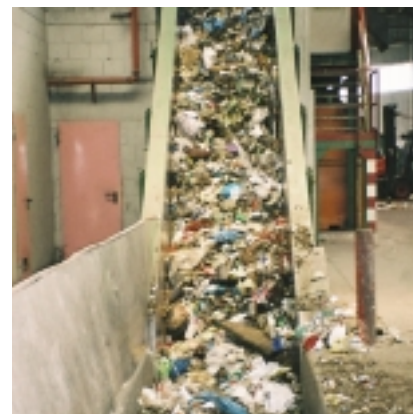
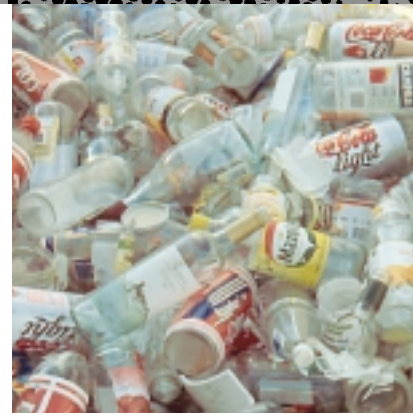


Martin Kranert
Klaus Fischer
Gerold Hafner
Nicolás Escalante Mora

Neue Ansätze zur Umgestaltung der Hausmüllentsorgung





Die Hausmüllentsorgung soll in der Zukunft einfacher und kostengünstiger werden. Die bestehenden hohen Umweltstandards sollen beibehalten, die Nutzung von Wertstoffen optimiert werden. Am Lehrstuhl für Abfallwirtschaft und Abluft des Instituts für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft wurde im Jahr 2006 ein Forschungsprojekt abgeschlossen, in dem neue konzeptionelle Ansätze für Baden-Württemberg untersucht wurden. Ziel des Forschungsprojektes war die Erarbeitung von Empfehlungen für eine nachhaltige Abfallwirtschaft. Hierbei sollten einerseits die bestehenden Umweltstandards aufrecht erhalten und andererseits eine Vereinfachung der Abfallwirtschaft insbesondere für die Haushalte erreicht werden.

Das Forschungsprojekt stützt sich auf Daten zu den abfallwirtschaftlichen Systemen in zehn ausgewählten Landkreisen in Baden-Württemberg. Neben dem jeweiligen Ist-Zustand wurden typische Abfallentsorgungskonzepte, wie sie heute üblicherweise in den Regionen Baden-Württembergs vorhanden sind, als Varianten in eine Szenarienbetrachtung einbezogen. Darüber hinaus wurden weitere Varianten betrachtet, darunter die derzeit in der Fachwelt diskutierten alternativen Erfassungssysteme, wie zum Beispiel GiG-Konzepte (GiG: Gelb in Grau, Leichtverpackungen im Restmüll) 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 zum Teil überflüssig machen könnten.

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

Martin Kranert / Klaus Fischer / Gerold Hafner ■
Nicolás Escalante Mora ■
Neue Ansätze zur Umgestaltung der Hausmüllentsorgung ■

Wertstoffe und Sammelsysteme

Die Wertstoffe wurden auch im Hinblick auf den besten Verwertungsweg untersucht: Bioabfall, Kunststoffe und Verbunde, Papier, Glas und Metalle. Für die Erfassung der Wertstoffe stehen unterschiedliche Systeme zur Wahl. Verpackungen können nicht nur separat – zum Beispiel über den gelben Sack –, sondern auch gemeinsam mit dem Restabfall gesammelt werden (GiG-Systeme), um sie anschließend in einer Sortieranlage zu trennen. Alternativ ist die Einführung einer trockenen Wertstofftonne denkbar. Für das Aussortieren der einzelnen Wertstoffe stehen heute Maschinen und Anlagen zur Verfügung, die eine getrennte Sammlung der einzelnen Materialgruppen zum Teil überflüssig macht. Werden mehrere Stoffgruppen gemeinsam erfasst, bedeutet dies auch für den Bürger eine Vereinfachung, da der Aufwand für die getrennte Erfassung reduziert wird. Um einen Eindruck zu der Vielzahl der relevanten Wertstofffraktionen zu vermitteln, sind nachfolgend einige Bilder beigefügt. In Abbildung 1 sehen wir eine Auswahl händisch sortierter Leichtverpackungsmaterialien, Abbildung 2 zeigt exemplarisch für die getrennte Sammlung der Dualen Systeme den gelben Sack (DSD9 zur Erfassung von Leichtverpackungen/LVP). In den Abbildungen 3 und 4 werden weitere, separat erfasste Wertstoffe gezeigt: Weißglas und Tetra Pak, gesammelt über Depotcontainer.



Abb. 1



Abb. 2



Abb. 3

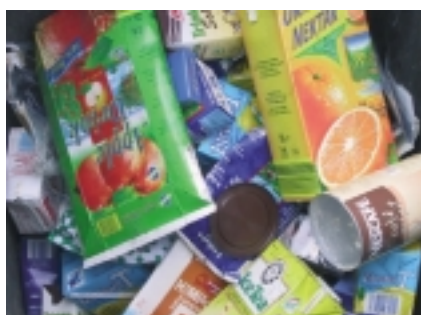


Abb. 4

Aktuelle Untersuchung zum Thema Erfassung von Leichtverpackungen: gemeinsam in der Restmülltonne oder der Altpapiertonne?

Derzeit werden Leichtverpackungen (aus Metall, Kunststoff oder Verbunden) mit dem Grünen Punkt im „Gelben Sack“ oder der „Gelben Tonne“ getrennt gesammelt und danach aufbereitet und verwertet. In einer Voruntersuchung sollte der Lehrstuhl für Abfallwirtschaft feststellen, ob eine Erfassung von Leichtverpackungen in der Restmülltonne oder in der Altpapiertonne möglich wäre. Dazu wurden im ersten Versuch Verpackungen mit Restmüll und im zweiten Versuch Verpackungen mit Altpapier gemischt und dann in einer Sortieranlage (Karlsruhe) aussortiert. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Förderbänder einer Sortieranlage (Abb. 5), das Materialge-

misch vor der Sortierung (Abb. 6) und beispielhaft eine aussortierte Fraktion (Abb. 7, Kunststoffflaschen). Abbildung 8 zeigt aussortierte Wertstoffe, die für die Lagerung und den Weitertransport zu Ballen gepresst wurden.

Im Rahmen der Studie wurden die technische Machbarkeit sowie die Qualität und Zusammensetzung der aussortierten Wertstoffe untersucht. Abschließend wird eine Kostenbetrachtung durchgeführt, um zu beurteilen, welche Varianten zukünftig ökonomisch sinnvoll sind.

Methodische Vorgehensweise

Datenbasis und Parameter

Das Forschungsprojekt basiert unter anderem auf regionalen Daten zu den abfallwirtschaftlichen Systemen in zehn ausgewählten Landkreisen in Baden-Württemberg:

- Landkreis Böblingen
- Enzkreis
- Hohenlohekreis



Abb. 5: Sortieranlage (Augsburg) zur Abtrennung von Leichtverpackungen.



Abb. 6: Mix aus Hausmüll und Verpackungen, Materialaufgabe Sortieranlage (Karlsruhe).

- Landkreis Lörrach
- Landkreis Ludwigsburg
- Neckar-Odenwald-Kreis
- Ortenaukreis
- Schwarzwald-Baar-Kreis
- Landkreis Sigmaringen
- Zollernalbkreis.

