

Neue Strategien zur Hausmüllentsorgung

1. Einleitung

Die getrennte Sammlung von Abfällen zur Verwertung hat sich in den letzten 20 Jahren in Deutschland als System der Abfallentsorgung etabliert und wird auch zunehmend im europäischen Raum weiter ausgebaut. Vor dem Hintergrund neuer Trenntechniken und der möglichen Entlastung von Haushalten wird diskutiert, inwieweit neue Wege gemeinsamer Erfassung von Abfällen und anschließender Verwertung realisierbar sind.

Im Hinblick auf zukünftige Strategien zur Hausmüllentsorgung sind Systeme zu untersuchen, die unter Beibehaltung gegenwärtiger Umweltstandards eine Entlastung für die Bürger sowie die öffentlich rechtlichen Entsorger bewirken. Hierbei werden sowohl kostenseitige Entlastungen als auch Vereinfachungen im Umgang mit Abfallströmen angestrebt.

Die gegenwärtige Praxis der getrennten Sammlung, die bei den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern schon heute unterschiedlich gehandhabt wird, ist auf den Prüfstand zu stellen, mit dem Ziel, die zentralen Anforderungen der Kreislaufwirtschaft zu erfüllen, eine weitgehende Verwertung sicher zu stellen und gleichzeitig die Haushalte zu entlasten. Es ist zu hinterfragen, unter welchen Randbedingungen der stofflichen Verwertung stets der Vorzug vor einer energetischen Nutzung zu geben ist

Dies ist Gegenstand eines Forschungsprojektes, das derzeit am Lehrstuhl für Abfallwirtschaft und Abluft an der Universität Stuttgart mit Förderung durch das Ministerium für Umwelt und Verkehr des Landes Baden-Württemberg bearbeitet wird.

Hierbei sind Fragestellungen wie z.B. die anzuwendenden Bewertungskriterien, die Integration in existierende Systeme und die Kompatibilität, die Umsetzung der Produktverantwortung, die gesellschaftlichen und politischen Hindernisse sowie die Umwelt- und Kostenrelevanz zu beantworten. Ein wesentliches Augenmerk ist darauf zu richten, die ökonomische und ökologische Effizienz der Entsorgungssysteme zu bewerten und hieraus neue Strategien abzuleiten.

2. Untersuchung von Abfallströmen, Kosten sowie die Freisetzung von klimarelevantem Kohlendioxid am Beispiel einer Modellregion für unterschiedliche Szenarien

Modellregion

Im folgenden wird anhand einer Modellregion vorgestellt, wie verschiedene Varianten zur Abfallentsorgung durch ausgewählte ökologische und ökonomische Kriterien zu bewerten sind.

Als Ausgangssituation wird von den folgenden Voraussetzungen ausgegangen:

- getrennte Erfassung von Restabfall: Restabfalltonne; Abfallverbrennung
- getrennte Erfassung von Bioabfall: Biotonne; Bioabfallkompostierung
- getrennte Erfassung von Altpapier: PPK-Tonne; Sortierung + Recycling
- getrennte Erfassung von Wertstoffen: gelber Sack, Depotcontainer für Glas, Wertstoffzentren; Sortierung + Verwertung

Für die Kosten bei der Restabfallverbrennung in einer Abfallverbrennungsanlage wird hier ein mengenabhängiger Ansatz gewählt. Es wird von einem energetischen Wirkungsgrad von ca. 33% (Energieüberschuss in Form von Strom, Fernwärme und Prozessdampf) ausgegangen.

Erfassungssysteme - Varianten

Im Hinblick auf die gemeinsame Erfassung sowie Behandlung und/oder Verwertung von Abfällen und Wertstoffen mit dem Restabfall werden die nachstehend aufgeführten Szenarien untersucht. Hierbei sind auch bewusst Szenarien beinhaltet, die mit der derzeitigen gesetzlichen Situation nicht im Einklang stehen (z.B. die energetische Verwertung von LVP).

