9: Spezifische Einsparung von klimarelevanten CO ₂ -Äquivalenten, Landkreis Typ A (MVA, Mischstruktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen.....	28
Abbildung 10: Spezifische Einsparung von klimarelevanten CO ₂ -Äquivalenten, Landkreis Typ B (MVA, ländliche Struktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen.....	29
Abbildung 11: Spezifische Einsparung von klimarelevanten CO ₂ -Äquivalenten, Landkreis Typ C (MBA, Mischstruktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen.....	29

Abbildung 12: Spezifische Einsparung von klimarelevanten CO ₂ -Äquivalenten, Landkreis Typ D (MBA, ländliche Struktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen.....	30
Abbildung 13: Einwohnerspezifische Kosten [€/Ea], Landkreis Typ A (MVA, Mischstruktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen	32
Abbildung 14: Einwohnerspezifische Kosten [€/Ea], Landkreis Typ B (MVA, ländliche Struktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen	32
Abbildung 15: Einwohnerspezifische Kosten [€/Ea], Landkreis Typ C (MBA, Mischstruktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen	33
Abbildung 16: Einwohnerspezifische Kosten [€/Ea], Landkreis Typ D (MBA, ländliche Struktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen	33
Abbildung 17: Wertstoffmengenspezifische Kosten [€/Mg Wertstoff], Landkreis Typ A (MVA, Mischstruktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen.....	35
Abbildung 18: Wertstoffmengenspezifische Kosten [€/Mg Wertstoff], Landkreis Typ B (MVA, ländliche Struktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen.....	36
Abbildung 19: Wertstoffmengenspezifische Kosten [€/Mg Wertstoff], Landkreis Typ C (MBA, Mischstruktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen.....	36
Abbildung 20: Wertstoffmengenspezifische Kosten [€/Mg Wertstoff], Landkreis Typ D (MBA, ländliche Struktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen.....	37
Abbildung 21: Kosten, bezogen auf die Restabfallmengen [€/Mg], Landkreis Typ A (MVA, Mischstruktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen.....	38
Abbildung 22: Kosten, bezogen auf die Restabfallmengen [€/Mg], Landkreis Typ B (MVA, ländliche Struktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen.....	39
Abbildung 23: Kosten, bezogen auf die Restabfallmengen [€/Mg], Landkreis Typ C (MBA, Mischstruktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen.....	39
Abbildung 24: Kosten, bezogen auf die Restabfallmengen [€/Mg], Landkreis Typ D (MBA, ländliche Struktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen.....	40

Abbildung 25: Kosten, bezogen auf die eingesparte Primärenergie [€/MJ], Landkreis Typ A (MVA, Mischstruktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen.....	42
Abbildung 26: Kosten, bezogen auf die eingesparte Primärenergie [€/MJ], Landkreis Typ B (MVA, ländliche Struktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen.....	42
Abbildung 27: Kosten, bezogen auf die eingesparte Primärenergie [€/MWh], Landkreis Typ C (MBA, Mischstruktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen.....	43
Abbildung 28: Kosten, bezogen auf die eingesparte Primärenergie [€/MWh], Landkreis Typ D (MBA, ländliche Struktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen.....	43
Abbildung 29: Kosten, bezogen auf die Einsparung von klimarelevantem CO ₂ [€/Mg CO ₂], Landkreis Typ A (MVA, Mischstruktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen.....	45
Abbildung 30: Kosten, bezogen auf die Einsparung von klimarelevantem CO ₂ [€/Mg CO ₂], Landkreis Typ B (MVA, ländliche Struktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen	45
Abbildung 31: Kosten, bezogen auf die Einsparung von klimarelevantem CO ₂ [€/Mg CO ₂], Landkreis Typ C (MBA, Mischstruktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen.....	46
Abbildung 32: Kosten, bezogen auf die Einsparung von klimarelevantem CO ₂ [€/Mg CO ₂], Landkreis Typ D (MBA, ländliche Struktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen	46
Abbildung 33: Trockene Wertstofftonne: einwohnerspezifische Systemkosten in Abhängigkeit von den Sortierkosten	48
Abbildung 34: Trockene Wertstofftonne: einwohnerspezifische Kosten und Kosten für Sammlung und Transport	49
Abbildung 35: GiG: Einwohnerspezifische Kosten in Abhängigkeit von den spezifischen GiG-Sortierkosten.....	50
Abbildung 36: GiG: Einwohnerspezifische Kosten in Abhängigkeit von den Kosten für Sammlung und Transport	51
Abbildung 37: Hypothetisches Referenzszenario: Deponie	57
Abbildung 38: MVA-Modell	58
Abbildung 39: MBA-Modell	59
Abbildung 40: Energetische Verwertung heizwertreicher Materialien	60
Abbildung 41: Stoffliche Verwertung von Wertstoffen.....	61

Abbildung 42: Vergärungsmodell für Bioabfälle.....	61
Abbildung 43: Sortieranalyse des Modellrestabfalls.....	63
Abbildung 44: Ergebnisse der Ökobilanz für Restabfall.....	64
Abbildung 45: Ergebnisse der Ökobilanz für Bioabfall.....	65
Abbildung 46: Ergebnisse der Ökobilanz für Altpapier (PPK).....	66
Abbildung 47: Ergebnisse der Ökobilanz für Glas.....	67
Abbildung 48: Ergebnisse der Ökobilanz für Kunststoffe.....	68
Abbildung 49: Ergebnisse der Ökobilanz für Verbunde.....	69
Abbildung 50: Ergebnisse der Ökobilanz für Fe-Metalle.....	70
Abbildung 51: Ergebnisse der Ökobilanz für NE-Metalle.....	71
Abbildung 52: Ergebnisse der Ökobilanz für die 18 Varianten (Modellregion).....	72
Abbildung 53: Reduzierung des Treibhauspotentials (CO ₂ -Äquivalente) innerhalb der Ökobilanz für die 18 Varianten (Modellregion).....	73

1 **Veranlassung und Zielsetzung**

Das an der Universität Stuttgart, Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft bearbeitete Forschungsprojekt „Abfallentsorgung mit geringeren Lasten für Haushalte, weitgehender Abfallverwertung und dauerhaft umweltverträglicher Abfallbeseitigung - Konzepte zur langfristigen Umgestaltung der heutigen Hausmüllentsorgung“ wurde im Jahr 2003 vom Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg bewilligt und von diesem finanziell gefördert. Die fachtechnische Begleitung des Projektes erfolgte seitens der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg in Karlsruhe.

Das Projekt ist in vier Abschnitte untergliedert:

Abschnitt 1: Bewertung technischer Systeme zur Abfallbehandlung,

Abschnitt 2: Spezifische Untersuchung ausgewählter Regionen,

Abschnitt 3: Auswertung und Zusammenfassung der spezifischen Untersuchungen,

Abschnitt 4: Entwicklung allgemeiner Empfehlungen.

Abschnitt 1 ist in einem eigenen Bericht zusammengefasst, Abschnitt 2 beinhaltet Berichte, die bei den am Projekt beteiligten Landkreisen vorliegen.

Der hier vorgelegte Endbericht basiert auf den aus den Abschnitten 1 und 2 erarbeiteten Ergebnissen und umfasst die im Rahmen des dritten und vierten Abschnitts gewonnenen Erkenntnisse.

Ziel des Forschungsprojektes ist die Erarbeitung allgemein gültiger Empfehlungen für eine nachhaltige Abfallentsorgung. Hierbei sollen einerseits die bis dato etablierten Umweltstandards aufrecht erhalten werden, andererseits wird die Vereinfachung der Abfallentsorgung insgesamt und insbesondere auch für die Haushalte angestrebt. Neben einer Vereinfachung der Sammel- und Entsorgungslogistik und der ggf. damit einhergehenden Reduzierung der Anzahl getrennt erfasster Stoffströme sollen auch ökonomische Einsparpotenziale identifiziert werden.

Das Forschungsprojekt stützt sich auf reale Daten zur abfallwirtschaftlichen Struktur in zehn ausgewählten Landkreisen Baden-Württembergs. Abhängigkeiten von regionalen Randbedingungen und Besonderheiten werden aufgezeigt.

Die Untersuchung erfolgt auf technischer und ökonomischer Ebene. Rechtliche Fragestellungen sind nicht Gegenstand der durchgeführten Arbeiten.

2 Projektstruktur

1. Abschnitt

- Übersicht über die derzeit zur Verfügung stehenden Technologien zur Sortierung, Trennung und Behandlung von Abfällen.
- Technologiebewertung anhand einer Bewertungsmatrix

2. Abschnitt

- Bestandsaufnahme in den Landkreisen
- Entwicklung von spezifischen Konzepten und Szenarien für jeden Pilotlandkreis
- Bewertung der Konzepte und Szenarien nach:
 - Ökologischen Kriterien
 - Ökonomischen Kriterien
 - Sozialen Aspekten
 - Entsorgungstechnischen Kriterien
- notwendige Schritte zur Realisierung der vorgeschlagenen Maßnahmen
- Kosten

3. Abschnitt

- Zusammenfassung und Bewertung der landkreisspezifischen Ergebnisse im Hinblick auf gemeinsame Empfehlungen
- Workshop mit Projektpartnern, UVM, LfU und externen Experten

4. Abschnitt

- Erarbeitung von Empfehlungen für künftige Strategien und notwendige Veränderungen, insbesondere rechtlicher Rahmenbedingungen
- Diskussion der Ergebnisse mit Projektpartnern, UVM, LfU und Experten

3 Material und Methoden

3.1 Vorgehensweise

Bestandsaufnahme in den Landkreisen:

Das Forschungsprojekt basiert u.a. auf regionalen Daten zu den abfallwirtschaftlichen Systemen in zehn ausgewählten Landkreisen in Baden-Württemberg:

- Lkr. Böblingen,
- Enzkreis,
- Hohenlohekreis,
- Lkr. Lörrach,
- Lkr. Ludwigsburg,
- Neckar-Odenwald-Kreis,
- Ortenaukreis,
- Schwarzwald-Baar-Kreis,
- Lkr. Sigmaringen,
- Zollernalbkreis.

Für die Datenerhebung wurden von den Landratsämtern und Abfallwirtschaftsbetrieben Fragebögen zur Abfallwirtschaft ausgefüllt. Neben den Angaben zu den abfallwirtschaftlichen Systemen (u.a. Massen, Wertstofffassung, Restabfallbehandlung, Entsorgungsanlagen, Kosten, Gebührenstruktur, vertragliche Bindungen) wurden auch detaillierte Informationen zur Sammel- und Entsorgungslogistik (u.a. Art der Sammlung, Transportdistanzen, Dieserverbrauch, Kosten) abgefragt. Im Anschluss an die Auswertung der Fragebögen erfolgten jeweils mehrere Gespräche mit den Akteuren in den einzelnen Landratsämtern und Abfallwirtschaftsbetrieben. Darüber hinaus fanden neben mehreren Arbeitsbesprechungen unter Beteiligung des Ministeriums für Umwelt und Verkehr, der Landesanstalt für Umweltschutz sowie der Universität Stuttgart auch in regelmäßigen Abständen Projektbesprechungen mit allen Beteiligten (einschließlich den Vertretern der Landkreise) statt.

Basierend auf den erhobenen Daten wurden für jede Region Entsorgungsvarianten entwickelt. Für diese Varianten wurden im Anschluss Modellrechnungen durchgeführt, um anhand verschiedener Effizienzparameter eine Bewertung der Szenarien vornehmen zu können.

Darüber hinaus wurden für die Bearbeitung Daten und Kennzahlen herangezogen, die in den Landkreisen nicht verfügbar sind (z.B. Kosten für das Kunststoffrecycling). Diese wurden auf Basis eigener Untersuchungen sowie Literaturstudien und Recherchen bei Akteuren der Entsorgungslogistik, Verwertung und Abfallbeseitigung erarbeitet.

Am 26.01.2005 wurde ein Workshop am Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft der Universität Stuttgart mit dem Thema: „Zukunft der getrennten Sammlung“ abgehalten. Zu dieser Veranstaltung wurden neben den Vertretern des Ministeriums für Umwelt und Verkehr, der Landesanstalt für Umweltschutz in Karlsruhe und der am Projekt beteiligten Landkreise, namhafte Fachleute und Experten eingeladen. Eine Teilnehmerliste ist im Anhang beigefügt. Auf dem Workshop wurden im Rahmen von Vorträgen alle wesentlichen derzeit in Deutschland sowie im benachbarten Vorarlberg (Österreich) realisierten aktuellen Versuche und Untersuchungen zur veränderten Erfassung von verwertbaren Fraktionen, speziell auch den Verpackungen, vorgestellt und die damit verbundenen Fragestellungen von den strategischen über die organisatorischen, technischen, ökonomischen und ökologischen bis hin zu rechtlichen Aspekten diskutiert. Auch die Strategien des Bundes für die Zukunft der Siedlungsabfallentsorgung (Ziel 2020) wurden angesprochen.

3.2 Methodik

Für die Bearbeitung der Problemstellung wurden zwei unterschiedliche Ansätze gewählt. Für die ausführliche Untersuchung von Massenströmen, Kosten sowie die Einsparung von Primärenergie und die Freisetzung von klimarelevantem Kohlendioxid wurde ein eigenes Berechnungsmodell erstellt. Innerhalb dieses Modells wurden für jeden der zehn Pilotlandkreise die in Kapitel 4.1 aufgeführten 18 Varianten einer Modellrechnung unterzogen. Für die ökologische Bewertung der untersuchten Szenarien wurde darüber hinaus eine Ökobilanz für alle Prozesse innerhalb der untersuchten Varianten erstellt.

3.2.1 Berechnungsmodell

Datenbasis:

Für die Berechnungen und Simulationen der unterschiedlichen Varianten bei der Behandlung und Verwertung von Abfällen und Wertstoffen wurden die landkreisspezifischen Daten bei den Abfallwirtschaftsämtern und Eigenbetrieben abgefragt.

Daten, die nicht zur Verfügung gestellt werden konnten, z.B. spezifische Recyclingkosten des DSD, wurden in der Literatur und durch Nachfragen bei den jeweiligen Akteuren recherchiert.

Ergänzend wurde auf die abfallwirtschaftliche Datenbank der Universität Stuttgart zurückgegriffen.

Massenströme:

In Abhängigkeit von den jeweiligen landkreisspezifischen Randbedingungen wurden jedem Abfall- und Wertstofffassungssystem spezifische Abschöpfungsquoten zugeordnet und die Wertstoffpotenziale ermittelt.

Daraufhin wurden die Massenströme für die untersuchten Varianten errechnet, die als Basis für die nachfolgenden Bearbeitungsschritte dienen.

Die Massenströme der nachfolgend aufgeführten Abfälle bzw. Wertstoffe wurden untersucht:

- Haus- und Sperrmüll (Restabfall),
- Bioabfall,
- Glas,
- Leichtverpackungen (LVP),
- Stoffgleiche Nichtverpackungen (NVP),
- Altpapier,
- Metalle (Fe- und NE-Metalle),
- Grüngut,
- Altholz.

Kosten:

Jedem abfallwirtschaftlichen Verfahrensschritt werden in Abhängigkeit von den landkreisspezifischen Randbedingungen die spezifischen Kosten zugeordnet. Alle relevanten Verfahrensschritte innerhalb der einzelnen Varianten wurden berücksichtigt:

- Sammlung,
- Transport,
- ggf. Umladung,
- Behandlung / Aufbereitung / Verwertung,
- Nachlauftransporte,
- Nachgelagerte Verfahrensschritte.

Diese spezifischen Kosten werden mit den zugehörigen Massenströmen verrechnet und ergeben die Gesamtkosten des abfallwirtschaftlichen Systems. Die Gesamtkosten werden in Form von Einwohneräquivalenten angegeben.

Es handelt sich hierbei, um die spezifischen Gesamtkosten des abfallwirtschaftlichen Systems eines Landkreises. Darin enthalten sind auch Kosten, die nicht über die Abfallgebühren abgerechnet werden (u.a. Lizenzgebühren).

Klimarelevanz:

Jedem abfallwirtschaftlichen Verfahrensschritt wurden in Abhängigkeit von den landkreisspezifischen Randbedingungen die spezifischen klimarelevanten Emissionen zugeordnet. Alle o.g. Verfahrensschritte innerhalb der einzelnen Varianten wurden berücksichtigt. Hinzu kommen die relevanten Verfahrensschritte die Energie- und Rohstoffsubstitution betreffend (u.a. Stromerzeugung, Rohstoffverarbeitung etc.).

Diese spezifischen Emissionen – ausgedrückt in Kohlendioxidäquivalenten - werden im Anschluss mit den zugehörigen Massenströmen verrechnet. Die Ergebnisse werden in CO₂-Äquivalenten pro Mg Abfall bzw. Wertstoff (alle anfallenden Abfälle und Wertstoffe) ausgedrückt.

3.2.2 Ökobilanz

Für die Verifizierung und Ergänzung der mit dem Berechnungsmodell erzielten Ergebnisse wurde zusätzlich eine Ökobilanz durchgeführt.

Anhand eines Modelllandkreises wurden die in Kapitel 4.1 aufgeführten Varianten untersucht. Die ökobilanzielle Untersuchung umfasst eine Reihe von Umweltkriterien, die in dem oben beschriebenen Berechnungsmodell nicht enthalten sind, weshalb diese Untersuchung eine sinnvolle Ergänzung darstellt.

4 Landkreisspezifische Untersuchungen

Im Rahmen der landkreisspezifischen Untersuchungen wurden unterschiedliche Szenarien und Varianten untersucht.

Neben dem jeweiligen Ist-Zustand wurden typische Abfallentsorgungskonzepte, wie sie heute üblicherweise in den Regionen Baden-Württembergs vorhanden sind, als Varianten in die Szenarienbetrachtung einbezogen.

Darüber hinaus wurden Varianten betrachtet, darunter die derzeit in der Fachwelt diskutierten alternativen Erfassungssysteme, wie z.B. GiG-Konzepte und die trockene Wertstofftonne. Dies erfolgte vor dem Hintergrund, dass heute technische Systeme zur Abtrennung von Wertstoffen auf dem Markt verfügbar sind, die eine getrennte Erfassung von Wertstoffen z.T. überflüssig machen könnten.

Ferner wurden Betrachtungen angestellt, inwieweit eine vollständige stoffliche Verwertung anzustreben ist oder ob sowohl in ökonomischer als auch in ökologischer Hinsicht die energetische Nutzung z.B. von Teilen der Leichtverpackungen sinnvoll ist. Vor diesem Hintergrund wurden Varianten untersucht, die z.T. die energetische Nutzung von Leichtverpackungen zum Ziel haben. Exemplarisch wurde hier die energetische Nutzung als Sekundärbrennstoff in Zementwerken betrachtet.

Jeder der o.g. Landkreise wurde gesondert untersucht, für jeden der Landkreise wurde ein Endbericht mit den Ergebnissen und Empfehlungen der landkreisspezifischen Untersuchung erstellt und den Landkreisen übergeben.

4.1 Erfassungs- und Behandlungssysteme, Varianten und Szenarien

Im Hinblick auf die gemeinsame Erfassung sowie Behandlung und/oder Verwertung von Abfällen und Wertstoffen mit dem Restabfall wurden die folgenden Szenarien untersucht:

1. Getrennte Erfassung von Restabfall, Bioabfall und Wertstoffen, Restabfallbehandlung (MVA, MBA), Bioabfallbehandlung (Vergärung / Kompostierung), stoffliche Verwertung von Wertstoffen.
2. Gemeinsame Erfassung von Restabfall, LVP und sortengleichen NVP in der Restabfalltonne (Gelb in Grau, GiG) mit nachgeschalteter Sortierung und stofflicher Verwertung der aussortierten Wertstoffe, Beibehaltung der übrigen Erfassungssysteme (wie 1.).
3. Gemeinsame Erfassung von Restabfall, LVP und NVP in der Restabfalltonne (Gelb in Grau, GiG) mit nachgeschalteter Sortierung und energetischer Verwertung des heizwertreichen Anteils der LVP in einem Zementwerk, Beibehaltung der übrigen Erfassungssysteme (wie 1.).
4. Gemeinsame Erfassung von Rest- und Bioabfall in der Restabfalltonne, Behandlung des Mix aus Restabfall und Bioabfall in einer MVA / MBA, Beibehaltung der übrigen Erfassungssysteme (wie 1.).

5. Gemeinsame Erfassung von Restabfall, LVP / NVP in der Restabfalltonne (Gelb in Grau, GiG), Behandlung des Mix aus Restabfall und LVP in einer MVA / MBA, Beibehaltung der übrigen Erfassungssysteme (wie 1.).
6. Gemeinsame Erfassung von Restabfall, Bioabfall und LVP / NVP in der Restabfalltonne, Behandlung des Mix aus Restabfall, Bioabfall, LVP / NVP in einer MVA / MBA, Beibehaltung der übrigen Erfassungssysteme (wie 1.).

Die sechs Szenarien werden verknüpft mit unterschiedlichen Systemen der Wertstofferrfassung:

- a. Wertstofferrfassung im Hol- / Bringsystem (Biotonne, Papiertonne, Depotcontainer für Glas, gelber Sack, Wertstoffzentren),
- b. Bringsystem (Biotonne, Depotcontainer für Glas – ggf. auch für weitere Wertstoffe, Wertstoffzentren),
- c. Holsystem (Biotonne, trockene Wertstofftonne für alle trockenen Wertstoffe außer Glas, Depotcontainer für Glas, sortengleiche Nichtverpackungen werden immer über Wertstofftonne erfasst).

Durch Verknüpfung der sechs Szenarien (1. bis 6.) mit den genannten Systemen der Wertstofferrfassung (a., b. und c.) ergeben sich insgesamt 18 Varianten für jedes der Systeme zur Restabfallbehandlung. Im hier vorgelegten Bericht werden ausschließlich die in den Landkreisen anzutreffenden Restabfallbehandlungsanlagen berücksichtigt. Demzufolge werden ausschließlich Müllverbrennungsanlagen sowie mechanisch-biologische Restabfallbehandlungsanlagen mit einer anaeroben Behandlung und anschließender Deponierung des Rotterückstandes betrachtet.

Tabelle 1: Varianten der Abfall- und Wertstofferrfassung

Varianten	Restabfall	Glas	Bioabfall		LVP				stoffgleiche NVP				Papier			
	RA-Tonne	DC	RA-Tonne	Bio-Tonne	RA-Tonne	gelber Sack	DC	WS-Tonne	RA-Tonne	gelber Sack	DC	WS-Tonne	Papier-Tonne	DC	SoSa	WS-Tonne
Hol- / Bringsystem	V1	X	X		X		X						X			X
	V2	X	X		X	X (Sortierung, stoffl. Verw.)			X				X			X
	V3	X	X		X	X (Sortierung, Zementw.)			X				X			X
	V4	X	X	X			X				X		X			X
	V5	X	X		X	X				X			X			X
	V6	X	X	X		X				X			X			X
Bringsystem (Depotcont.), z.T. Biotonne	V7	X	X		X		X				X			X	X	X
	V8	X	X		X	X (Sortierung, stoffl. Verw.)			X					X	X	
	V9	X	X		X	X (Sortierung, Zementw.)			X					X	X	
	V10	X	X	X			X				X			X	X	X
	V11	X	X		X	X				X				X	X	
	V12	X	X	X		X				X				X	X	
Holsystem (trockene Wertstofftonne), z.T. Biotonne	V13	X	X		X			X				X			X	X
	V14	X	X		X	X (Sortierung, stoffl. Verw.)						X			X	X
	V15	X	X		X	X (Sortierung, Zementw.)						X			X	X
	V16	X	X	X					X			X			X	X
	V17	X	X		X	X						X			X	X
	V18	X	X	X		X						X			X	X

Erläuterungen zu den untersuchten Varianten

In Tabelle 1 ist eine Auswahl von Varianten bei der Erfassung der Wertstoffe zusammengefasst. Jedem Wertstoff sind unterschiedliche Erfassungssysteme zugeordnet:

- RA-Tonne: Erfassung gemeinsam mit dem Restabfall,
- gelber Sack: Erfassung von Material der dualen Systeme über Sacksammlung,
- DC/WH: Depotcontainer / Wertstoffhöfe,
- WS-Tonne: Trockene Wertstofftonne,
- SoSa: Sondersammlung (Vereinsammlung).

Unterschieden werden drei Hauptgruppen von Erfassungssystemen:

- Hol- / Bringsysteme: V1 bis V6,
- ausschließlich Bringsysteme für Wertstoffe: V7 bis V12,
- Holsysteme für Wertstoffe mit Ausnahme von Glas: V13 bis V16.

Neben den in Tabelle 1 dargestellten Wertstoffen sind noch weitere von Interesse, u.a. Altholz, Grüngut, Textilien. Diese wurden bei den Szenarienuntersuchungen berücksichtigt, erfahren jedoch innerhalb der unterschiedlichen Varianten keine Veränderung, weshalb die entsprechenden Parameter jeweils als feste Größe in die Berechnungsmodelle Eingang finden.

Bei der Erfassung von Glas werden hier ausschließlich Varianten betrachtet, bei denen die Erfassung über Depotcontainer erfolgt. Hierbei handelt es sich um ein etabliertes und gut funktionierendes Erfassungssystem.

Altpapier wird im Ist-Zustand überwiegend über die trockene Wertstofftonne im Holsystem erfasst, ein Teil der Papiermengen aber auch in allen Varianten über Sondersammelsysteme (SoSa). Darunter sind die Vereinsammlungen zu verstehen, die bei den Szenarienbetrachtungen beibehalten werden sollen. Die Altpapiererfassung über Wertstoffhöfe und Recyclingzentren werden in die Szenarienuntersuchung einbezogen.

Erfassungssysteme

Bei den Varianten V1 - V6 handelt es sich um Hol- / Bringsysteme, V7 - V12 repräsentieren überwiegend Bringsysteme (Depotcontainer bzw. Wertstoffhöfe), z.T. unter Beibehaltung der getrennten Bioabfallerfassung. Varianten V13 - V18 betrachten Szenarien, bei denen die trockene Wertstofftonne eingeführt und die Sammlung von LVP über den gelben Sack eingestellt wird, z.T. unter Beibehaltung der Biotonne.

Getrennte Erfassung von LVP

Die Varianten V1, V7 und V13 beinhalten die getrennte Erfassung von LVP über Holsysteme und Bringsysteme. Bei V1 erfolgt die Erfassung über den gelben Sack, bei V7 mittels Depotcontainer bzw. Wertstoffhöfe und bei V13 über die trockene Wertstofftonne.

Trockene Wertstofftonne

In den o.g. Varianten V13 – V18 wird die gemeinsame Erfassung aller trockenen Wertstoffe (NVP, Papier, z.T. LVP) außer Glas mittels einer trockenen Wertstofftonne betrachtet. Bei der Miterfassung von LVP im Restabfall wird hier die trockene Wertstofftonne für die Erfassung der übrigen trockenen Wertstoffe beibehalten (vgl. V14 und V15). Für die trockene Wertstofftonne wurden höhere Abschöpfungsquoten als bei den übrigen Wertstoffsammelsystemen (gelber Sack und Bringsysteme) in Ansatz gebracht, da aufgrund der einfacheren Handhabung für den Bürger (u.a. keine Vorhaltung von gefüllten gelben Säcken innerhalb der Haushalte) eine bessere Trennschärfe erwartet wird.

GiG-Varianten mit Stofftrennung und stofflicher Verwertung

Bei den Varianten V2, V8 und V14 (GiG-Szenarien) werden die Leichtverpackungen gemeinsam mit dem Restabfall (ebenso wie die sortengleichen Nichtverpackungsmaterialien, außer bei V14) erfasst. Dieser Mix aus Restabfall, LVP und sortengleichen Nichtverpackungsmaterialien wird anschließend einer mechanischen Aufbereitung mit Stofftrennung, die dabei abgetrennten Leichtverpackungen der stofflichen Verwertung zugeführt. Hierbei werden die gleichen Abschöpfungsquoten wie bei der getrennten Erfassung in Ansatz gebracht. Bei der Sortierung von GiG-Material können in der Praxis höhere Abschöpfungsquoten als durch die getrennte Sammlung erzielt werden. Für das Aufzeigen von Kostenunterschieden wurden hier jedoch systematisch die gleichen Abschöpfungsquoten gewählt, wie beim jeweils zugehörigen Vergleichssystem mit getrennter Erfassung.

GiG-Varianten mit Stofftrennung und energetischer Verwertung

Bei den Varianten V3, V9 und V15 werden die Leichtverpackungen und sortengleichen Nichtverpackungsmaterialien (außer V15) ebenfalls gemeinsam mit dem Restabfall erfasst und einer mechanischen Aufbereitung mit Stofftrennung zugeführt. Die abgetrennten LVP- und NVP-Materialien werden als Ersatzbrennstoffe energetisch verwertet. Hier wird von der halben Abschöpfungsquote gegenüber den jeweiligen Varianten mit stofflicher Verwertung ausgegangen. Der Grund hierfür liegt in der Annahme, dass ein hochwertiger Ersatzbrennstoff für Zementwerke erzeugt wird, wozu nur ein Teilstrom der LVP / NVP genutzt werden kann. Die stoffliche Verwertung wird zugunsten einer kostengünstigeren Aufbereitung und Verwertung als Ersatzbrennstoff aufgegeben. Für die energetische Verwertung wurde ein typisches deutsches Zementwerk ausgewählt. Die stoffliche Verwertung von Altpapier und Metallen bleibt bestehen.

GiG-Varianten ohne Stofftrennung

Bei den Varianten V5, V6, V11 und V12 werden die LVP und NVP gemeinsam mit dem Restabfall erfasst, bei V17 und V18 erfolgt die Erfassung von LVP ebenfalls gemeinsam mit dem Restabfall, die separate NVP-Erfassung über die trockene Wertstofftonne bleibt bestehen. Die mit dem Restabfall erfassten Materialien werden gemeinsam mit dem Restabfall in einer Restabfallbehandlungsanlage behandelt, wobei die energetische Nutzung

des Materials und die damit einhergehende Substitution fossiler Energieträger Berücksichtigung findet.

Varianten ohne getrennte Bioabfallerfassung

Die Varianten V4, V6, V10, V12, V16 sowie V18 betrachten Szenarien, bei denen die getrennte Bioabfallsammlung eingestellt wird. Alternativ erfolgt die Erfassung und Behandlung gemeinsam mit dem Restabfall. Hier wird bei der Verbrennung in einer MVA die Substitution fossiler Energieträger und bei den MBA-Varianten die Biogasnutzung berücksichtigt, ebenso wie die energetische Nutzung von Sekundärbrennstoffen sowie die Substitution von Rohstoffen.

4.2 Bewertungsparameter

Numerische Kriterien

Für die Szenarien wurden die folgenden numerischen Parameter betrachtet:

- Mengenströme zur Verwertung und Beseitigung,
- Kosten,
- Klimarelevantes Kohlendioxid (als Kennwert für die Klimarelevanz).

Berücksichtigung finden die relevanten Vorgänge innerhalb der Abfallbewirtschaftung:

- Sammlung,
- Transport (ggf. einschließlich Umladung),
- ggf. Aufbereitung / Sortierung,
- Behandlung bzw. Verwertung,
- Nachlauftransporte.

Kennziffern für die Bewertung

Für die Bewertung der untersuchten Szenarien werden die folgenden Parameter herangezogen:

- Abschöpfungsquote von Wertstoffen (zur stofflichen und energetischen Verwertung),
- Einsparung von Primärenergie,
- Einsparung von klimarelevantem Kohlendioxid,
- einwohnerspezifische Kosten,
- Abschöpfungskosten von Wertstoffen,
- Kosten, bezogen auf die in der Restabfallbehandlungsanlage eingesetzte Abfallmenge,
- Kosten, bezogen auf die eingesparte Primärenergie,
- Kosten, bezogen auf die Einsparung von klimarelevantem CO₂.

Nicht-numerische Kriterien

Es sind auch Kriterien zu berücksichtigen, die nicht anhand numerischer Parameter dargestellt werden können. Dies sind u.a. die soziale Akzeptanz einer Maßnahme, pädagogische Effekte, Vereinfachungen und qualitative Veränderungen beim Umgang mit Abfällen und Wertstoffen sowie qualitative Bewertungen im Hinblick auf den Verbleib von Schadstoffen.

5 Ergebnisse der landkreisspezifischen Untersuchung

5.1 Einteilung der Landkreise in Kategorien

Im Rahmen der landkreisspezifischen Untersuchung wurden die am Projekt beteiligten Landkreise in Gruppen zusammengefasst. In Abhängigkeit von den jeweiligen Abfallwirtschaftssystemen, der Siedlungs- und Wirtschaftsstruktur wurden die Landkreise unterschiedlichen Kategorien zugeordnet:

Landkreis Typ A (Ist-Zustand: V1 und V7 mit MVA)

- Mischstruktur: Städtisch und ländlich geprägte Regionen,
- Restabfallentsorgung in einer Müllverbrennungsanlage,
- Bioabfallerefassung über die Biotonne, Komposterzeugung im Kompostwerk (in einem Fall zusätzlich Biogaserzeugung und -nutzung).

Landkreis Typ B (Ist-Zustand: V1 und V4 mit MVA)

- Überwiegend ländliche Struktur,
- Restabfallentsorgung in einer Müllverbrennungsanlage,
- keine getrennte Bioabfallerefassung durch den öffentlich-rechtlichen Entsorger, Berücksichtigung verstärkter Eigenkompostierung.

Landkreis Typ C (Ist-Zustand: V1 mit MBA)

- Mischstruktur: Städtisch und ländlich geprägte Regionen,
- Restabfallentsorgung in einer mechanisch-biologischen Anlage mit einer anaeroben Behandlung und anschließender Deponierung des Rotterückstandes,
- getrennte Bioabfallerefassung (nicht flächendeckend), Komposterzeugung im Kompostwerk, Berücksichtigung verstärkter Eigenkompostierung.

Landkreis Typ D (Ist-Zustand: V1 und V4 mit MBA)

- Überwiegend ländliche Struktur,
- Restabfallbehandlung in einer mechanisch-biologischen Anlage mit einer anaeroben Behandlung und anschließender Deponierung des Rotterückstandes,
- keine getrennte Bioabfallerefassung durch den öffentlich-rechtlichen Entsorger, Berücksichtigung verstärkter Eigenkompostierung.

In den nachfolgenden Kapiteln werden die Ergebnisse der Auswertung für die einzelnen Landkreistypen zusammengefasst.

Anzumerken ist, dass bei allen Landkreistypen Regionen ländlicher Struktur vorhanden sind. Stadtkreise waren am Projekt nicht beteiligt.

5.2 Auswertung der landkreisspezifischen Untersuchung

In den nachfolgenden Kapiteln sind die Ergebnisse der landkreisspezifischen Untersuchungen zusammengefasst. Hierzu wurden die am Projekt beteiligten Landkreise den genannten Kategorien zugeteilt und aus den Einzelergebnissen gewichtete Mittelwerte gebildet. Die Wichtung erfolgte über die jeweilige Einwohnerzahl. Die jeweiligen Ist-Varianten (in den Landkreisen derzeit vorhandene Erfassungs- und Behandlungssysteme) sind in den Abbildungen gesondert markiert (schwarze Balken).

Im Hinblick auf die gewählten Kostenansätze wurde hier ein mengenabhängiger Ansatz gewählt.

Die Zielsetzung bei der Erstellung der Einzelberichte für die zehn Landkreise bestand u.a. darin, Handlungsempfehlungen zu geben, die mittel- bis langfristige Zeithorizonte abdecken.

Bei der Erstellung der Einzelberichte wurden daher die vorhandenen Kostenstrukturen untersucht und eine Unterteilung in fixe und variable (mengenabhängige) Kosten vorgenommen. Ebenso wurden bestehende vertragliche Bindungen berücksichtigt.

Der hier vorgelegte Endbericht hat längerfristige Zeiträume zum Ziel. Spezifische Randbedingungen, wie die vertraglichen Strukturen oder die Abschreibungsdauer für getätigte Investitionen, die häufig nur noch wenige Jahre Gültigkeit haben, sind vor diesem Hintergrund nur eingeschränkt von Bedeutung.