Die Daten wurden von den Landkreisen und Abfallwirtschaftsbetrieben zur Verfügung gestellt. 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 (zum Beispiel Kosten für das Kunststoffrecycling). Diese wurden auf Basis eigener Untersuchungen sowie Literaturstudien und Recherchen bei Akteuren der Entsorgungslogistik, Verwertung und Abfallbeseitigung erarbeitet. Im Rahmen eines Workshops mit dem Thema „Zukunft der getrennten Sammlung“ im Januar 2005 in Stuttgart wurden alle wesentlichen derzeit in Deutschland sowie im benachbarten Vorarlberg (Österreich) realisierten aktuellen Versuche und Untersuchungen zum Thema der 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.

Auf Grundlage der landkreisspezifischen Daten wurden – unter Einbeziehung der abfallwirtschaftlichen Datenbank der Universität Stuttgart und zusätzlicher Quellen – die Massenströme der unterschiedlichen abfallwirtschaftlichen Systeme berechnet. Jedem abfallwirtschaftlichen Verfahrensschritt wurden in Abhängigkeit der landkreisspezifischen Randbedingungen die spezifischen Kosten von der Sammlung über die Behandlung bis hin zu nachgelagerten Verfahrensschritten zugeordnet. Hierbei wurden jeweils die Gesamtkosten des abfallwirtschaftlichen Systems ermittelt. Dies umfasst auch Systemkosten, die nicht bei den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern angesiedelt sind, sondern über Lizenzgebühren (Verpackungen) abgedeckt sind. Außerdem wurden jedem abfallwirtschaftlichen Verfahrensschritt, in Abhängigkeit von den landkreisspezifischen Randbedingungen, auch die spezifischen klimarelevanten Emissionen – ausgedrückt in Kohlenstoffdioxidäquivalenten – zugeordnet. Alle oben genannten Verfahrensmethoden innerhalb der einzelnen Varianten wurden berücksichtigt. Hinzu kommen die relevanten Schritte, die die Energie- und Rohstoffsubstitution betreffen (beispielsweise Stromerzeugung, Rohstoffverarbeitung etc.). Für die Verifizierung und Ergänzung der Umweltrelevanz der mit dem Berechnungsmodell erzielten Ergebnisse wurde zusätzlich eine LCA-Untersuchung (LCA: Life Cycle Analysis) durchgeführt.

(zum Beispiel die weitgehende energetische Verwertung von LVP).

Szenario 1:
Getrennte Erfassung von Restabfall, Bioabfall und Wertstoffen, Restabfallbehandlung in einer Müllverbrennungsanlage (MVA), Mechanisch-Biologischen (MBA), Mechanisch-Biologischen Stabilisierungsanlage (MBS), Bioabfallvergärung, stoffliche Verwertung von Wertstoffen (Ist-Zustand).

Szenario 2:
Gemeinsame Erfassung von Restabfall und LVP in der Restabfalltonne mit nachgeschalteter Sortierung und stofflicher Verwertung der LVP, Beibehaltung der übrigen Erfassungssysteme (wie Szenario 1).

Szenario 3:
Gemeinsame Erfassung von Restabfall und LVP in der Restabfalltonne mit nachgeschalteter Sortierung und energetischer Verwertung der LVP in einem Zementwerk, Beibehaltung der übrigen Erfassungssysteme (wie Szenario 1).

Szenario 4:
Gemeinsame Erfassung von Rest- und Bioabfall in der Restabfalltonne, Behandlung des Mix aus Restabfall und Bioabfall in einer MVA / MBA / MBS, Beibehaltung der übrigen Erfassungssysteme (wie Szenario 1).

Szenario 5:
Gemeinsame Erfassung von Restabfall und LVP in der Restabfalltonne, Behandlung des Mix aus Restabfall und LVP in einer MVA / MBA / MBS, Beibehaltung der übrigen Erfassungssysteme (wie Szenario 1).

Szenario 6:
Gemeinsame Erfassung von Restabfall, Bioabfall und LVP in der Restabfalltonne, Behandlung des Mix aus Restabfall, Bioabfall und LVP in einer MVA / MBA / MBS, Beibehaltung der übrigen Erfassungssysteme (wie Szenario 1).

Szenarien- und Variantenbetrachtung

Für die Landkreise wurden Szenarien und Varianten untersucht, die sich sowohl im Hinblick auf die Erfassung als auch die Verwertung von Stoffströmen unterscheiden. Im Hinblick auf die gemeinsame Erfassung sowie Behandlung und/oder Verwertung von Abfällen und Wertstoffen mit dem Restabfall wurden die nachstehend aufgeführten Szenarien untersucht. Hierbei sind auch bewusst solche beinhaltet, die mit der derzeitigen gesetzlichen Situation nicht im Einklang stehen



Abb. 7: Aussortierte Kunststoffflaschen.



Abb. 8: Aussortierte Leichtverpackungen, zu Ballen gepresst.

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

- RA-Tonne: Erfassung gemeinsam mit dem Restabfall
- gelber Sack: Erfassung von DSD-Material über den gelben Sack
- DC: Depotcontainer / Wertstoffzentren
- WS-Tonne: Trockene Wertstofftonne
- SoSa: Sondersammelsystem (zum Beispiel caritative Sammlung, Vereinssammlung).

Die sechs Szenarien werden verknüpft mit unterschiedlichen Systemen der Wertstofferrfassung:

- a) Wertstofferrfassung im Hol- / Bringsystem (Biotonne, Papiertonne, Depotcontainer, gelber Sack, Wertstoffzentren),
- b) Bringsystem (Biotonne, Depotcontainer, Wertstoffzentren),
- c) Holsystem (Biotonne, trockene Wertstofftonne für alle trockenen Wertstoffe außer Glas, Depotcontainer für Glas).

Durch Verknüpfung der sechs Szenarien mit den genannten Systemen der Wertstofferrfassung ergeben sich unter anderem die in Tabelle 1 gezeigten Varianten. Neben den hier gezeigten MVA-Varianten werden im Rahmen des Forschungsprojektes darüber hinaus auch weitere Systeme zur Restabfallbehandlung innerhalb des Variantenvergleichs untersucht, unter anderem Müllverbrennungsanlagen (MVA), mechanisch-biologische Restabfallbehandlungsanlagen (MBS) sowie Anlagen zur mechanisch-biologischen Stabilisierung von Restabfall (MBS).

Bei der Erfassung von Glas wurden hier ausschließlich Varianten betrachtet, bei denen die Sammlung über Depotcontainer erfolgt. Ein Teil der Papiermengen wird stets über Sondersammelsysteme (SoSa) erfasst. Darunter sind hier zum Beispiel Vereinssammlungen zu verstehen, die bei den Szenarienbetrachtungen beibehalten werden sollten.

Bei den Varianten V1 - V6 handelt es sich um Hol-/Bringsysteme, V7 - V12 repräsentieren überwiegend Bringsysteme (Depotcontainer beziehungsweise Wertstoffhöfe), zum Teil unter Beibehaltung der getrennten Bioabfallerrfassung. Varianten V13 - V18 betrachten Szenarien, bei denen die trockene Wertstofftonne eingeführt und die Sammlung von DSD-Material über den gelben Sack eingestellt wird, teilweise unter Beibehaltung der Biotonne.