- Szenario 1: getrennte Erfassung von Restabfall, Bioabfall und Wertstoffen, Restabfallverbrennung, 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 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 1.)
- Szenario 4: gemeinsame Erfassung von Rest- und Bioabfall in der Restabfalltonne, Verbrennung des Mix aus Restabfall und Bioabfall in einer MVA, Beibehaltung der übrigen Erfassungssysteme (wie 1.)
- Szenario 5: gemeinsame Erfassung von Restabfall und LVP in der Restabfalltonne, Verbrennung des Mix aus Restabfall und LVP in einer MVA, Beibehaltung der übrigen Erfassungssysteme (wie 1.)
- Szenario 6: gemeinsame Erfassung von Restabfall, Bioabfall und LVP in der Restabfalltonne, Verbrennung des Mix aus Restabfall, Bioabfall und LVP in einer MVA, Beibehaltung der übrigen Erfassungssysteme (wie 1.)

Die sechs Szenarien werden verknüpft mit unterschiedlichen Systemen der Wertstofferrfassung:

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

Durch Verknüpfung der sechs Szenarien mit den genannten Systemen der Wertstofferrfassung werden die Tabelle 1 gezeigten Varianten näher untersucht.

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

- RA-Tonne: Erfassung gemeinsam mit dem Restabfall
- gelber Sack: Erfassung von DSD-Material
- DC: Depotcontainer / Wertstoffzentren
- WS-Tonne: trockene Wertstofftonne

- SoSa: Sondersammelsystem (z.B. caritative Sammlung, Vereinssammlung)

Tabelle 1: Auswahl von Varianten der Abfallerfassung in der Modellregion

Varianten	Rest- abfall	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	
Hol- / Bringsystem	V1 (1st)	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
Bringsystem (Depotcont.), z.T. Biotonne	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	
Holsystem (trockene Wertstoff-tonne), 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./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	

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

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 DSD-Material über den gelben Sack eingestellt wird, z.T. 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 werden in einem Zementwerk energetisch verwertet. Nicht abgeschöpftes Material wird gemeinsam mit dem Restabfall in der MVA behandelt bzw. 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 in der MVA 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 sowie 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 die Substitution fossiler Energieträger berücksichtigt.

Im Rahmen der hier auszugsweise gezeigten Untersuchung einiger hypothetischer Szenarien am Beispiel einer Modellregion, werden im weiteren die folgenden Varianten untersucht und einander vergleichend gegenübergestellt: V1 - V7, V10, V13 sowie V16.

Numerische Kriterien

Für die Szenarien werden hier die folgenden numerischen Parameter betrachtet:

- Mengen
- Kosten
- Klimarelevantes Kohlendioxid

Berücksichtigung finden die relevanten Vorgänge innerhalb der Abfallbewirtschaftung:

- Sammlung
- Transport
- ggf. Aufbereitung / Sortierung
- Behandlung bzw. Verwertung
- Nachlauftransporte

Kennziffern für die Bewertung

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

- stoffliche Abschöpfungsquote
- mengenspezifische Einsparung von CO₂
- einwohnerspezifische Kosten innerhalb der Modellregion
- spezifische Abschöpfungskosten von Wertstoffen
- Kosten bezogen auf die in der MVA behandelte Abfallmenge
- 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 und Handling mit Abfällen und Wertstoffen, Bewertungen im Hinblick auf den Verbleib von Schadstoffen.

Abschöpfungsquote

Die Abschöpfungsquote gibt an, welche Mengen an Wertstoffen im Verhältnis zur gesamten Abfallmenge abgeschöpft werden. In Abbildung 1 wird dieser Kennwert für die o.g. Varianten dargestellt, die Varianten sind nach absteigenden Abschöpfungsquoten sortiert.

Die in Abbildung 1 dargestellten Abschöpfungsquoten für Wertstoffe zeigen, dass die höchsten Abschöpfungsquoten über Holsysteme erzielt werden können. V13 ist im Hinblick auf die Abschöpfungsquote das günstigste System. Erreicht wird dies mittels Einführung der trockenen Wertstofftonne unter Beibehaltung der getrennten Bioabfallerfassung.