Darin liegt eine Abweichung der hier zusammengefassten Ergebnisse von den Ergebnissen der Einzeluntersuchungen in den Landkreisen begründet.

Die einzelnen Berichte für die zehn am Projekt beteiligten Landkreise sind nicht Bestandteil des vorliegenden Berichtes und liegen bei den jeweiligen Landratsämtern und Abfallwirtschaftsbetrieben vor.

5.2.1 Abschöpfungsquote

Die Abschöpfungsquote gibt an, welche Mengen an Wertstoffen im Verhältnis zur gesamten Abfallmenge abgeschöpft werden. Darin sind sowohl die stofflich verwerteten als auch die energetisch genutzten Materialien enthalten. In den nachfolgenden Abbildungen werden diese in Form gewichteter Mittelwerte für die vier Landkreistypen dargestellt. Die zu jeder Variante gehörenden Balken sind jeweils in zwei Segmente (stoffliche und energetische Verwertung) unterteilt. Die Varianten sind jeweils nach absteigenden Abschöpfungsquoten sortiert.

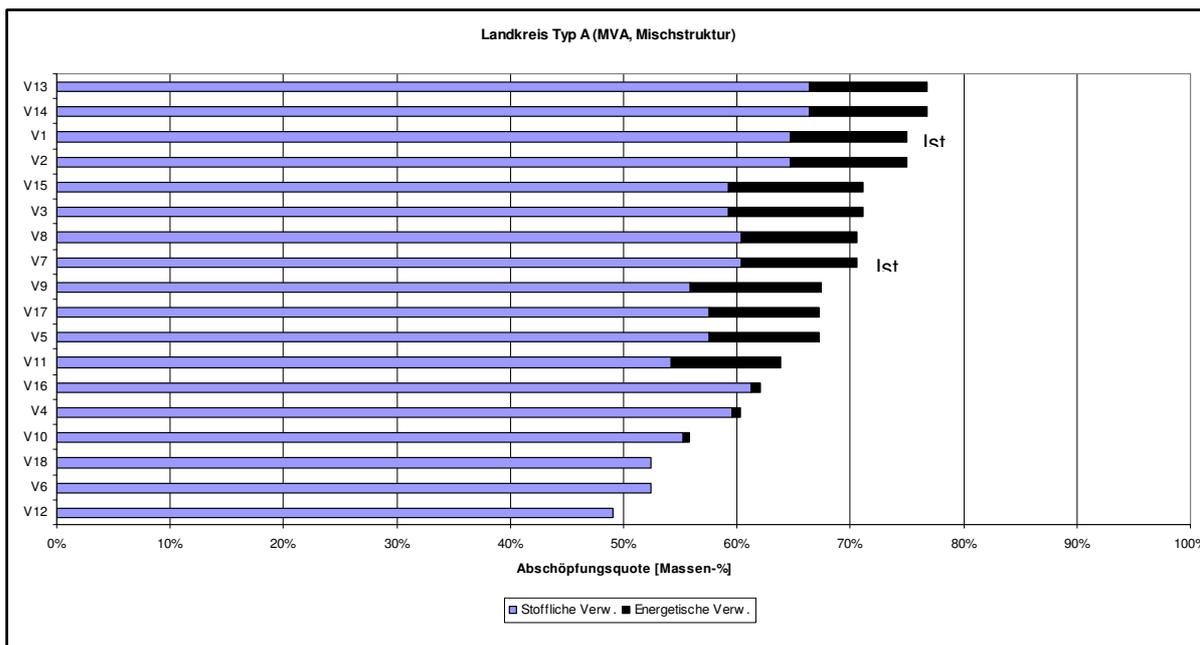


Abbildung 1: Abschöpfungsquote [Massen-%] mit Ausweisung der Anteile zur stofflichen und energetischen Verwertung, Landkreis Typ A (MVA, Mischstruktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen

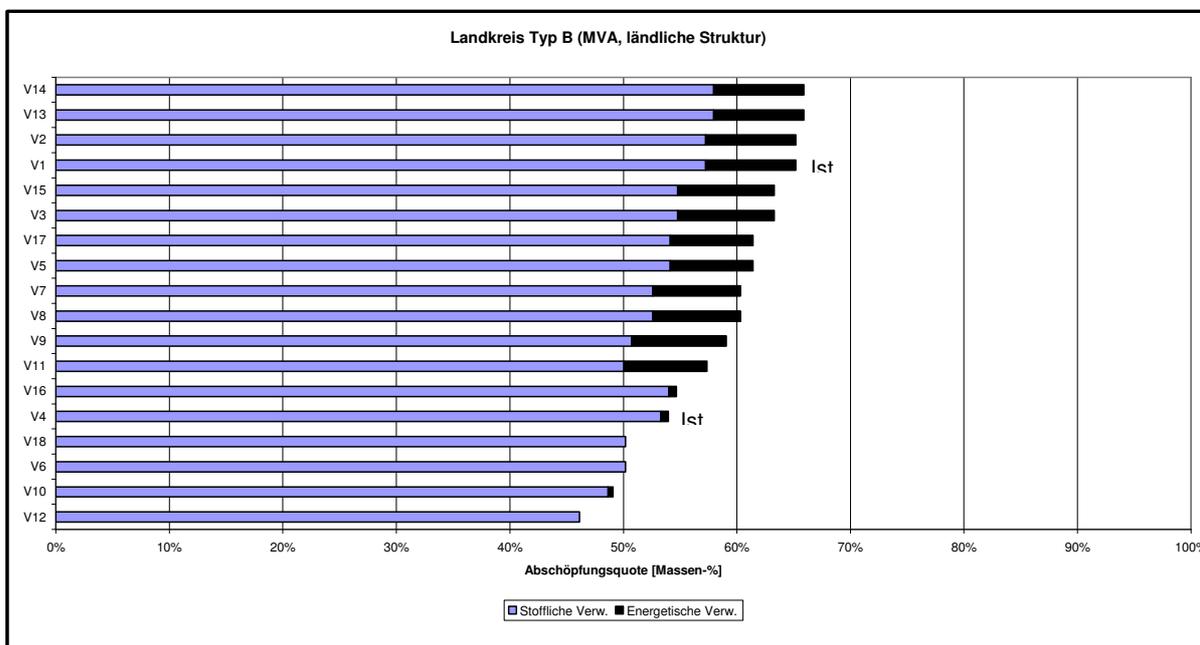


Abbildung 2: Abschöpfungsquote [Massen-%] mit Ausweisung der Anteile zur stofflichen und energetischen Verwertung, Landkreis Typ B (MVA, ländliche Struktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen

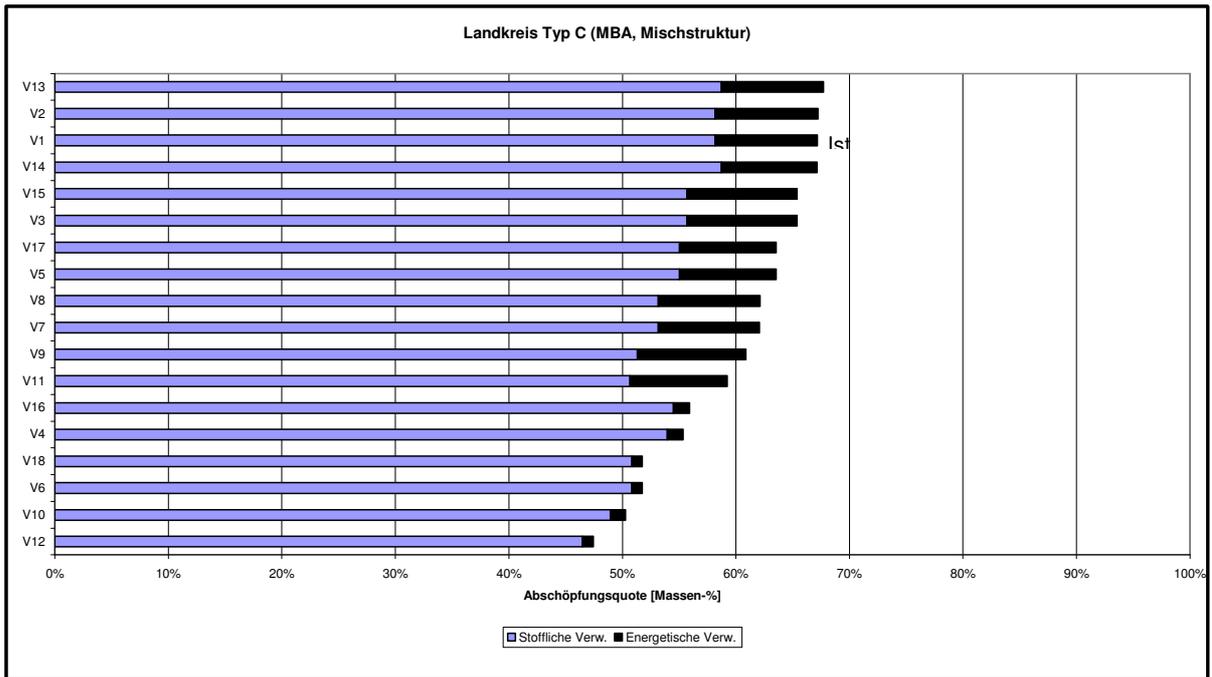


Abbildung 3: Abschöpfungsquote [Massen-%] mit Ausweisung der Anteile zur stofflichen und energetischen Verwertung, Landkreis Typ C (MBA, Mischstruktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen

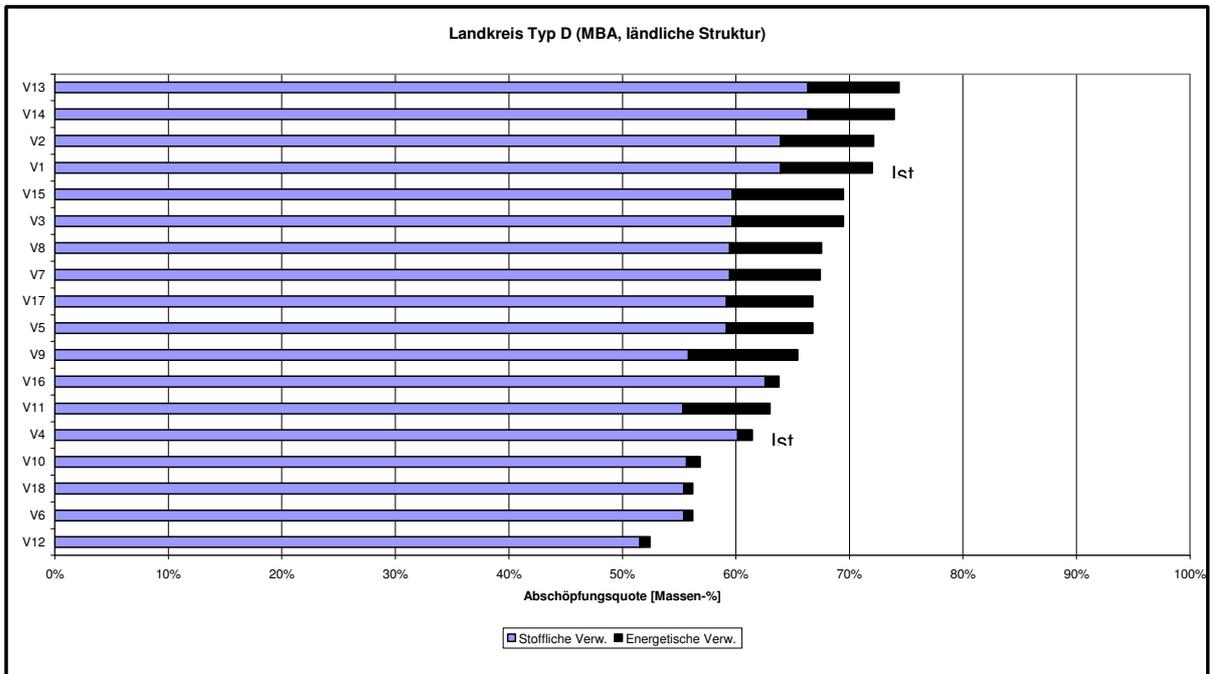


Abbildung 4: Abschöpfungsquote [Massen-%] mit Ausweisung der Anteile zur stofflichen und energetischen Verwertung, Landkreis Typ D (MBA, ländliche Struktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen

Für die Abschöpfungsquoten wurden die folgenden Materialströme in Ansatz gebracht:

- Bioabfall,
- Grüngut,
- Glas,
- Leichtverpackungen (LVP),
- sortengleiche Nichtverpackungsmaterialien (NVP),
- Altpapier,
- Metalle,
- Altholz.

Die erfassten Mengen an Grüngut und Altholz erfahren innerhalb der Variantenuntersuchungen keine Modifikationen und finden daher, als feste Größe Eingang in die Abschöpfungsquoten.

Anzumerken ist, dass die Massenanteile der Leichtverpackungen, sortengleichen Nichtverpackungsmaterialien, heizwertreichen Materialien aus einer MBA und der Metalle gegenüber den Massen an Altpapier, Bioabfall, Grüngut und Altholz sehr gering sind. Veränderungen der Abschöpfungsquoten für LVP / NVP machen sich daher bei einer Gesamtbetrachtung aller Wertstoffe nur geringfügig bemerkbar.

Die aktuell abgeschöpften einwohnerspezifischen Wertstoffmengen setzten sich in etwa wie folgt zusammen (orientierende Angaben):

Bioabfall:	ca. 40 – 80 kg/Ea,
Grüngut:	ca. 40 – 100 kg/Ea,
Glas:	ca. 25 – 40 kg/Ea,
LVP / NVP:	ca. 10 – 20 kg/Ea,
Altpapier:	ca. 70 – 80 kg/Ea,
Metalle:	ca. 15 – 25 kg/Ea,
Altholz:	ca. 20 – 30 kg/Ea.

Im Hinblick auf die Abschöpfungsquote sind keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Landkreiskategorien festzustellen. Dies gilt sowohl im Hinblick auf die Reihenfolge der nach absteigender Effizienz sortierten Varianten als auch die Abschöpfungsquoten in Massen-% betreffend.

Die höchsten Abschöpfungsquoten können über Holsysteme erzielt werden. V13 und V14 sind jeweils die günstigsten Varianten. Erreicht wird dies mittels der trockenen Wertstofftonne sowie der getrennten Bioabfallfassung. Die GiG-Varianten V2, V8 und V14 erbringen die gleichen Abschöpfungsquoten, wie die zugehörigen Systeme mit getrennter LVP-Erfassung (V1, V7 und V13), da hier die gleiche Quote zugrunde gelegt wurde, wie bei der getrennten Erfassung. Dieser Ansatz wurde bewusst gewählt (vgl. Kapitel 4.1). In der Praxis sind höhere Quoten möglich, insbesondere unter Berücksichtigung der stoffgleichen NVP-Mengen, die bei einer Stofftrennung zusätzlich zu den LVP-Materialien abgeschöpft

werden. Bei den GiG-Varianten mit einer MBA (Typ C und Typ D) werden darüber hinaus in der Restabfallbehandlungsanlage noch zusätzliche Mengen an heizwertreichem Material für die energetische Verwertung abgetrennt, weshalb sie trotz des genannten Ansatzes (gleiche Abschöpfungsquoten wie bei der getrennten Erfassung) geringfügig günstigere Abschöpfungsquoten aufweisen als die jeweils zugehörigen Getrennterfassungssysteme für LVP / NVP. Dies zeigt sich im direkten Vergleich der Varianten V1 und V2, V7 und V8 sowie V13 und V14 (vgl. Abbildung 3 und 4).

Die Varianten V3, V8 und V15, bei denen die abgetrennten heizwertreichen Materialien energetisch (im Zementwerk) verwertet werden, liegen etwas ungünstiger, da hier nur die halbe Abschöpfungsquote gegenüber der stofflichen Verwertung angesetzt wurde (vgl. Kapitel 4.1). Es wurde angenommen, dass ein hochwertiger Ersatzbrennstoff erzeugt wird für die Zementwerke erzeugt wird, für den nur ein Teil der LVP-Materialien geeignet ist.

Geringfügig kleinere Abschöpfungsquoten als bei V13 und V14 werden bei V1 und V2 erzielt, bei denen alle Wertstoffe außer Glas sowie die sortengleichen Nichtverpackungen ebenfalls im Holsystem erfasst werden. Dies liegt in dem Umstand begründet, dass für die trockene Wertstofftonne höhere Abschöpfungsquoten in Ansatz gebracht wurden als für den gelben Sack, da dieses Sammelsystem für den Bürger komfortabler und einfacher in der Handhabung ist (z.B. keine Vorhaltung von gefüllten Säcken in den Haushalten) und deshalb eine bessere Trennschärfe erwarten lässt.

Die übrigen Varianten weisen umso geringere Abschöpfungsquoten auf, je mehr Wertstoffströme über Bringsysteme erfasst werden, da sie niedrigere Quoten aufweisen als Holsysteme. Deutliche Auswirkungen hat die Einstellung der getrennten Erfassung von Bioabfall (vgl. V4, V6, V10, V12, V16, V18). Dies liegt begründet in den im Verhältnis zu den übrigen Wertstoffen relativ hohen Massenanteilen des Bioabfalls (ca. 25 Massen-% der Wertstoffe).

5.2.2 Einsparung von Primärenergie

Die Einsparung von Primärenergie gibt an, welche Mengen an primären Energieträgern – ausgedrückt in MJ – bei den unterschiedlichen Varianten eingespart werden.

Als Referenzszenario wurde die Deponierung aller Abfälle und Wertstoffe ohne Vorbehandlung auf einer geordneten Deponie (mit Deponiegasnutzung) angesetzt. Die gegenüber diesem Referenzszenario eingesparte Primärenergie wird in den nachfolgenden Abbildungen für die vier Landkreistypen in Form gewichteter Mittelwerte dargestellt.

Die Einsparung von Primärenergie wurde durch Berechnung des kumulierten Energieaufwandes (KEA) der betrachteten Materialien und unter Berücksichtigung des Energiemixes für Deutschland ermittelt.

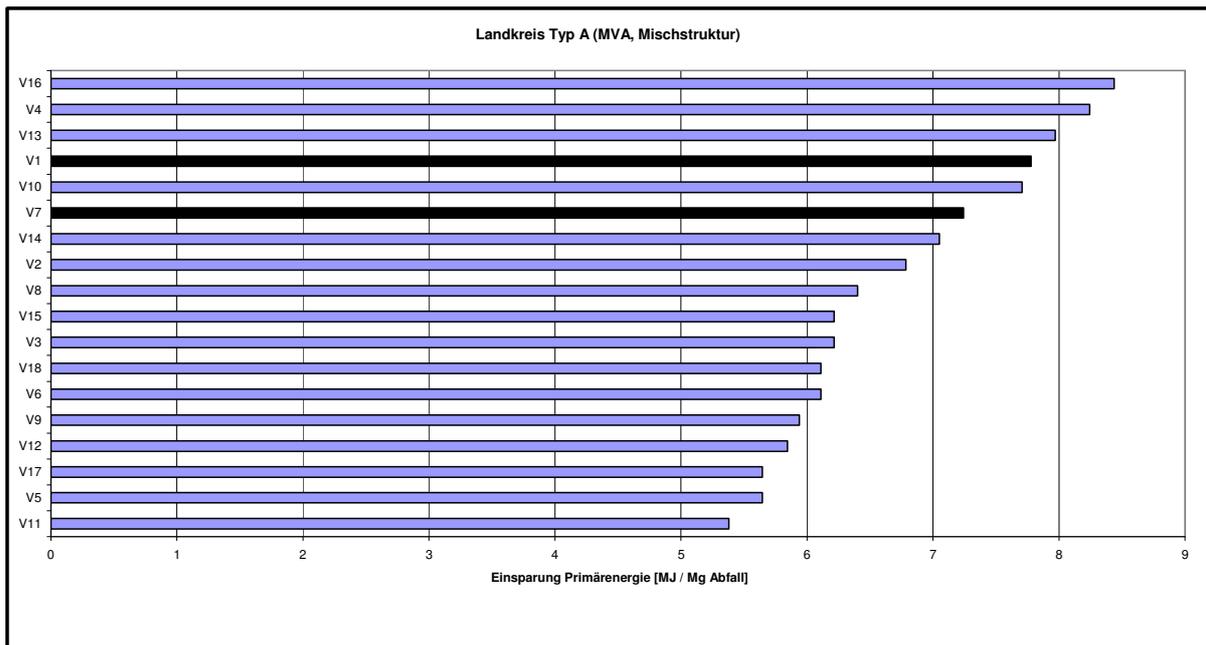


Abbildung 5: Einsparung von Primärenergie [MJ / Mg Abfall], Landkreis Typ A (MVA, Mischstruktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen

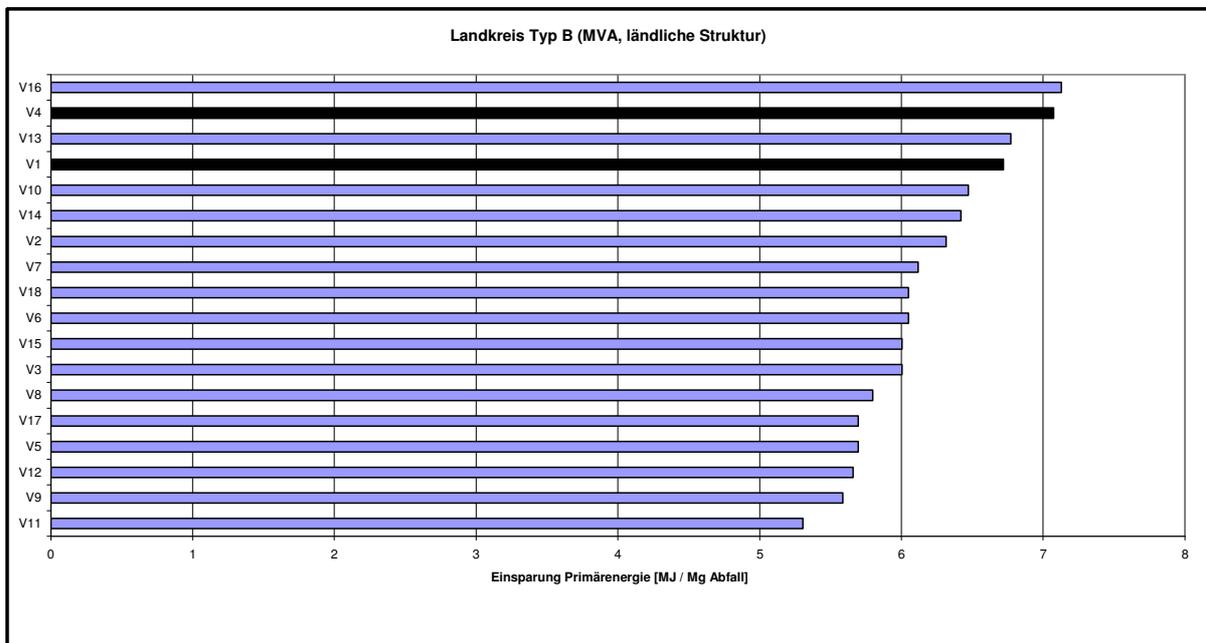


Abbildung 6: Einsparung von Primärenergie [MJ / Mg Abfall], Landkreis Typ B (MVA, ländliche Struktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen

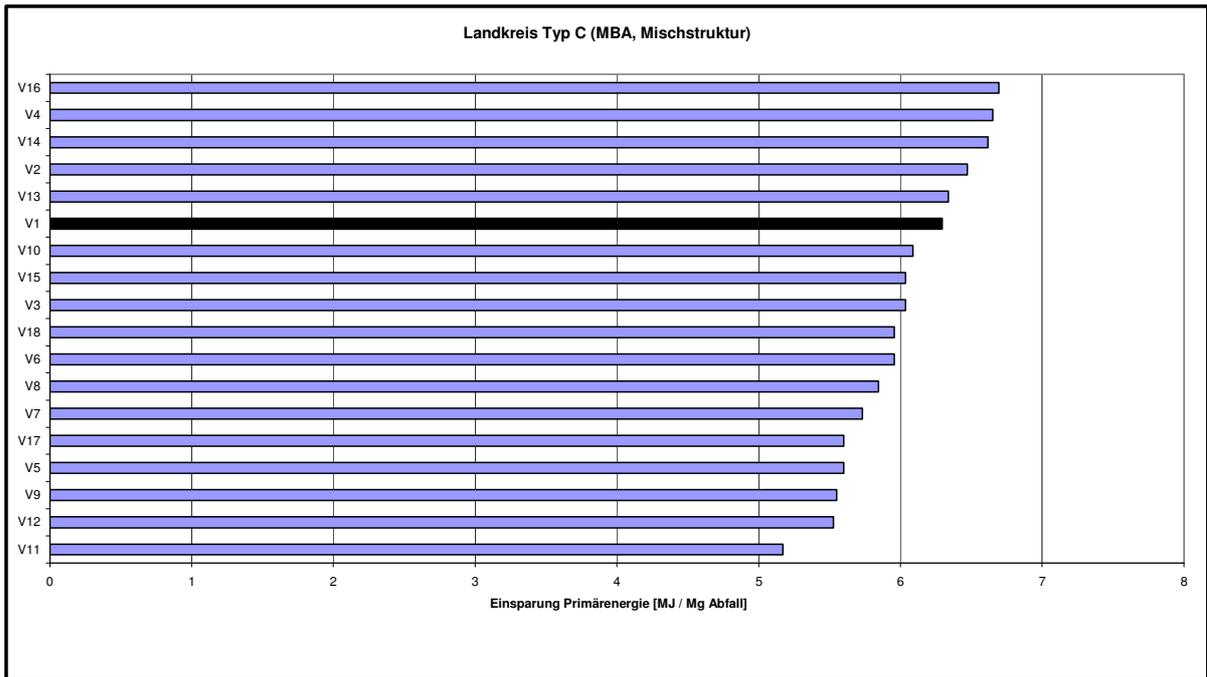


Abbildung 7: Einsparung von Primärenergie [MJ / Mg Abfall], Landkreis Typ C (MBA, Mischstruktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen

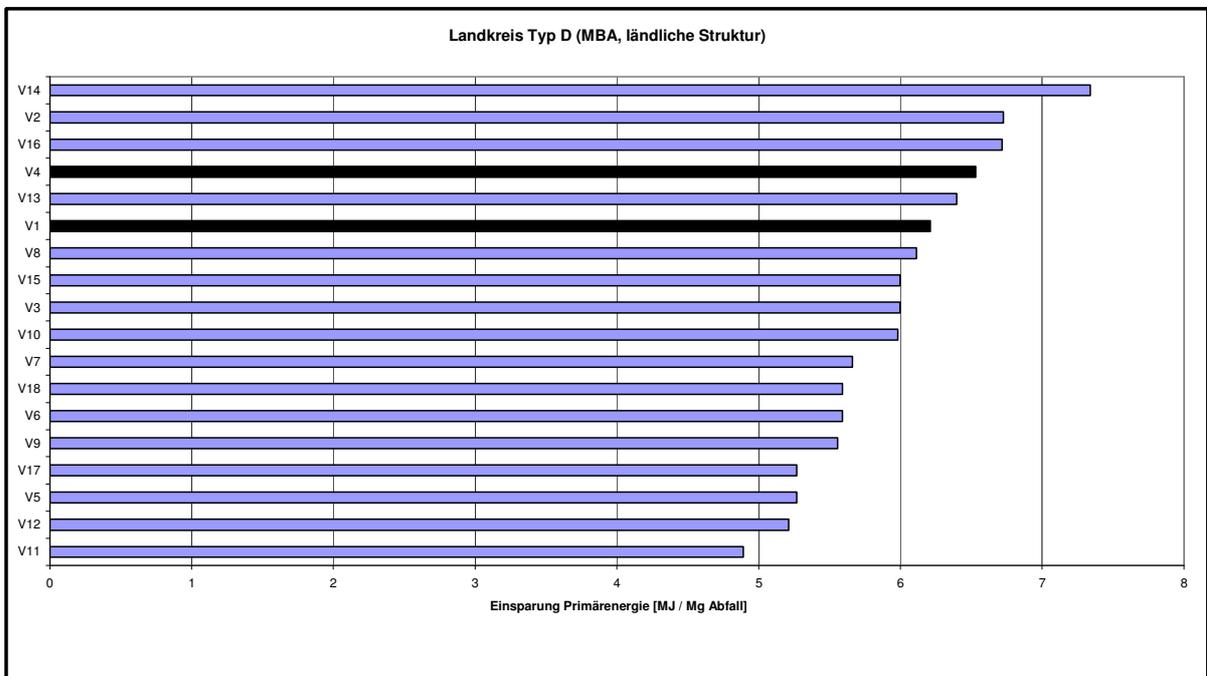


Abbildung 8: Einsparung von Primärenergie [MJ / Mg Abfall], Landkreis Typ D (MBA, ländliche Struktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen

Je höher der Anteil der energetischen Verwertung von kohlenstoffhaltigem Material, desto größer die Einsparung an Primärenergie. Dies zeigt sich insbesondere bei den Bestvarianten ohne bzw. mit eingeschränkter separater Bioabfallfassung (V16).

Bei den Landkreistypen A und B wird bei den günstigen Varianten (z.B. V16, V4, V13, V1) ein höherer Anteil an Primärenergie substituiert, da hier eine vollständige energetische Nutzung des Restabfälle in der MVA erfolgt, wohingegen bei den Landkreistypen C und D ein Teil des Kohlenstoffs ungenutzt auf die Deponie gelangt. Bei den ungünstigen Varianten (z.B. V11, V9, V12) macht sich dieser Effekt weniger stark bemerkbar. Die Ist-Zustände der vier Landkreistypen liegen alle nahe dem Optimum.

5.2.3 Einsparung von klimarelevantem Kohlendioxid

Durch diesen Parameter wird angegeben, in welchem Umfang durch Realisierung verschiedener Varianten klimarelevantes CO₂ eingespart werden kann. Das Referenzszenario, demgegenüber die Einsparung ermittelt wird, ist die Deponierung aller Abfälle und Wertstoffe ohne Vorbehandlung und Verwertung auf einer geordneten Deponie mit Deponiegasnutzung.

Für die Ermittlung der erzeugten bzw. eingesparten CO₂-Mengen innerhalb der einzelnen Varianten wurden alle Prozesse innerhalb des jeweiligen abfallwirtschaftlichen Systems berücksichtigt:

- Sammlung und Transport (einschließlich Individualverkehr bei den Bringsystemen),
- Behandlung,
- Verwertung,
- Nachgelagerte Transporte.

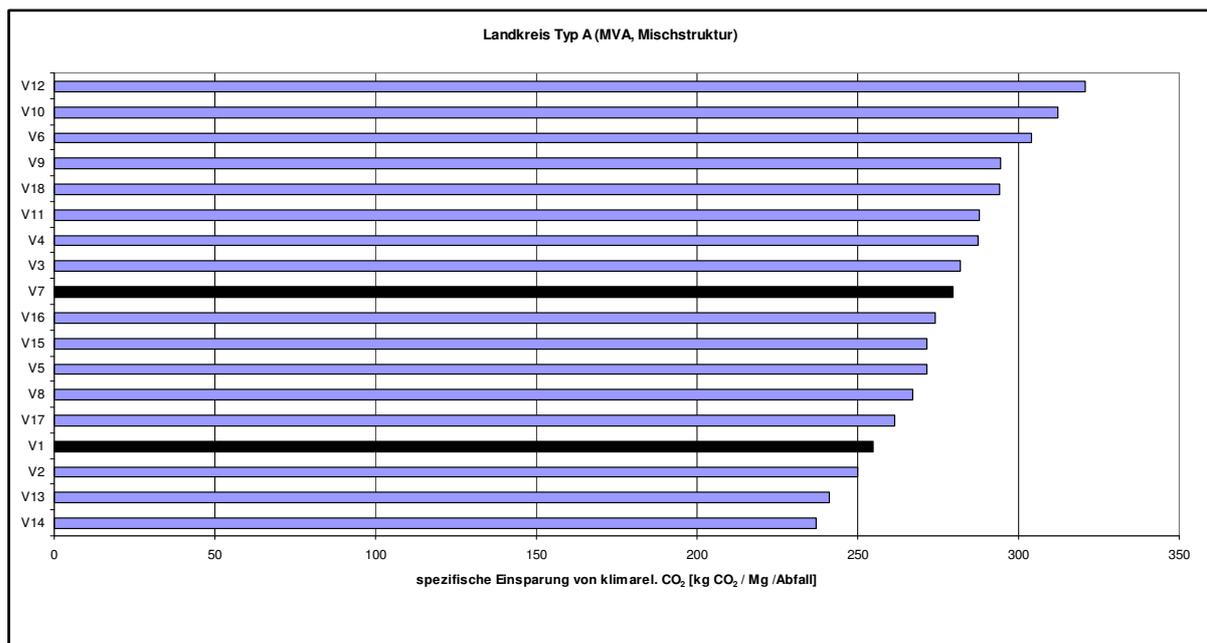


Abbildung 9: Spezifische Einsparung von klimarelevanten CO₂-Äquivalenten, Landkreis Typ A (MVA, Mischstruktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen

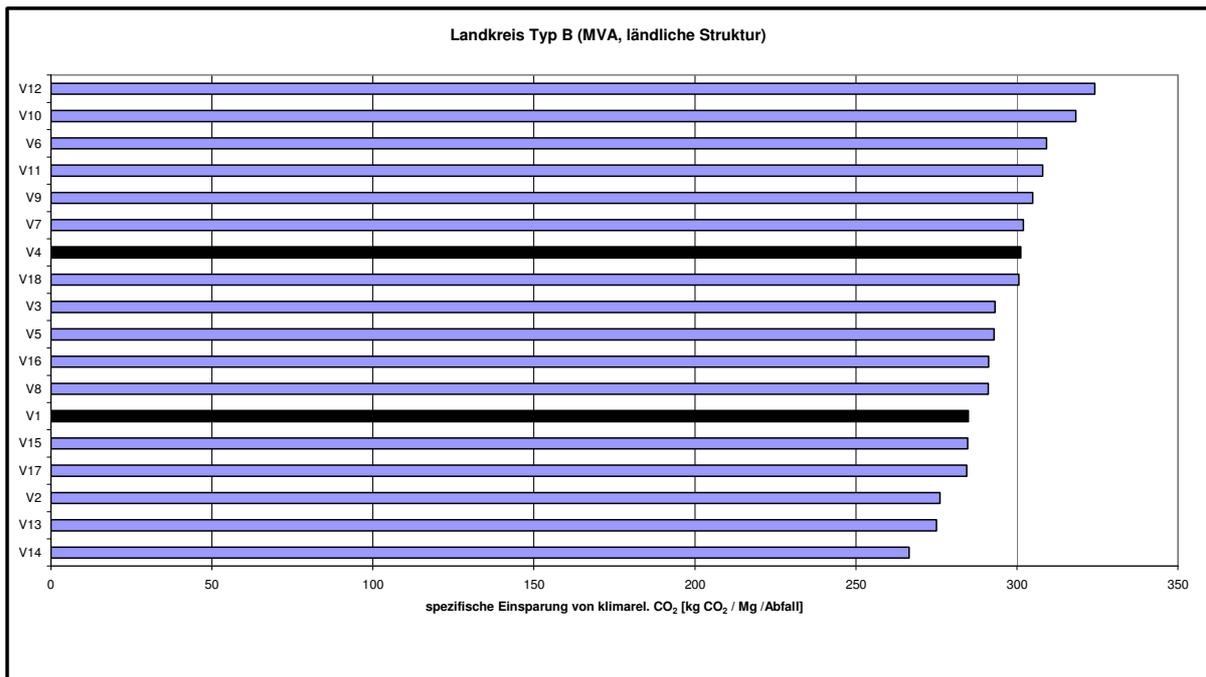


Abbildung 10: Spezifische Einsparung von klimarelevanten CO₂-Äquivalenten, Landkreis Typ B (MVA, ländliche Struktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen

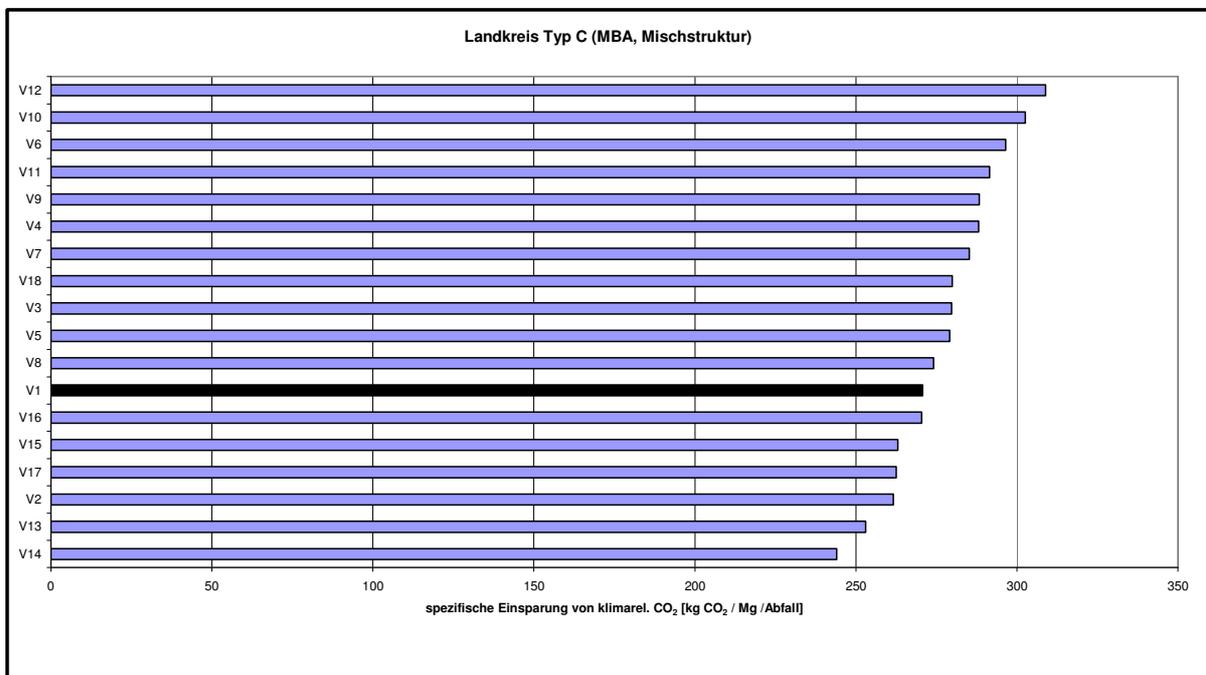


Abbildung 11: Spezifische Einsparung von klimarelevanten CO₂-Äquivalenten, Landkreis Typ C (MBA, Mischstruktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen

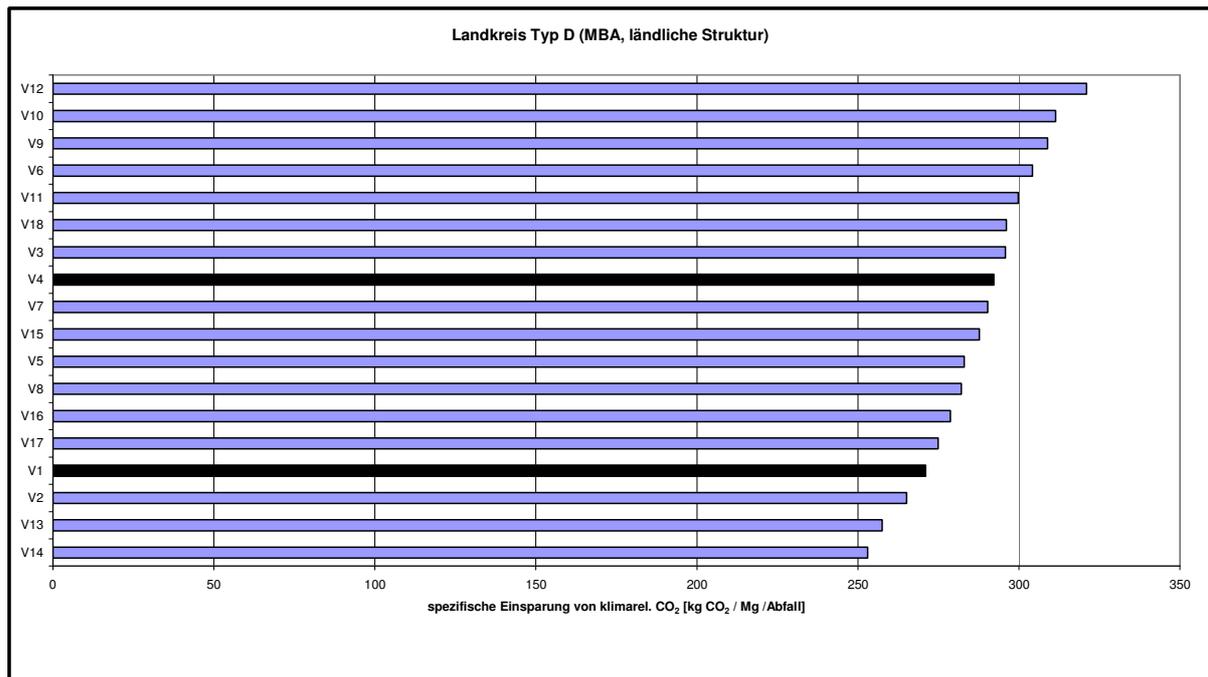


Abbildung 12: Spezifische Einsparung von klimarelevanten CO₂-Äquivalenten, Landkreis Typ D (MBA, ländliche Struktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen

Die spezifische Einsparung von klimarelevantem Kohlendioxid bei den vier Landkreistypen bewegt sich bei den Bestvarianten oberhalb von ca. 300 kg CO₂/Mg Abfall, bei den ungünstigsten Varianten im Bereich von ca. 200 – 270 kg CO₂/Mg Abfall.

Bei allen Landkreistypen erbringen die Varianten bei denen Bioabfall in der Restabfalltonne miterfasst wird, hohe Einsparungen (V4, V6, V10, V12; V16 und V18).

Die stoffliche Verwertung, insbesondere von Leichtverpackungen und sortengleichen Nichtverpackungsmaterialien sowie von Bioabfall, weist eine negative CO₂-Bilanz auf. Dies resultiert u.a. aus den durch Sammlung, Transport, Aufbereitung, nachgelagerte Transporte und Reststoffentsorgung erzeugten CO₂-Mengen. Die energetische Nutzung dagegen weist durch die Substitution fossiler Energieträger (Energemix Deutschland) Vorteile auf. Demzufolge werden bei geringeren stofflichen Verwertungsquoten, wie sie z.B. bei den Bringsystemen auftreten, höhere Mengen an klimarelevantem CO₂ eingespart.

Im Hinblick auf den Bioabfall wurde bei der Bioabfallbehandlung eine Kompostierung in Ansatz gebracht. Mit einer Ausnahme (Vergärungsanlage) ist dieses System in allen Landkreisen mit separater Bioabfallfassung etabliert. Die Mitbehandlung von Bioabfall in einer MVA oder MBA weist hinsichtlich der Kohlendioxideinsparung gegenüber der Kompostierung Vorteile auf, da bei der energetischen Nutzung (in der MVA durch Verbrennung, in der MBA durch die Biogasnutzung) der organische Kohlenstoff u.a. fossile Energieträger substituiert. Dies zeigt sich im direkten Vergleich der Varianten V1 und V4, V7 und V10 sowie V13 und V16.

Die Mitbehandlung von LVP / NVP in einer Müllverbrennungsanlage dient u.a. der Erzeugung von Strom, Fernwärme und Prozessdampf. Bei der Mitbehandlung in einer MBA gelangt dieses Material in die heizwertreiche Fraktion, die als Sekundärbrennstoff verwertet wird (Zementwerk). Die Vorteile der energetischen Nutzung der LVP- / NVP-Mengen zeigen sich im direkten Vergleich der Varianten V5 und V1, V11 und V7 sowie V17 und V13.

Entsprechend bringen unter CO₂-Gesichtspunkten die Varianten mit stofflicher Verwertung der LVP / NVP und aerober Behandlung separat erfasster Bioabfallmengen die ungünstigsten Ergebnisse. Die Varianten V1 und V2, V7 und V8 sowie V13 und V14 sind daher im ungünstigen Bereich bei allen Landkreistypen anzutreffen.

Im Hinblick auf die Erfassung von Wertstoffen, insbesondere von LVP und sortengleichen Nichtverpackungsmaterialien, im Bringsystem (Varianten 7 - 12) sei anzumerken, dass hier durch den Individualverkehr zwar höhere spezifische CO₂-Mengen je Mg abgeschöpftem Wertstoff erzeugt werden, die abgeschöpften Mengen insgesamt jedoch niedriger liegen als bei Wertstofffassungssystemen mit Holsystemen. Die stoffliche Verwertung von LVP und sortengleichen Nichtverpackungsmaterialien besitzt eine ungünstigere CO₂-Bilanz (siehe vorne). Diese niedrigeren Mengen an stofflich verwerteten Materialien bringen daher eine höhere Einsparung als die durch den Individualverkehr erzeugten zusätzlichen Emissionen.

5.2.4 Einwohnerspezifische Kosten

Bei den Kostenvergleichen sind naturgemäß die einwohnerspezifischen Kosten von Interesse. Hierdurch wird angegeben, welche Kosten für das gesamte System der Abfallentsorgung und Wertstoffnutzung je Einwohner entstehen. Dieser Wert ist u.a. proportional zur Abfallmenge aber auch abhängig von der Art der Erfassung und Behandlung von Wertstoffen. Anzumerken ist, dass es sich hierbei um die Gesamtkosten des abfallwirtschaftlichen Systems, umgelegt auf die Einwohnerzahl handelt. Enthalten sind daher auch Kosten, die nicht über die vom öffentlich-rechtlichen Entsorger erhobenen Abfallgebühren abgerechnet werden (z.B. Lizenzgebühren für Leichtverpackungen).

Die folgenden Kosten wurden berücksichtigt (vgl. Kapitel 3.2.1):

- Sammlung,
- Transport (ggf. inklusive Umladung),
- Behandlung / Aufbereitung / Verwertung,
- Nachlauftransporte,
- nachgelagerte Verfahrensschritte,
- Reststoffentsorgung,
- Erlöse (u.a. Energiebereitstellung, Wertstoffvermarktung).

Die Daten zu den Kosten wurden von den Landkreisen zur Verfügung gestellt und durch Angaben von Entsorgungsunternehmen, den Lizenzgebern der dualen Systeme sowie Marktdaten zu Wertstoffpreisen ergänzt.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Ergebnisse für die vier Typen von Landkreisen in Form gewichteter Mittelwerte. Die Varianten sind jeweils nach ansteigenden einwohnerspezifischen Kosten sortiert.

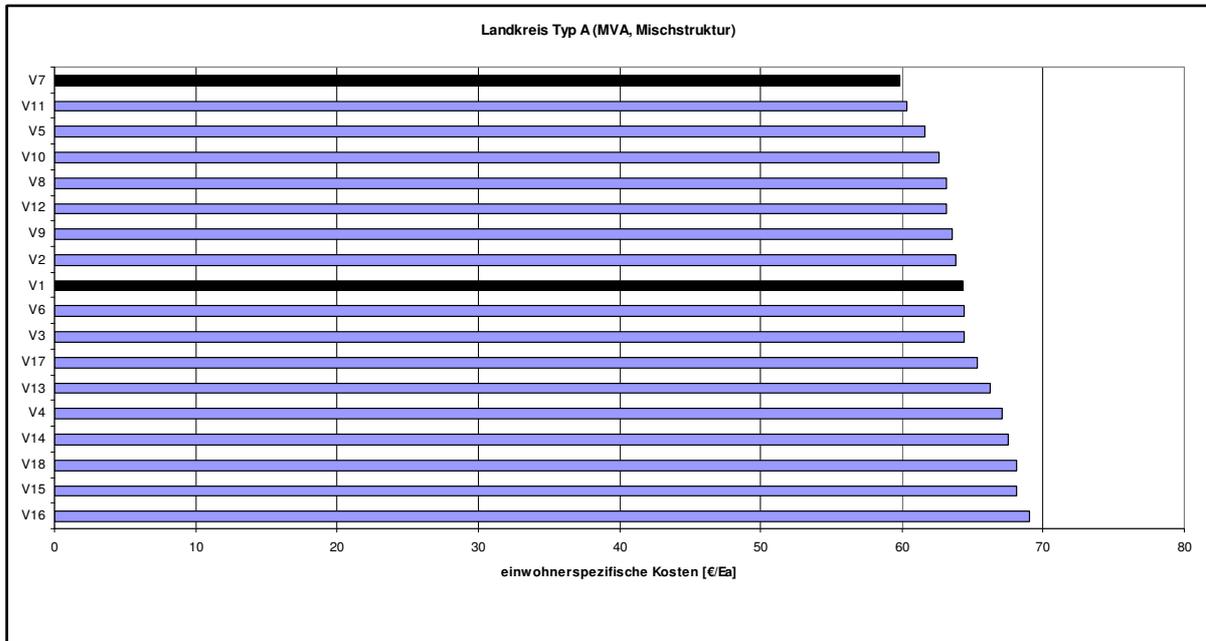


Abbildung 13: Einwohnerspezifische Kosten [€/Ea], Landkreis Typ A (MVA, Mischstruktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen

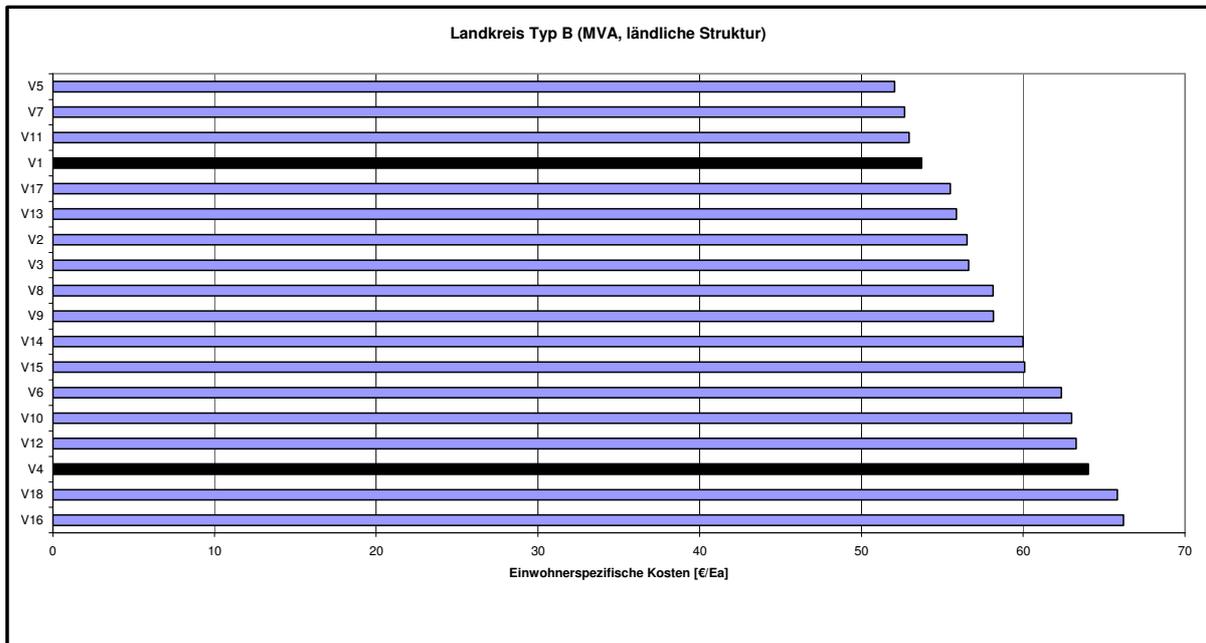


Abbildung 14: Einwohnerspezifische Kosten [€/Ea], Landkreis Typ B (MVA, ländliche Struktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen

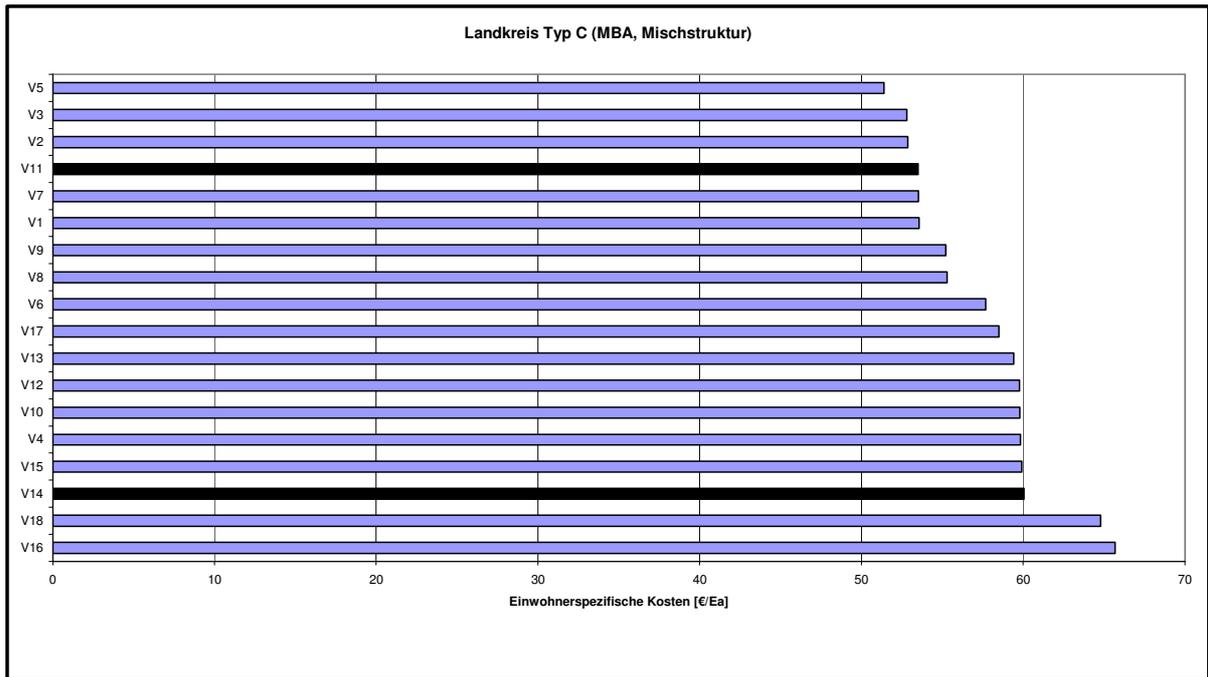


Abbildung 15: Einwohnerspezifische Kosten [€/Ea], Landkreis Typ C (MBA, Mischstruktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen

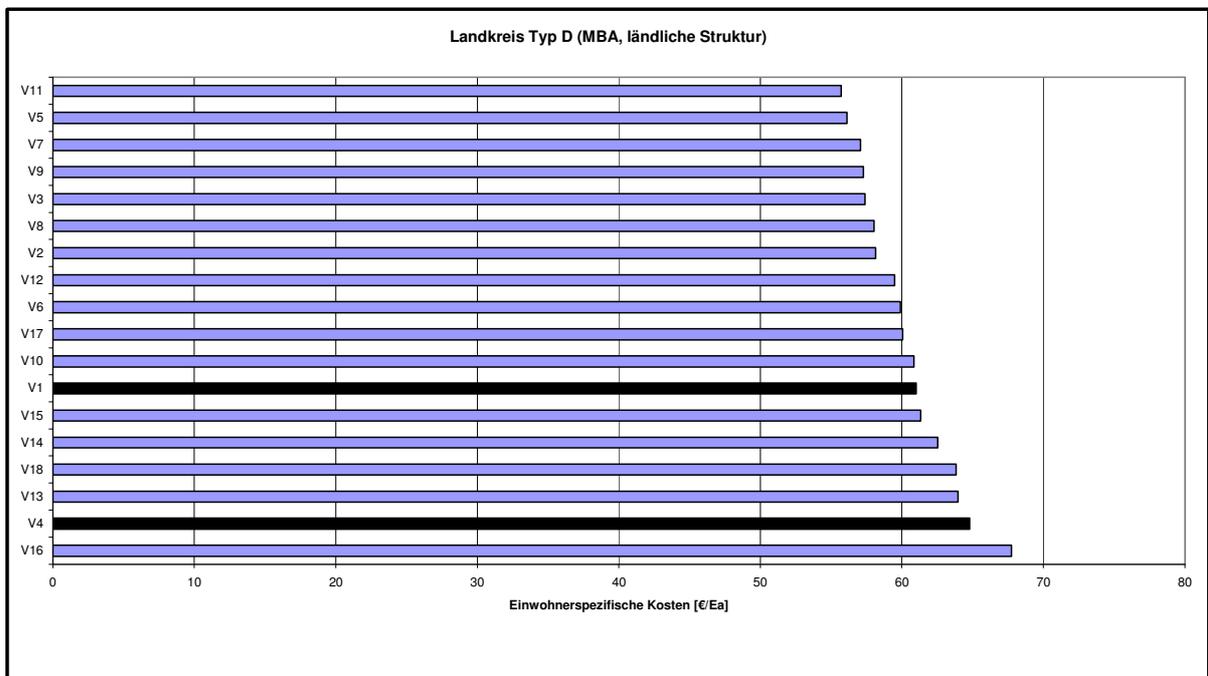


Abbildung 16: Einwohnerspezifische Kosten [€/Ea], Landkreis Typ D (MBA, ländliche Struktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen

Die einwohnerspezifischen Kosten liegen im günstigsten Fall bei ca. 52,- €/Ea (Landkreis Typ C, V 5) und im ungünstigsten Fall bei ca. 68,- €/Ea (Landkreis Typ A, V16).

Bei allen Landkreistypen liegt V7 als Bringsystem für trockene Wertstoffe mit separater Bioabfallererfassung, sehr günstig. Dies liegt darin begründet, dass Bringsysteme kostengünstiger sind als Holsysteme, weil Teile der logistischen Leistung durch den Bürger erbracht werden. Diese volkswirtschaftlich relevanten Kosten wurden im Rahmen des Forschungsprojektes jedoch nicht in Ansatz gebracht.

Je geringer der Aufwand für Sammlung und Aufbereitung, desto geringer sind die einwohnerspezifischen Kosten. Ausgenommen hiervon ist die getrennte Erfassung von Bioabfall, da diese mit deutlich geringeren spezifischen Behandlungskosten als die Restabfallbehandlung in Ansatz gebracht worden sind. Die in Ansatz gebrachten Behandlungskosten für Bioabfälle liegen im Bereich von ca. 40,- bis 80,- €/Mg. Bei der Restabfallbehandlung wurden für die MVA ca. 125,- bis 145,- €/Mg, für die MBA ca. 110,- €/Mg angesetzt. Die Kostenvorteile einer getrennten Bioabfallbehandlung machen sich auch aufgrund des hohen Massenanteils des Bioabfalls deutlich bemerkbar, weshalb bei allen Landkreistypen die Varianten ohne getrennte Bioabfallererfassung ungünstig abschneiden. Eine Ausnahme stellt V10 vom Typ A dar, weil dort günstige Restabfallbehandlungskosten und vergleichsweise hohe Kosten für die Bioabfallbehandlung anfallen.

Die GiG-Varianten V2 und V8 liegen nahe am Optimum. Der absolute Unterschied zur Bestvariante liegt bei rund 5,- bis 6,- €/Ea. Ein häufig anzutreffendes Abfallwirtschaftskonzept entspricht der Variante V1. Die GiG-Varianten V2 und V8 weisen hier Kosten in der gleichen Größenordnung aus. Die GiG-Variante V14 liegt weiter zurück, da aus systematischen Gründen die trockene Wertstofftonne bei dieser Variante nicht vollständig zugunsten von GiG aufgegeben, sondern weiterhin zur Erfassung der übrigen trockenen Wertstoffe betrieben wird.

Anzumerken bezüglich der GiG-Varianten ist, dass hier im Hinblick auf die Sortiertechnik und die Qualität der abgetrennten Sekundärrohstoffe Varianten mit getrennter Bioabfallererfassung der Vorrang einzuräumen ist.

Varianten mit trockener Wertstofftonne (V13 – V18) sind insgesamt etwas kostenintensiver als die übrigen Systeme, da hier die höchsten Abschöpfungsquoten für LVP und NVP angesetzt wurden. Die stoffliche Verwertung dieser Materialien ist mit hohen Kosten verknüpft, weshalb geringere Abschöpfungsquoten günstiger sind. Gegenüber den Bringsystemen (V7 – V12) fallen darüber hinaus zusätzliche Kosten für Sammlung und Sortierung an. Aufgrund dieser Zusammenhänge ist bei allen Landkreistypen die Variante 18 (trockene Wertstofftonne, keine getrennte Bioabfallererfassung) vergleichsweise kostenintensiv.

5.2.5 Kenngrößenbezogene Kosten

Die kenngrößenbezogenen Kosten erlauben es, die Abschöpfung von Wertstoffen, die Restabfallbehandlung, die Einsparung von Primärenergie und die Klimarelevanz der Varianten unter Kostenaspekten zu vergleichen. Damit wird die wirtschaftliche Effizienz der Varianten, bezogen auf die o.e. Kriterien im Vergleich deutlich.

5.2.5.1 Kosten, bezogen auf die abgeschöpften Wertstoffmengen

Die Kosten, bezogen auf die abgeschöpften Wertstoffmengen, zeigen die Kosteneffizienz der Varianten im Hinblick auf die abgeschöpften Wertstoffmengen. Sofern die Maximierung von Abschöpfungsquoten ein Ziel abfallwirtschaftlicher Systeme ist, kann dieser Effizienzparameter für die Bewertung herangezogen werden.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Ergebnisse aus den vier Landkreistypen in Form gewichteter Mittelwerte. Die Abbildungen sind nach absteigender Kosteneffizienz geordnet.

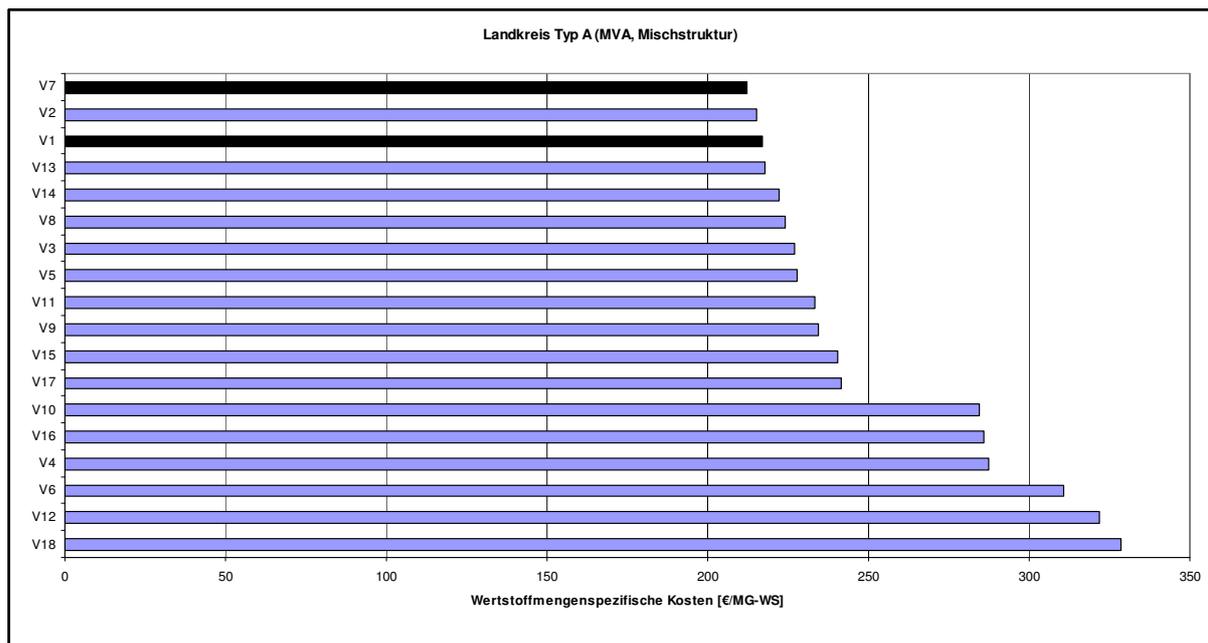


Abbildung 17: Wertstoffmengenspezifische Kosten [€/Mg Wertstoff], Landkreis Typ A (MVA, Mischstruktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen

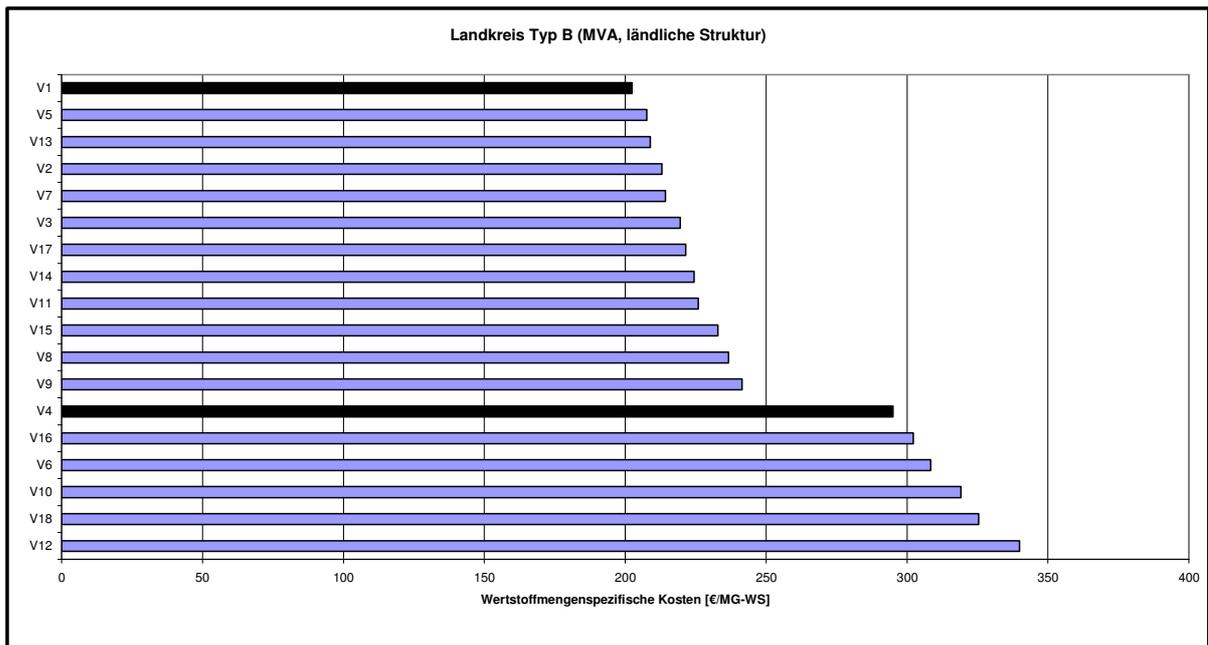


Abbildung 18: Wertstoffmengenspezifische Kosten [€/Mg Wertstoff], Landkreis Typ B (MVA, ländliche Struktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen

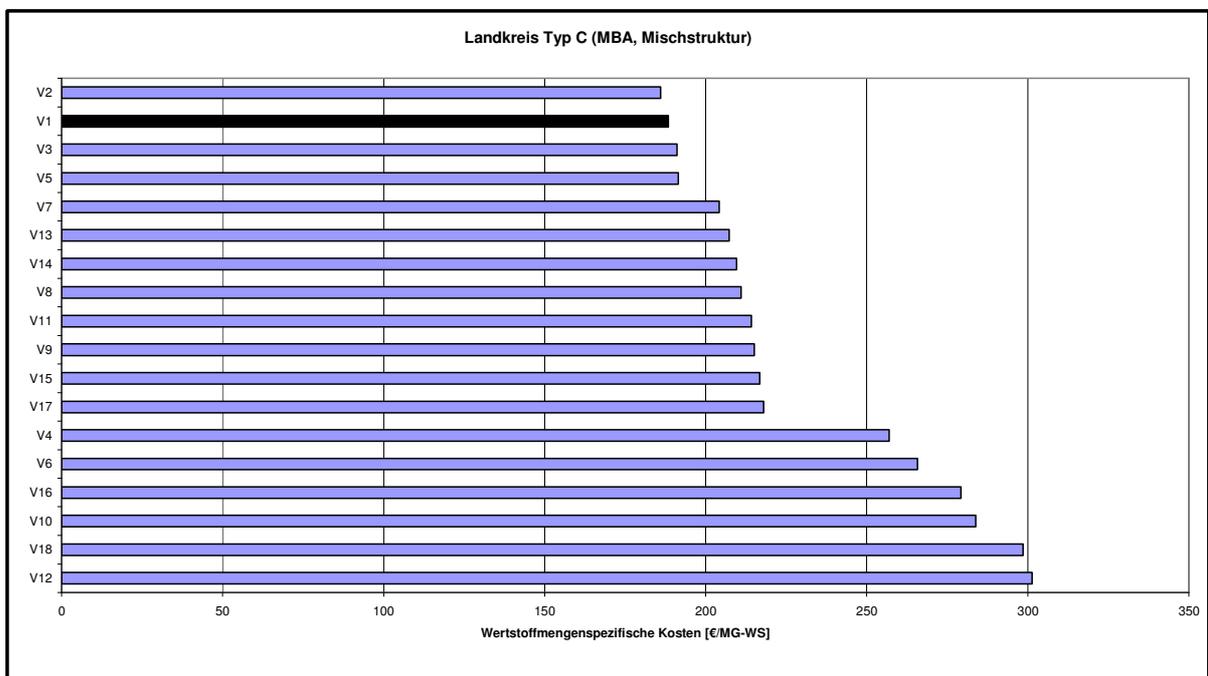


Abbildung 19: Wertstoffmengenspezifische Kosten [€/Mg Wertstoff], Landkreis Typ C (MBA, Mischstruktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen

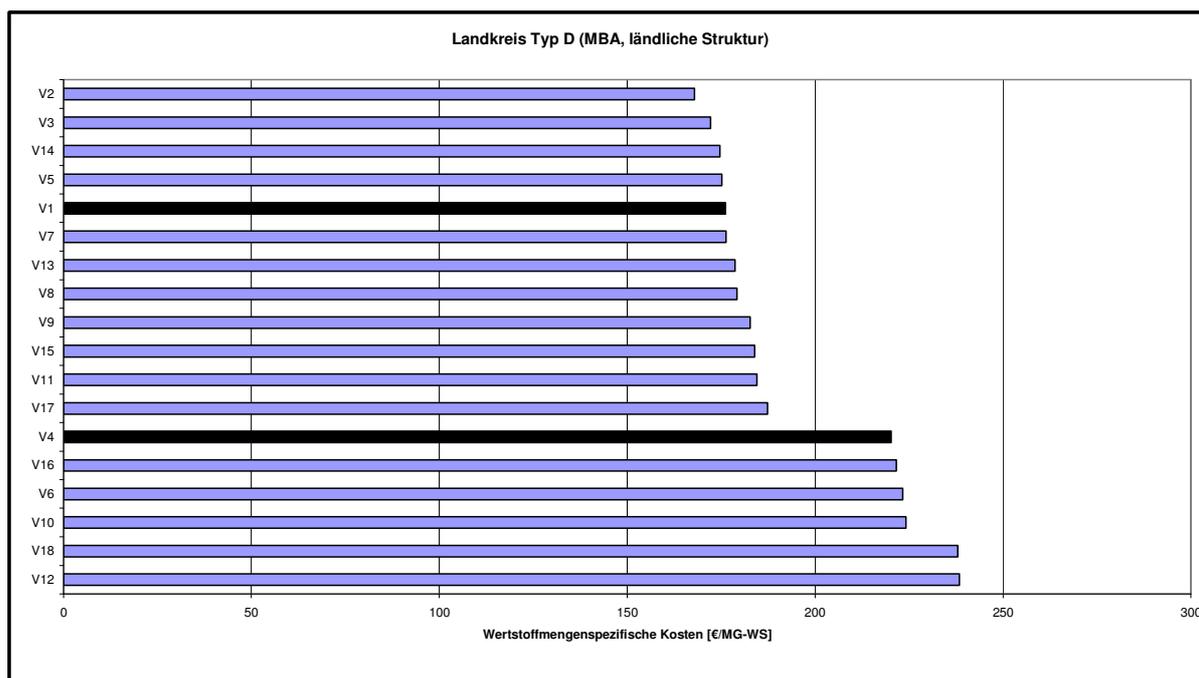


Abbildung 20: Wertstoffmengenspezifische Kosten [€/Mg Wertstoff], Landkreis Typ D (MBA, ländliche Struktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen

Bei allen Landkreistypen liegen die günstigsten wertstoffmengenspezifischen Kosten im Bereich von ca. 175 – 200 €/Mg Wertstoff. V1, V7 und V13 beinhalten die getrennte Bioabfallerrfassung und die separate Erfassung von LVP und sonstigen Wertstoffen. Bei V2, und V8 hingegen werden die Leichtverpackungen und sortengleichen Nichtverpackungen gemeinsam mit dem Restabfall erfasst und anschließend mechanisch abgetrennt, wobei die gleichen Quoten erreicht werden, wie bei der getrennten Erfassung, basierend auf der o.g. Annahme. Wie sich schon bei der Auswertung der einwohnerspezifischen Kosten sowie der Abschöpfungsquoten gezeigt hat, liegen die GiG-Varianten auch hier sehr nahe bei den Varianten mit separater LVP- / NVP-Erfassung.