Bei den Varianten V2, V8 und V14 werden die Leichtverpackungen (DSD) gemeinsam mit dem Restabfall erfasst. Dieser Mix aus Restabfall und LVP wird anschließend einer mechanischen Aufbereitung zugeführt. Die dabei abgetrennten Leichtverpackungen werden der stofflichen Verwertung zugeführt. Hierbei werden für die Modellregion die gleichen Abschöpfungsquoten wie bei der getrennten Erfassung über den gelben Sack in Ansatz gebracht.

Bei den Varianten V3, V9 und V15 werden die Leichtverpackungen (DSD) ebenfalls gemeinsam mit dem Restabfall erfasst und einer mechanischen Aufbereitung zugeführt. Die abgetrennten Leichtverpackungen (Abschöpfungsquote halb so groß wie bei der stofflichen Verwertung) werden in einem Zementwerk energetisch verwertet. Nicht abgeschöpftes Material wird gemeinsam mit dem Restabfall behandelt beziehungsweise energetisch genutzt, Substitutionseffekte fossiler Brennstoffe werden berücksichtigt.

Bei den Varianten V5, V6, V11, V12, V17 und V18 werden die Leichtverpackungen (DSD) gemeinsam mit dem Restabfall erfasst und behandelt, wobei die energetische Nutzung des Materials und die damit einhergehende Substitution fossiler Energieträger Berücksichtigung findet.

Die Varianten V4, V6, V10, V12, V16 sowie V18 betrachten Szenarien, bei denen die getrennte Bioabfallsammlung so

Varianten	Restabfall	Glas	Bioabfall		LVP (DSD)				sortengleiche NV				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
V1 (Ist)	X	X		X		X			X				X			X
V2	X	X		X		X (Sortierung, stoffl. Verw.)			X				X			X
V3	X	X		X		X (Sortierung, Zementw./MVA)			X				X			X
V4	X	X	X (MVA)				X				X		X			X
V5	X	X		X		X (MVA)			X				X			X
V6	X	X	X (MVA)			X (MVA)			X				X			X
V7	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./MVA)			X					X		X
V10	X	X	X (MVA)				X				X			X		X
V11	X	X		X		X (MVA)			X					X		X
V12	X	X	X (MVA)			X (MVA)			X					X		X
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./MVA)						X			X	X
V16	X	X	X (MVA)					X				X			X	X
V17	X	X		X		X (MVA)						X			X	X
V18	X	X	X (MVA)			X (MVA)						X			X	X

Tabelle 1: Auswahl von untersuchten Varianten für die Abfall- und Wertstofferrfassung in den Regionen.

wie die Verwertung in einer Vergärungsanlage eingestellt wird. Alternativ erfolgt die Erfassung und Behandlung gemeinsam mit dem Restabfall. Auch hier wird bei der Verbrennung in einer MVA beziehungsweise der energetischen Nutzung als Sekundärbrennstoff die Substitution fossiler Energieträger berücksichtigt und bei den MBA-Varianten die Biogasnutzung ebenso wie die energetische Verwertung von Sekundärbrennstoffen und Rohstoffsubstitution (MBA/MBS-Varianten).

Bewertungsparameter

Numerische Kriterien

- Mengenströme zur Verwertung und Beseitigung
- Kosten
- Klimarelevantes Kohlenstoffdioxid (als Kennwert für die Klimarelevanz)

Berücksichtigung fanden die relevanten Vorgänge innerhalb der Abfallbewirtschaftung:

- Sammlung
- Transport (gegebenenfalls einschließlich Umladung)
- gegebenenfalls Aufbereitung / Sortierung
- Behandlung beziehungsweise Verwertung
- Nachlauftransporte

Kennziffern für die Bewertung

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

- Stoffliche Abschöpfungsquote
- Mengenspezifische Kosten innerhalb der Regionen
- Spezifische Abschöpfungskosten von Wertstoffen (Gesamtkosten bezogen auf die abgeschöpften Wertstoffmengen)
- Kosten bezogen auf die in der Restabfallbehandlungsanlage behandelte Abfallmenge
- Kosten bezogen auf die Einsparung von klimarelevantem CO²
- Kosten bezogen auf die eingesparte Primärenergie

Nicht-numerische Kriterien

Es waren auch Kriterien zu berücksichtigen, die nicht anhand numerischer Parameter dargestellt werden können. Dies sind unter anderem die soziale Akzeptanz einer Maßnahme, pädagogische Effekte, Vereinfachungen und qualitative Verän-

derungen beim Umgang und Handling mit Abfällen und Wertstoffen sowie qualitative Bewertungen im Hinblick auf den Verbleib von Schadstoffen.

Ergebnisse der landkreisspezifischen Untersuchungen

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 in unterschiedlichen Kategorien zusammengefasst:

Landkreis Typ A

- Mischstruktur: städtisch und ländlich geprägte Regionen
- Restabfallentsorgung in einer Müllverbrennungsanlage
- Bioabfallfassung über die Biotonne

Landkreis Typ B

- Überwiegend ländliche Struktur
- Restabfallentsorgung in einer Müllverbrennungsanlage
- Keine getrennte Bioabfallfassung

Landkreis Typ C

- Mischstruktur: städtisch und ländlich geprägte Regionen
- Restabfallentsorgung in einer mechanisch-biologischen Anlage
- Getrennte Bioabfallfassung (nicht flächendeckend)

Landkreis Typ D

- Überwiegend ländliche Struktur
- Restabfallbehandlung in einer mechanisch-biologischen Anlage
- Keine getrennte Bioabfallfassung

Die Ergebnisse werden anhand des Landkreistyps A exemplarisch erläutert.

Ergebnisparameter

Abschöpfungsquote

Die Abschöpfungsquote gibt an, welche Mengen an Wertstoffen im Verhältnis zur gesamten Abfallmenge abgeschöpft werden. In Abbildung 9 werden diese in Form gewichteter Mittelwerte dargestellt. Die Varianten sind jeweils nach absteigenden Abschöpfungsquoten sortiert.

Im Hinblick auf die Abschöpfungsquote sind geringe Unterschiede zwischen

den einzelnen Landkreiskategorien festzustellen. Landkreisvarianten vom Typ C und D (mit MBA) weisen hierbei besonders bei Varianten mit gemeinsamer Erfassung von Wertstoffen und Restmüll höhere Abschöpfquoten auf.

Die höchsten Abschöpfungsquoten können über Holsysteme erzielt werden. V13 und V14 sind jeweils die günstigsten Varianten. Deutliche Auswirkungen hat die getrennte Erfassung von Bioabfall. Dies liegt begründet in den im Verhältnis zu den übrigen Wertstoffen relativ hohen Massenanteilen des Bioabfalls.

Einsparung von Primärenergie

Die Einsparung von Primärenergie gibt an, welche Mengen an primären Energieträgern – ausgedrückt in Megajoule (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 der nachfolgenden Abbildung für den Landkreistyp A 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 (Abb. 10).