Geringfügig kleinere Abschöpfungsquoten werden bei V2 und V1 erzielt, die hier den Ist-Zustand repräsentieren, bei dem alle Wertstoffe außer Glas sowie die sortengleichen Nichtverpackungsmaterialien ebenfalls im Holsystem erfasst werden.

Die übrigen Varianten weisen um so geringere Abschöpfungsquoten auf, je größer die über Bringsysteme erfassten bzw. um so geringer die der stofflichen Verwertung zugeführten Wertstoffmengen sind. Deutliche Auswirkungen hat die Einstellung der getrennten Erfassung von Bioabfall (vgl. V6, V16, V4 und V10). Dies liegt begründet in den im Verhältnis zu den übrigen Wertstoffen relativ hohen Massenanteilen des Bioabfalls.

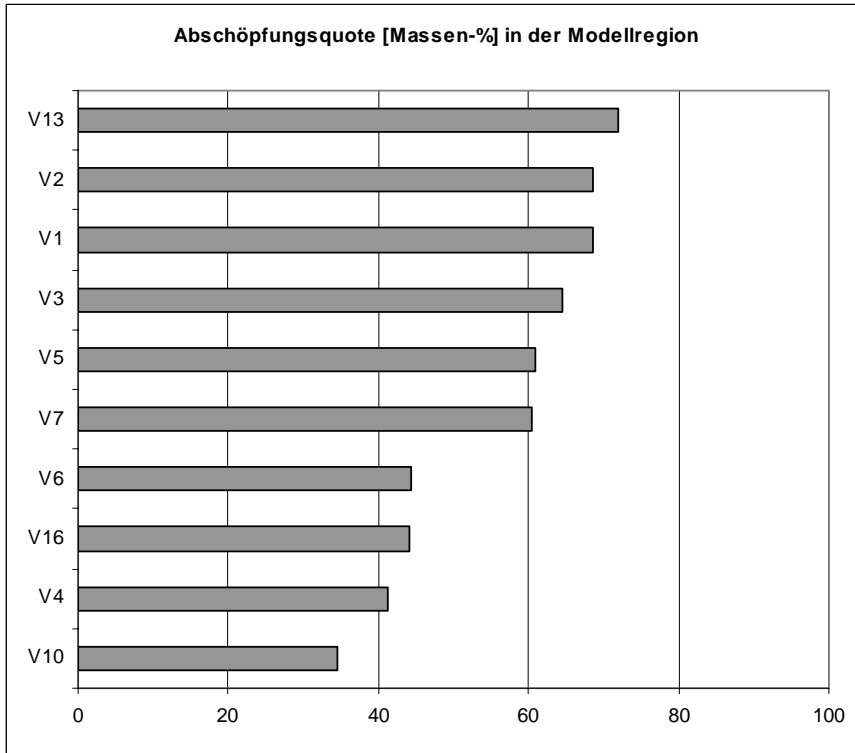


Abbildung 1: Abschöpfungsquoten der Wertstoffe für die untersuchten Varianten, Bezug Gesamtmasse Abfälle + Wertstoffe in der Modellregion

mengenspezifische Einsparung von CO₂

Durch diesen Parameter wird angegeben, in welchem Umfang durch den Einsatz verschiedener Varianten klimarelevantes CO₂ eingespart werden kann.