Die ungünstigen Varianten weisen keine getrennte Bioabfallerrfassung auf und/oder beinhalten die gemeinsame Erfassung von LVP / NVP mit dem Restabfall ohne in nachgelagerten Prozessen eine Abtrennung vorzusehen (vgl. V6, V10, V12 und V18).

Besonders augenfällig ist, dass bei allen Landkreistypen die Varianten ohne separate Bioabfallerrfassung am ungünstigsten ausfallen. Hier kommen zwei Effekte zum tragen: zum einen ist die Behandlung von Bioabfällen günstiger als die Restabfallbehandlung (ca. 40,- bis 80,- €/Mg Bioabfall und ca. 110,- bis 145,- €/Mg Restabfall), zum anderen vermindern sich die abgeschöpften Wertstoffmengen signifikant, wenn keine Bioabfälle mehr abgeschöpft werden.

Die Landkreise vom Typ C und D liegen in einer Größenordnung von ca. 30 – 50 €/Mg Wertstoff günstiger als die Landkreise mit einer MVA (Typ A und B). Die Ursache hierfür liegt u.a. in dem Betrieb der MBA. Die durchschnittlichen Kosten für die Restabfallbehandlung liegen bei den MBA-Landkreisen etwas günstiger. Des Weiteren

werden in mechanisch-biologischen Anlagen größere Mengen an Wertstoffen abgeschöpft als bei Müllverbrennungsanlagen, da hier aus dem Restabfall eine heizwertreiche Fraktion abgetrennt wird.

5.2.5.2 Kosten, bezogen auf die Restabfallmengen

Die Kosten, bezogen auf die der Restabfallbehandlung zugeführten Abfallmengen, sind dann von Interesse, wenn die Abrechnung der Kosten für das gesamte abfallwirtschaftliche System über die Restabfallgebühren erfolgen würde und dient als vergleichende Kenngröße.

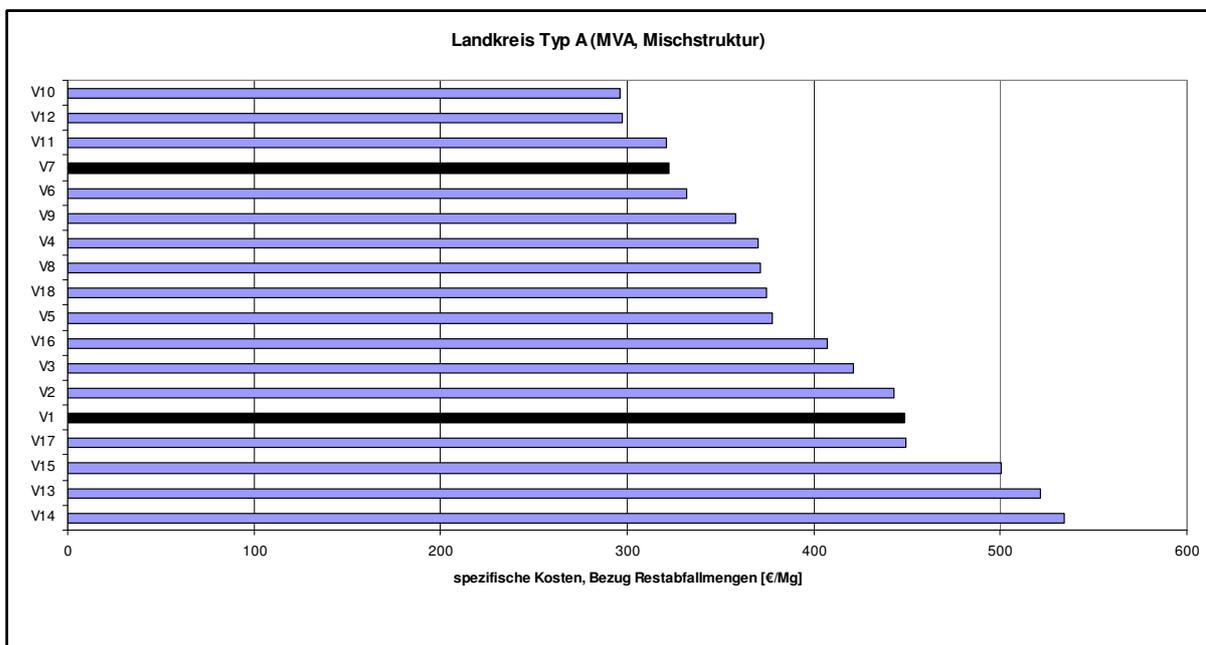


Abbildung 21: Kosten, bezogen auf die Restabfallmengen [€/Mg], Landkreis Typ A (MVA, Mischstruktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen

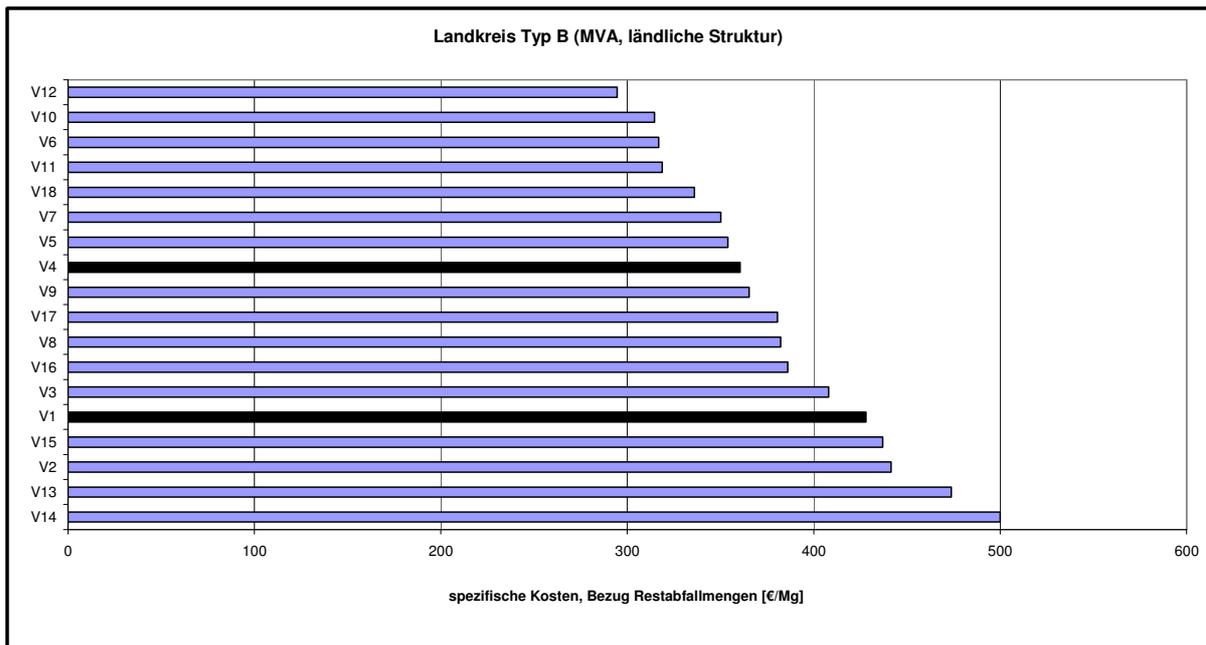


Abbildung 22: Kosten, bezogen auf die Restabfallmengen [€/Mg], Landkreis Typ B (MVA, ländliche Struktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen

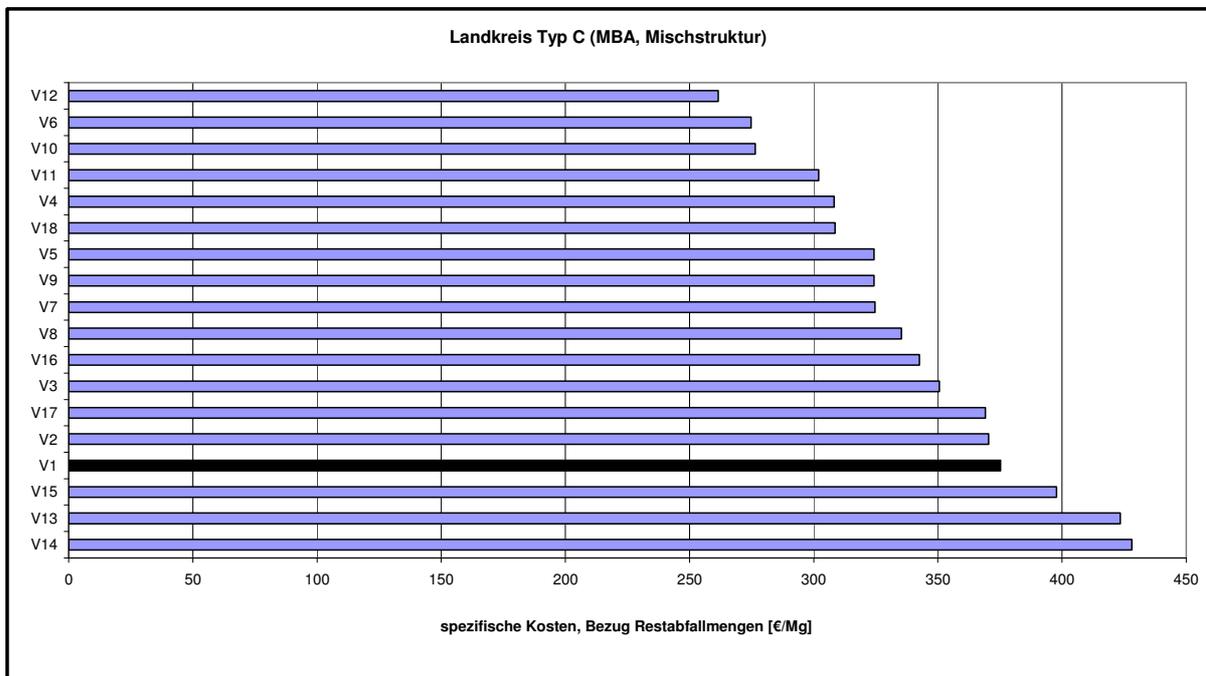


Abbildung 23: Kosten, bezogen auf die Restabfallmengen [€/Mg], Landkreis Typ C (MBA, Mischstruktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen

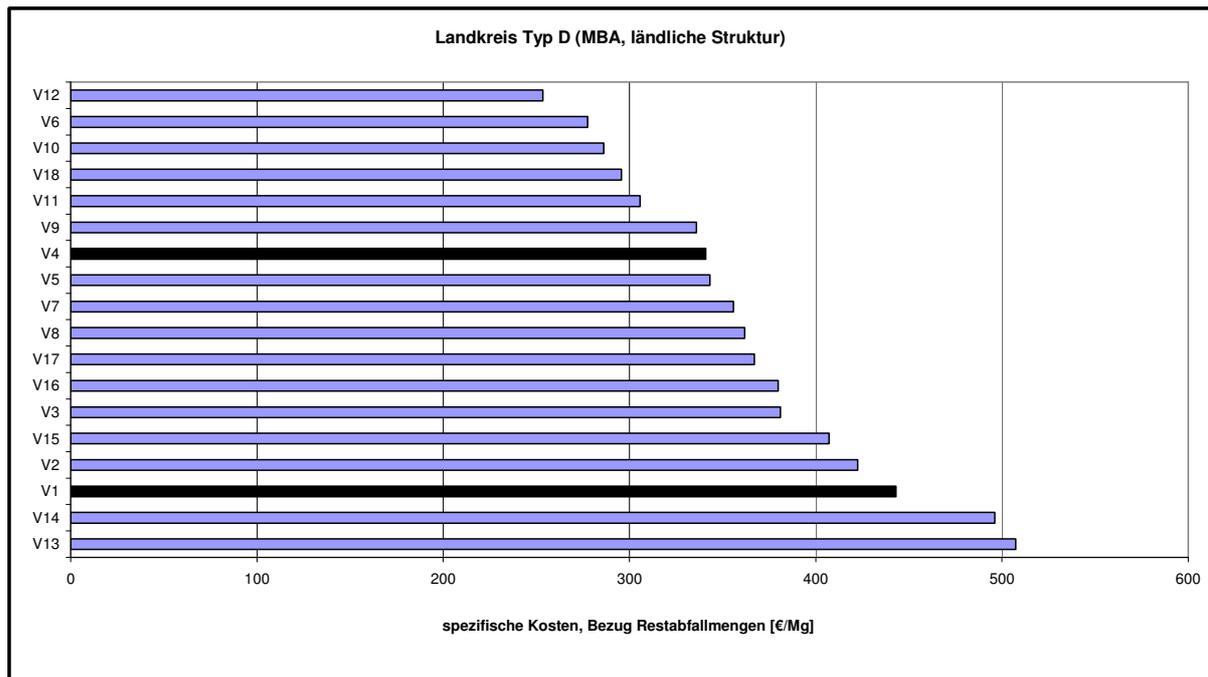


Abbildung 24: Kosten, bezogen auf die Restabfallmengen [€/Mg], Landkreis Typ D (MBA, ländliche Struktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen

Bei dem hier betrachteten Parameter sind deutliche Unterschiede zwischen Landkreisen nach Typ A und B (MVA-Varianten) sowie den Typen C und D (MBA-Varianten) festzustellen. Im ersten Fall liegen die restabfallspezifischen Kosten im Bereich von ca. 295 – 530 €/Mg Restabfall, im letzteren dagegen bei ca. 265 – 510 €/Mg Restabfall.

Insgesamt liegen die Varianten mit hohen Restabfallmengen im günstigeren Bereich, insbesondere dann, wenn die Wertstoffeffassung (Leichtverpackungen und sortengleiche Nicht-Verpackungsmaterialien) überwiegend im Bringsystem erfolgt (was mit niedrigeren Abschöpfungsquoten einhergeht) oder wenn eine getrennte Wertstoffeffassung nur eingeschränkt erfolgt.

Ungünstige Varianten im Sinne dieser Kenngröße sind dagegen Varianten mit einem hohen Maß an Wertstoffabschöpfung für Kunststoffe und Verpackungen mittels Holsystemen. Dies liegt daran, dass die stoffliche Verwertung von LVP mit höheren Kosten als die Restabfallbehandlung verbunden ist und außerdem LVP im Vergleich zu den übrigen Materialströmen einen geringen Massenanteil aufweist. Zudem erhöht eine Reduzierung der Restabfallmenge die wertstoffbezogenen Kosten.

Bei Varianten mit getrennter Bioabfallerrfassung werden dagegen Kostenvorteile aufgrund der o.g. hohen Massenanteile und der vergleichsweise niedrigen Behandlungskosten erzeugt.

Die Varianten mit trockener Wertstofftonne (bei denen die höchsten Abschöpfungsquoten angesetzt wurden) liegen vor diesem Hintergrund eher ungünstig. Die ungünstigsten sind

hierbei V13 und V14, bei denen die nach der Wertstoffabschöpfung verbleibenden Restabfallmengen am geringsten ausfallen.

5.2.5.3 Kosten, bezogen auf die eingesparte Primärenergie

Dieser Effizienzparameter beschreibt die spezifischen Kosten bezogen auf die eingesparte Primärenergie. Hierzu wurden die gesamten Systemkosten der jeweils betrachteten Variante (Kosten für Sammlung, Transport, Behandlung, Verwertung, Erlöse etc. für alle Materialströme) der o.g. Referenzvariante gegenübergestellt. Wie bereits beschrieben beinhaltet die Referenzvariante die Sammlung, den Transport und die Deponierung (ohne Vorbehandlung) aller Abfälle und Wertstoffe auf einer geordneten Deponie mit einer Deponiegasnutzung. Die Mehr- bzw. Minderkosten der jeweiligen Systemvariante gegenüber der Referenzvariante (Deponie) wurden dann bezogen auf die Menge an eingesparter Primärenergie. Die Deponiegasnutzung wurde hierbei berücksichtigt.

Bei allen untersuchten Varianten wird gegenüber dem Referenzszenario (Deponie mit Deponiegasnutzung) Primärenergie eingespart. Die in den Abbildungen negativen Balken sparen zugleich auch Kosten gegenüber dem Referenzszenario ein. Positive Werte sind mit zusätzlichen Kosten verknüpft.

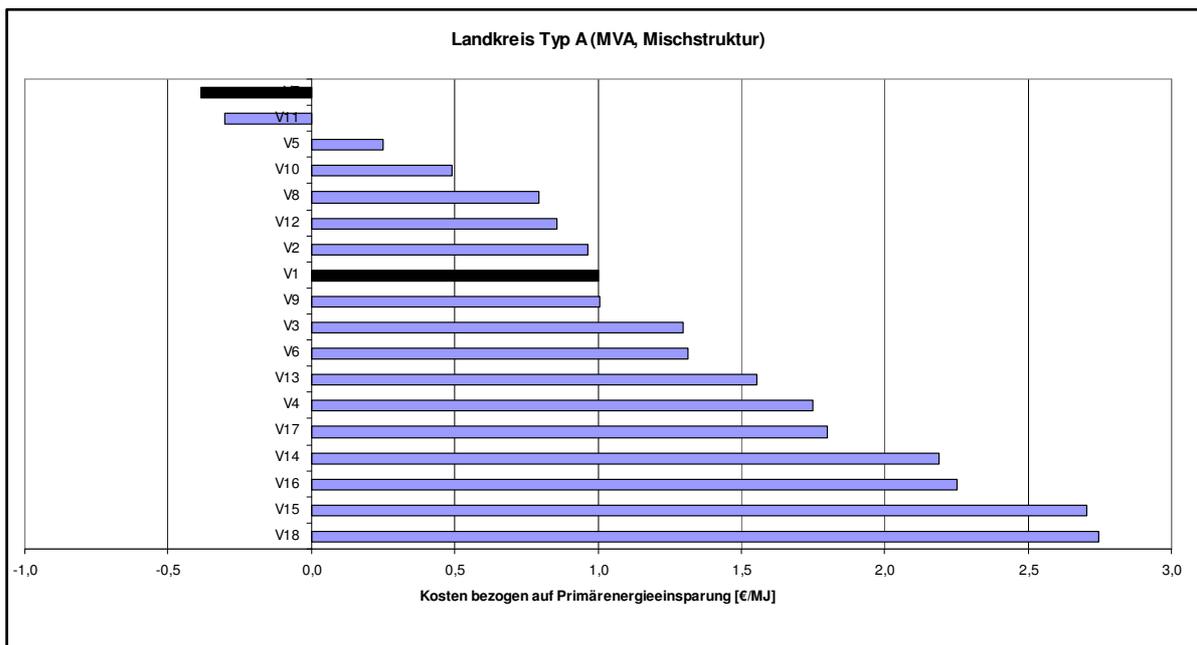


Abbildung 25: Kosten, bezogen auf die eingesparte Primärenergie [€/MJ], Landkreis Typ A (MVA, Mischstruktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen

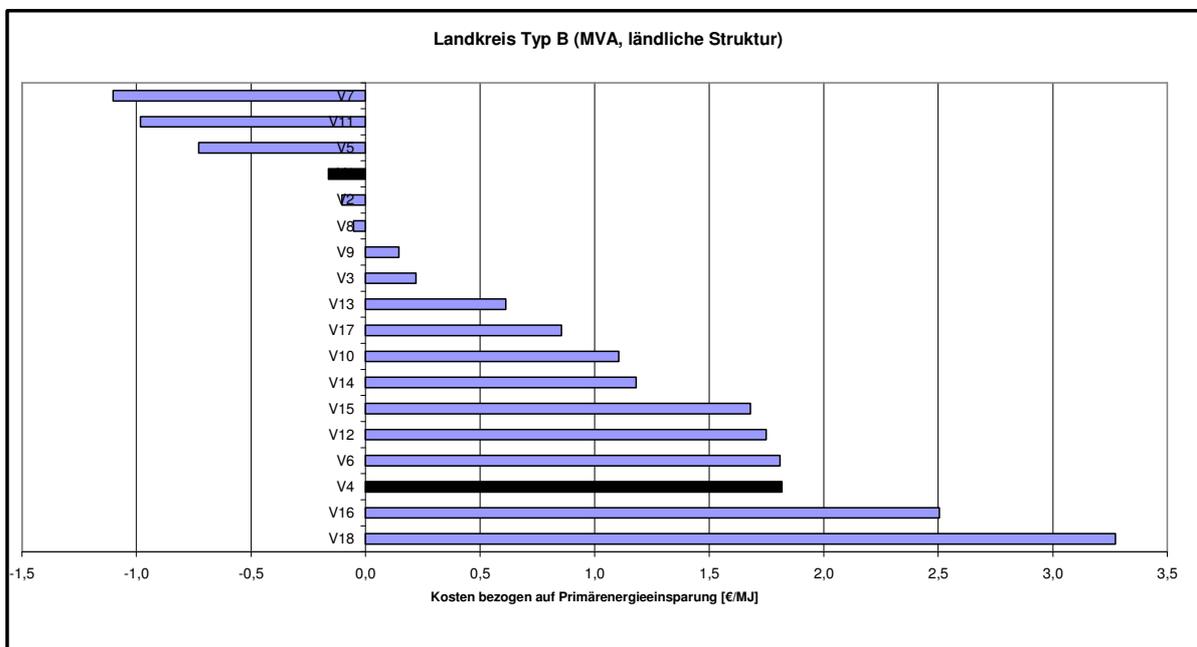


Abbildung 26: Kosten, bezogen auf die eingesparte Primärenergie [€/MJ], Landkreis Typ B (MVA, ländliche Struktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen

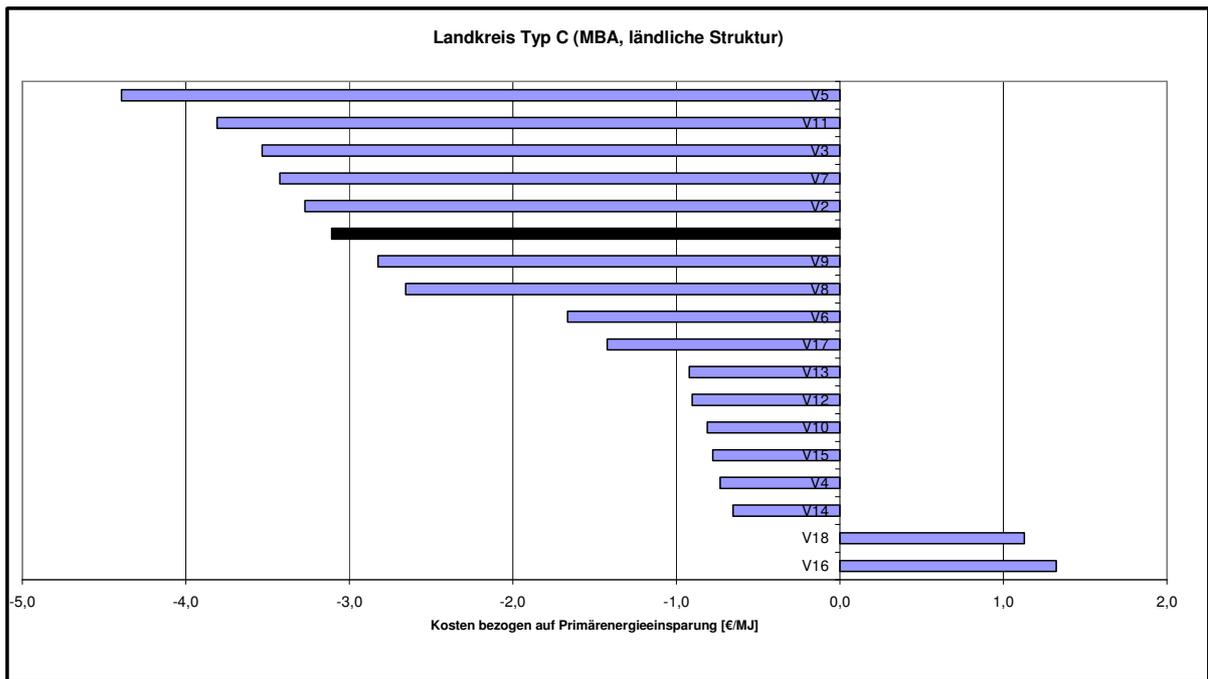


Abbildung 27: Kosten, bezogen auf die eingesparte Primärenergie [€/MWh], Landkreis Typ C (MBA, Mischstruktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen

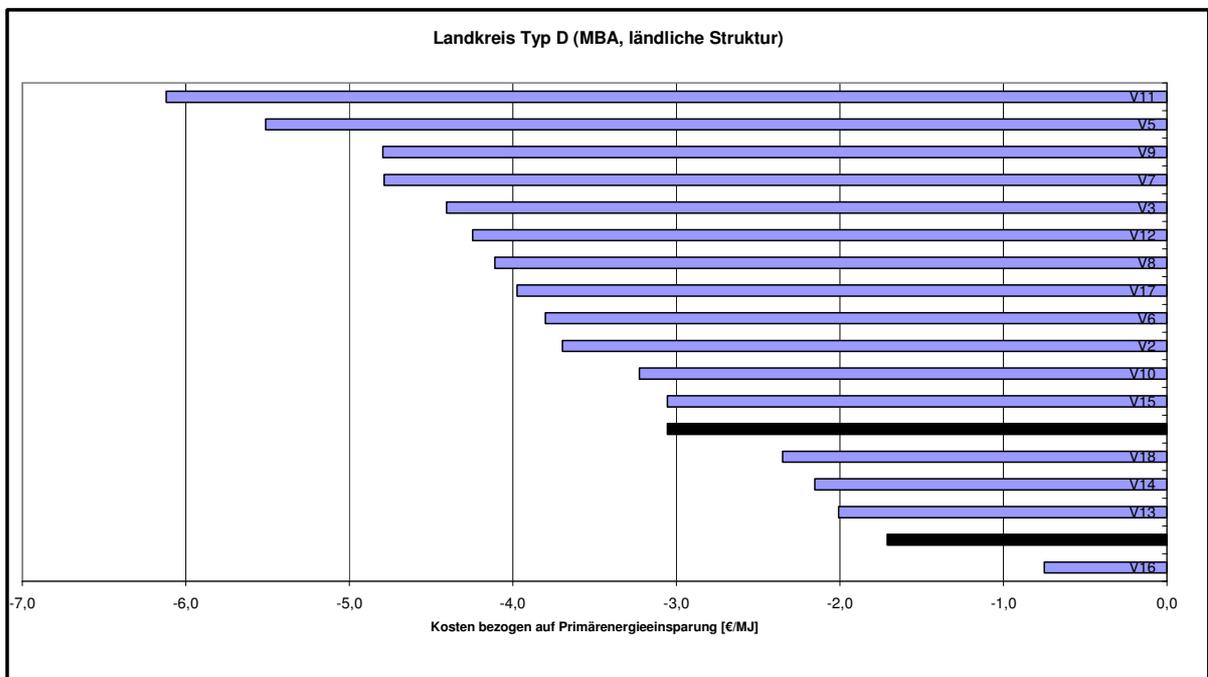


Abbildung 28: Kosten, bezogen auf die eingesparte Primärenergie [€/MWh], Landkreis Typ D (MBA, ländliche Struktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen

Der hier betrachtete Parameter zeigt Kosteneinsparungen bzw. zusätzliche Kosten je MJ eingesparter Primärenergie in einer Größenordnung von -5,- bis +3,3 €/MJ. Die derzeitigen Marktpreise für Primärenergie liegen bei ca. 0,02 €/MJ (Heizöl, Industrie). Die Kosten, bezogen auf die Primärenergie stellen einen Effizienzparameter im Hinblick auf die ökologischen Auswirkungen der untersuchten Varianten.

Alle Varianten beinhalten eine Einsparung von Primärenergie. Nach links weisende Balken weisen gegenüber dem Deponieszenario Kosteneinsparungen auf. Die MVA-Landkreise (Typ A und Typ B) liegen ungünstiger als die MBA-Landkreise (Typ C und Typ D). Dies liegt an den günstigeren spezifischen Restabfallbehandlungskosten. Nahezu alle MBA-Varianten sind kosteneffizienter als die Deponierung, wohingegen die MVA-Varianten trotz der höheren Einsparung an Primärenergie aufgrund der höheren spezifischen Behandlungskosten hier ungünstig erscheinen.

5.2.5.4 Kosten, bezogen auf die Einsparung von klimarelevanten Kohlendioxid-Äquivalenten

Die Gesamtkosten des abfallwirtschaftlichen Systems, bezogen auf die innerhalb des Systems erzeugte Einsparung von klimarelevanten CO₂-Äquivalenten, zeigen die Kosteneffizienz der Varianten im Hinblick auf klimarelevante Emissionen. Sofern die Abfallwirtschaft u.a. auch die Entlastung des Klimas zum Ziel hat, ist dieser Parameter geeignet für eine Bewertung.

Der Parameter (Kosteneffizienz der CO₂-Einsparung) ist u.a. auch an den Ressourcenverbrauch in Form von fossilen Energieträgern sowie an die Umweltauswirkungen eines Systems insgesamt gekoppelt.

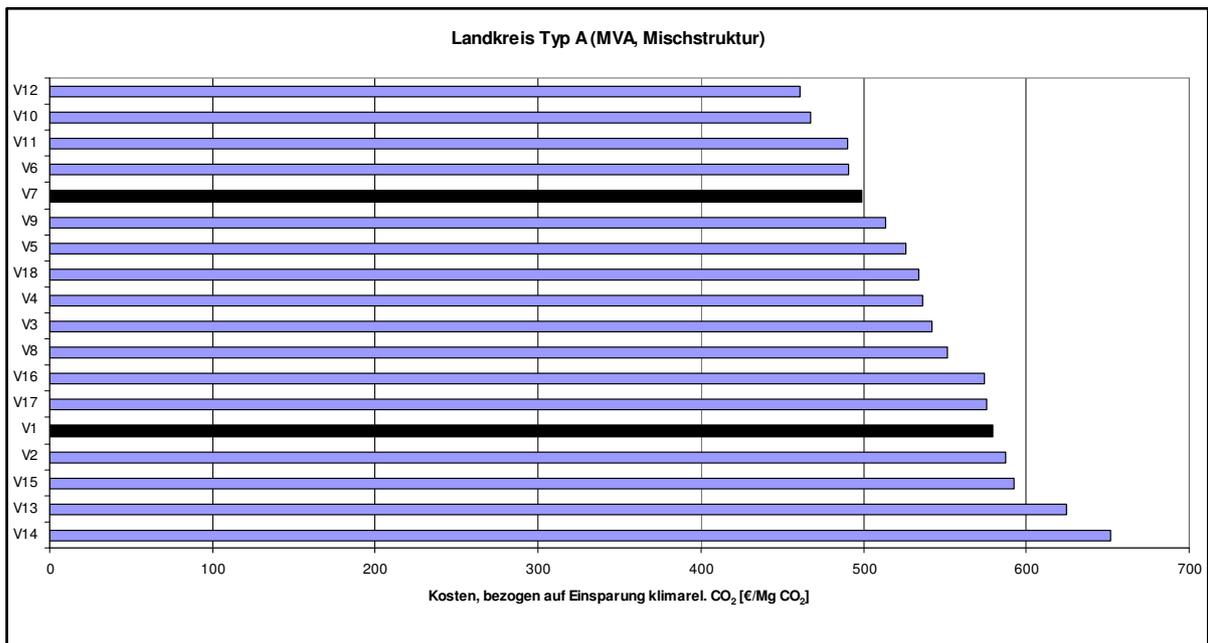


Abbildung 29: Kosten, bezogen auf die Einsparung von klimarelevantem CO₂ [€/Mg CO₂], Landkreis Typ A (MVA, Mischstruktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen

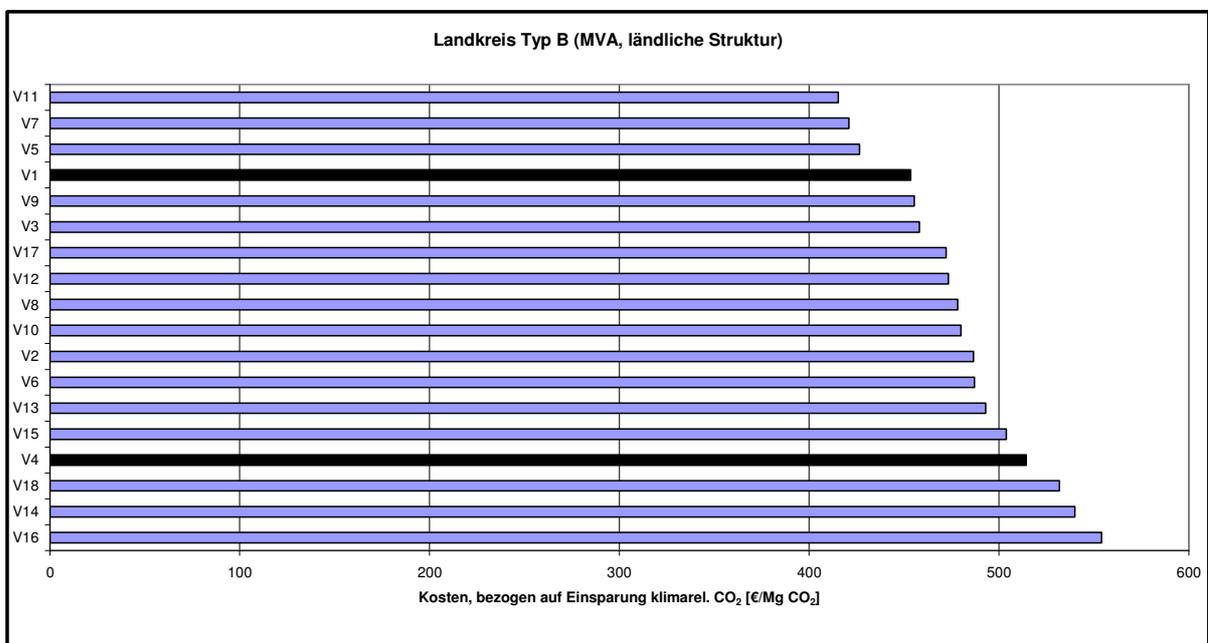


Abbildung 30: Kosten, bezogen auf die Einsparung von klimarelevantem CO₂ [€/Mg CO₂], Landkreis Typ B (MVA, ländliche Struktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen

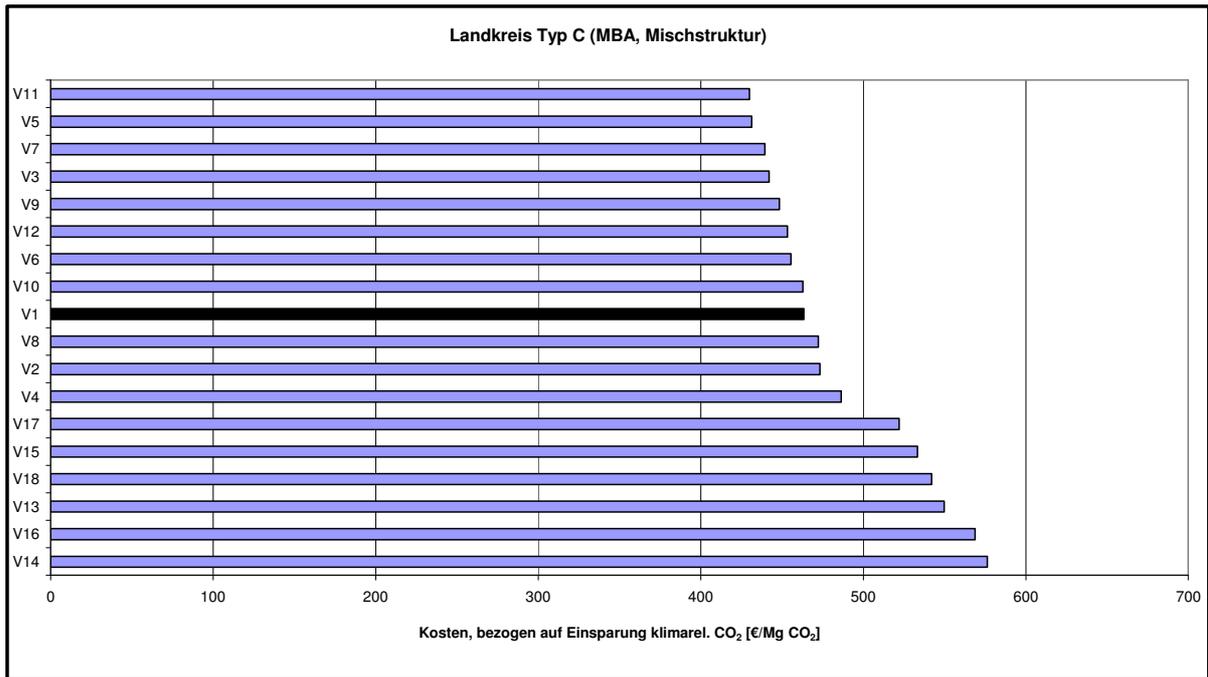


Abbildung 31: Kosten, bezogen auf die Einsparung von klimarelevantem CO₂ [€/Mg CO₂], Landkreis Typ C (MBA, Mischstruktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen

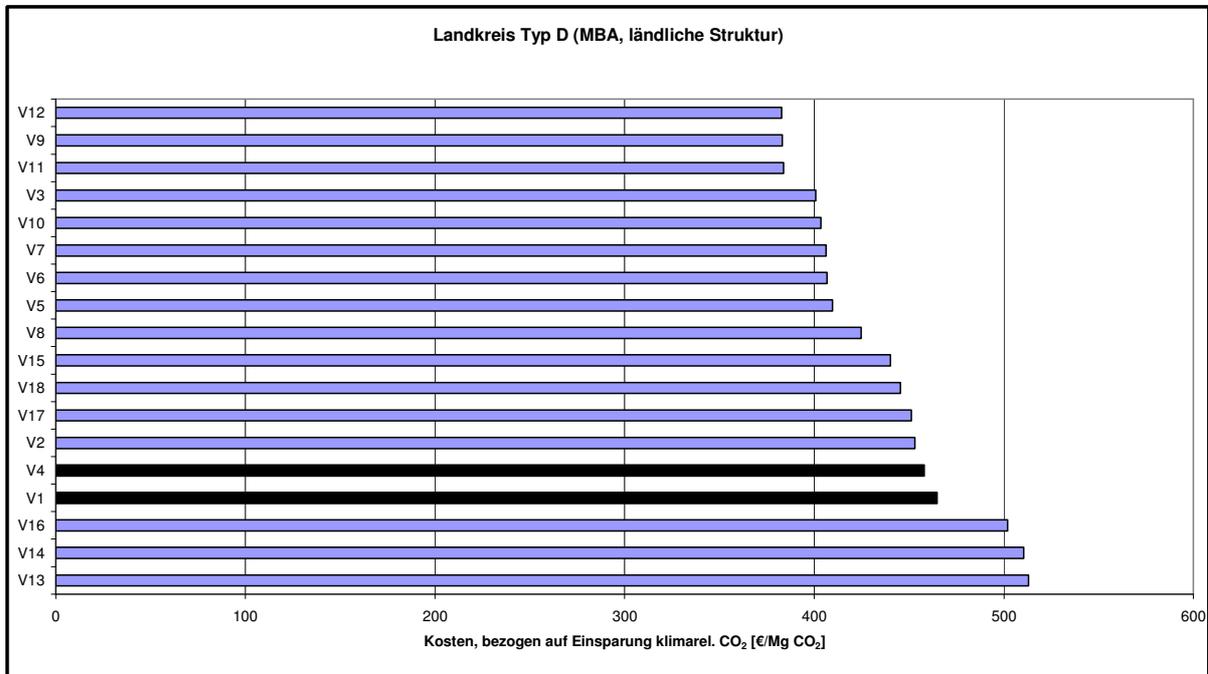


Abbildung 32: Kosten, bezogen auf die Einsparung von klimarelevantem CO₂ [€/Mg CO₂], Landkreis Typ D (MBA, ländliche Struktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen

Die Kosteneffizienz bei der Einsparung von klimarelevanten Emissionen in Form von CO₂-Äquivalenten liegt bei den Varianten der Landkreistypen A, C und D in einer Bandbreite von ca. 380 – 660 €/Mg CO₂.

Anzumerken ist, dass in anderen Wirtschaftsbereichen innerhalb Deutschlands, ebenso wie bei abfallwirtschaftlichen Maßnahmen in Entwicklungs- und Schwellenländern Klimaentlastungen zu wesentlich günstigeren Preisen erreicht werden können. Vor diesem Hintergrund ist die deutsche Abfallwirtschaft unter ökonomischen Aspekten nicht unbedingt ein geeignetes Werkzeug um die Emission von CO₂-Äquivalenten zu reduzieren.

Die Einsparung von CO₂-Äquivalenten geht einher mit den positiven Substitutionseffekten von Rohstoffen und/oder Energie, wird jedoch abgemindert durch den Energieaufwand bei Transport und Aufbereitung. Dieser zusätzliche Energieaufwand für die stoffliche Verwertung überwiegt bei den hierzu gewählten Ansätzen, weshalb Varianten mit Sortierung, wie z.B. die Bestvarianten im Hinblick auf die Abschöpfungsquoten (V13 und V14) und auch Varianten mit nachträglicher Abtrennung von gemeinsam mit dem Restabfall erfassten LVP- / NVP-Material und nachgelagerter stofflicher Verwertung, hier ungünstig erscheinen.

Im günstigen Bereich liegen die Varianten, bei denen Teile der LVP / NVP energetisch verwertet werden. Gleiches gilt für den Bioabfall.

Die Erfassung von LVP / NVP im Bringsystem (V7 bis V12) ist mit geringen spezifischen Kosten verbunden, da ein Teil der Sammelleistung durch den Bürger erbracht wird und dafür keine Kosten angesetzt wurden. Demgegenüber steht die vergleichsweise hohe Menge an erzeugtem Kohlendioxid, bedingt durch den Individualverkehr (private PkWs).

Die GiG-Varianten (V2, V8, V14) liegen im unteren Drittel, bedingt durch den Verbrauch fossiler Energieträger bei Transport und Sortierung. Dieses Ergebnis ist zu relativieren, falls die LVP- / NVP-Abtrennung an einem Anlagenstandort integriert werden kann und dadurch zusätzliche Transporte entfallen (z.B. MBA oder MVA mit mechanischer Voraufbereitung).

5.3 Ableitung von Zusammenhängen

Die Auswertung der untersuchten 18 Entsorgungsvarianten für die vier Landkreistypen lässt die nachfolgend beschriebenen Zusammenhänge erkennen.

5.3.1 Kosten für Abschöpfung von Wertstoffen

Die GiG-Szenarien weisen aufgrund der gewählten Annahmen für Abschöpfungsquoten und Kosten für die Wertstoffabschöpfung (vgl. 4.1) keine Unterschiede zu der heute überwiegend praktizierten Getrenntsammlung von Leichtverpackungen auf.

Die Miterfassung von LVP und sortengleichen Nichtverpackungen in der Restabfalltonne (mit anschließender Sortierung und Erreichung gleicher Abschöpfungsquoten) wird im Vergleich zur getrennten Erfassung über die Holsysteme gelber Sack und Wertstofftonne mit Kosten in vergleichbarer Größenordnung angenommen. Dies deckt sich mit ersten Ergebnissen aus Untersuchungen im technischen Maßstab.

Dies gilt für alle vier Typen von Landkreisen und zeigt sich z.B. im direkten Vergleich der Varianten V1 und V2 sowie V13 und V14.

Varianten mit trockener Wertstofftonne (z.B. V13) liegen etwas teurer als die Vergleichsvarianten V1 und V7 (vgl. Kapitel 5.2.4), ermöglichen aber höhere Abschöpfungsquoten (vgl. Kapitel 5.2.1).

Die Szenarien GiG und trockene Wertstofftonne gehen mit Erleichterungen beim Bürger einher, der Umgang mit Stoffströmen in den Haushalten wird vereinfacht. Diese Szenarien hängen unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten von den Zusatzkosten für die nachträgliche Stofftrennung der gemeinsam als Materialmix erfassten Stoffe sowie ggf. von den zusätzlichen Kosten für anfallende Transporte ab.

Um diese Auswirkungen auf die Systemkosten aufzuzeigen, wurden Sensitivitätsbetrachtungen angestellt. Die Zusammenhänge sind in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt.

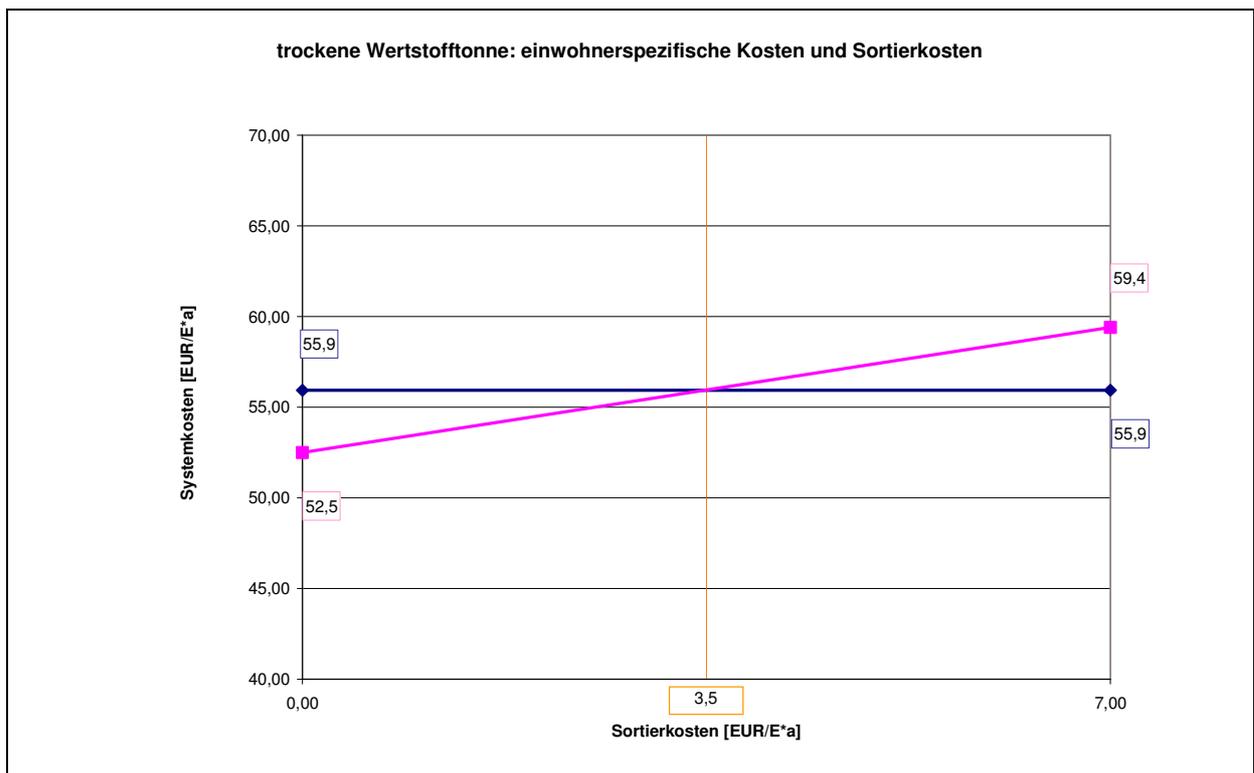


Abbildung 33: Trockene Wertstofftonne: einwohnerspezifische Systemkosten in Abhängigkeit von den Sortierkosten

Datenbasis für die Diagramme sind Durchschnittswerte für die Systemkosten (Kosten der abfallwirtschaftlichen Systeme der einzelnen Varianten) aus den am Projekt beteiligten Landkreisen sowie Literaturangaben zu den hypothetischen Kosten für die Sortierung des Materialmixes aus trockenen Wertstoffen bzw. GiG-Material. In den Systemkosten sind die Kosten und Erlöse für alle Prozesse innerhalb des jeweiligen abfallwirtschaftlichen Systems zusammengefasst. Hierzu gehören neben den Kosten für Sammlung, Transport,

Behandlung, Verwertung und Vermarktung auch die Kosten, die bei den Systembetreibern (Lizenzgebern für Leichtverpackungen) anfallen.

Bei spezifischen Sortierkosten von orientierend ca. 3,5 €/Ea für Material aus der trockenen Wertstofftonne würden durch eine Systemumstellung bei der Erfassung von trockenen Wertstoffen keine Mehrkosten für das abfallwirtschaftliche System entstehen.

Weichen die einwohnerspezifischen Sortierkosten von diesem Betrag ab, so entstehen entsprechende Kostenänderungen. Genaue Angaben zu Sortierkosten können derzeit nicht gemacht werden. Hierzu müssen repräsentative Großversuche abgewartet werden.

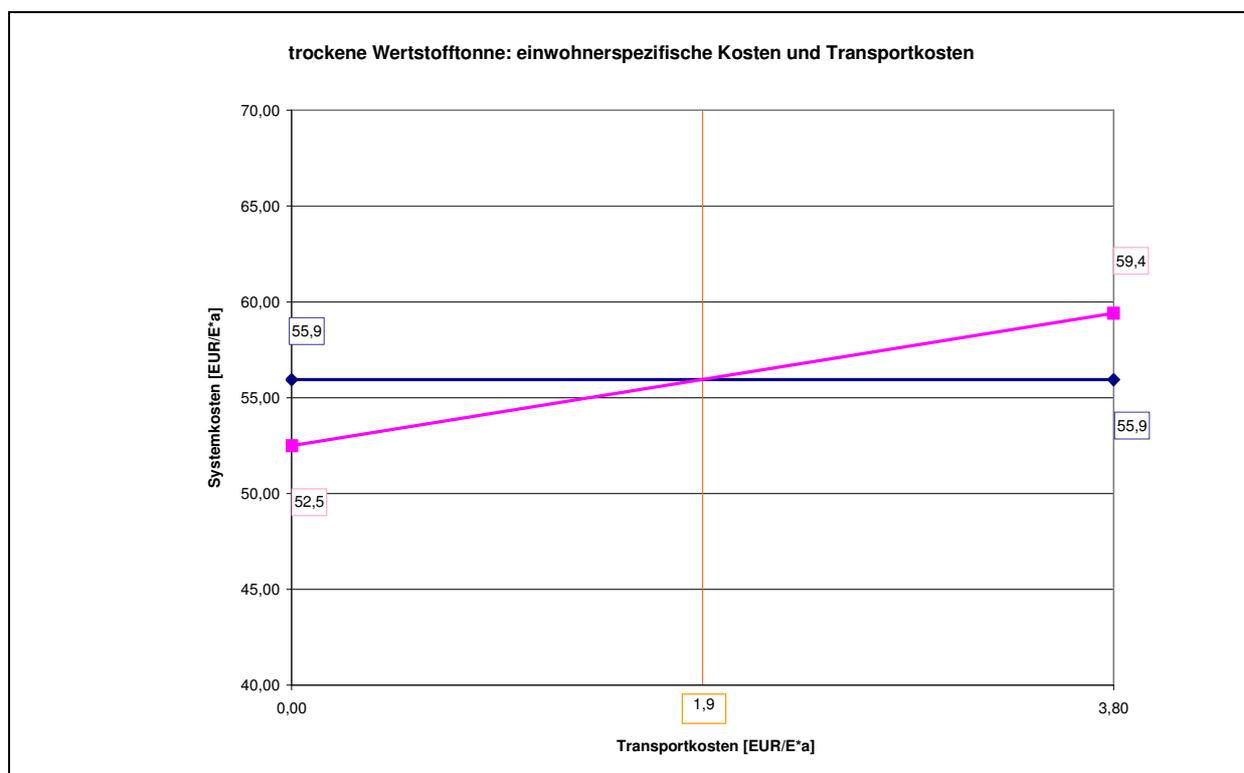


Abbildung 34: Trockene Wertstofftonne: einwohnerspezifische Kosten und Kosten für Sammlung und Transport

Bei Einführung der trockenen Wertstofftonne entstehen die in Abbildung 34 gezeigten Kostenänderungen in Abhängigkeit von den einwohnerspezifischen Kosten für Sammlung und Transport des getrennt erfassten Materialmixes.

In der Summe (Kosten für Sortierung sowie Sammlung und Transport) kommt es zu keinen wesentlichen Kostenänderungen, sofern sich die einwohnerspezifischen Kosten für die Sortierung sowie Sammlung und Transport in einer Größenordnung von ca. 5,4 €/Ea belaufen (ca. 3,5 €/Ea für Sortierung und ca. 1,9 €/Ea für Sammlung und Transport).

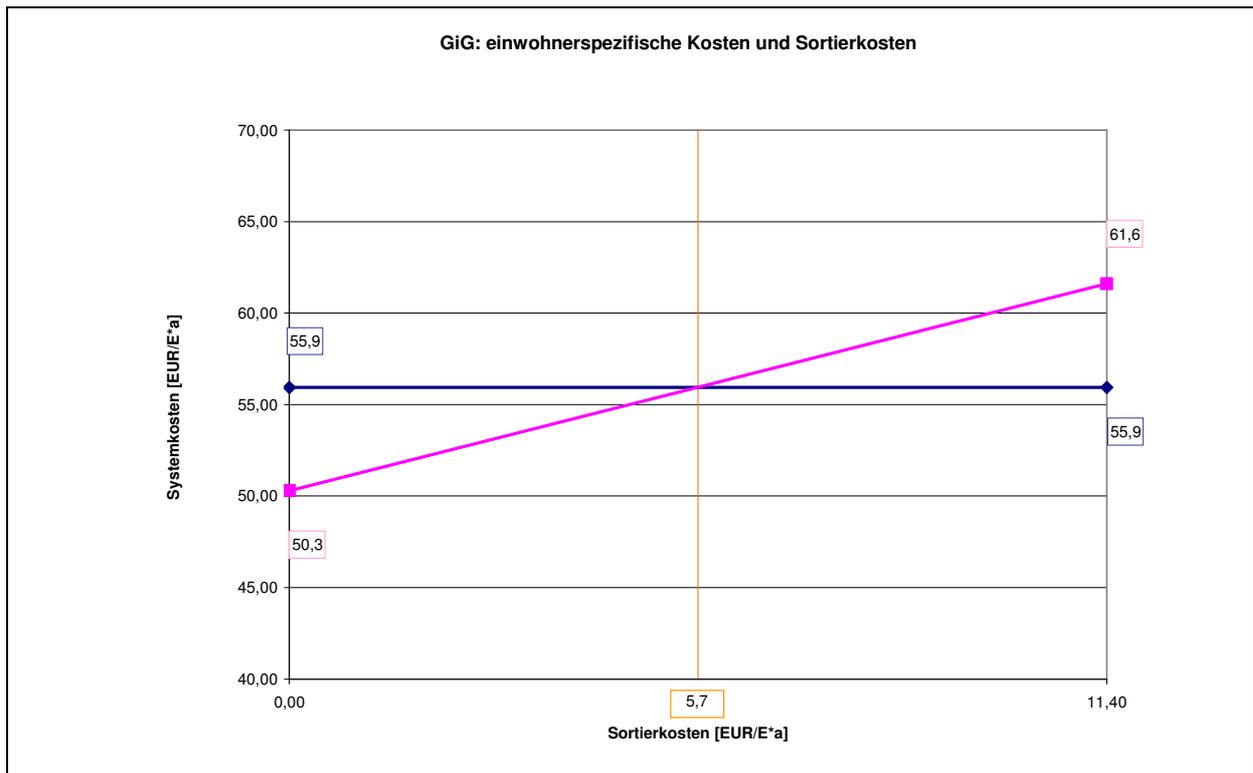


Abbildung 35: GiG: Einwohnerspezifische Kosten in Abhängigkeit von den spezifischen GiG-Sortierkosten

Bei Einführung eines GiG-Systems sind keine wesentlichen Kostenänderungen zu erwarten, sofern sich die einwohnerspezifischen Sortierkosten in einer Größenordnung von ca. 5,7 €/Ea bewegen.

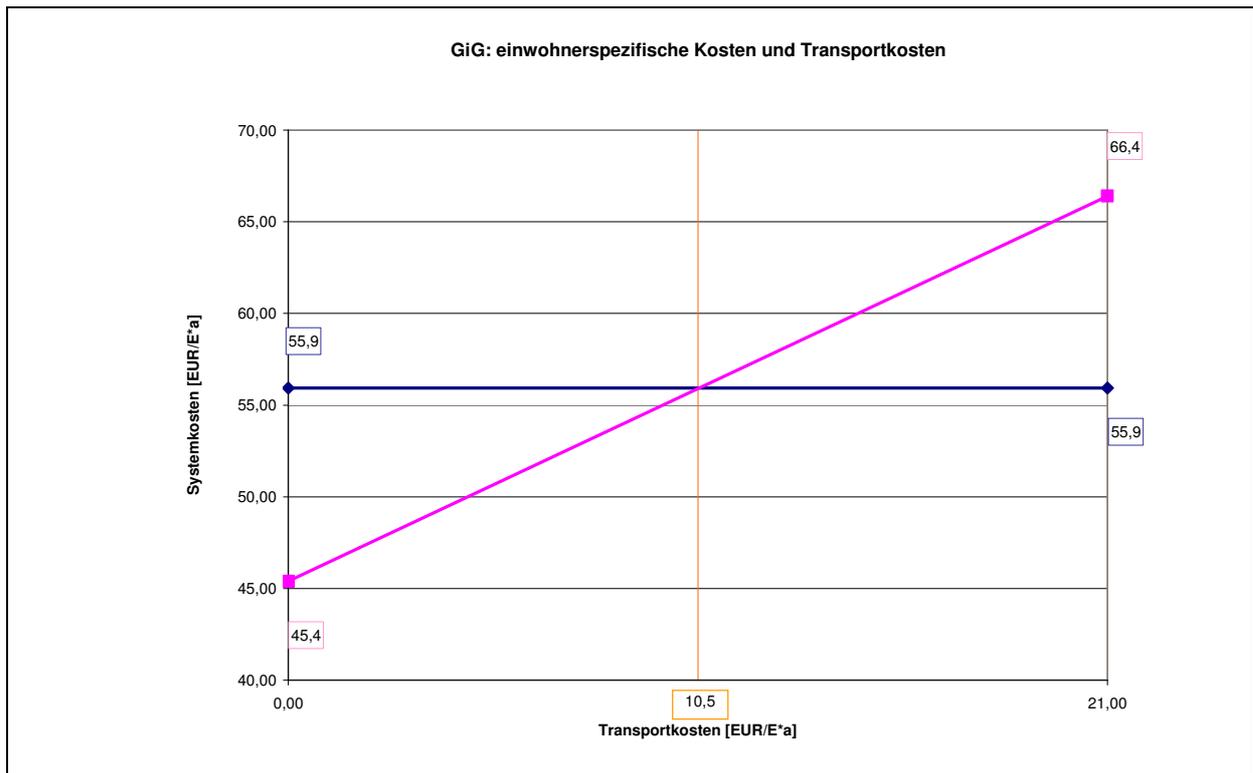


Abbildung 36: GiG: Einwohnerspezifische Kosten in Abhängigkeit von den Kosten für Sammlung und Transport

Den Einfluss der Kosten für Sammlung und Transport bei den GiG-Szenarien zeigt Abbildung 36. Spezifische Transportkosten im Bereich von ca. 10,5 €/Ea lassen keine wesentlichen Kostenänderungen für das abfallwirtschaftliche Gesamtsystem gegenüber den derzeit etablierten Systemen erwarten.

Die zu erwartenden Kosten sowohl für Sammlung und Transport als auch für die Sortierung des Materials, könnten sich aufgrund von Einsparungen bei der Logistik im Bereich des derzeitigen Ist-Zustandes bewegen. Demzufolge sind Kostenvorteile dann zu erwarten, wenn die spezifischen Sortierkosten niedriger als 5,7 €/Ea ausfallen.

Bei Realisierung eines GiG-Systems und damit verbundenen Kosten von insgesamt 16,2 €/Ea (10,5 €/Ea + 5,7 €/Ea) sind keine Veränderungen bei den Systemkosten zu erwarten.

Verlässliche Aussagen zu den Kosten eines GiG-Systems sind erst nach Realisierung von Großversuchen möglich.

5.3.2 Bioabfallfassung und Eigenkompostierung

Im Hinblick auf die getrennte Erfassung von Bioabfall sind in Abhängigkeit von der Struktur einer Region unterschiedliche Szenarien zu erwarten:

Ländliche Region

In ländlichen Regionen ohne separate Bioabfallfassung wird besonders bei verursacherbezogenen Gebührenstrukturen in relevantem Maße die Eigenkompostierung praktiziert. Bei Einführung einer zusätzlichen Biotonne wird die Eigenkompostierung z.T. aufgegeben und der Bioabfall über die Biotonne entsorgt. Im Ergebnis findet keine signifikante Mengenreduzierung des Restabfalls statt. Dem öffentlich-rechtlichen Entsorger werden daher zusätzliche Abfallmengen in Form von Bioabfall angedient. Dies hat neben den daraus resultierenden Auswirkungen auf die Kostensituation auch entsprechende umweltrelevante Effekte zur Folge (zusätzliche Transporte, Betrieb zusätzlicher Anlagen etc.).

In jedem Fall erfolgt in ländlichen Regionen aufgrund der strukturellen Randbedingungen die separate Sammlung von Baum- und Strauchschnitt.

Städtische Region

In städtischen Regionen und Ballungszentren dagegen wird die Eigenkompostierung nur sehr eingeschränkt betrieben. Die Einführung einer Biotonne hat zur Folge, dass relevante Mengen aus dem Restabfall abgezogen werden. Die so über die Biotonne erfassten Materialien können einer Bioabfallvergärung (alternativ auch einer Bioabfallkompostierung) zugeführt werden. Der Behandlungspreis für Bioabfall liegt i.d.R. deutlich niedriger als der für Restabfall (ca. 20,- bis 40,- €/Mg versus 110,- bis 145,- €/Mg). Der Betrieb einer Bioabfallbehandlungsanlage - insbesondere bei Betrieb einer Vergärungsanlage weist auch ökologische Vorteile auf (vgl. Kapitel 6.3.2).

Wird der Restabfall in einer Müllverbrennungsanlage behandelt, werden mittels der getrennten Bioabfallfassung in städtischen Regionen sowohl ökologische als auch ökonomische Vorteile generiert.

Bei Betrieb einer mechanisch-biologischen Anlage ist der Anteil an biogenen Abfällen eine wesentliche Dimensionierungsgröße. Änderungen im Sammelsystem haben direkte Auswirkungen auf den Anlagenbetrieb.

5.3.3 Entlastungen für den Bürger

Einige der untersuchten Varianten (z.B. trockene Wertstofftonne, GiG) lassen eine Entlastung der Bürgerinnen und Bürger im Umgang mit den Abfällen und Wertstoffen erwarten. Es ist jedoch zu beachten, dass vor dem Hintergrund der gesetzlich in der EU und in Deutschland formulierten Produktverantwortung (z.B. Verpackungsverordnung oder Elektro- und Elektronikgerätegesetz) nicht an eine komplette Aufgabe der getrennten

Erfassung zu denken ist. Bei dem hohen Standard der Restabfallentsorgung in Deutschland würde dies auch nicht zu einer Kosteneinsparung führen.

Belastbare Aussagen zu Kosten, Qualität und Marktfähigkeit der aus Materialgemischen aussortierten Produkte bei großflächigem Einsatz sind derzeit noch nicht möglich. Darüber hinaus bestehen noch offene Fragestellungen hinsichtlich der rechtlichen Handhabung und der Verrechnungsmodalitäten mit den Lizenzgebern. Inwiefern durch eine gemeinsame Erfassung von Leichtverpackungen mit dem Restabfall auch das Trennverhalten im Haushalt bei anderen Fraktionen beeinflusst wird, kann momentan noch nicht abschließend beurteilt werden und ist durch Feldversuche abzuklären.

Durch Verfahrenstechniken wie z.B. das Trockenstabilatverfahren können ebenfalls grundsätzlich stofflich oder energetisch verwertbare Fraktionen gewonnen werden. Inwiefern diese Systeme Kostenvorteile generieren können, ist eine noch offene Fragestellung und durch den Markt abzuklären.

Es ist zu beachten, dass bei verursacherbezogenen Gebührensystemen die gemeinsame Erfassung von Leichtverpackungen mit dem Restabfall deutlich höhere Sammelkosten für den öffentlich-rechtlichen Entsorger verursachen kann, da Behälter entweder häufiger abgefahren werden müssen oder ein größeres Behältervolumen zur Verfügung gestellt werden muss. Auch müssen die Sortierkosten in diesem Fall in die Kalkulation einbezogen werden. Es kommt demzufolge bei GiG-Varianten zu einer Kostenverlagerung von der privaten Entsorgungswirtschaft hin zur öffentlich-rechtlichen. Die hierdurch u.U. entstehenden Mehrkosten für den öffentlich-rechtlichen Entsorger müssen in diesem Fall durch die Lizenzgebühren bei den Verpackungen oder z.B. durch garantierte kostendeckende Abnahmepreise für die Wertstoffe abgedeckt werden.

GiG-Stofftrennanlagen sind kostengünstiger zu betreiben, wenn eine separate Bioabfallerfassung oder Eigenkompostierung erfolgt. Zum einen sind dann die zu sortierenden Mengen (im Input der Stofftrennanlagen) geringer, zum anderen erhöht sich die Effizienz der installierten Sortiertechnik.

Es ist auch der Umstand zu berücksichtigen, dass nicht alle derzeit dem Recycling zugeführten Stoffe in der Praxis einen Markt haben, so dass bei einer Realisierung von „Gelb in Grau“ ggf. ausschließlich die marktfähigen Stoffgruppen abgetrennt werden (für die stoffliche und energetische Verwertung). Künftige Sortieranlagen sollten auch entsprechend flexibel geplant werden, so dass bei Veränderung der Absatzmärkte für Sekundärrohstoffe eine Anpassung der Trenntechnik erfolgen kann.

Wie die Kostenbetrachtungen zeigen, ist die Frage, ob durch die gemeinsame Erfassung Kostenvor- oder -nachteile generiert werden, stark abhängig von den lokalen Randbedingungen. Im Vergleich zur Wertstoffeffassung im Bringsystem fallen in jedem Fall Mehrkosten an.

Die bisher durchgeführten Versuche im technischen Maßstab (siehe Kapitel 9 Quellenverzeichnis, insbesondere Tagungsband zum Workshop „Zukunft der Getrennten Sammlung“) zeigen u.a., dass es grundsätzlich möglich ist, Leichtverpackungen und stoffgleiche Nichtverpackungen aus dem Restabfall mittels optoelektronischer Systeme

(Nahinfrarotdetektion, NIR) zu separieren. Belastbare Aussagen zu Kosten im Dauerbetrieb, Qualitäten und Marktfähigkeit sind noch nicht möglich, da die Versuchssystematik eine gemeinsame Erfassung beim Bürger bisher nicht beinhaltet und aussagefähige Großmengen bisher nicht erzeugt wurden. Hierzu sind Großversuche im Entsorgungsmaßstab erforderlich.

6 Ökobilanz abfallwirtschaftlicher Systeme

Die Ökobilanz abfallwirtschaftlicher Systeme wurde als Ergänzung zu den Modellberechnungen durchgeführt. Es sollen die Unterschiede und Übereinstimmungen zwischen den innerhalb der Modellbetrachtungen gewählten Effizienzparameter und den ökobilanziellen Ansätzen gezeigt werden.

Die Ökobilanz ist ein Werkzeug, um die Auswirkungen „von der Wiege bis zur Bahre“ eines Produktes oder Verfahrens zu beurteilen. Die Erstellung von Ökobilanzen wurde durch die Arbeit der International Standards Organisation (ISO) auf internationaler Ebene standardisiert. Die ISO 14040 Serie dient als internationale Richtlinie zur Durchführung einer Ökobilanz.

Ergänzend zu den hier gemachten Ausführungen zu den ökobilanziellen Untersuchungen, sei auf die im Quellenverzeichnis aufgeführte Literaturstelle verwiesen (Escalante, N., 2005).

6.1 Methodik der Ökobilanzierung

Nachfolgend wird die gewählte Methodik für die Erstellung der Ökobilanz kurz beschrieben.

Eine Ökobilanz besteht aus vier Schritten:

- Festlegung des Zieles und des Untersuchungsrahmens,
- Sachbilanz,
- Wirkungsabschätzung,
- Auswertung.

Festlegung des Zieles und des Untersuchungsrahmens

In diesem Bearbeitungsschritt werden die Ziele der Ökobilanz sowie der Umfang des Untersuchungsrahmens (einschließlich der Systemgrenzen) festgelegt. Die zu untersuchenden Systeme werden definiert und ggf. in Teilsysteme und Module untergliedert.

Sachbilanz

Bei der Erstellung der Sachbilanzen werden Stoff- und Energieströme erfasst und ein Dateninventar für die relevanten Produkte und Prozesse erstellt.

Wirkungsabschätzung

Die in der Sachbilanz gesammelten Daten werden für die Abschätzung der Umweltauswirkungen zusammengefasst und den einzelnen Wirkungskategorien zugeordnet.

Die Ergebnisse zu den einzelnen Wirkungskategorien werden zu einzelnen Wirkungskategorieergebnissen zusammengefasst und normiert.

Die für die Ökobilanz ausgewählten Wirkungskategorien sind:

- Ressourcenverbrauch,
- Treibhauseffekt,
- Photooxidantienbildung,
- Versauerung,
- Nährstoffeintrag (Eutrophierung),
- gesundheitliche Toxizität,
- Ökotoxizität,
- Naturraumbeanspruchung.

Um die Ergebnisse der einzelnen Wirkungskategorien vergleichen zu können, wurde ein neuer Umweltindikator (Einwohnerdurchschnittswert je Mg Abfall bzw. Wertstoff) errechnet, der das Umweltprofil des untersuchten Systems beschreibt.

Auswertung

Im Rahmen der Auswertung wurden die signifikanten Parameter und Ergebnisse ermittelt und anhand von Balkengrafiken dargestellt. Die Ergebnisse wurden überprüft und plausibilisiert anhand vergleichbarer Untersuchungen (insbesondere: Escalante, N., 2005: „Life Cycle Assessment of Household Waste Management Strategies“) sowie den Ergebnissen aus Kapitel 5.