Wechselwirkungen ■
 Jahrbuch 2006 ■

Je höher der Anteil der energetischen Verwertung von kohlenstoffhaltigem Material, desto größer die Einsparung an Primärenergie. Dies zeigt sich insbesondere bei den Bestvarianten ohne beziehungsweise mit eingeschränkter separater Bioabfallerfassung (V16). Bei den Landkreistypen A und B wird bei den günstigen Varianten (zum Beispiel 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 (beispielsweise V11, V9, V12) macht sich dieser Effekt weniger stark bemerkbar. Die Ist-Zustände der vier Landkreistypen liegen alle nahe dem Optimum.

energie 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 (beispielsweise V11, V9, V12) macht sich dieser Effekt weniger stark bemerkbar. Die Ist-Zustände der vier Landkreistypen liegen alle nahe dem Optimum.

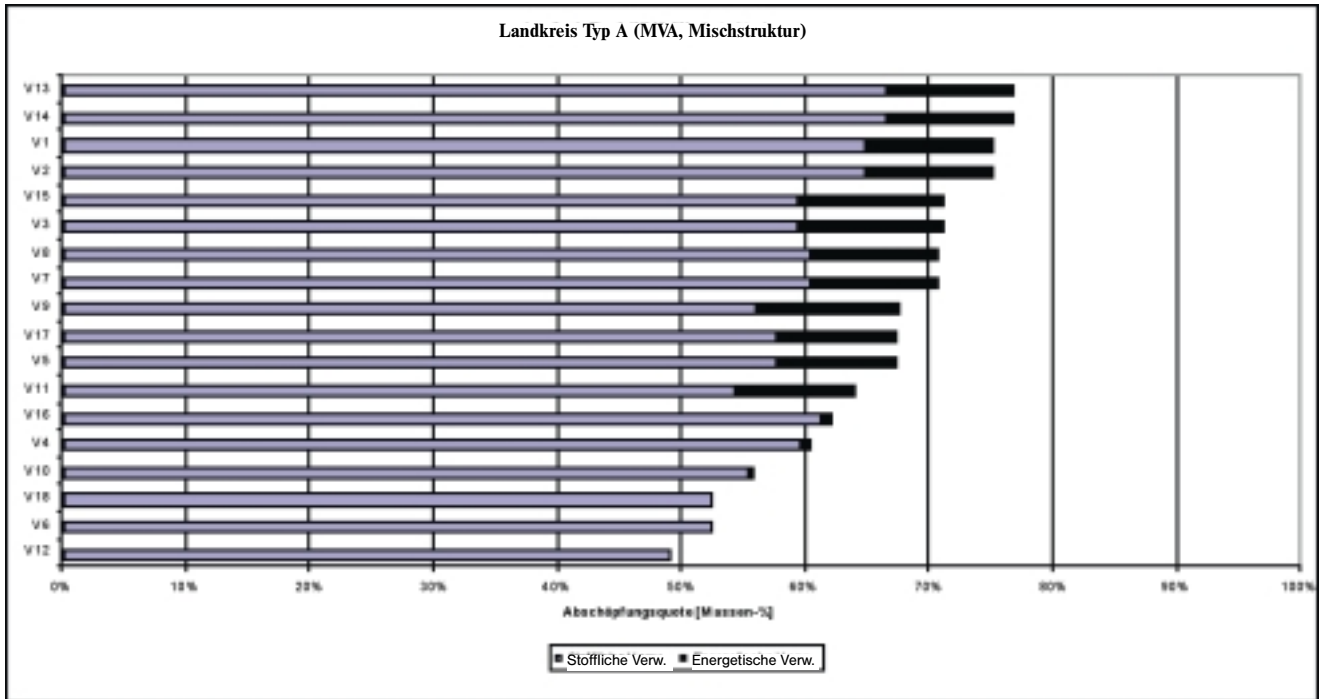


Abb. 9: Abschöpfungsquote [Massen-%], Landkreis Typ A (MVA, Mischstruktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen.

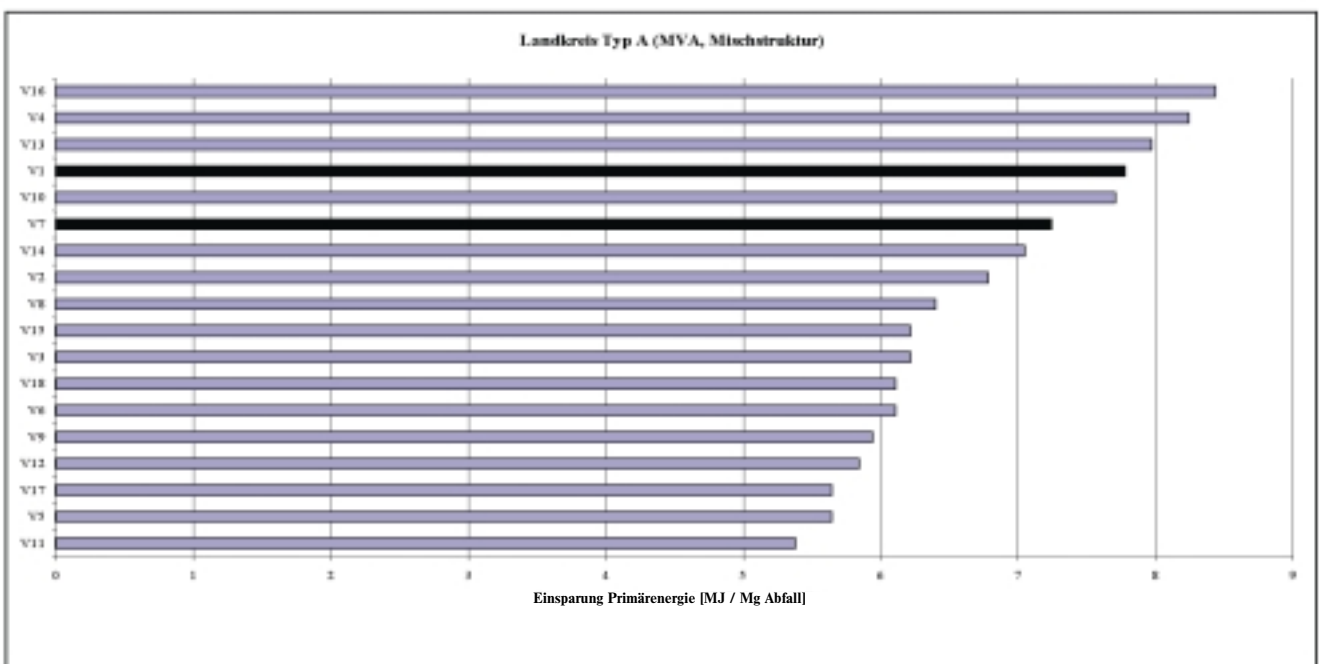


Abb. 10: Einsparung von Primärenergie [Megajoule (MJ) / Megagramm (Mg) Abfall], Landkreis Typ A (MVA, Mischstruktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen; Ist-Zustände als schwarze Balken dargestellt.