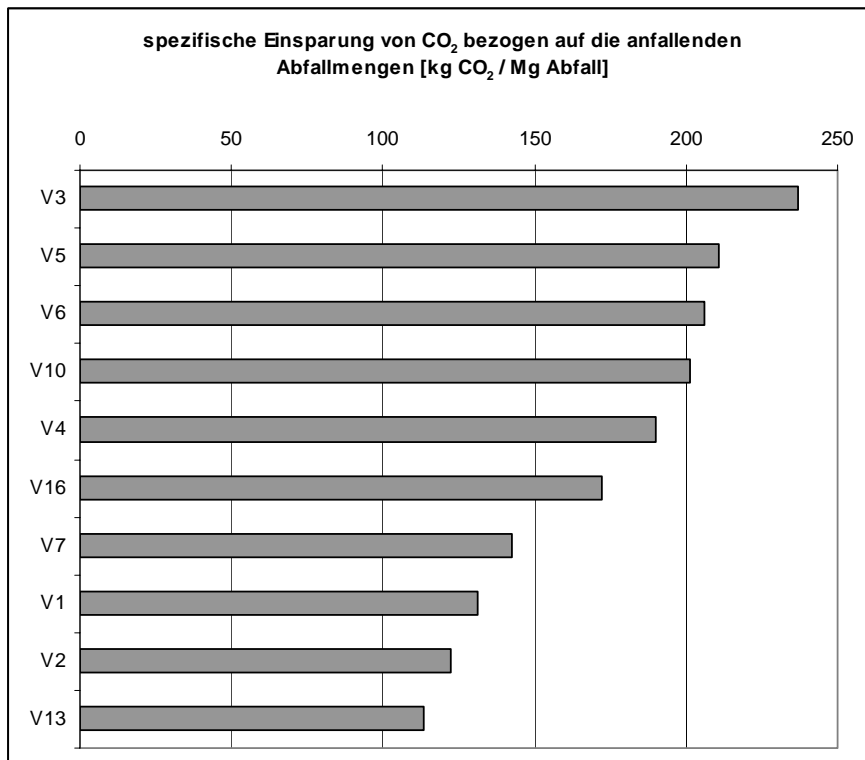


Abbildung 2: spezifische Einsparung von CO₂ bezogen auf die Abfall- / Wertstoffmengen in der Modellregion

Abbildung 2 zeigt die spezifische Einsparung von klimarelevantem CO₂ für die betrachteten Varianten. Die größte Menge an klimarelevantem Kohlendioxid wird bei der energetischen Nutzung von LVP eingespart. Aufgrund der unterschiedlichen energetischen Wirkungsgrade ist der Einsatz in einem Zementwerk (V3) der Müllverbrennung (V5) vorzuziehen. Die Mitverbrennung von Bioabfall in der MVA weist im Hinblick auf die Einsparung von klimarelevantem Kohlendioxid ebenfalls Vorteile gegenüber der Bioabfallvergärung auf. Dies zeigt z.B. der direkte Vergleich der Varianten V1 und V4 sowie V13 und V16. Die Ist-Situation V1 schneidet unter CO₂-Aspekten eher ungünstig ab.

Einwohnerspezifische Kosten

Bei den Kostenvergleichen sind naturgemäß die einwohnerspezifischen Kosten von Interesse.

Hierdurch wird angegeben, welche Kosten für das Gesamtsystem der Abfallentsorgung für die Einwohner entstehen. Dieser Wert ist ebenfalls proportional zur Abfallmenge.