Untersuchte abfallwirtschaftliche Systeme

Die modellierten abfallwirtschaftlichen Systeme werden nachfolgend beschrieben. Untersucht wurden die folgenden Verfahren zur Restabfallbehandlung:

- Geordnete Deponie (Deponiemodell),
- Müllverbrennung (MVA-Modell),
- mechanisch-biologische Abfallbehandlung (MBA-Modell),
- energetische Verwertung heizwertreicher Materialien im Zementwerk (BRAM-Modell),
- Recycling von Wertstoffen (Recyclingmodell),
- Vergärung von Bioabfall (Vergärungsmodell).

Für die vergleichende Gegenüberstellung der modellierten Abfallwirtschaftssysteme dient das Modell „Deponie“ (geordnete Deponie mit Deponiegasnutzung ohne Wertstoffabschöpfung) als Referenzszenario. Diesem werden die übrigen Szenarien (MVA-, MBA -Szenarien) inklusive der Recyclingstrategien gegenübergestellt.

Für jedes der gezeigten Modelle wurden die in Tabelle 1 gezeigten 18 Varianten zur Abfall- und Wertstoffeffassung unter Einbindung des Deponiemodells untersucht.

6.2 Modelle für die Ökobilanz

6.2.1 Deponiemodell (Referenzszenario)

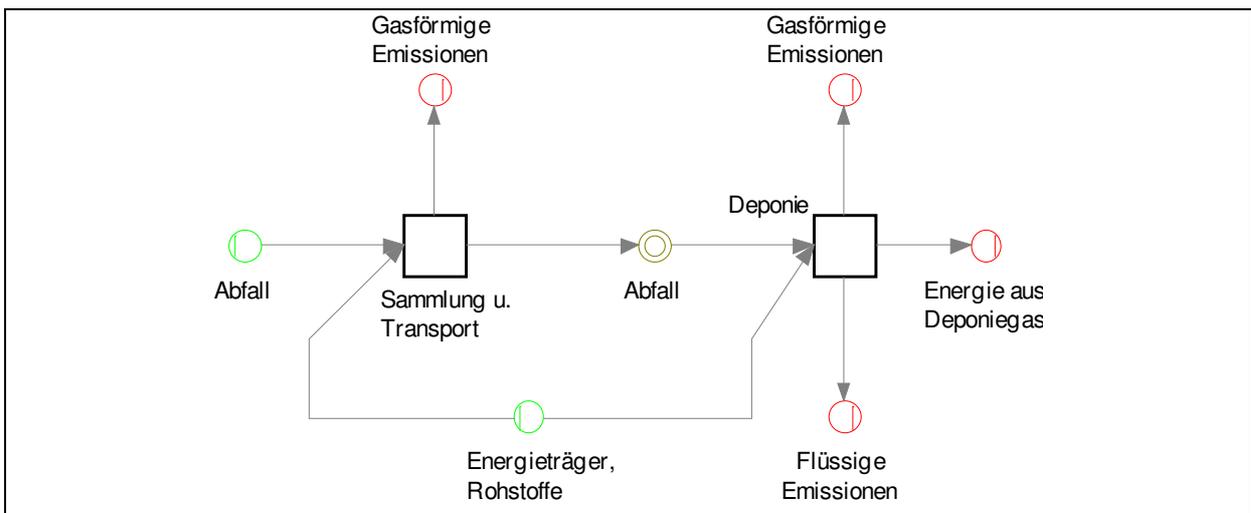


Abbildung 37: Hypothetisches Referenzszenario: Deponie

Das Deponiemodell dient als Referenzszenario. Bei den umwelttechnischen Auswirkungen werden die untersuchten Varianten diesem Szenario gegenübergestellt. In den Ergebnissen ausgewiesene positive und negative Umweltauswirkungen verstehen sich im Vergleich zum Deponiemodell.

Beim Deponiemodell werden u.a. die häuslichen Restabfälle ohne Vorbehandlung der Deponie zugeführt. Diese Vorgehensweise ist seit dem 01. Juni 2005 nicht mehr möglich, wird jedoch für den o.g. Vergleich der abfallwirtschaftlichen Systeme in der Untersuchung beibehalten.

Das Modell berücksichtigt die Abfallzusammensetzung sowie alle relevanten Vorgänge und Massenströme innerhalb des abfallwirtschaftlichen Systems:

- Sammlung,
- Transport,
- Einsatz von Energieträgern und Rohstoffen,
- Energiegewinnung und Rohstoffsubstitution (Nutzung von Methangas),
- Emissionen und Reststoffe.

Das Referenzszenario wird wie folgt charakterisiert:

- Keine Abschöpfung von Wertstoffen,
- Verbringung der gesamten häuslichen Siedlungsabfälle (einschließlich der Wertstoffe) auf eine geordnete Deponie,
- Nutzung von Deponiegas.

6.2.2 MVA-Modell

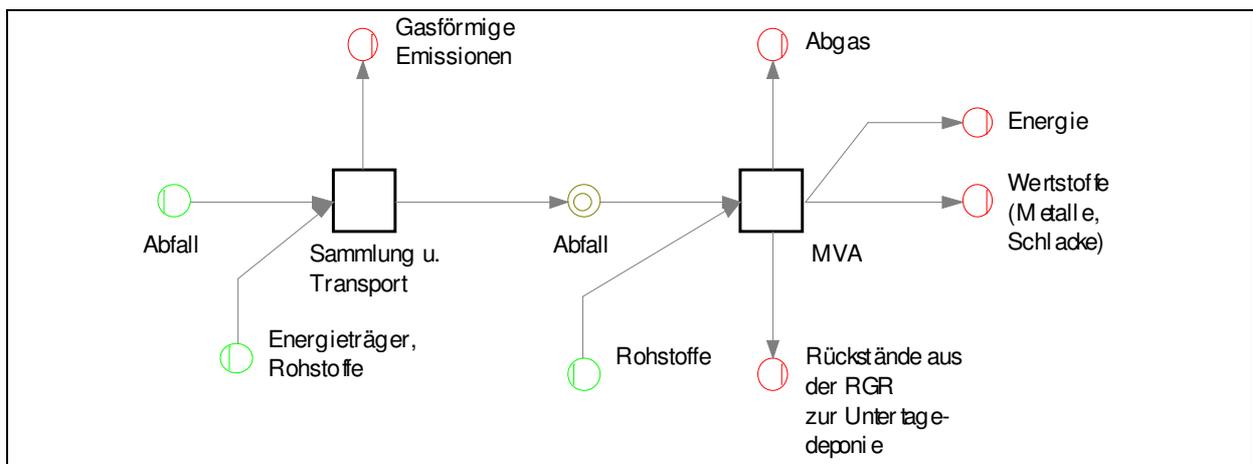


Abbildung 38: MVA-Modell

Das MVA-Modell dient zur Bewertung der Restabfallbehandlung mittels einer MVA innerhalb eines Abfallwirtschaftskonzeptes. Es wird neben den übrigen Modellen zur Abfall- und Wertstoffbehandlung innerhalb der einzelnen MVA-Varianten für die Ökobilanz verwendet.

Das MVA-Modell beinhaltet eine typisierte Müllverbrennungsanlage (durchschnittliche deutsche MVA). Der Wirkungsgrad entspricht dem deutschen Durchschnitt (Stromerzeugung, Fernwärme, Prozessdampf, Wärme in die Umgebung). Er beträgt in der Summe ca. 40 %.

Das Modell berücksichtigt die Abfallzusammensetzung sowie alle relevanten Vorgänge und Massenströme innerhalb des abfallwirtschaftlichen Systems:

- Sammlung,
- Transport,
- Einsatz von Energieträgern und Rohstoffen,
- Energiegewinnung und Rohstoffsubstitution,
- Emissionen und Reststoffe.

Im Hinblick auf die Wertstoffe im Anlagenoutput wurde neben der etablierten Abschöpfung von Fe-Metallen auch eine NE-Abtrennung in Ansatz gebracht.

6.2.3 MBA-Modell

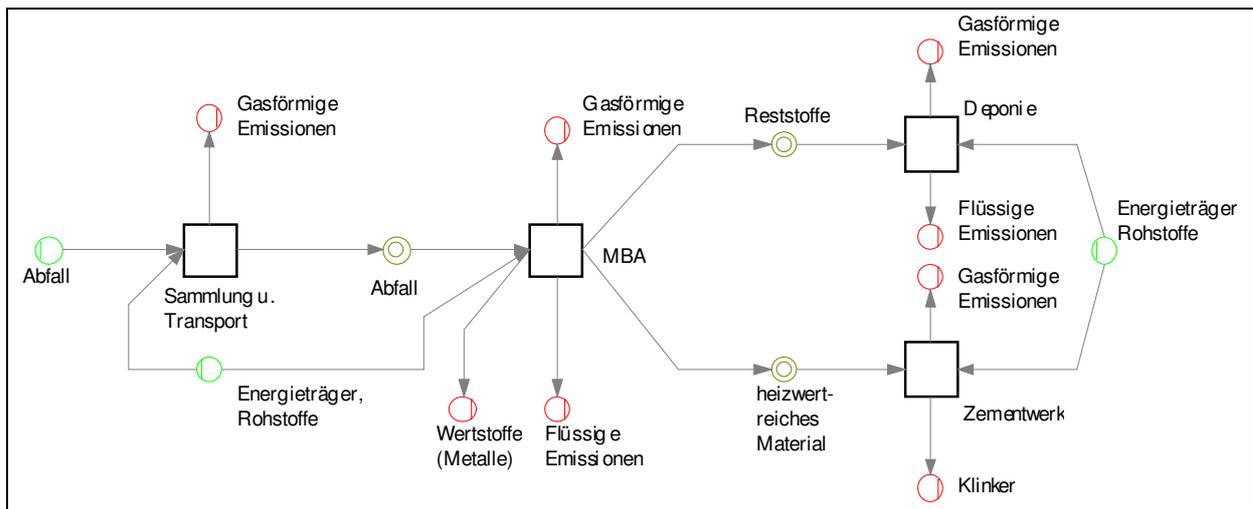


Abbildung 39: MBA-Modell

Das MBA-Modell dient zur Bewertung der Restabfallbehandlung mittels einer MBA innerhalb eines Abfallwirtschaftskonzeptes. Es wird neben den übrigen Modellen zur Abfall- und Wertstoffbehandlung innerhalb der einzelnen MBA-Varianten für die Ökobilanz verwendet.

Das MBA-Modell beinhaltet eine typisierte MBA mit einer Trockenvergärungsstufe und Wertstoffabtrennung.

Es berücksichtigt die Abfallzusammensetzung sowie alle relevanten Vorgänge und Massenströme innerhalb des abfallwirtschaftlichen Systems:

- Sammlung,
- Transport,
- Einsatz von Energieträgern und Rohstoffen,
- Energiegewinnung und Rohstoffsubstitution,
- Emissionen und Reststoffe.

Im Hinblick auf die heizwertreiche Fraktion im Anlagenoutput (Sekundärbrennstoffe) wurde hier die Verwertung in einem Zementwerk modelliert (einschließlich der damit einhergehenden Substitution von fossilen Energieträgern).

6.2.4 Energetische Verwertung heizwertreicher Materialien

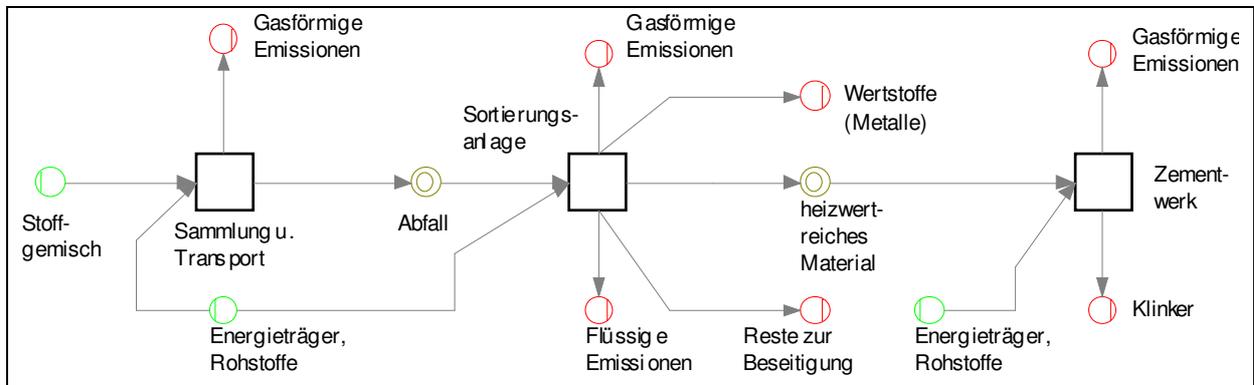


Abbildung 40: Energetische Verwertung heizwertreicher Materialien

Dieses Modell dient zur ökobilanziellen Untersuchung der Varianten V3, V9 und V15. Bei diesen GiG-Szenarien werden die gemeinsam mit dem Restabfall erfassten LVP / NVP in einer Sortieranlage zu einem Teil abgetrennt (Hochkalorik), um einen hochwertigen Ersatzbrennstoff für die energetische Nutzung in einem Zementwerk herzustellen. Die verbleibenden Reste bestehen aus dem Restabfall und den nicht abgetrennten Anteilen von LVP / NVP und werden dann der Restabfallbehandlung zugeführt (MVA- bzw. MBA-Modell).

Die Verwertung des Ersatzbrennstoffes erfolgt in einem Zementwerk. Der Sekundärbrennstoff substituiert fossile Brennstoffe. Im hier modellierten Zementwerk wurde die energieäquivalente Substitution von Steinkohle in Ansatz gebracht. Der kalkulatorische Wirkungsgrad beträgt 100 %, da die gleichen Wirkungsgrade bzw. Verluste wie beim Einsatz von fossilen Energieträgern realisiert werden.

Die Abtrennung und Verwertung von Fe- und NE-Metallen wird berücksichtigt.

6.2.5 Modell zur stofflichen Verwertung (Recycling-Modell)

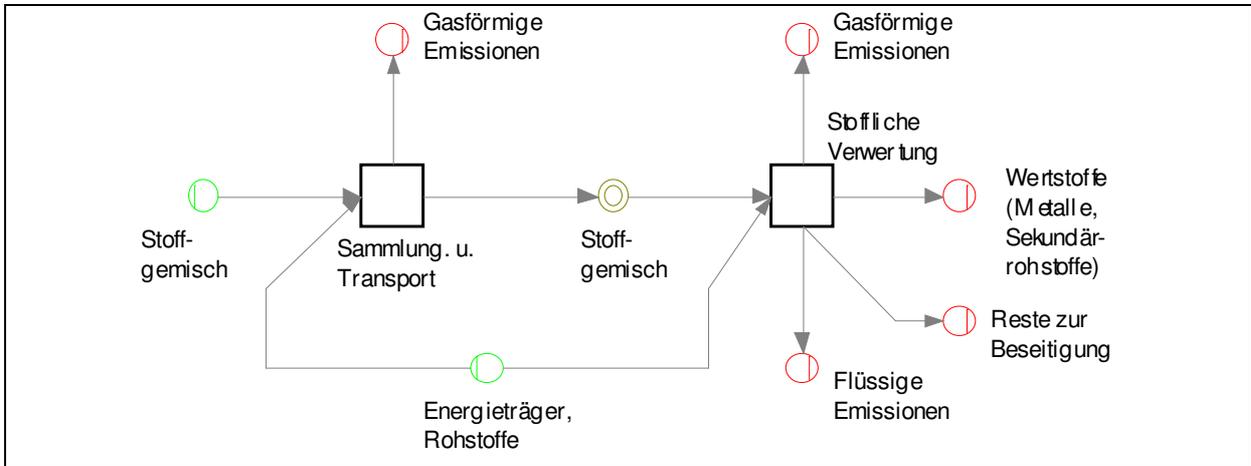


Abbildung 41: Stoffliche Verwertung von Wertstoffen

Abbildung 41 zeigt das System für die Modellierung der stofflichen Verwertung von LVP / NVP, Altpapier, Glas und Metallen. Hierbei handelt es sich um eine Stofftrennung in einer Sortieranlage mit nachfolgender stofflicher Verwertung der abgetrennten Wertstoffe. Es wird für die ökobilanzielle Untersuchung der Wertstoffeffassung mit stofflicher Verwertung verwendet. Dies gilt sowohl für die GiG-Szenarien, als auch für die Wertstoffströme bei einer getrennten Wertstoffeffassung (gelber Sack, Depotcontainer / Recyclinghöfe und trockene Wertstofftonne).

6.2.6 Vergärungsmodell für Bioabfälle

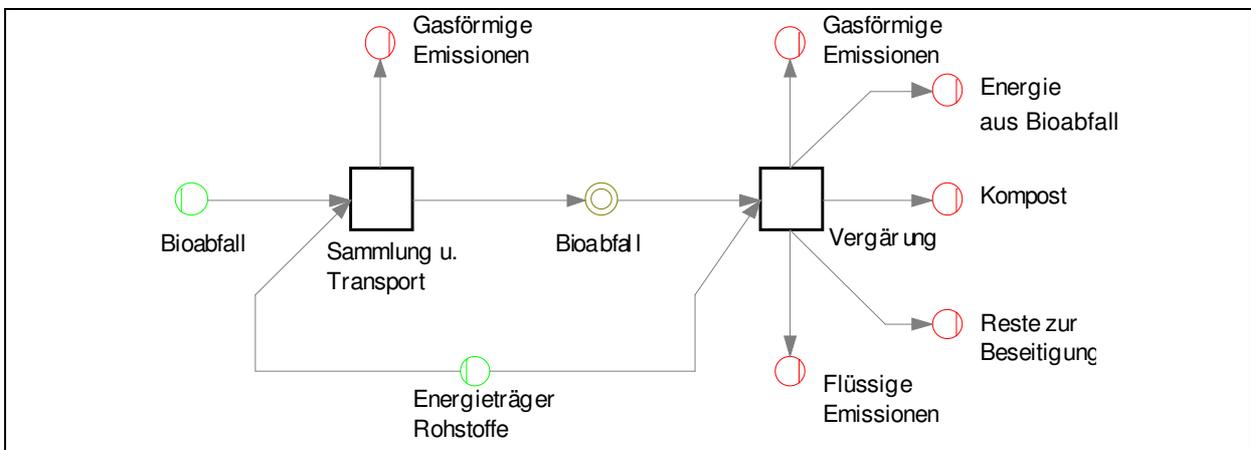


Abbildung 42: Vergärungsmodell für Bioabfälle

Abbildung 42 zeigt das Modell für die Vergärung von separat erfassten Bioabfällen. Die Vergärung von Bioabfällen ist ein Verfahren, bei dem eine stoffliche und energetische Verwertung biogener Abfälle realisiert wird.

Die Vergärung ist unter ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten im Vergleich zur Kompostierung effizienter. Aus diesem Grund wurde die Bioabfallvergärung für die Bioabfallbehandlung modelliert. Auch in diesem Modell wurden alle relevanten Vorgänge (inklusive der Vorketten) berücksichtigt. Die Reststoffe (abgetrennte Störstoffanteile) werden deponiert.

6.3 Ökobilanz einzelner Stoffströme

Im vorliegenden Kapitel werden die einzelnen Stoffströme bzw. Materialien separat unter ökologischen Gesichtspunkten untersucht. Unter Verwendung der im vorangehenden Kapitel beschriebenen Modelle wurden vollständige Ökobilanzierungen durchgeführt. Hierbei wurden alle relevanten Vorgänge (u.a. Sammlung, Transport, Behandlung, Nachlauftransporte, ggf. nachgelagerte Verfahrensschritte etc.) unter Einbeziehung der Vorketten berücksichtigt.

Die Herangehensweise erfolgte in Analogie zu der vom Umweltbundesamt vorgeschlagenen Vorgehensweise.

Die Ergebnisse werden mittels normierter Balkendiagramme dargestellt. Positive Einwohnerdurchschnittswerte zeigen eine hohe Umweltbelastung an, negative Zahlen entsprechen einer geringen bzw. günstigen Umweltwirkung.

6.3.1 Restabfall

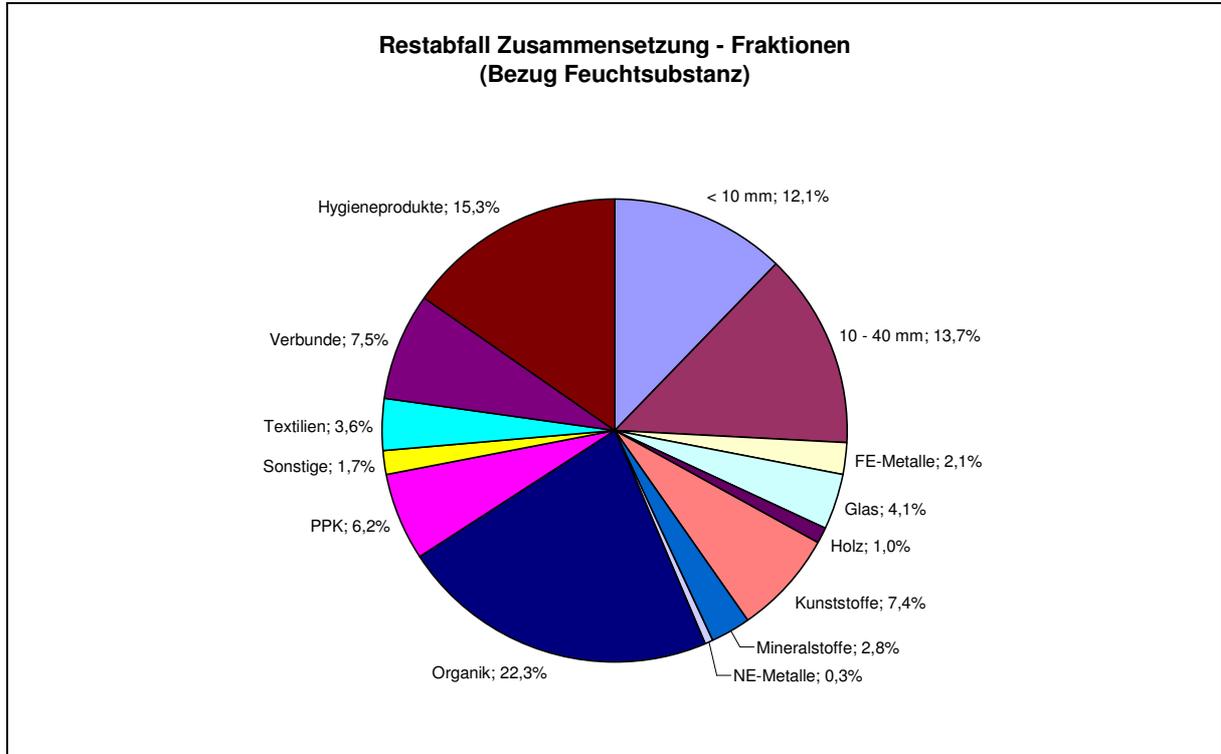


Abbildung 43: Sortieranalyse des Modellrestabfalls

Für die Ökobilanz des Restabfalls wurde ein Restabfall „typischer“ Zusammensetzung gewählt. Abbildung 43 beschreibt die Zusammensetzung des Modellrestabfalls, der als Input in die Variantenberechnungen eingeht.

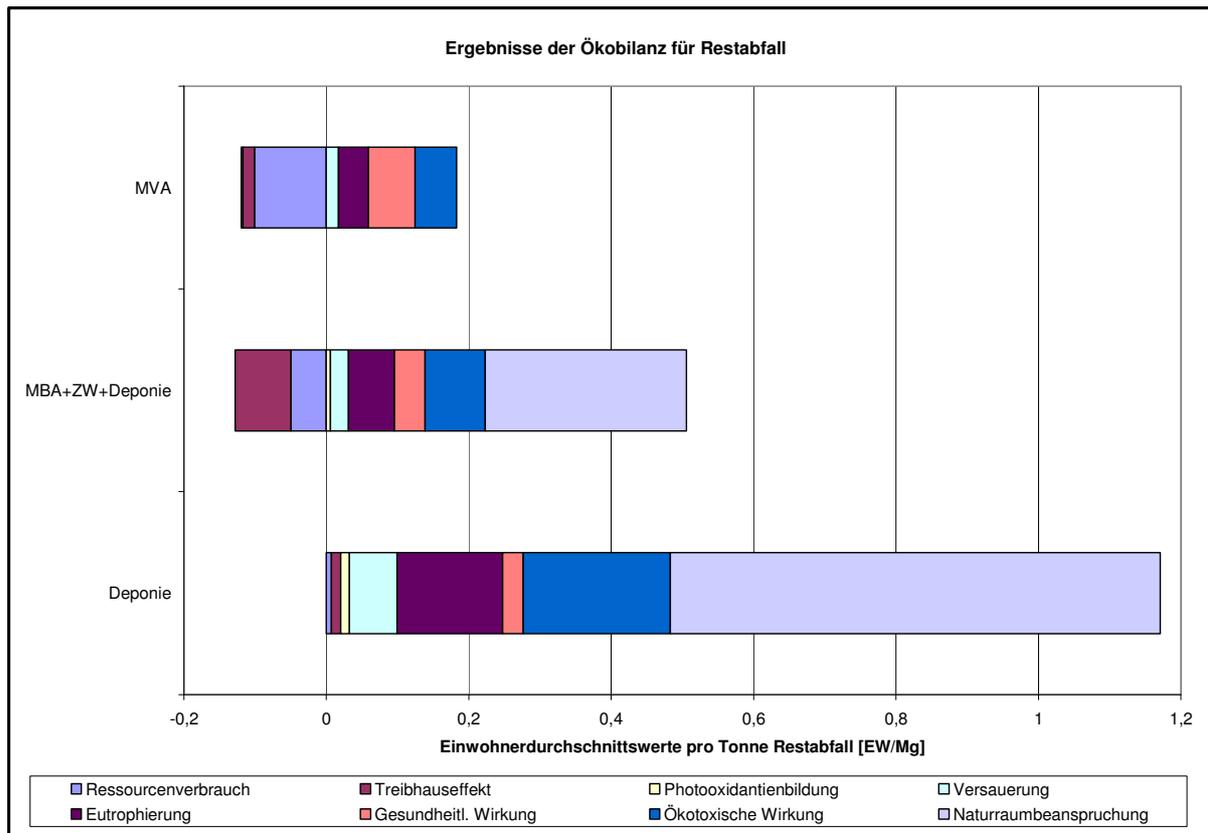


Abbildung 44: Ergebnisse der Ökobilanz für Restabfall

Der oberste Balken in Abbildung 44 zeigt die Ergebnisse für die Behandlung von Restabfällen in einer MVA, der mittlere die Ergebnisse für die Behandlung in einer MBA-Anlage (Trockenvergärung) und Deponierung des Rottegutes. Die in der MBA abgetrennten heizwertreichen Materialien (insbesondere LVP, NVP) werden in einem Zementwerk energetisch verwertet. Der unterste Balken zeigt die Ergebnisse für das Referenzszenario (Deponierung aller Abfälle und Wertstoffe auf einer geordneten Deponie mit Deponiegasnutzung).

Das Ergebnis der Ökobilanz für Restabfall weist die Abfallbehandlung in einer modernen Müllverbrennungsanlage als das Verfahren aus, mit dem die geringsten negativen Umweltauswirkungen verbunden sind. Die positiven Effekte (negative Einwohnergleichwerte) fallen nur geringfügig niedriger aus als bei den mechanisch-biologischen Verfahren (MBA), die negativen Effekte sind dagegen deutlich geringer. Bei den positiven Auswirkungen kommt bei der MVA besonders der geringe Ressourcenverbrauch zum Tragen, wohingegen bei dem MBA-Szenario der Nährstoffeintrag überwiegt. Der Ressourcenverbrauch fällt beim MBA-Szenario weniger günstig aus (im Vergleich zum MVA-Szenario), was u.a. auf die Flächenbeanspruchung bei der Deponierung zurückzuführen ist. Entsprechend ist auch der Naturraumbedarf der ungünstigste Ergebnisparameter bei dem MBA-Szenario. Die übrigen ungünstigen Parameter liegen bei dem MBA-Szenario etwa um den Faktor zwei höher als beim MVA-Szenario.

Das Referenzszenario (Deponie-Szenario) weist ausschließlich negative Effekte auf. Den größten Anteil hat der Naturraumbedarf. Dieser ist bei einer Deponierung unbehandelter

Abfälle und Wertstoffe deutlich höher als bei den Szenarien mit einer Restabfallbehandlung, die eine deutlich Volumenreduzierung der zu deponierenden Reste beinhalten. Des weiteren sind die ökotoxische Wirkung und der Treibhauseffekt, gefolgt von der Photooxidantienbildung bei diesem Szenario als besonders ungünstig zu bewerten. Sie weisen gegenüber dem MBA-Szenario mehr als das Doppelte an Einwohnergleichwerten auf.

6.3.2 Bioabfall

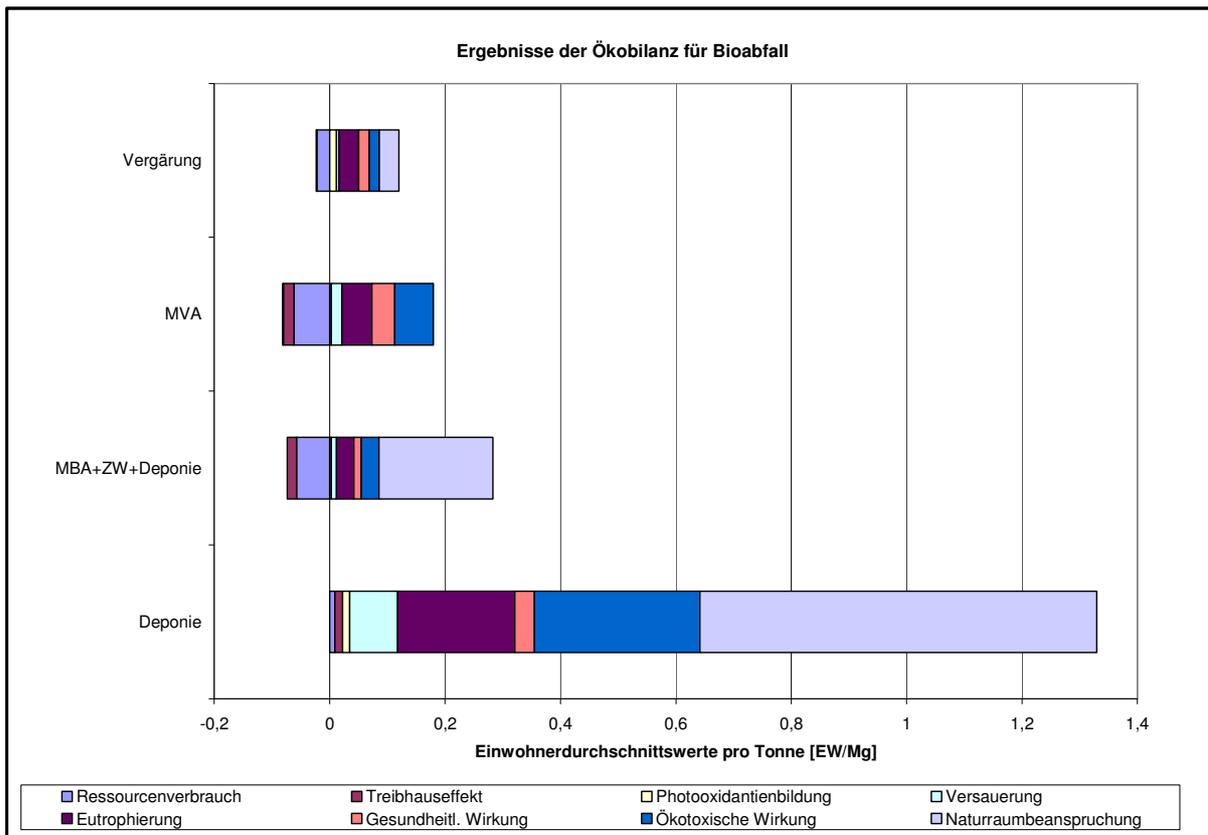


Abbildung 45: Ergebnisse der Ökobilanz für Bioabfall

Abbildung 45 zeigt die Ergebnisse der einzelnen Wirkungskategorien bei der Bioabfallbehandlung und -verwertung. Die Balken zeigen die Ergebnisse für die Komposterzeugung in einer Vergärungsanlage, die Behandlung in einer MVA, die Behandlung in einer MBA sowie die Deponierung (mit Deponiegasnutzung).

Das Ergebnis der Ökobilanz für die Behandlung von Bioabfall zeigt deutliche Vorteile der Bioabfallvergärung gegenüber den übrigen untersuchten Systemen.

Die Mitbehandlung von Bioabfall in einer MVA (bei gemeinsamer Erfassung von Bio- und Restabfall) hat geringere negative Auswirkungen auf die Umwelt als bei dem MBA-Modell (MBA + Zementwerk + Deponie).

Das ungünstigste Ergebnis weist das Szenario Deponierung des unbehandelten Bioabfalls auf. Neben dem hohen Naturraumbedarf ist hier die ökotoxische Wirkung und der Treibhauseffekt – resultierend insbesondere aus den CH₄- und N₂O-Emissionen (Methan und Lachgas) - zu nennen. Auch die Versauerung ist in einer nennenswerten Größenordnung anzutreffen.

Vergleicht man die Bioabfallbehandlung in einer MVA mit der Bioabfallvergärung so zeigt die MVA sowohl größere positive als auch größere negative Ergebnisse bei den untersuchten Wirkungskategorien. Absolut betrachtet zeigt die getrennte Bioabfallvergärung fast keinen Unterschied gegenüber der MVA. Somit ist die Entscheidung für eines der beiden Systeme von der Machbarkeit einer separaten Bioabfallerrfassung abhängig. In städtischen Regionen, in denen eine separate Bioabfallerrfassung nur eingeschränkt möglich ist (z.B. aufgrund eingeschränkter Stellflächenkapazität für die Biotonne), kann die gemeinsame Erfassung mit dem Restabfall und die nachfolgende Müllverbrennung unter Umweltaspekten als gleichermaßen vorteilhaft bewertet werden (vgl. Escalante, N., 2005). Ähnliches gilt auch für das MBA-Szenario, das jedoch geringfügig ungünstiger als das MVA-Szenario erscheint.