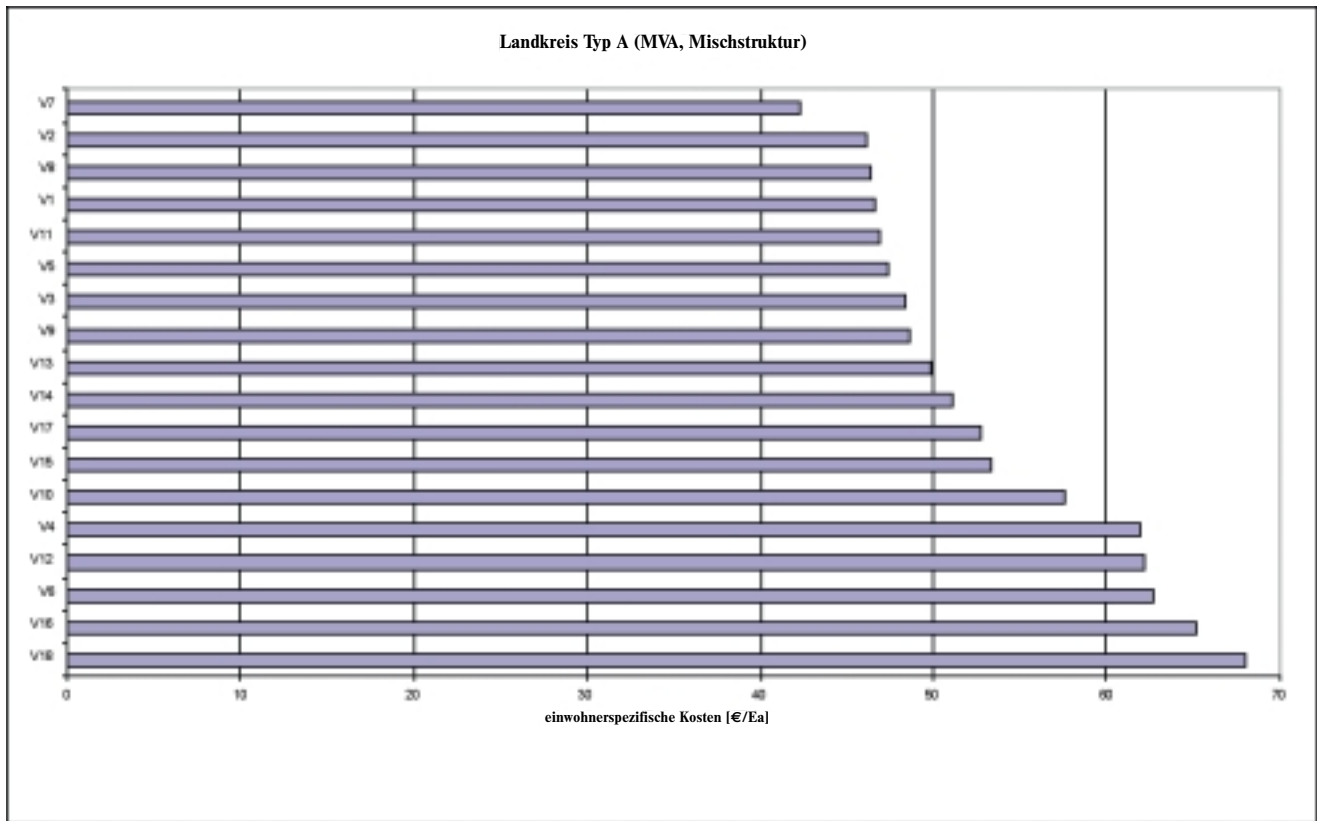


Abb. 11: Einwohnerspezifische Kosten [€/Ea], Landkreis Typ A (MVA, Mischstruktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen.

Einwohnerspezifische Kosten

Bei den Kostenvergleichen sind besonders die einwohnerspezifischen Kosten von Interesse. Hierdurch wird angegeben, welche Kosten für das gesamte System der Abfallentsorgung und Wertstoffnutzung je Einwohner entstehen. Dieser Wert ist unter anderem 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 (Abb. 11). Enthalten sind daher auch Kosten, die nicht über die vom öffentlich-rechtlichen Entsorger erhobenen Abfallgebühren handelt (zum Beispiel Lizenzgebühren für Leichtverpackungen). Die einwohnerspezifischen Kosten liegen im günstigsten Fall bei ca. 43 €/Einwohner pro Jahr (Ea) (Landkreis Typ A, V 7) und im ungünstigsten Fall bei ca. 68 €/Ea.

Bei allen Landkreistypen ist die V7 als Bringsystem für trockene Wertstoffe und separater Bioabfallerefassung die günstigste Variante. Dies hat seine Ursache in dem Umstand, dass Bringsysteme naturgemäß günstiger sind als Holsysteme, weil Teile der logistischen Leistung durch

den Bürger erbracht werden. Diese volkswirtschaftlich gegebenenfalls relevanten Kosten wurden im Rahmen des Forschungsprojektes 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 wurden. Abbildung 12 zeigt die Unterschiede der einwohnerspezifischen Kosten einer Variante (Variante 1) in unterschiedlichen Regionen. Abhängig von landkreisspezifischen Randbedingungen reicht die Spannweite von ca. 42 €/Ea bis ca. 63 €/Ea.

Spezifische Einsparung von klimarelevantem Kohlenstoffdioxid

Durch diesen Parameter wird angegeben, in welchem Umfang durch den Einsatz verschiedener Varianten klimarelevantes CO² eingespart werden kann. Das Referenzszenario, demgegenüber die Einsparung ermittelt wird, ist die Deponierung aller Abfälle und Wertstoffe ohne Vorbehandlung und Recycling (Abb. 13).

Die spezifische Einsparung von klimarelevantem Kohlenstoffdioxid bei den vier Landkreistypen bewegt sich bei den Bestvarianten im Bereich von ca. 280 bis 330 Kilogramm CO²/Megagramm (Mg) Abfall und bei ca. 130 bis 150 kg CO²/Mg Abfall bei den ungünstigeren Varianten.

Kenngößenbezogene Kosten

Die kenngößenbezogenen Kosten erlauben es, die Abschöpfung von Wertstoffen, Restabfallbehandlung und die Klimarelevanz der Varianten unter Kostenaspekten zu vergleichen. Damit wird die wirtschaftliche Effizienz der Varianten, bezogen auf die oben erwähnten Kriterien im Vergleich, deutlich.

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 oben genannten Referenzvariante gegenübergestellt. Wie bereits beschrieben, beinhaltet die Referenzvariante die Sammlung, den Transport und die Deponierung (ohne Vorbehandlung) aller Ab-

fälle und Wertstoffe auf einer geordneten Deponie mit einer Deponiegasnutzung. Die Mehr- beziehungsweise 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. Der hier betrachtete Parameter zeigt abhängig vom Landkreistyp (hier Beispiel Typ A) Kosteneinsparungen beziehungsweise zusätzliche Kosten je Megajoule 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 dar (Abb. 14). Alle Varianten beinhalten eine Einsparung von Primärenergie. Nach links zeigende Balken weisen gegenüber dem Deponieszenario Kosteneinsparungen auf.

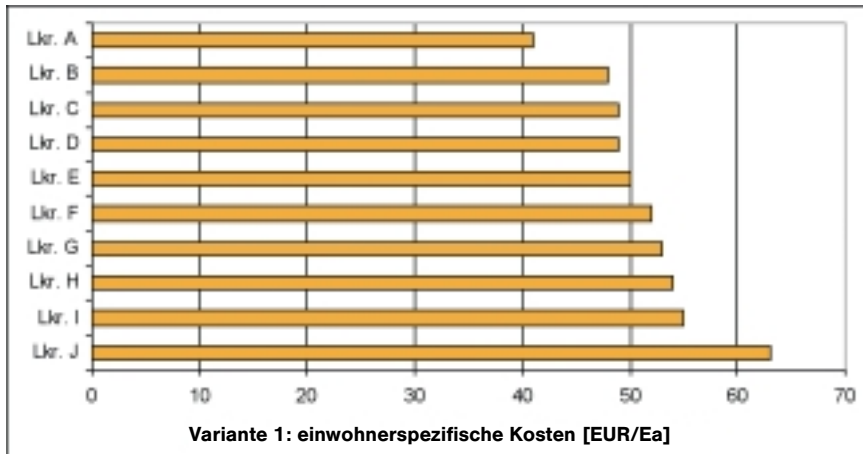


Abb. 12: Einwohnerspezifische Kosten in verschiedenen Landkreisen bei Ansatz gleicher Varianten.