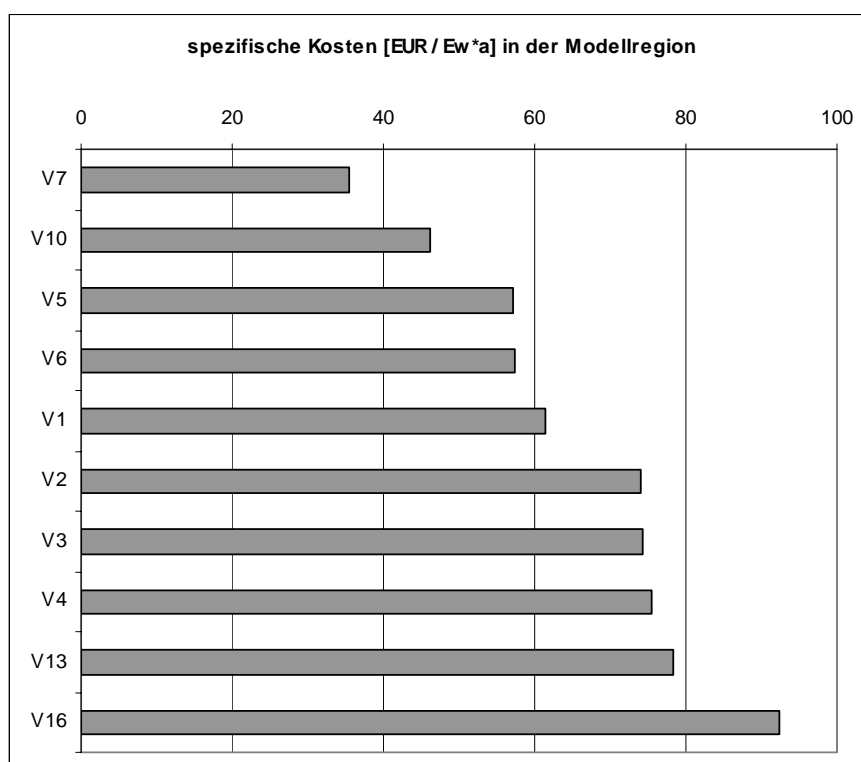


Abbildung 3: Einwohnerspezifische Kosten für die untersuchten Varianten in der Modellregion

In Abbildung 3 werden die spezifischen Kosten je Einwohner und Jahr einander gegenübergestellt. Variante 7 als Bringsystem für trockene Wertstoffe unter Beibehaltung der getrennten Bioabfallsammlung und -behandlung ist die preiswerteste Variante. Gefolgt wird V7 von V10, welche jedoch mit den niedrigsten Abschöpfungsquoten einhergeht (vgl. Abbildung 1).

Die Ist-Situation (Variante 1) bewegt sich hierbei im Mittelfeld. Varianten mit Sortierung der LVP aus der Restabfall-Tonne sind hierbei teurer. Je geringer der Aufwand für Sammlung und Aufbereitung, desto niedriger sind die einwohnerspezifischen Kosten. Ausgenommen hiervon ist die getrennte Erfassung und Behandlung von Bioabfall, da diese mit geringeren spezifischen Kosten als die Müllverbrennung in Ansatz gebracht worden sind. Demzufolge ist

V16 durch die Einführung der trockenen Wertstofftonne und die Mitverbrennung von Bioabfall in der MVA die kostenintensivste Variante.

Kenngrößenbezogene Kosten

Die kenngrößenbezogenen Kosten erlauben, die Abschöpfung, Restabfallbehandlung und Klimarelevanz der Varianten unter Kostenaspekten zu vergleichen.

Damit wird die Effizienz der Varianten, bezogen auf die o.e. Kriterien, unter Kostenaspekten im Vergleich deutlich.

Im Hinblick auf die Klimarelevanz wird im Rahmen des Forschungsprojektes u.a. die Produktion von klimarelevantem CO₂ bei der Abfallentsorgung untersucht.