6.3.3 Altpapier (Papier, Pappe, Karton)

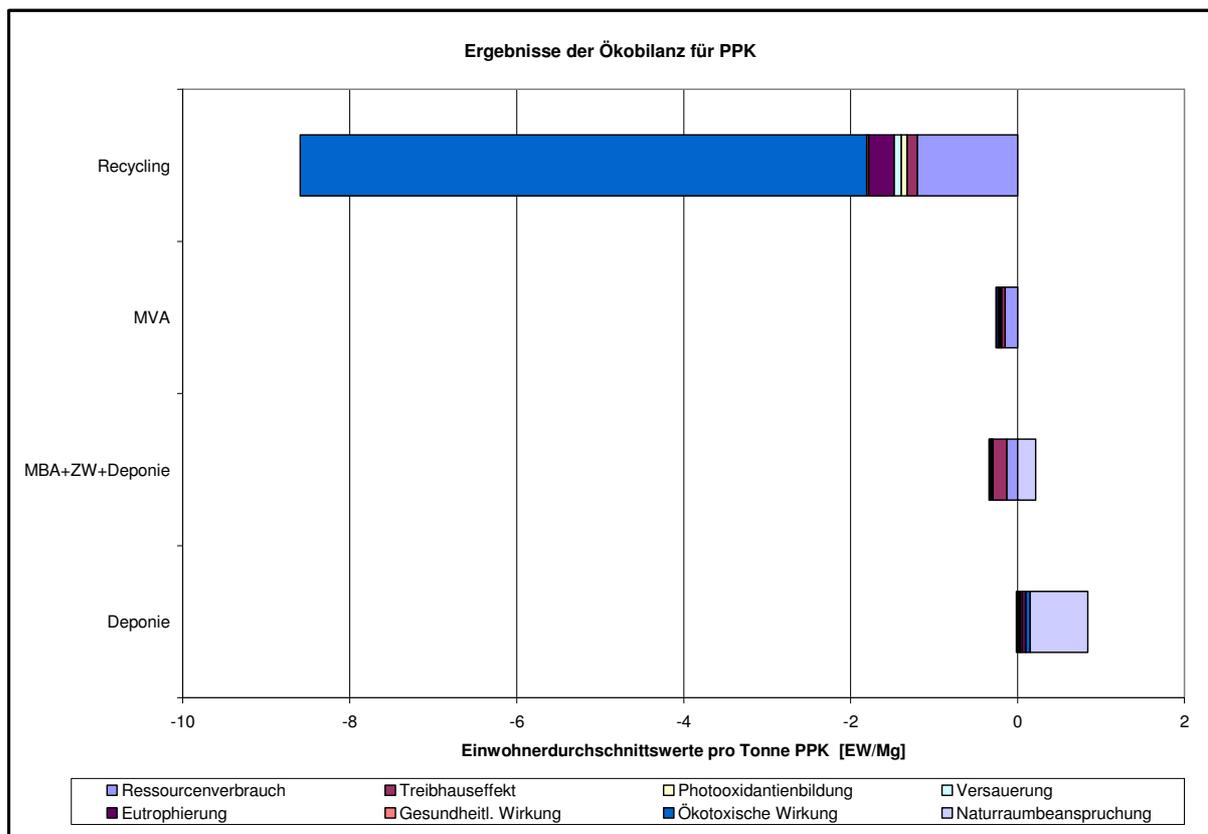


Abbildung 46: Ergebnisse der Ökobilanz für Altpapier (PPK)

Im Hinblick auf die Wertstofffraktion Papier, Pappe, Karton, liegt erwartungsgemäß das Altpapierrecycling am günstigsten. Die negativen Auswirkungen für die Umwelt sind

vergleichsweise gering und werden von den positiven Effekten in hohem Maße überlagert. Auch wenn die hier angestellten ökobilanziellen Betrachtungen eher orientierende Ergebnisse liefern so sind die Vorteile der stofflichen Verwertung dennoch deutlich erkennbar.

Die Mitbehandlung von PPK in Restabfallbehandlungsanlagen weist ebenfalls geringe negative Umweltauswirkungen auf, die positiven Effekte sind im Vergleich zum Altpapierrecycling jedoch äußerst gering.

Die Deponierung von unbehandeltem Altpapier beinhaltet keine Vorteile und ist mit den größten Nachteilen innerhalb der Modellbetrachtung verbunden.

6.3.4 Glas

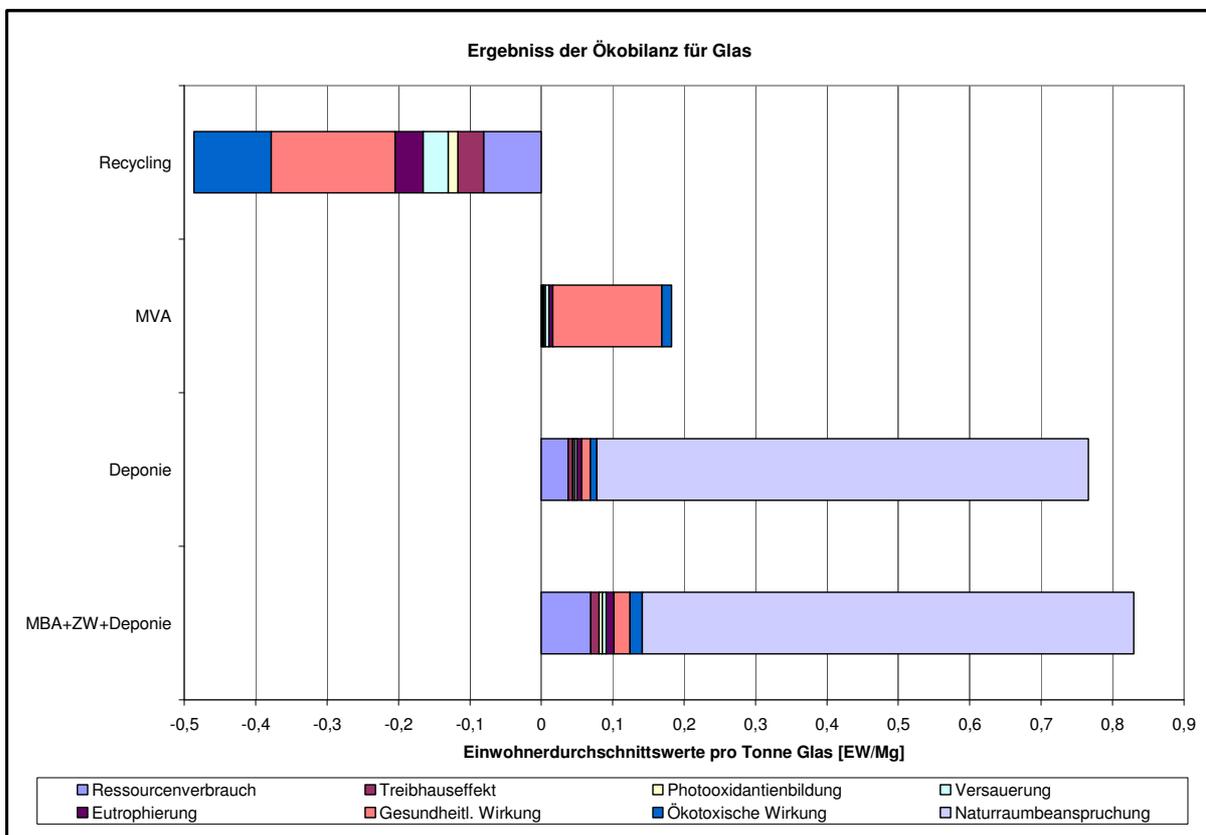


Abbildung 47: Ergebnisse der Ökobilanz für Glas

Unter ökobilanziellen Aspekten ist das Recycling von Altglas erwartungsgemäß die beste Variante.

Bei der Entsorgung in einer MVA oder über die Deponie treten ausschließlich negative Effekte auf. Dort findet keinerlei Recycling statt. Am ungünstigsten erscheint das MBA-Modell, das noch ungünstigere Umweltauswirkungen als die Deponie aufweist. Bei der Mitbehandlung von Glas in einer Restabfallbehandlungsanlage werden keinerlei Vorteile

generiert, vielmehr werden zusätzliche Ressourcen beansprucht (z.B. durch Nachteile beim Anlagenbetrieb) und die positiven Effekte der stofflichen Verwertung entfallen.

Im Ergebnis ist festzustellen, dass unter ökobilanziellen Aspekten, die getrennt Sammlung und Verwertung von Glas (wie sie heute überwiegend etabliert ist) den größten Nutzen beinhaltet. An diesem vom Bürger akzeptierten System sollte daher festgehalten werden.

6.3.5 Kunststoffe

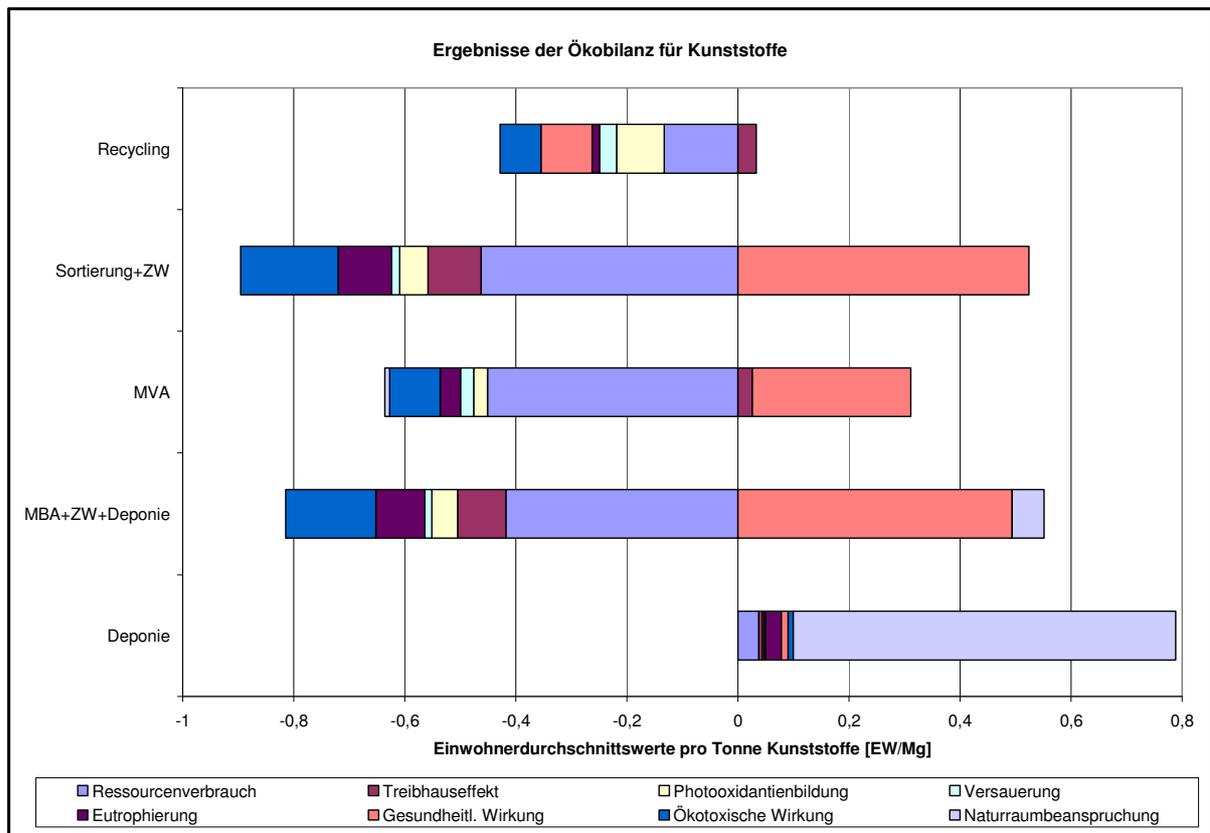


Abbildung 48: Ergebnisse der Ökobilanz für Kunststoffe

Die Ökobilanz der Varianten im Hinblick auf die Verwertung von Kunststoffen weist auch hier das Recycling als die günstigste Variante aus.

Mit Blick auf die Ergebnisse im Hinblick auf den Ressourcenverbrauch ist der energetischen Nutzung der Vorrang vor der stofflichen Verwertung einzuräumen. Dies kann sowohl durch die Verwertung als Ersatzbrennstoff (z.B. in einem Zementwerk) als auch durch die Mitverbrennung in einer MVA erfolgen. Bei den gesundheitlichen Auswirkungen weist die stoffliche Verwertung als einziges System eine Reduzierung (des Krebsrisikos und der Auswirkungen von Luftschadstoffen) der Belastungen auf, wohingegen die übrigen Systeme diese Risiken erhöhen, da die energetische Nutzung mit deutlichen Schadstoffemissionen einhergeht. Bei den Parametern zur Versauerung und Photooxidantienbildung liegen die

Vorteile beim Recycling über denen bei der energetischen Nutzung. Die Entsorgungsvarianten mit einer energetischen Nutzung beinhalten große positive Effekte, denen jedoch deutliche negative Effekte, bedingt durch die Emissionsparameter, gegenüber stehen.

Sofern für einzelne Kunststofffraktionen ein Absatzmarkt (und damit ein Bedarf) vorhanden ist, sollte dem Recycling unter Umweltaspekten der Vorrang gegenüber der energetischen Nutzung eingeräumt werden. Für die übrigen erscheint die Aufbereitung zu einem Ersatzbrennstoff sinnvoll.

6.3.6 Verbunde

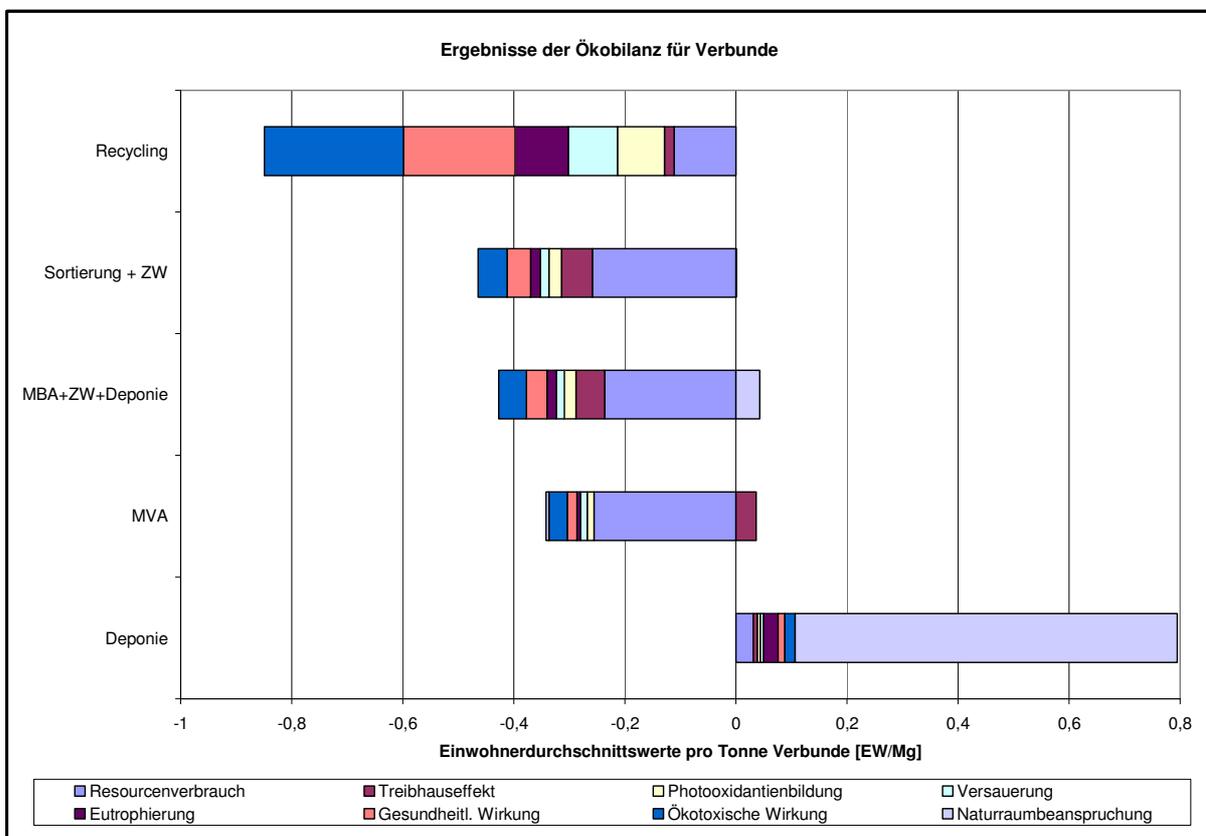


Abbildung 49: Ergebnisse der Ökobilanz für Verbunde

Das Recycling von Verbunden ist unter ökologischen Gesichtspunkten die beste Variante. Die stoffliche Verwertung von Verbunden zeigt sogar noch günstigere Ergebnisse als das Kunststoffrecycling (vgl. vorhergehendes Kapitel). Dies liegt in den geringeren Schadstoffgehalten – insbesondere von Schwermetallen – begründet.

Die übrigen Varianten – mit Ausnahme der Deponierung, weisen in unterschiedlichem Maße ebenfalls positive ökologische Effekte auf. Die energetische Nutzung ist im Hinblick auf den Ressourcenverbrauch und den Treibhauseffekt positiv zu bewerten. Hier sind günstigere Ergebnisse als beim Recycling anzutreffen. Bei den verbleibenden Umweltparametern ist das Recycling von Verbunden die vorteilhafteste Option.

6.3.7 Fe-Metalle und NE-Metalle

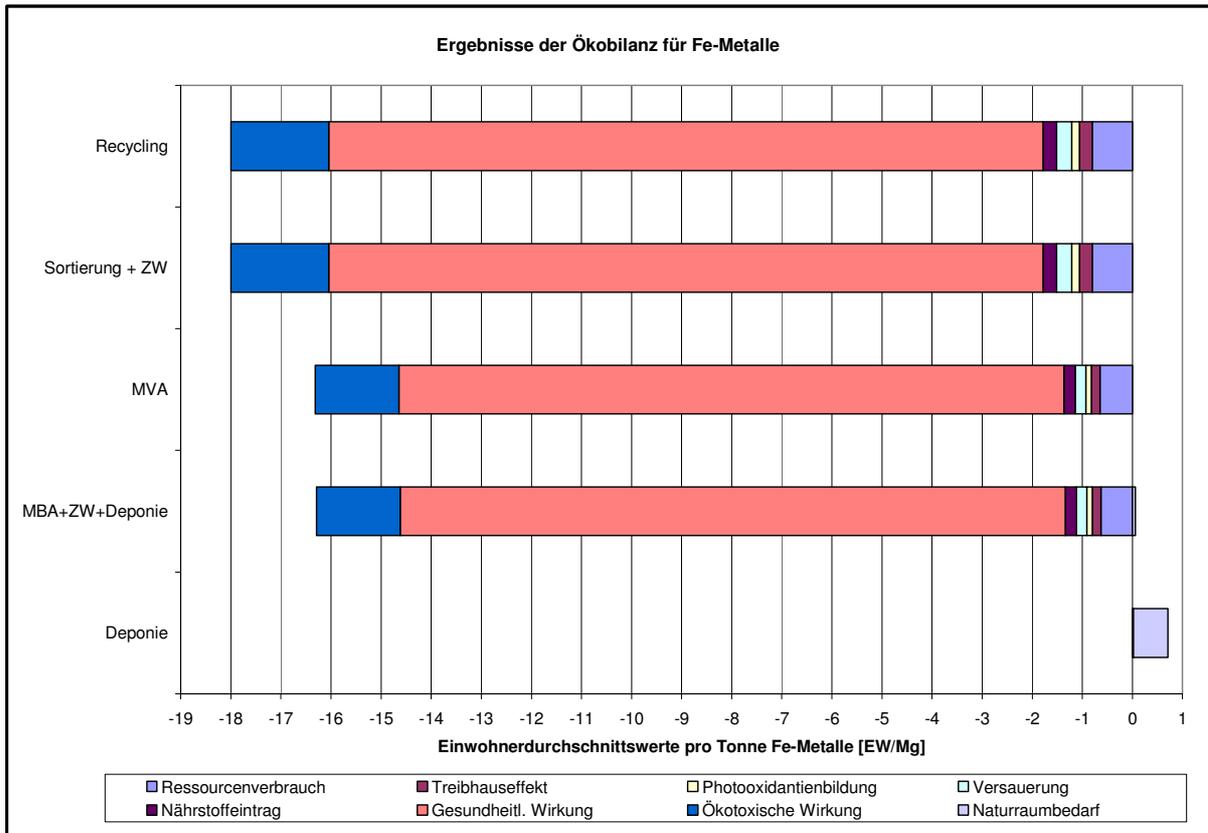


Abbildung 50: Ergebnisse der Ökobilanz für Fe-Metalle

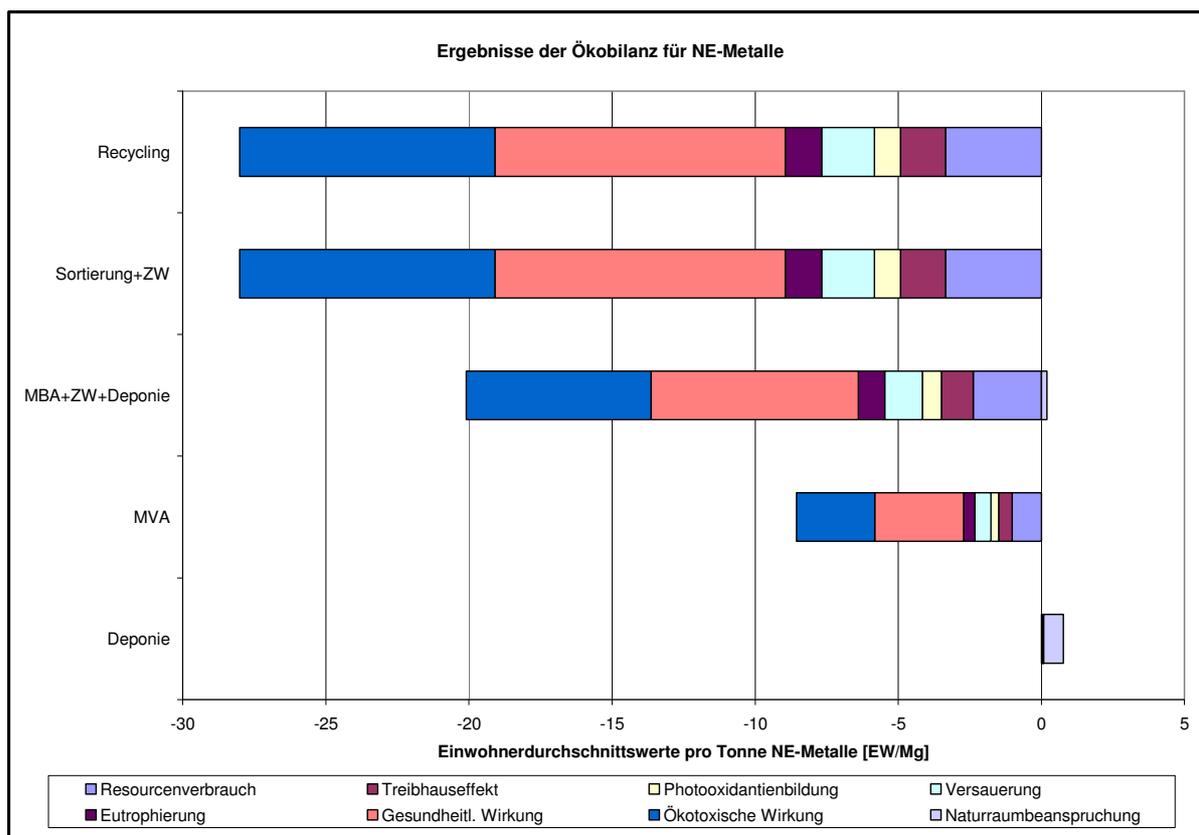


Abbildung 51: Ergebnisse der Ökobilanz für NE-Metalle

Erwartungsgemäß ist das Recycling von Fe- und NE-Metallen insgesamt positiv zu bewerten. Bei den Restabfallbehandlungssystemen wurde hier die Abtrennung dieser Materialien in Ansatz gebracht, weshalb auch hier die positiven Auswirkungen des Recyclings zum tragen kommen.

Bei den Fe-Metallen überwiegen die positiven Effekte bei den gesundheitlichen Auswirkungen, wohingegen bei den NE-Metallen auch die Wirkungskategorie zur ökotoxischen Wirkung einen deutlichen Einfluss auf die positiven Ergebnisse hat.

6.4 Ökobilanz der 18 Varianten (Modellregion)

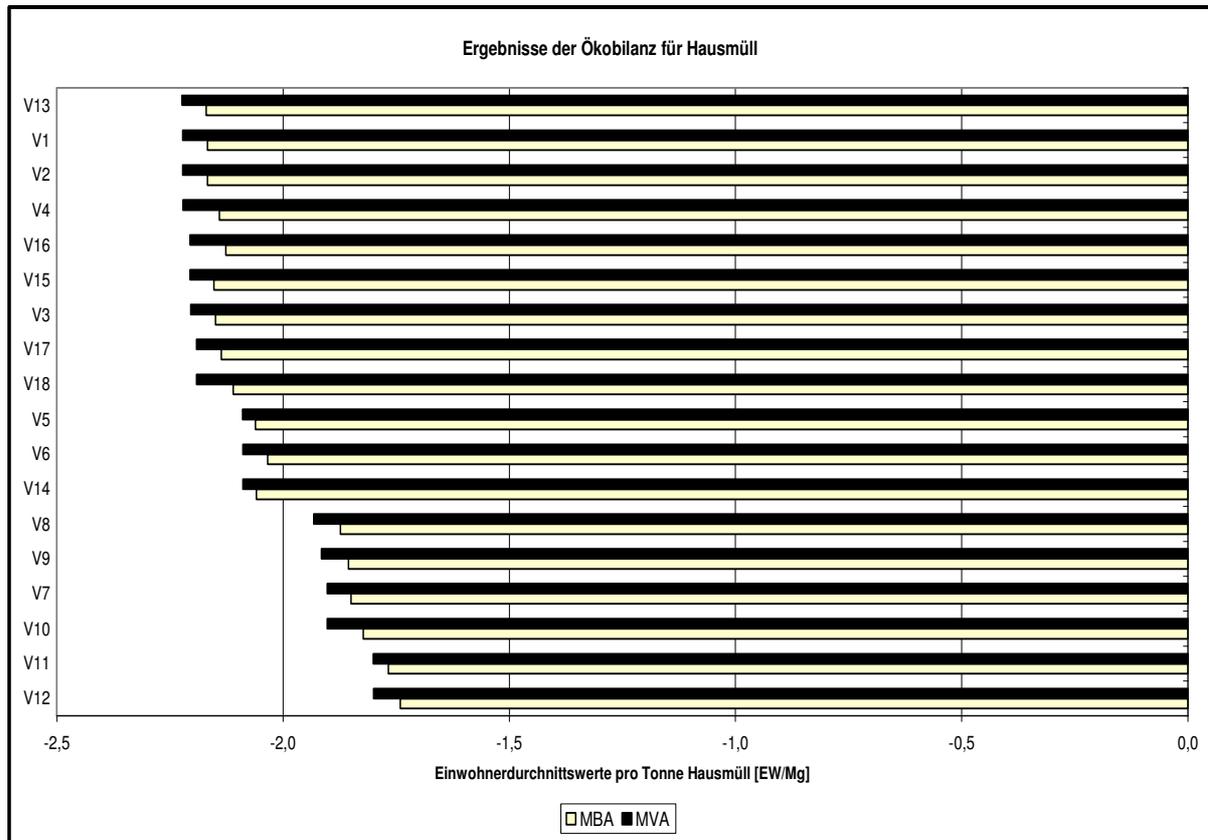


Abbildung 52: Ergebnisse der Ökobilanz für die 18 Varianten (Modellregion)

Die obige Abbildung zeigt die Ergebnisse der Ökobilanz für die 18 Varianten. Für jede Variante sind jeweils zwei Balken abgebildet. Diese repräsentieren die Ergebnisse der modellierten Entsorgungsszenarien (MVA- und MBA-Varianten) gegenüber dem Referenzszenario (Deponie-Szenario).

Die MBA-Varianten liegen stets etwas ungünstiger als die MVA-Varianten, bewegen sich jedoch in einer vergleichbaren Größenordnung.

Unter ökobilanziellen Aspekten schneiden hier diejenigen Varianten am günstigsten ab, bei denen ein hohes Maß an stofflicher Verwertung praktiziert wird. Demzufolge ist auch V13 (trockene Wertstofftonne) die beste Variante, da hier die höchsten Abschöpfungsquoten angesetzt werden. V1 und V2 liegen fast gleichauf mit V13, da hier nur geringfügig niedrigere Abschöpfungsquoten als bei der trockenen Wertstofftonne angenommen wurden. Variante V16, ebenfalls mit trockener Wertstofftonne, liegt knapp dahinter. Hier erfolgt allerdings keine getrennte Bioabfallerrfassung. Die Miterfassung von Bioabfall in der Restmülltonne bringt unter Umweltaspekten keine besonderen Nachteile mit sich (vgl. Kapitel 6.3.2). In Analogie zu V16 liegt auch V4 nahe am Optimum, sie entspricht bis auf die getrennte Bioabfallerrfassung der Variante V1.

6.5 Reduzierung des Treibhauspotentials innerhalb der Ökobilanz (CO₂-Äquivalente) für die 18 Varianten (Modellregion)

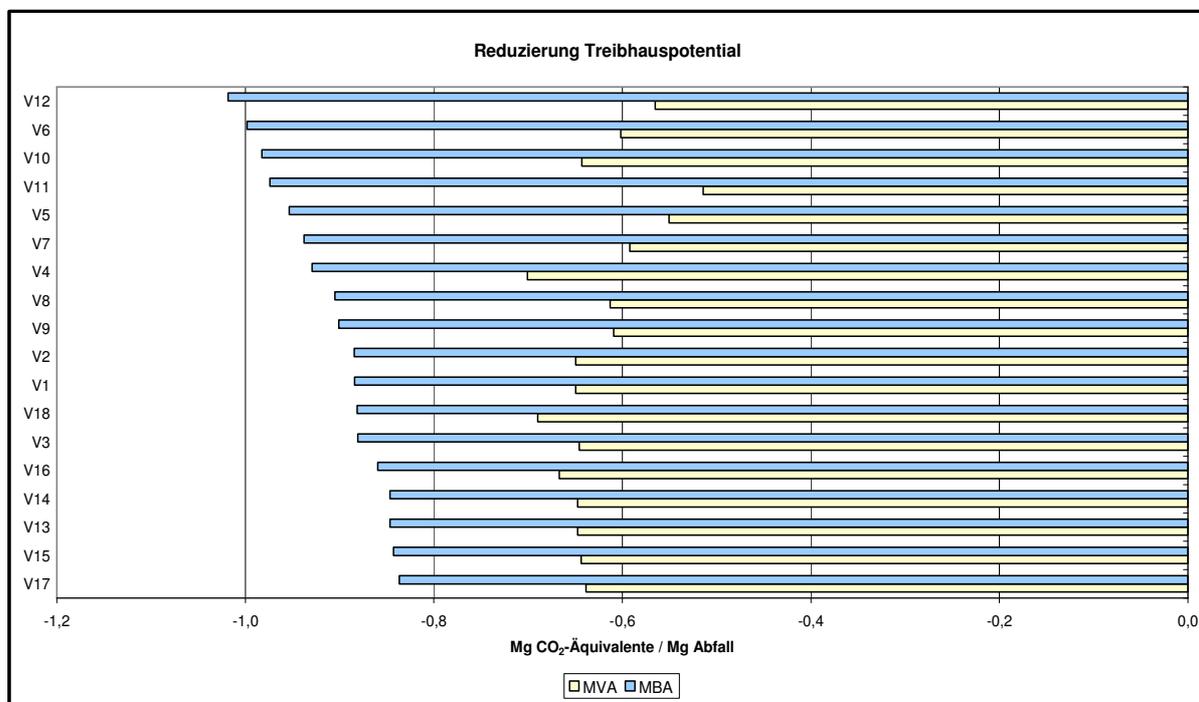


Abbildung 53: Reduzierung des Treibhauspotentials (CO₂-Äquivalente) innerhalb der Ökobilanz für die 18 Varianten (Modellregion)

Die Ergebnisse der Untersuchung der Einsparung des Treibhauspotentials innerhalb der Ökobilanz zeigt eine Abweichung von den Ergebnissen der Ökobilanz in Abbildung 52.

Hier schneiden diejenigen Varianten am besten ab, bei denen die energetische Nutzung der Wertstoffe überwiegt. Dies zeigt, dass die alleinige Betrachtung der CO₂-Äquivalenten nicht alle umweltrelevanten Aspekte abdeckt und ggf. in Abhängigkeit von der jeweiligen Zielsetzung auch die übrigen genannten Wirkungskategorien bei der Beurteilung der Umweltverträglichkeit berücksichtigt werden müssen.

6.6 Fazit der Ökobilanz

Die Ökobilanz der 18 Szenarien zeigt Unterschiede zwischen der „ganzheitlichen“ ökologischen Betrachtung anhand der Wirkungskategorien und den Untersuchungen, die ausschließlich die Kohlendioxidäquivalente berücksichtigen.

Werden alle ökobilanziellen Parameter in die Bewertung aufgenommen, so ist der stofflichen Verwertung der Vorzug zu geben. Wird ausschließlich die Erzeugung bzw. Einsparung von klimarelevantem Kohlendioxid untersucht ergeben sich Vorteile für die energetische Nutzung.

7 Empfehlungen für künftige Strategien

Ziel des Forschungsprojektes war die Erarbeitung von Empfehlungen für eine nachhaltige Abfallwirtschaft. Hierbei sollten einerseits die bestehenden Umweltstandards aufrechterhalten und andererseits eine Vereinfachung der Abfallwirtschaft insbesondere für die Haushalte erreicht werden.

Neben der Vereinfachung der Sammel- und Entsorgungslogistik sollten auch ökonomische Einsparpotenziale identifiziert werden.

Das Forschungsprojekt stützt sich auf Daten zu den abfallwirtschaftlichen Systemen in zehn ausgewählten Landkreisen in Baden-Württemberg.

Nachfolgend werden die Empfehlungen im Hinblick auf die verwertbaren Stoffgruppen, die Erfassungssysteme für trockene Wertstoffe und die Kosten für die Wertstofffassung aufgezeigt.

7.1 Verwertbare Stoffgruppen

Bioabfall

Die separate Erfassung von Bioabfällen in städtischen Regionen und Ballungszentren hat sich bewährt und ist sinnvoll. Erforderlich ist eine hohe Trennschärfe bzw. eine gute Sortenreinheit, welche durch entsprechende Öffentlichkeitsarbeit zu gewährleisten ist. In Innenstadtbereichen und in Gebieten mit sozialen Brennpunkten sind bei Pflicht-Biotonnen häufig höhere Fehlwurfquoten zu finden. Gegebenenfalls ist zum Erreichen einer guten Sortenreinheit die getrennte Bioabfallfassung auf Freiwilligenbasis durchzuführen.

Durch die separate Bioabfallfassung wird die Restabfallmenge reduziert, was ökonomische und ökologische Vorteile mit sich bringt. Diese Aussage hat bei der thermischen Behandlung von Restabfall uneingeschränkt Gültigkeit. Sofern die Restabfallbehandlung in einer mechanisch-biologischen Anlage erfolgt, ist der Anteil biogener Abfälle eine wesentliche Dimensionierungsgröße (vgl. Kapitel 5.3.2).

In ländlich strukturierten Regionen mit verursacherbezogenem Gebührensystem ist eine separate Erfassung des Bioabfalls nicht unbedingt von Vorteil. Hier muss im Einzelfall geprüft werden, wie ausgedehnt die Eigenkompostierung betrieben wird. Sofern, wie in Kapitel 5.3.2 ausgeführt, der Regelfall einer ausgedehnten Eigenkompostierung gegeben ist, kann der verbleibende Bioabfall mit dem Restabfall erfasst werden.

Die separate Erfassung von Bioabfällen hat u.a. auch Einfluss auf Systeme, bei denen Wertstoffe gemeinsam mit dem Restabfall erfasst werden. Die nachträgliche Abtrennung von Wertstoffen erfolgt umso effizienter, je trockener das zu trennende Materialgemisch ist bzw. je weniger nativ-organische Stoffe enthalten sind. Bei Realisierung eines Systems mit Stofftrennung aus dem Restabfall ist die Abschöpfung von Bioabfall deshalb von Vorteil.

Kunststoffe und Verbunde (Material von Lizenzgebern dualer Systeme)

Vor dem Hintergrund heutiger Sortiertechniken ist die getrennte Erfassung von Materialien dualer Systeme nicht mehr uneingeschränkt erforderlich.

Bringsysteme beinhalten in der Regel geringere Erfassungsquoten als Holsysteme, die Sortenreinheit ist jedoch besonders bei der Erfassung über Recyclinghöfe deutlich höher. Da die Sortierleistung durch die Bürger erbracht wird, ist der Aufwand in den Haushalten zwar höher, führt jedoch im Vergleich zum Holsystem (z.B. "Gelber Sack" oder Wertstofftonne) zu Kostenvorteilen.

Anzumerken ist, dass in den Systemen mit einer Wertstoffeffassung (Verpackungen) über den gelben Sack relativ hohe Störstoffanteile durch stoffgleiche Nichtverpackungsanteile sowie Restabfälle enthalten sind.

Auch im Restabfall finden sich noch immer relevante Anteile von Leichtverpackungen in Form von Fehlwürfen.

Kunststoffe und Verbunde (sortengleiche Nichtverpackungen)

Die sortengleichen Nichtverpackungsmaterialien sollten ebenso behandelt werden, wie die Materialien der dualen Systeme. Die Materialwirtschaft ist stoffstromorientiert, weshalb eine gemeinsame Erfassung und Behandlung / Verwertung stoffgleicher Materialien in jedem Fall zu empfehlen ist.