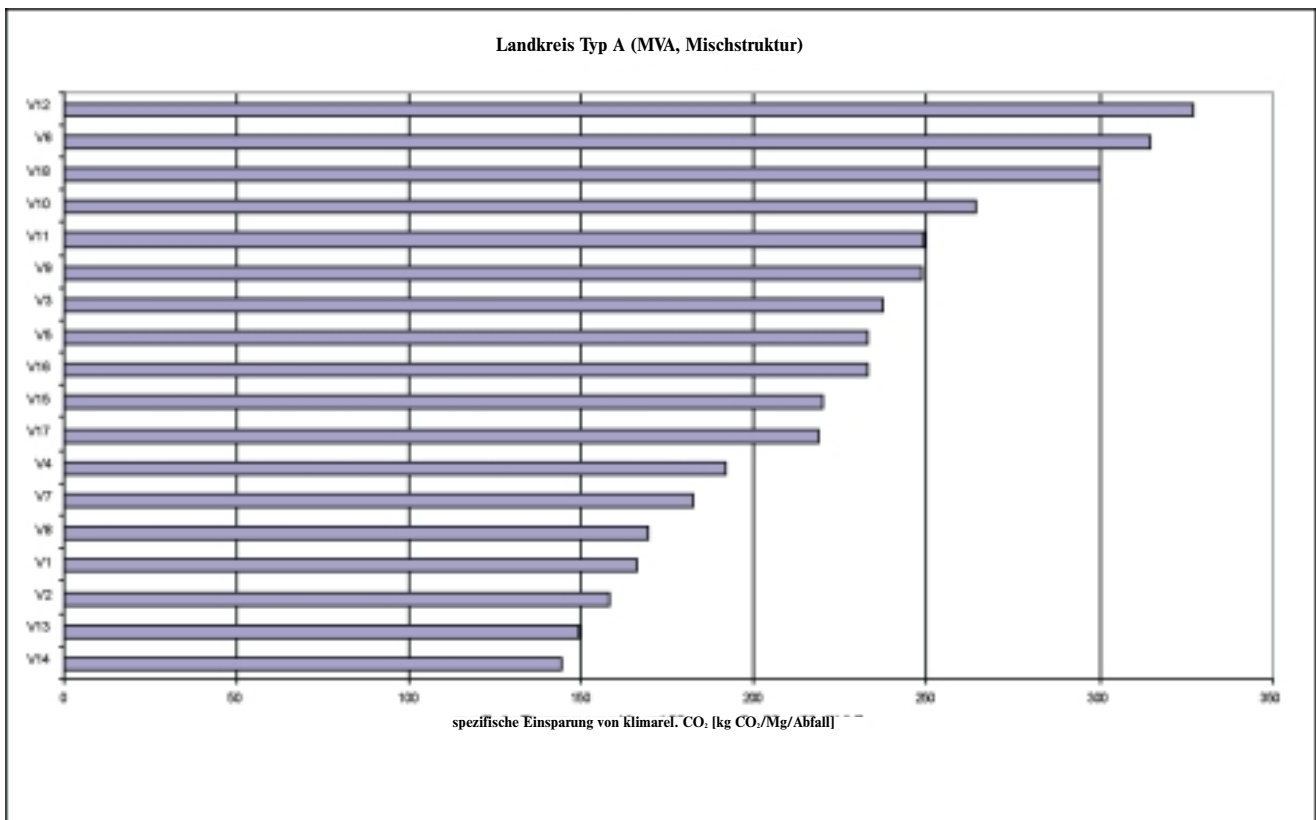


Abb. 13: Spezifische Einsparung von klimarelevanten CO₂-Äquivalenten, Landkreis Typ A (MVA, Mischstruktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen.

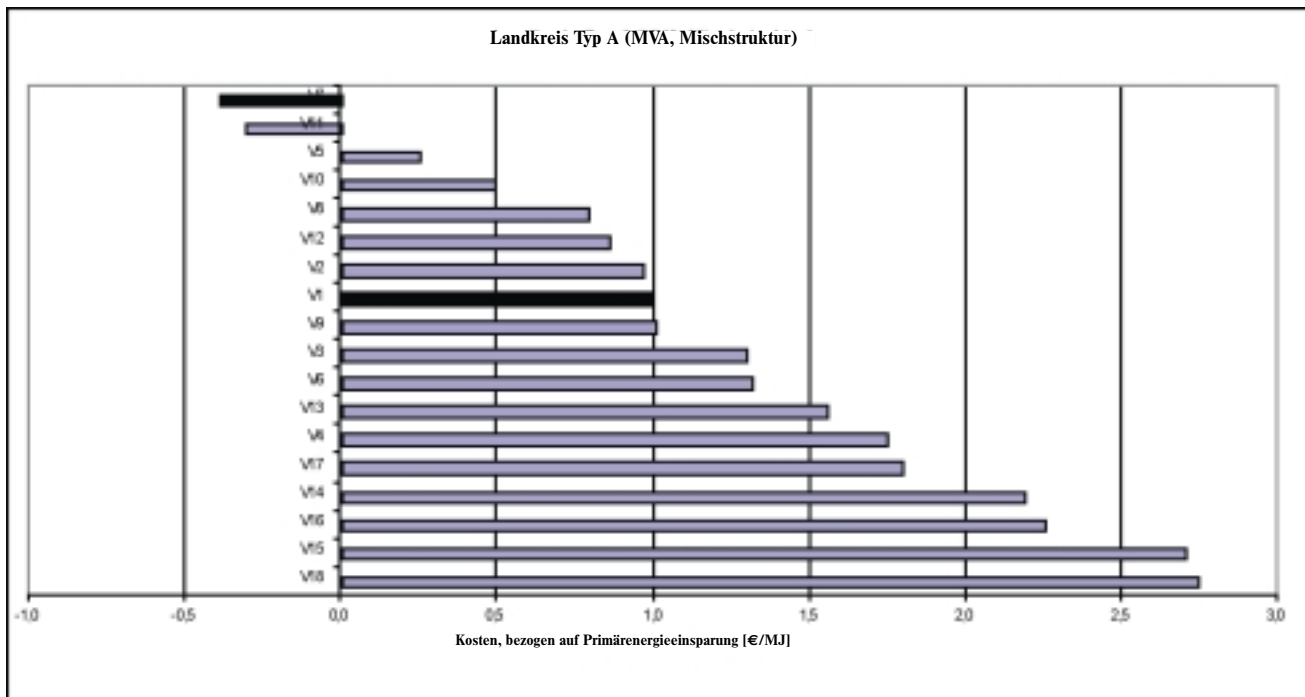


Abb. 14: Kosten, bezogen auf die eingesparte Primärenergie [€/MJ], Landkreis Typ A (MVA, Mischstruktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen; Ist-Zustände als schwarze Balken dargestellt.