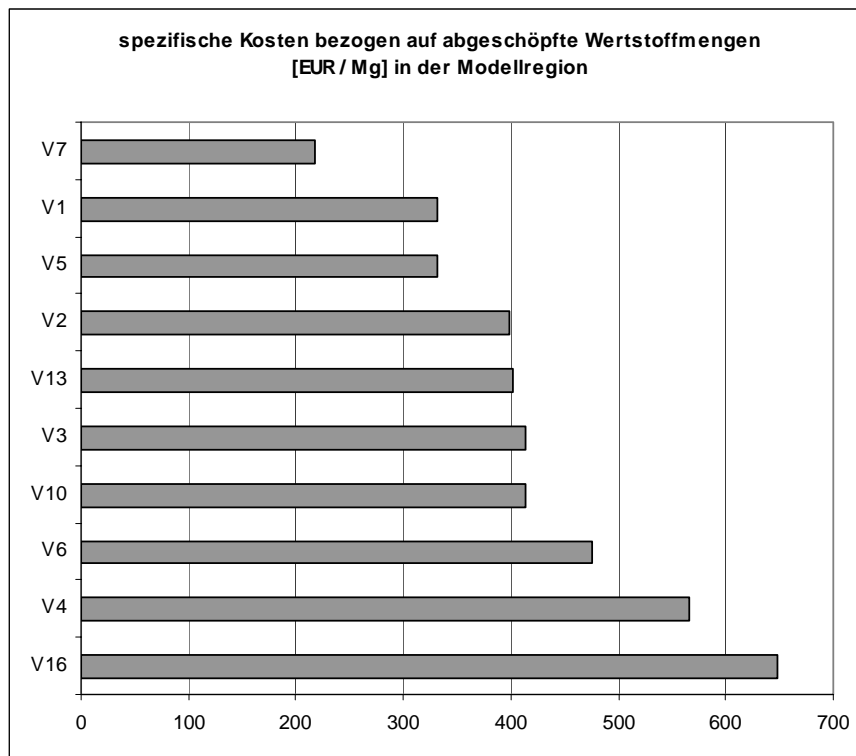


Abbildung 4: spezifische Kosten bezogen auf die abgeschöpften Wertstoffmengen in der Modellregion

Abbildung 4 zeigt die spezifischen Kosten bezogen auf die abgeschöpften Wertstoffmengen. Hier ist festzustellen, dass sich V7 als Bringsystem für die trockenen Wertstoffe unter Beibehaltung der getrennten Bioabfallerrfassung und -behandlung als die preiswerteste Variante darstellt. Allerdings werden bei V7 gegenüber der Bestvariante (V13) aus Abbildung 1 ca. 12 kg/E-a weniger Wertstoffe abgeschöpft. Demgegenüber ist V13 allerdings mit ca. 402 EUR/Mg Wertstoff deutlich kostenintensiver als V7 (ca. 217 EUR/Mg Wertstoff).

V1 (Ist-Zustand) liegt sowohl im Hinblick auf die abgeschöpften Wertstoffmengen als auch die spezifischen Abschöpfungskosten betreffend jeweils nahe an der Bestvariante. Die Einführung der trockenen Wertstofftonne nach Variante 13 liegt im Mittelfeld. Die Mitverbrennung von Bioabfall ist hierbei die kostenintensivste Variante (Variante 16).

Bezieht man die einwohnerspezifischen Kosten auf die der Müllverbrennung zugeführten Mengen so ergibt sich die in Abbildung 5 dargestellte Reihenfolge.

Diese Betrachtung ist von besonderer Bedeutung, wenn sämtliche Entsorgungssysteme über die Restabfallmenge abzurechnen wären.

Ebenso wie bei den einwohnerspezifischen Kosten (Abbildung 3) sind hier V10 und V7 mit den geringsten spezifischen Kosten verbunden. Der Unterschied zwischen den beiden

Varianten liegt in der Bioabfallerrfassung. Bei V7 wird die getrennte Erfassung und Behandlung (Vergärung) beibehalten, woraus die geringeren einwohnerspezifischen Kosten resultieren. Bei der Mitverbrennung von Bioabfall in der MVA erhöhen sich die einwohnerspezifischen Kosten aufgrund der höheren spezifischen Behandlungskosten, bezogen auf den MVA-Durchsatz ist dagegen ein Kostenvorteil ausweisbar.