Derzeit wird die gemeinsame Erfassung von lizenzierten Materialien und stoffgleichen Materialien ohne Lizenzzeichen nur in Ausnahmefällen durchgeführt, z.B. im Landkreis Ludwigsburg, im Enzkreis, im Stadt- und Landkreis Karlsruhe sowie im Rhein-Neckar-Kreis, und liegt in den schon seit langem dort etablierten Systemen begründet. In der Praxis findet sie dadurch statt, dass z.B. in den gelben Säcken auch ein signifikanter Anteil von Nicht-Verpackungsmaterial (Fehlwürfe, siehe vorne) angetroffen wird.

Die Ursache für die heutige Praxis, die genannten Stoffe gleichen Materials getrennt zu betrachten liegt in der derzeitigen Rechtslage, verbunden mit der Produktverantwortung begründet, die sich ausschließlich auf Verpackungsmaterialien bezieht (Verpackungsverordnung).

Papier, Pappe, Karton

Die separate Erfassung von grafischen und Verpackungspapieren im Hol- bzw. Bringsystem hat sich bewährt. Sie sollte daher beibehalten werden. Inwiefern eine gemeinsame Erfassung mit anderen trockenen Wertstoffen erfolgen kann, ist besonders unter den Aspekten der Abtrennung und Vermarktung des Papiers noch intensiver zu prüfen. Von Seiten der Altpapier verwertenden Industrie wird ins Feld geführt, dass gemeinsam mit anderen Verpackungsmaterialien erfasstes Papier unter hygienischen Aspekten als

problematisch anzusehen ist und damit eine Vermarktung dieses Altpapiers in Frage gestellt wird. Versuche in Österreich und Landkreisen in Baden-Württemberg zeigen hingegen, dass aussortiertes Papier aus der gemischten trockenen Wertstoffeffassung ebenso marktfähig ist, wie separat erfasstes Altpapier.

Derzeit werden in Baden-Württemberg auch ergänzend Überlegungen zur gemeinsamen Erfassung und energetischen Verwertung von minderqualitativem Altpapier und Bioabfall angestellt. Hierzu wurde im Jahr 2004 eine Vorstudie der Universität Stuttgart abgeschlossen (Thomanetz, Hafner; 2004: Stoff- und Energieflüsse sowie Kostensituation betreffend Bioabfall- und Papierverwertung am Beispiel des Zollernalbkreises für verschiedene hypothetische Szenarien). Die Umsetzung im Rahmen eines Großversuches im Jahre 2006 ist in Vorbereitung und wird vom Umweltministerium Baden-Württemberg unterstützt.

Glas

Die separate Erfassung von Glas, in der Regel im Bringsystem, hat sich bewährt. Eine gemeinsame Erfassung mit trockenen Wertstoffen erfordert zusätzliche technische Aufwendungen und hat sich mehrheitlich nicht bewährt. Die gemeinsame Erfassung mit dem Hausmüll und nachfolgende Abtrennung ist ökonomisch nicht vorteilhaft.

Metalle

In allen Fällen, in denen durch Magnetscheider in der nachfolgenden Verfahrenstechnik eine Metallseparierung möglich ist, wird eine getrennte Erfassung von Fe-Metallen in der Regel nicht zwangsläufig erforderlich. Die Abscheidung von kleinteiligen NE-Metallen ist bei der Erfassung im Mischabfallstrom schwierig. Hier bietet die Erfassung über ein Bringsystem (Recyclinghof) die beste Sortenreinheit.

7.2 Erfassungssysteme für trockene Wertstoffe

Nachfolgend werden die wesentlichen Systeme zur Wertstoffeffassung, insbesondere zur Erfassung von Verpackungsabfällen, erläutert. Von besonderem Interesse ist die Frage nach einer effizienten Erfassung von Wertstoffen der dualen Systeme. Die überwiegend privatwirtschaftlich organisierte Erfassung und Verwertung dieser Wertstoffe (Verpackungen) wird über Lizenzgebühren finanziert. In Baden-Württemberg ist bis dato ausschließlich die Duales System Deutschland AG, als duales System festgestellt.

Es ist auch der Umstand zu berücksichtigen, dass nicht alle derzeit dem Recycling zugeführten Stoffe in der Praxis einen Markt haben, so dass bei der Realisierung einer gemeinsamen Erfassung von Wertstoffen im Gemisch ggf. ausschließlich die marktfähigen Stoffgruppen abgetrennt werden sollten (für die stoffliche und energetische Verwertung).

Künftige Sortieranlagen sollten zugleich auch entsprechend flexibel geplant werden, so dass bei Veränderung der Absatzmärkte für Sekundärrohstoffe eine Anpassung der Trenntechnik erfolgen kann.

Erfassung von Verpackungen gemeinsam mit dem Restabfall "Gelb-in-Grau (GiG)"

Die Erfassung von Leichtverpackungen zusammen mit dem Restabfallstrom bietet bei der Erfassung im Haushalt Vereinfachungen und hinsichtlich der Abschöpfungsquote von Leichtverpackungen (und ggf. weiteren Wertstoffen) Vorteile. Erste Untersuchungen (siehe u.a. Großversuche der RWE AG und der DSD AG) zeigen, dass es grundsätzlich möglich ist, durch moderne Sortiertechniken u.a. durch den Einsatz der NIR-Technik auch aus dem Restabfallstrom qualitativ hochwertige Materialströme abzutrennen. Ein gezieltes Stoffstrommanagement wird durch dieses System erleichtert.

Darüber hinaus sind derzeit im Restabfall ohnehin z.T. relativ große Anteile von Verpackungsmaterialien der dualen Systeme sowie stoffgleiche Nicht-Verpackungsmaterialien anzutreffen.

Durch Verfahrenstechniken wie z.B. das Trockenstabilatverfahren können ebenfalls grundsätzlich stofflich oder energetisch verwertbare Fraktionen gewonnen werden. Inwiefern diese Systeme Kostenvorteile generieren können, ist eine noch offene Fragestellung und durch den Markt abzuklären.

Bestehende Anlagen für die Restabfallbehandlung können für ein GiG-System erweitert werden. Bei den mechanisch-biologischen Anlagen kann dies u.a. z.B. durch die Ergänzung der mechanischen Aufbereitung durch NIR-Verfahrenstechnik erfolgen. Bei Müllverbrennungsanlagen ist z.B. eine mechanische Vorschaltanlage denkbar.

Offene Fragestellungen bestehen besonders in den Bereichen der Produktqualitäten und der Verwertbarkeit bei stofflicher Verwertung, da Feldversuche bisher nicht vorliegen. Die verursacherbezogene Gebührenerhebung ist schwierig (siehe Kap. 7.3). Es sind große Sortierkapazitäten erforderlich.

Die Auswirkungen auf das Trennverhalten bei anderen Stoffen in den Haushalten sind nicht geklärt. Daher können sich GiG-Systeme auch auf die übrigen Sammelsysteme auswirken. Derartige Veränderungen haben ihre Ursache u.a. im Verhalten der Bürger beim Umgang mit den Abfällen und Wertstoffen. Hier sind die Ergebnisse von Großversuchen im Entsorgungsmaßstab abzuwarten.

Trockene Wertstofftonne

Die Erfassung von Wertstoffen in einer trockenen Wertstofftonne bietet verschiedene Vorteile:

- Trockenes Material (Vorteile bei der Sortierung),
- einfachere (kostengünstigere) Verfahrenstechnik bei der Sortierung als bei GiG,
- geringere Mengendurchsätze der Sortieranlagen als bei GiG,
- eventuell bessere Qualitäten der abgetrennten Sekundärrohstoffe als bei GiG,
- relativ hohe Erfassungsquote,
- einfaches Stoffstrommanagement.

Hierzu könnten alle trockenen Wertstoffe - sowohl Material des dualen Systems als auch andere Wertstoffe - in einem Sammelgefäß erfasst werden. Diese gemeinsame Erfassung könnte sowohl in der Regie von öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern als auch von dualen Systemen durchgeführt werden. Anschließend erfolgt die Abtrennung marktfähiger Materialströme in einer Sortieranlage.

Die Erfassung der folgenden Materialien gemeinsam in der trockenen Wertstofftonne ist denkbar:

- Lizenziertes Material (Verpackungen und Verbunde der dualen Systeme),
- stoffgleiches nicht lizenziertes Material,
- Altpapier,
- Glas,
- Metalle,
- Elektrokleingeräte
- ggf. weitere (z.B. Altschuhe, Textilien u.a.).

Die mechanische Trennung von Altpapier und Kunststoffen (ohne manuelle Sortierung) ist bis dato technisch nicht befriedigend gelöst. Hier sind noch Weiterentwicklungen in der Sortiertechnik vorzunehmen.

Die erforderliche Durchsatzleistung von Sortieranlagen ist im Vergleich zur LVP-Sortierung deutlich höher.

Die Marktfähigkeit des in der trockenen Wertstofftonne gemischt erfassten Altpapiers wäre für die zu erwartenden hohen Mengenströme zu klären.

Eine nach Farbe getrennte Erfassung von Altglas in Depotcontainern ist auch bei diesem System in der Regel zu bevorzugen. Die Diskussion über diesen Aspekt ist vor dem Hintergrund der sich stetig weiter entwickelnden Sortiertechnik, nicht abgeschlossen.

Die trockene Wertstofftonne beinhaltet u.a. eine deutliche Vereinfachung für die Haushalte bei der Erfassung von Wertstoffen. Die Vorratshaltung für verschiedene Wertstofffraktionen

im Haushalt entfällt. Die Restabfallmenge wird reduziert, da sortengleiche nicht lizenzierte Materialien nicht länger über die Restabfalltonne erfasst werden (geringeres spezifisches Behältervolumen für Restabfälle). Auch ist durch die einfachere Handhabung der Materialströme in den Haushaltungen eine Verbesserung der Abschöpfungsquote von Verpackungsmaterial zu erwarten. Im Vergleich zu Bringsystemen wie z.B. Depotcontainern und Recyclinghöfen ist die Sortenreinheit etwas geringer, die Kosten sind besonders aufgrund des erforderlichen Sortieraufwandes u.U. höher.

Wie im vorstehenden Kapitel ausgeführt, kann das dort beschriebene GiG-System in Gebieten mit einer separaten Bioabfallefassung höhere Erfassungsquoten ermöglichen. Die trockene Wertstofftonne kann demzufolge besonders auch dann eine Alternative darstellen, wenn Bioabfall in einer Region nicht abgeschöpft wird. Sofern sowohl die trockene Wertstofftonne als auch eine Biotonne vorgesehen ist, können in städtischen Regionen ggf. Engpässe die Stellflächen betreffend auftreten.

Anzumerken ist, dass bei der Erfassung der Materialien dualer Systeme, aufgrund der erfassten nicht lizenzierten Verpackungen und Fehlwürfen in z.T. signifikanter Größenordnung, stoffgleiche Nicht-Verpackungen miterfasst werden und bei den Recyclingquoten teilweise mit eingerechnet werden (besonders in der Vergangenheit).

7.3 Kosten für die Erfassung von Wertstoffen

Belastbare Aussagen zu Kosten, Qualität und Marktfähigkeit der Produkte bei großflächigem Einsatz sind derzeit noch nicht möglich. Darüber hinaus bestehen noch offene Fragestellungen hinsichtlich der rechtlichen Handhabung und der Verrechnungsmodalitäten mit den Lizenzgebern. Inwiefern durch eine gemeinsame Erfassung von Leichtverpackungen mit dem Restmüll auch das Trennverhalten im Haushalt bei anderen Fraktionen beeinflusst wird, kann momentan noch nicht abschließend beurteilt werden und ist durch Feldversuche abzuklären.

Es ist zu beachten, dass bei verursacherbezogenen Gebührensystemen die gemeinsame Erfassung von Leichtverpackungen mit dem Restmüll deutlich höhere Sammelkosten für den öffentlich-rechtlichen Entsorger verursachen kann, da Behälter entweder häufiger abgefahren werden müssen oder ein größeres Behältervolumen zur Verfügung gestellt werden muss. Auch müssen die Sortierkosten in diesem Fall in die Kalkulation einbezogen werden. Es kommt demzufolge bei GiG-Varianten zu einer Kostenverlagerung von dualen Systemen hin zu öffentlich-rechtlichen.

Die hierdurch u.U. entstehenden Mehrkosten für den öffentlich-rechtlichen Entsorger müssen in diesem Fall durch Weiterleitung eines Anteils der Lizenzgebühren bei den Verpackungen an die öRE oder z.B. durch garantierte und kostendeckende Abnahmepreise für die Wertstoffe abgedeckt werden.

GiG-Varianten sind kostengünstiger zu betreiben, wenn eine separate Bioabfallerfassung erfolgt. Deshalb ist die Einführung eines GiG-Systems zur Wertstofferrfassung besonders in Regionen geeignet, in denen eine separate Bioabfallerfassung erfolgt.

Wie die Kostenbetrachtungen zeigen, ist die Frage, ob durch die gemeinsame Erfassung Kostenvor- oder -nachteile generiert werden stark abhängig von den lokalen Randbedingungen. Im Vergleich zur Wertstofferrfassung über Bringsysteme fallen in der Regel Mehrkosten an.

Die bisher durchgeführten Versuche im technischen Maßstab - siehe Literatur - zeigen, dass es grundsätzlich möglich ist, Leichtverpackungen und stoffgleiche Nichtverpackungen aus dem Restabfall mittels optoelektronischer Systeme (Nahinfrarotdetektion, NIR) zu separieren. Belastbare Aussagen zu Kosten im Dauerbetrieb, Qualitäten und Marktfähigkeit sind noch nicht möglich, da die Versuchssystematik eine gemeinsame Erfassung beim Bürger bisher nicht beinhaltet und aussagefähige Großmengen bisher nicht erzeugt wurden. Hierzu sind noch Großversuche im Entsorgungsmaßstab erforderlich.

Im Rahmen von Großversuchen sollte u.a. auch unter Kostenaspekten untersucht werden, inwieweit die Einführung eines GiG-Systems Auswirkungen auf die übrigen Sammelsysteme hat.

8 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Anforderungen an die Abfallwirtschaft

Die Nachhaltigkeit der Abfallwirtschaft ist sowohl im Hinblick auf ökonomische, ökologische und soziale Aspekte zu gewährleisten. Dies beinhaltet:

- Langzeitsicherheit und Minimierung der Emissionen,
- hygienische Aspekte,
- Entsorgungssicherheit,
- verträgliche Kosten,
- Sozialverträglichkeit und Akzeptanz.

Generell bestehen in der Bundesrepublik die gesetzlichen Rahmenbedingungen, dass diese Anforderungen gewährleistet werden können. Die im Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz festgelegte Entsorgungspflicht der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger inklusiv der Aktivitäten von Sammlung, Transport, Behandlung, Verwertung und Beseitigung für Haushaltsabfälle und Geschäftsmüll hat sich bewährt und sollte in dieser Form beibehalten werden. Sie sind maßgebliche Akteure in der Ausgestaltung der Abfallwirtschaft als Kernbereich der Daseinsvorsorge. Sie sollten daher auch die Regieträgerschaft im Falle einer gemeinsamen Erfassung von Abfällen aus Haushalten beibehalten.

Strukturelle Randbedingungen in den Landkreisen

Die Art der Wertstoffeffassung ist von den strukturellen Randbedingungen und der Kostenstruktur der Restabfallbehandlung des öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgers abhängig.

Mit Blick auf die Bioabfallfassung sind Unterschiede zwischen ländlichen und städtischen Strukturen festzustellen. In ländlichen Gebieten findet häufig eine Bioabfallabschöpfung in Form der Eigenverwertung statt. Innenstadtbereiche und Gebiete mit sozialen Brennpunkten zeigen häufig eine schlechte Abschöpfungsquote der organischen Materialien. Die abgeschöpften Mengen organischen Materials gehen aufgrund der genannten Zusammenhänge im Hinblick auf die Sortiertechnik einher mit der Effizienz eines GiG-Systems.

Die Sammelkosten hängen z.T. deutlich mit der Siedlungsstruktur zusammen. In dünn besiedelten Gebieten kann aufgrund der langen Wegstrecken die Erfassung einzelner Wertstoffe ggf. ineffizient sein. Eine Verbesserung des Systems ist dann durch eine gemeinsame Wertstofffassung möglich. In dicht besiedelten Regionen dagegen können die logistisch begründeten Unterschiede zwischen einer getrennten und einer gemeinsamen Wertstofffassung weniger deutlich ausfallen.

Eine weitere wesentliche strukturelle Randbedingung ist die vertragliche Bindung eines Landkreises bzw. einer Region, wie z.B. auch die Mitgliedschaft in Zweckverbänden. Längerfristig abgeschlossene Verträge vermindern die Flexibilität im Hinblick auf eine ggf. gewünschte Systemumstellung und Veränderungen müssen mit den Vertragspartnern abgestimmt werden.

Von Bedeutung ist auch die in einem Landkreis angesiedelte Industrie, die ggf. als Abnehmer von Sekundärrohstoffen oder Energie (u.a. Fernwärme, Prozessdampf) in Frage kommt. Die räumliche Distanz zu einem Abnehmer (z.B. Zementwerk für die Verwertung heizwertreicher Materialien, Biomassekraftwerk für die energetische Verwertung biogener Brennstoffe, Gärtnereien für die Abnahme von Fernwärme) kann einen wesentlichen Kostenfaktor ausmachen.

Die überwiegende Anzahl der Landkreise verfügt, unter Berücksichtigung der jeweiligen Randbedingungen, bereits über eine technisch und kostenmäßig optimierte und kostengünstige Abfallwirtschaft. Die derzeit bestehende Rechtslage und auch die vertraglichen Strukturen (Entsorgungsverträge, Mitgliedschaften in Zweckverbänden, eigene Anlagen) wurden in Ansatz gebracht.

Kostengünstigere Lösungen, unter Beibehaltung bzw. Verbesserung bestehender Umweltstandards (z.B. die gemeinsame Erfassung von Leichtverpackungen und stoffgleiche Nichtverpackungen mit dem Restabfall oder in einer trockenen Wertstofftonne) sind denkbar. Die Landkreise und Regionen in Baden-Württemberg sind darüber hinaus in unterschiedlichem Maße vertraglich gebunden. Hier vorgeschlagene Ansätze sind daher auch unter diesem Gesichtspunkt eher mittelfristig abhängig von den jeweiligen Vertragslaufzeiten zu realisieren.

Produktverantwortung

Die gemeinsame Wertstoffeffassung von Verpackungen der dualen Systeme mit anderen Wertstoffen bzw. mit dem Restabfall erzeugt Veränderungen bei der Verantwortlichkeit und den Kosten. Es kommt zu Kostenverlagerungen vom privatwirtschaftlichen Sektor (duale Systeme) hin zum öffentlich-rechtlichen.

Bei der Gestaltung der Abfallwirtschaft als System des Stoffstrommanagements erscheint die Etablierung einer geteilten Produktverantwortung sinnvoll und sollte als Vorschlag in die Diskussion um künftige Gesetzesänderungen Eingang finden.

Die geteilte Produktverantwortung soll die Hersteller nicht aus der Pflicht entlassen. Vielmehr soll den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern die Wahlmöglichkeit eingeräumt werden, die Erfassung und Sammlung in die eigene Zuständigkeit zu überführen. Die Verpflichtung zur Übernahme des Materials seitens der öRE besteht nicht.

Es sollte den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern die Möglichkeit eingeräumt werden, auf diese Weise auch die Sammlung, Transport und Sortierung von Verpackungen im Rahmen ihrer öffentlich-rechtlichen Entsorgungsaufgabe zuzulassen. Hierzu sind

voraussichtlich Änderungen im Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz und der Verpackungsverordnung erforderlich. Wettbewerbsrechtliche Fragestellungen sind in diesem Zusammenhang ebenfalls zu beachten. Weitere Auswirkungen dieser Wahlmöglichkeit auf Organisationsstrukturen, Duale Systeme, Entsorgungskapazitäten und rechtliche Aspekte wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht untersucht und sind bei einer Umsetzung einer weitergehenden Betrachtung zu unterziehen.

Die Produktverantwortung für Verpackungen sollte weiterhin Gültigkeit besitzen und die Einbeziehung der in die Zuständigkeit der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger fallenden Geschäftsmüllmengen in künftige Abfallwirtschaftskonzepte sollte vor dem Hintergrund des stoffstromorientierten Ansatzes Berücksichtigung finden.

Lösungen sind bisher großtechnisch allerdings nicht erprobt, rechtliche Fragestellungen sind noch offen. Wesentliche Verbesserungen und Vereinfachungen sind demzufolge nur durch eine Änderung der Verpackungsverordnung zu erreichen. Auch sind die Ergebnisse von Großversuchen im Entsorgungsmaßstab abzuwarten.

Wertstofffassung

Die getrennte Sammlung verwertbarer Stoffe hat sich bewährt. Sollen die biogenen Abfälle stofflich verwertet werden, bleibt auch in Zukunft die getrennte Sammlung aus Gründen geringer Schad- und Störstoffgehalte eine unabdingbare Voraussetzung. Auch für Papier ist eine Erfassung mit nasser Fraktion (Restmüll), wenn dieses stofflich verwertet werden soll, nicht geboten. Die farbgetrennte Erfassung von Glas - mehrheitlich im Bringsystem ist vorteilhaft.

Die gemeinsame Erfassung von Verpackungen und stoffgleichen Nicht-Verpackungen mit dem Ziel der stofflichen und energetischen Verwertung wird für sinnvoll erachtet. Hierzu ist es jedoch erforderlich, die Sammelstrukturen und Verantwortlichkeiten für die Kosten anzupassen. Die gemeinsame Erfassung von Leichtverpackungen und stoffgleichen Nichtverpackungen mit dem Restabfall (Gelb in Grau) oder mit anderen Wertstoffen (trockene Wertstofftonne) kann unter den Aspekten der Erfassungsquote und des Aufwands in den Haushalten Vorteile aufweisen, auch können gebietsbezogen ökonomische Vorteile entstehen.

Höhere Erfassungsquoten von LVP und NVP werden vor allem zu höheren Materialströmen zur energetischen Verwertung führen, da die Vermarktbarkeit dieser zusätzlichen Teilströme für die stoffliche Verwertung fraglich ist. Es ist zu beachten, dass diese höhere Erfassungsquote für die Quotenerfüllung dualer Systeme derzeit nicht von Bedeutung ist.

Der Verschmutzungsgrad von LVP aus der trockenen Wertstofftonne ist geringer als bei einer Erfassung mit dem Restabfall. Bezüglich der Vermarktung der Papierfraktion aus der trockenen Wertstofftonne bestehen noch offene Fragen. Die automatische Sortiertechnik ist für die Separierung von Papierfraktion mit LVP noch weiter zu entwickeln.

Generell sind sowohl bei der trockenen Wertstofftonne, besonders aber auch bei der Erfassung von LVP im Restabfall höhere Sortierkapazitäten erforderlich.

Besonders bei der Variante LVP mit dem Restabfall gemeinsam zu erfassen sind die Auswirkungen auf das Trennverhalten bei anderen Wertstoffen in den Haushalten nicht geklärt.

Durch Verfahrenstechniken wie z.B. das Trockenstabilatverfahren können ebenfalls grundsätzlich stofflich oder energetisch verwertbare Fraktionen gewonnen werden. Inwiefern diese Systeme Kostenvorteile generieren können, ist eine noch offene Fragestellung und durch den Markt abzuklären. Bestehende Anlagen für die Restabfallbehandlung können für ein GiG-System erweitert werden. Bei den mechanisch-biologischen Anlagen kann dies u.a. z.B. durch die Ergänzung der mechanischen Aufbereitung durch NIR-Verfahrenstechnik erfolgen. Bei Müllverbrennungsanlagen ist z.B. eine mechanische Vorschaltanlage denkbar.

Die Aussortierung von Stoffen zur stofflichen bzw. energetischen Verwertung ist besonders bei der Realisierung einer gemeinsamen Erfassung von Wertstoffen im Gemisch unter Vermarktungsaspekten für die aussortierten Produkte zu betreiben. Ggf. sollten ausschließlich die marktfähigen Stoffgruppen für eine stoffliche und energetische Verwertung abgetrennt werden.

Im Hinblick auf die Vermarktungssituation von Stoffen (stofflich bzw. energetisch) sollten Sortieranlagen entsprechend flexibel geplant werden, so dass bei Veränderung der Absatzmärkte für Sekundärrohstoffe eine Anpassung der Trenntechnik erfolgen kann.

Ressourceneffizienz

Ökobilanzielle Betrachtungen zeigen, dass die stoffliche Verwertung von Bioabfällen (besonders in Vergärungsanlagen), von Altpapier, Altgas und Metallen anderen Entsorgungswegen vorzuziehen ist. Bei den Kunststoffen zeigt sich, dass die energetische Verwertung mit hohem Wirkungsgrad teilweise der stofflichen Verwertung vorgezogen werden sollte. Dies ist sehr stark materialabhängig. Während zum Beispiel für PET die stoffliche Verwertung einen ökonomisch und ökologisch sinnvollen Weg darstellt - dies gilt auch für andere sortenreine Kunststofffraktionen - ist bei Mischkunststoffen die energetische Verwertung auch unter Kostenaspekten vorteilhaft. Vor diesem Hintergrund ist zu überlegen, die stofflichen Verwertungsquoten der Verpackungsverordnung an die der EU-Verpackungsrichtlinie anzupassen und damit die energetische Verwertung von Kunststoffen in größerem Umfang als bisher zu ermöglichen.

Es ist zu berücksichtigen, dass bei der Nutzung von Wärme und Strom mit hohen Wirkungsgraden in Müllverbrennungsanlagen und Zementwerken eine Substitution anderer Energieträger erfolgt, so dass unter diesem Aspekt entsprechende Verwertungsanteile anzurechnen wären. Hierdurch können Vorteile im Bereich der Kosten und CO₂-Einsparung generiert werden.

Vor dem Hintergrund der Klimadiskussion liegt es nahe, die bei der stofflichen oder energetischen Nutzung biogener Abfälle substituierten CO₂-Emission fossiler Energieträger auch monetär in Ansatz zu bringen. Ist ein Markt für kompostierte Bioabfälle vorhanden, bietet der Komposteinsatz ökobilanzielle Vorteile.

Kostenverteilung zwischen öffentlich-rechtlichen und dualen Systemen

Zu beachten ist, dass im Falle einer gemeinsamen Wertstofffassung, die Kosten für Sammlung, Transport und Sortierung der Verpackungen zusammen mit dem insgesamt behandelten Abfallstrom anfallen und daher durch die Lizenzgeber direkt oder indirekt abzudecken sind. Dies kann z.B. dadurch erfolgen, dass entweder haushaltsbezogene Pauschalbeträge entsprechend den in einer Gebietseinheit verkauften Verpackungen übernommen werden oder die Erlöse der an die Verwerter abgegebenen Wertstoffe die Aufwendungen für Sammlung, Transport und Sortierung abdecken können. In diesem Fall ist eine Abnahmepflicht der Garantiegeber für in den Gebietskörperschaften anfallende lizenzierte Mengen unter Berücksichtigung der entsprechenden Verwertungsquoten erforderlich.

Kosteneinsparpotenziale sind besonders im Bereich der Logistiko Optimierung und der Verwertungsansätze mittelfristig zu erkennen. Langfristig werden die Kosteneinsparpotenziale besonders durch die Kostensituation der Restabfallbehandlung maßgeblich beeinflusst. Bei einer Veränderung der Sammel- und Verwertungslogistik können unter den vorgegebenen Randbedingungen landesweit Einsparpotenziale von ca. bis zu 6,- – 10,- €/Einwohner/Jahr erzielt werden. Die Einsparungen sind u.a. abhängig von den jeweils angestrebten Abschöpfungsquoten und der Vermarktungssituation für Wertstoffe. Bezogen auf die Ebene der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger schließt dies nicht aus, dass mittelfristig aufgrund anderer vertraglicher Randbedingung auch höhere Einsparungen grundsätzlich möglich sein können.

Vereinfachungen für die Haushalte

Durch die gemeinsame Erfassung mehrerer Fraktionen kann eine organisatorische Entlastung im Haushalt erreicht werden. Es ist jedoch zu beachten, dass sowohl vor dem Hintergrund der gesetzlich in der EU und in Deutschland formulierten Produktverantwortung als auch dem Verwertungsgedanken nicht an eine komplette Aufgabe der getrennten Erfassung zu denken ist. Bei dem hohen Standard der Restabfallentsorgung in Deutschland würde dies auch nicht zu einer Kosteneinsparung führen.

Im Hinblick auf die Akzeptanz von Maßnahmen zur gemeinsamen Erfassung von Wertstoffen sind Unterschiede zwischen der Einführung einer trockenen Wertstofftonne und einer "Gelb-in-Grau-Variante" (GiG) zu erwarten. Eine GiG-Variante bringt größere Umstellungen – auch im Hinblick auf pädagogische Effekte – mit sich als ein System zur Erfassung trockener Wertstoffe, das in unterschiedlichem Ausmaß bereits praktiziert wird. Die Auswirkungen auf das Verhalten der Haushalte und die damit verknüpften Effekte bei der übrigen Wertstofffassung kann ohne Feldversuche nur unvollkommen beurteilt werden.

Schlussfolgerungen für abfallwirtschaftliche Konzeptionen

Ein allgemeingültiges Konzept für alle Landkreise und Regionen kann auf Basis der vorliegenden Ergebnisse nicht formuliert werden. Es ist im Hinblick auf die zukünftige Struktur der Sammlung und Verwertung ein Konzept erforderlich, das an die jeweiligen Randbedingungen der öffentlichen Entsorgungsträger angepasst ist. Die Frage, ob eher Bringsysteme, getrennte Holsammelsysteme, eine gemischte Wertstoffsammlung oder die gemeinsame Erfassung von Leichtverpackungen mit dem Restabfall anzustreben sind, ist daher nur durch die genaue Kenntnis der jeweiligen örtlichen Randbedingungen gegeben. Besonders die ortsspezifischen Sammelkosten und die Restabfallbehandlungskosten und die damit verbundenen vertraglichen Randbedingungen hinsichtlich der zur Verfügung gestellten Kapazitäten und Mehr- und Minderpreise beeinflussen in erheblichem Umfang die Ergebnisse. Optimale Entsorgungssysteme für die Zukunft erfordern daher weiterhin eine lokale Einzelfallbetrachtung.

Die Entscheidung über neue Systeme ist auch von den jeweiligen Zielsetzungen geprägt wie

- Minimierung der Kosten,
- Maximierung abgeschöpfter Wertstoffmengen,
- Reduktion von klimarelevantem Kohlenstoffdioxid,
- Aufwand bei den Bürgerinnen und Bürgern,
- Akzeptanz,
- Integrationsfähigkeit.

Auch diese sind unter lokalen Aspekten zu gewichten.

Ausblick

Vor dem Hintergrund des im Jahr 1999 durch das Bundesumweltministerium formulierten abfallwirtschaftlichen Zieles 2020 soll die Beseitigung der Abfälle besonders durch Deponierung gegen Null gefahren werden und damit alle Siedlungsabfälle in Deutschland vollständig und umweltverträglich verwertet werden. Wesentliche Maßnahme zum Erreichen dieser Ziele ist die verstärkte quantitative und qualitative Vermeidung der Menge und Schädlichkeit der zu behandelnden Abfälle, was besonders durch den Bereich der Produktion zu gewährleisten ist. Das Instrument der Produktverantwortung ist vor diesem Hintergrund daher weiter zu entwickeln. Hierdurch können auch das Schließen von Stoffkreisläufen und die Einführung neuer Recycling-Technologien gefördert werden.

Zum Erreichen dieses Zieles muss darüber hinaus die Abfallverwertung weiter ausgebaut werden. Zu bevorzugen ist besonders die Wiederverwendung und die stoffliche Verwertung der oben genannten Stoffe. Der Ausbau der energetischen Verwertung nicht stofflich verwertbarer Produkte ist daher zu forcieren. Dies bedeutet auch, dass

Behandlungstechniken so weiterentwickelt werden, dass möglichst vollständig und hochwertig verwertbare Abfälle oder Stoffe resultieren. Die Maßnahmen der Abfallwirtschaft in der Zukunft werden in Deutschland, unter der Beibehaltung eines hohen Standards an Umweltverträglichkeit, zunehmend an ökonomische Kriterien geknüpft sein.

Übergeordnet betrachtet, wird die Abfallwirtschaft der Zukunft durch zwei wesentliche Trends bestimmt werden. Es ist abzusehen, dass durch den wirtschaftlichen Aufschwung sich entwickelnder Staaten (z.B. in Asien) eine zunehmende Verknappung an Ressourcen (Stoffe und Energie) bestehen wird. Daher kommt der Abfallwirtschaft in der Zukunft eine wesentliche Bedeutung als Maßnahme des Ressourcenschutzes zu. Ein weiterer wesentlicher Aspekt ist die Klimaveränderung. Auch hier kann die Abfallwirtschaft durch Vermeidung klimarelevanter Gase bei der Behandlung und Beseitigung, bei gleichzeitiger Nutzung der in den Abfällen enthaltenen Energie einschließlich der regenerativen Anteile, einen Beitrag leisten. Langfristige abfallwirtschaftliche Maßnahmen werden sich daran zu messen haben, inwieweit sie diese beiden Ziele abdecken können.

9 Quellenverzeichnis

- Anonym (2004/2005): Angaben der am Projekt beteiligten Landkreise
- Beigl, P., (2001): „Vergleich der Umweltauswirkungen und der Kosten von kommunalen Entsorgungssystemen unter besonderer Berücksichtigung der Transporte bei der Abfallentsorgung“, Diplomarbeit Universität für Bodenkultur (Boku), Wien
- Christiani, J.; Griepentrog, U.; Weber, H. u.a. (2001): Grundlagen für eine ökologisch und ökonomisch sinnvolle Verwertung von Verkaufsverpackungen, HTP und IFEU im Auftrag des Umweltbundesamtes, UFOPLAN, Forschungsbericht 29833719
- Escalante, N. (2005): „Life Cycle Assessment of Household Waste Management Strategies“, Masterarbeit an der Universität Stuttgart
- INFA (2004): Analyse und Bewertung von Erfassungssystemen für Haushaltsabfälle in NRW aus ökonomischer und ökologischer Sicht, Untersuchung im Auftrag des MUNLV Nordrhein-Westfalen, Untersuchungsbericht
- Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft der Universität Stuttgart, (2004/2005): Abfallwirtschaftliche Datenbank des Lehrstuhls für Abfallwirtschaft und Abluft
- Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft der Universität Stuttgart, (2005): Workshop „Zukunft der Getrennten Sammlung“ am 26.01.2005, Tagungsband
- MUNLV, Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (2005): Ökologische und ökonomische Bewertung von Sammelsystemen für Haushaltsabfälle in Nordrhein-Westfalen. Studie bearbeitet von INFA, IFEU, ISA, Düsseldorf
- Reschede, A; Scheffold, K.; Beutel, D. u.a., (2003): Transportleistungen und Autobahnmaut für Abfälle aus Haushaltungen, Dokumentation und Forschungsbericht EdDE-Dokumentation 7, Köln
- Software „Umberto“, ifu Hamburg GmbH
- Verbücheln, M.; Hansen, W.; Neubauer, A. et al, (2005): „Strategie für die Zukunft der Siedlungsabfallentsorgung (Ziel 2020)“, FuE-Vorhaben 20132324 im Rahmen des UFOPLAN 2003 (ecologic, Berlin)
- VKS-Pilotprojekt Kennzahlenvergleich (1997): Betrieblicher Kennzahlenvergleich für kommunale Abfallwirtschafts- und Stadtreinigungsbetriebe, VKS Information 59
- Widmann, R.; Schubert, J; Rohde, C. u.a., (2003): Beurteilung der Bioabfallverwertung mit Hilfe der CO₂-Äquivalenz unter Einbeziehung weiterer Dünger, EdDE-Dokumentation 6, Köln