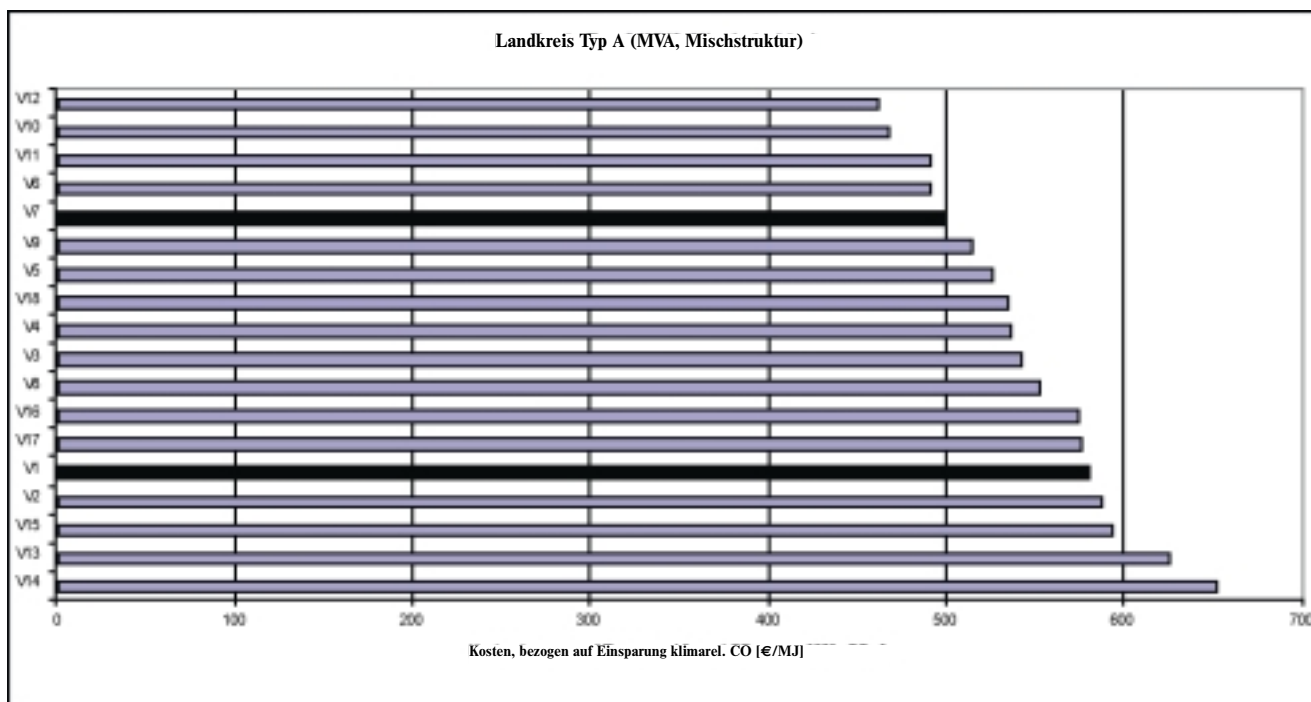


Abb. 15: Spezifische Kosten, bezogen auf die Einsparung von klimarelevantem CO₂ [€/Mg CO₂], Landkreis Typ A (MVA, Mischstruktur), gewichtete Mittelwerte aus den landkreisspezifischen Untersuchungen; Ist-Zustände als schwarze Balken dargestellt.

Spezifische Kosten bezogen auf die Einsparung von klimarelevanten Kohlenstoffdioxid-Äquivalenten

Die Gesamtkosten des jeweiligen abfallwirtschaftlichen Systems bezogen auf die innerhalb des Systems erzeugte Einsparung von klimarelevanten CO₂-Äquivalenten zeigt die Kosteneffizienz der Vari-

anten im Hinblick auf klimarelevante Emissionen. Sofern die Abfallwirtschaft unter anderem auch die Entlastung des Klimas zum Ziel hat, ist dieser Parameter geeignet für eine Bewertung. 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 bis 660 €/Mg CO₂. Im Landkreistyp B liegt die Spannweite um ca. 100 €/Mg CO₂ darüber (Abb. 15).

nannten Zusammenhänge im Hinblick auf die Sortiertechnik einher mit der Effizienz eines Gelb-in-Grau-Systems (GiG).

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

Wertstoffeffassung und Ressourceneffizienz

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 Bring-System – ist vorteilhaft.

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.

Mit optimierten Entsorgungssystemen können bis zu 300 Kilogramm Kohlenstoffdioxid pro Tonne Abfall eingespart werden. Erste Ergebnisse der Ökobilanzierung zeigen darüber hinaus, dass die auf die energetische Verwertung von biogenen Abfällen beschränkte finanzielle Förderung nach EEG vor dem Hintergrund der Klimadiskussion zu hinterfragen ist, da durch deren stoffliche Verwertung als Kompost und die hieraus resul-

tierenden Substitutionseffekte eine CO₂-Verringerung in zumindest gleicher Größenordnung erzielbar ist.

Die gemeinsame Erfassung von Verpackungen und stoffgleichen Nicht-Verpackungen mit dem Ziel der stofflichen und energetischen Verwertung weist im Hinblick auf hohe Abschöpfungsquoten Vorteile auf.

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

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 wahrzunehmen. Hierzu sind voraussichtlich Änderungen im Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz sowie 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 des Projekts 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 vor dem Hintergrund des stoffstromorientierten Ansatzes Berücksichtigung finden.

Bei optimierten Systemen kann hierbei ein Einsparpotential von ca. sechs bis zehn Euro pro Einwohner pro Jahr unter Einbeziehung der Kosten für die Verpackungen kalkuliert werden. Stoffstromtrennanlagen sind entsprechend flexibel auszugestalten, um auf Veränderungen der Marktlage (Absatzmärkte für Sekundärrohstoffe) reagieren zu können.

Lösungen sind bisher großtechnisch allerdings nicht erprobt, rechtliche Fragestellungen sind noch offen. Wesentliche Verbesserungen und Vereinfachun-

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die vergleichende Gegenüberstellung unterschiedlicher Varianten zur Erfassung von Abfällen und Wertstoffen zeigt, dass eine mögliche Entscheidung zugunsten einer der Varianten in einer Region von unterschiedlichen Parametern abhängt.

Je nach Zielsetzung kann eine Maximierung der abgeschöpften Wertstoffmengen angestrebt werden, was zum Beispiel für die Einführung einer trockenen Wertstofftonne spricht. Unter Klimaaspekten kann die Maximierung der Kohlendioxidreduktion von Relevanz sein und durch die energetische Nutzung von Wertstoffen erreicht werden. Sollen die einwohnerspezifischen Kosten minimiert werden, so kann die Etablierung von Bringsystemen für Wertstoffe sinnvoll sein, bei denen durch die Haushalte eine Vorsortierung erfolgt.

Durch den Bezug der Kosten auf Abschöpfung und CO₂-Reduktion kann die Kosteneffizienz der Varianten vergleichend beurteilt werden. Für den Einzelfall sind weitere regionsspezifische Konstellationen und Randbedingungen wie beispielsweise die anzustrebende Auslastung vorhandener Anlagen zu berücksichtigen.