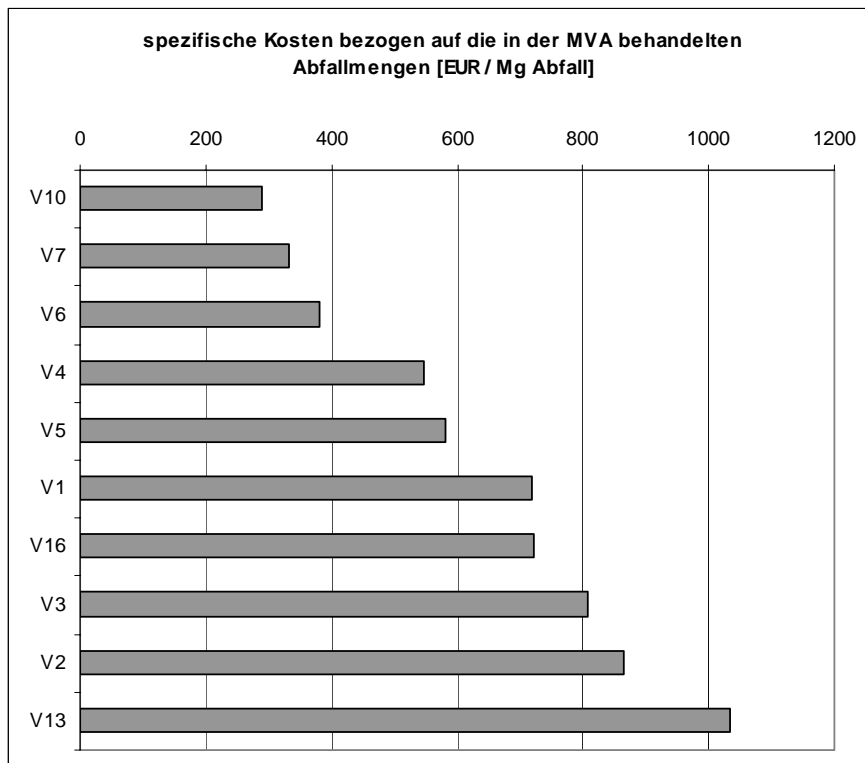


Abbildung 5: spezifische Kosten bezogen auf die in der MVA behandelten Abfallmengen

Die Ist-Variante 1 liegt hierbei im Mittelfeld. Varianten mit einer Sortierung der LVP aus Restabfall (V2 und V3) weisen hierbei deutlich höhere spezifische Kosten auf.

Die spezifischen Kosten bezogen auf die Einsparung von klimarelevantem Kohlendioxid für die hier betrachteten Varianten zeigt Abbildung 6. Die drei Bestvarianten aus Abbildung 2 (V3, V5 und V6) fallen hier hinter V10 und V7 zurück. Die Varianten V2 (mit Restabfallsortierung) und V13 (mit trockener Wertstofftonne) weisen sowohl die niedrigsten Kohlendioxideinsparungen auf als auch die höchsten Kosten je Mg eingespartes CO₂. Die Ist-Situation bewegt sich hierbei im oberen Mittelfeld.

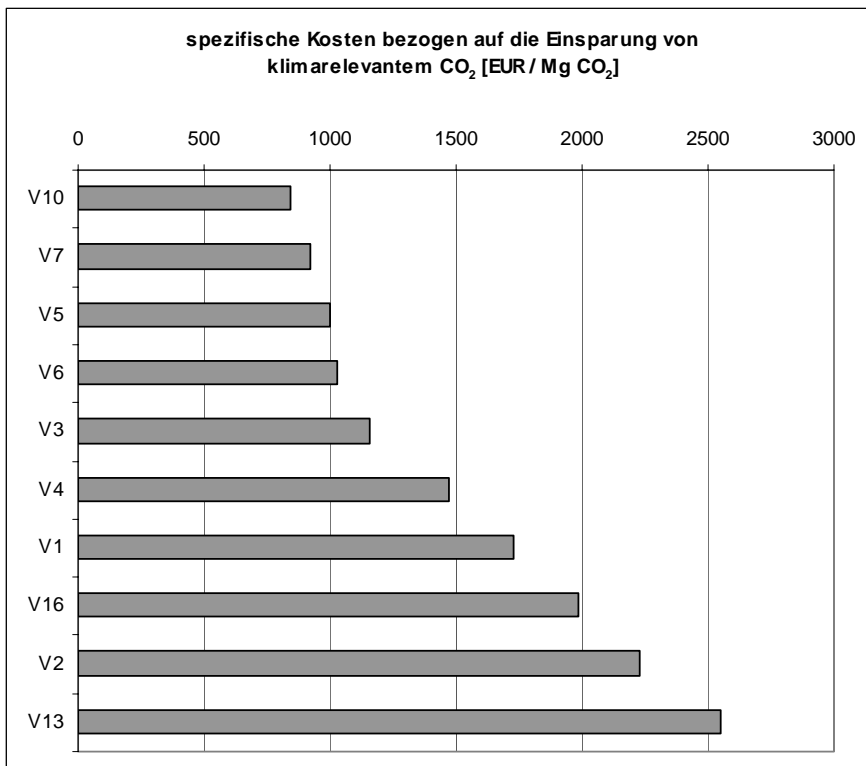


Abbildung 6: spezifische Kosten bezogen auf die Einsparung von klimarelevantem Kohlendioxid