Strukturelle Randbedingungen

Die Ergebnisse zeigen, dass die Art der Wertstoffeffassung von den strukturellen Randbedingungen sowie der Art und Kosten der Restabfallbehandlung des öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgers abhängig ist. Mit Blick auf die Bioabfallereffassung 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 ge-

gen sind demzufolge nur durch eine Änderung der Verpackungsverordnung zu erreichen. Auch sind die Ergebnisse von Großversuchen im Entsorgungsmaßstab abzuwarten. Durch Verfahrenstechniken wie beispielsweise das Trockenstabilisierverfahren 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 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 gegebenenfalls ausschließlich die marktfähigen Stoffgruppen abgetrennt werden sollten (für die stoffliche und energetische Verwertung). Im Hinblick auf die Vermarktungssituation von Stoffen (stofflich beziehungsweise energetisch) sollten Sortieranlagen entsprechend flexibel geplant werden, so dass bei Veränderung der Absatzmärkte für Sekundärrohstoffe eine Anpassung der Trenntechnik erfolgen kann.

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 Wertungsgedanken 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.

Schlussbetrachtung

Die Untersuchung der zehn am Projekt beteiligten Landkreise haben spezifische Eigenheiten der einzelnen Landkreise aufgezeigt. Ein allgemeingültiges Konzept für alle Landkreise und Regionen kann auf Basis der vorliegenden Ergebnisse nicht formuliert werden. Es wird empfohlen, stoffstromspezifischen Lösungsansätzen den Vorzug zu geben und Verpackungen und stoffgleiche Nichtverpackungen gemeinsam zu erfassen. Durch optimierte Systeme wurde ein Einsparpotential von sechs bis zehn Euro pro Einwohner pro Jahr errechnet. Durch die konsequente Umsetzung der dargestellten abfallwirtschaftlichen Maßnahmen sind bis zu 300 Kilogramm pro Einwohner pro Jahr an Kohlenstoffdioxidemissionen einzusparen. Im Hinblick auf die zukünftige Struktur der Sammlung und Verwertung ist ein Konzept erforderlich, das an die jeweiligen Randbedingungen der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger angepasst ist. Die Frage, ob eher Bringsysteme, getrennte Holsamelsysteme, 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.

Danksagung

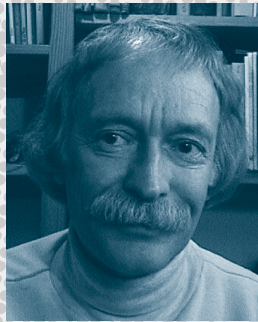
Dem Umweltministerium Baden-Württemberg soll an dieser Stelle herzlich für die Förderung des Forschungsvorhabens gedankt werden und der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg sei für die Zusammenarbeit unser Dank ausgesprochen. Den am Projekt beteiligten Landkreisen danken wir für die Bereitstellung der Daten und die gute Kooperation.



Prof. Dr.-Ing. Martin Kranert

ist seit dem 1. Oktober 2002 Inhaber des Lehrstuhls für Abfallwirtschaft und Abluft am Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft der Universität Stuttgart, seit April 2005 Geschäftsführender Direktor des Instituts. Bis 1984 war er wissenschaftlicher Mitarbeiter an diesem Institut und promovierte zum Thema der Freisetzung thermischer Energie bei Kompostierungsprozessen. 1984 übernahm er die Leitung der Ingenieursozietät Abfall in Augsburg und wechselte danach in die Zentrale nach Stuttgart, wo er die technische Geschäftsführung übernahm. 1993 folgte Martin Kranert dem Ruf an die Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel, wo er den Bereich Abfallwirtschaft aufbaute und das Institut für Abfalltechnik und Umweltüberwachung maßgeblich etablierte. Im Jahr 2000 übernahm er darüber hinaus die Geschäftsführende Leitung des Instituts für Verfahrensoptimierung und Entsorgungstechnik (IVE) der Niedersächsischen Technologieagentur GmbH, Hannover. Seine Forschungsschwerpunkte liegen im Bereich der kommunalen und betrieblichen Abfallwirtschaft, des

Abfallmanagements, der Technologien zur biologischen Abfallbehandlung bis hin zur Simulation abfallwirtschaftlicher Prozesse. Wesentliche Bedeutung gewinnen Arbeiten im Rahmen der internationalen Abfallwirtschaft; hierbei stehen Aspekte des Informationstransfers und einer nachhaltigen dezentralen Abfallwirtschaft im Ausland im Vordergrund. Er wirkte bei der Erarbeitung von zahlreichen abfallwirtschaftlichen Konzeptionen für öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger und Bundesländer und an der Planung und Realisierung von 12 Abfallentsorgungsanlagen in den letzten 20 Jahren mit. Prof. Kranert ist Autor von Veröffentlichungen zu abfallwirtschaftlichen Themen in verschiedenen nationalen und internationalen Fachbüchern und Fachzeitschriften und außerdem Mitglied in verschiedenen Institutionen und Fachvereinigungen.



Dr. Klaus Fischer

Jahrgang 1948, ist Leiter des Arbeitsbereichs Siedlungsabfall am Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft. Er ist Mitglied von diversen VDI-Arbeitsgruppen und weiteren Ingenieurtechnischen Organisationen. Seine Arbeitsschwerpunkte sind Biologische Verfahren der Abfallbehandlung, Recycling und Emissionen aus Abfallbehandlungsanlagen. Neben zahlreichen Vorlesungen in den Studiengängen Umweltschutztechnik, WASTE, WAREM und Infrastructure Planning an der Universität Stuttgart ist er am Aufbau eines Master-Studiengangs „Umwelttechnik“ an der Universidade Federal do Paraná in Curitiba in Brasilien beteiligt.



Gerold Hafner

Geboren 1968, studierte von 1987 bis 1992 Bauingenieurwesen an der Universität Stuttgart mit den Schwerpunkten Abfallwirtschaft, Geotechnik und Baubetriebslehre. Er war in unterschiedlichen Ingenieurbüros

tätig. Seine berufliche Erfahrung umfasst neben der wissenschaftlichen Forschungstätigkeit auch Planungs- und Beratungstätigkeiten unter anderem bei der Entwicklung von Abfallwirtschaftskonzepten, der Planung von Abfallbehandlungsanlagen und Deponien sowie der Sanierung kontaminierter Böden. 1999 erhielt Gerold Hafner den Förderpreis „Umweltgerechte Abfallwirtschaft“. Seit 2002 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter des Arbeitsbereichs Siedlungsabfall am Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft. In seiner Dissertation, an der er gerade arbeitet, untersucht er unter anderem Stoffströme in der Abfallwirtschaft, die mittels eigens entwickelten Computermodellen simuliert werden.



Nicolás Escalante Mora

hat sein Bachelorstudium des Bauingenieurwesens an der Universidad de Los Andes in Bogotá, Kolumbien, absolviert. Anschließend hat er das Masterstudium „Air Quality Control, Solid Waste, and Waste Water Process Engineering“ (WASTE) an der Universität Stuttgart abgeschlossen und sich dabei auf dem Gebiet Abfallwirtschaft spezialisiert. Im Rahmen des vom Umweltministerium Baden-Württemberg geförderten Projektes „Abfallentsorgung mit geringeren Lasten für Haushalte“ hat er seine Masterarbeit zum Thema „Life Cycle Assessment of Household Waste Management Strategies“ geschrieben. Inzwischen ist Nicolás Escalante Mora in seine Heimat zurückgekehrt.