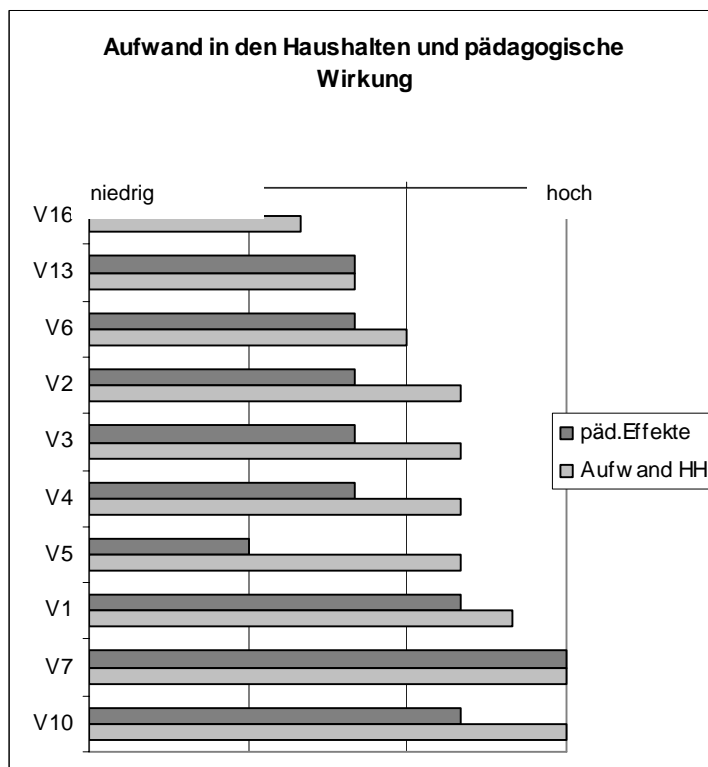


Abbildung 7: Aufwand in den Haushalten und pädagogische Wirkung

Abbildung 7 zeigt, dass besonders Maßnahmen mit geringem Umfang getrennter Sammelsysteme wie die Varianten 13 und 16 (ohne Bio-Tonne) mit Mehrkomponenten-Wertstofftonne deutlich geringeren Trennaufwand in de Haushalten erzeugen als stark

ausdifferenzierte Bringsysteme (Beispiele Varianten 10 und 7). Tendenziell in die gleiche Richtung weist auch die pädagogische Wirkung.

3. Zusammenfassung

Die vergleichende Gegenüberstellung der hier betrachteten Varianten zeigt, dass eine mögliche Entscheidung zugunsten einer der Varianten in einer Region von unterschiedlichen Parametern abhängt. Zu berücksichtigen sind u.a. rechtliche Gegebenheiten ebenso wie die nicht-numerischen Kriterien, die beispielhaft dargestellt sind.

Je nach Zielsetzung kann eine Maximierung der abgeschöpften Wertstoffmengen angestrebt werden, was z.B. für die Einführung einer trockenen Wertstofftonne spricht (vgl. Abbildung 1). Unter Klimaaspekten kann die Maximierung der Kohlendioxidreduktion von Relevanz sein, was durch die energetische Nutzung von Wertstoffen erreicht werden kann. Sollen die einwohnerspezifischen Kosten minimiert werden, so erscheint die Etablierung von Bringsystemen für Wertstoffe sinnvoll (vgl. Abbildung 3), bei denen durch die Bürger 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 z.B. die anzustrebende Auslastung vorhandener Anlagen zu berücksichtigen. Im Hinblick auf die Übertragbarkeit der Erkenntnisse aus der Modellregion auf spezifische Regionen und Landkreise, müssen die jeweiligen Ansätze überprüft und ggf. angepasst werden. Dies gilt insbesondere für die spezifischen Kosten bei Sammlung, Transport sowie Verwertung und Behandlung. Hieraus wird deutlich, dass auf Ebene der Gebietskörperschaften Einzelfallbetrachtungen erforderlich sind, um abhängig von der Relevanz der Kriterien optimale Entsorgungssysteme für die Zukunft zu etablieren.